

# CIELE & ESPACE

L'ENCYCLOPÉDIE

## SYSTÈME SOLAIRE

# L'EXPLOSION des DÉCOUVERTES



**SOLEIL  
EN PANNE**



**LUNE  
DE L'EAU !**



**MARS  
LA VIE TOUJOURS**



**CONFINS PLÉTHORE  
DE PLANÈTES NAINES**



# ÉCOUTEZ L'UNIVERS à domicile

**AVEC LES VOIX DE**  
[cieletespaceradio.fr](http://cieletespaceradio.fr)

Jean-Luc Dauvergne, Vanina Ruhlmann-Kleider, Jean-François Clervoy, Etienne Klein, Francis Rocard, Bernard Nombrot, Ericourgoulhon, Aurélien Barrau, Robert Lainé, Patrick Michel, James Lequeux, Jacques Paul, François Parisot, Nicolas Biver, Jean-François Robredo, Laurent Bernasconi, Henry Joy McCracken, Dominique Yvon, Pierre Thomas, Yanis Bitsakis, Philippe Coué, Ismaël Cognard, François Spiero, Tristan Guillot, Anne Decourchelle, André Brahic, Roland Lehoucq, François Forget, Jean-Paul Zahn, Bernard Marty, Pierre Lagrange, Alain Lecavelier des Etangs, Valérie Masson-Delmotte, Sébastien Charnoz, Alain Carion, Xavier Pasco, André Debus, Michel Viso, Daniel Kunth, Bérangère Dubrulle, Nicolas Prantzos, Nathalie Palanque-Delabrouille, Hubert Reeves, Sylvain Chaty, Michel Mayor, François Colas, Michel Parrot, Frédéric Bournaud, Thérèse Encrenaz, Fabien Malbet, Patrick Fleury, Guillemette Gauquelin-Koch, Thierry Legault, Jacques Villain, Rodolphe Gélén, Marc Ollivier, Bertrand Cordier, Gabriel Chardin, Denis Savoie, Didier Rival, Jean-Marc Bonnet-Bidaud, Yves Langevin, Jacques Arnould, Christophe Bonnal, Philippe Zarka, Jacques Patenet, Yves Delaye, Djamel Mekarnia. **L'info comme vous ne l'avez jamais entendue !**

**CIEL & ESPACE**  
RADIO

[www.cieletespaceradio.fr](http://www.cieletespaceradio.fr)

 Hors-série édité par l'Association française d'astronomie  
17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe  
75014 Paris

Tél. : 01 45 89 81 44  
Fax : 01 45 65 08 95

Sites : [www.cieletespace.fr](http://www.cieletespace.fr)  
[www.cieletespacephotos.fr](http://www.cieletespacephotos.fr)  
[www.cieletespaceradio.fr](http://www.cieletespaceradio.fr)

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

**Directeur de la rédaction**  
Alain Cirou  
[alain.cirou@cieletespace.fr](mailto:alain.cirou@cieletespace.fr)

**Rédacteur en chef**  
Román Ikonicoff

**Auteurs**  
Julien Bourdet, Simon Castéran,  
Jean-Luc Dauvergne, Véronique Étienne,  
David Fossé, Gilles Grenot,  
Jean-François Haït, Philippe Henarejos,  
Émilie Martin, Jean-François Robredo  
et Charlie Shair

**Conseiller éditorial**  
Jean-François Robredo

**Directeur artistique**  
Olivier Hodasava

**Secrétaire de rédaction**  
Emmanuelle Lancel

**Service photo**  
Franck Seguin  
[f.seguin@cieletespace.fr](mailto:f.seguin@cieletespace.fr)

**Responsable de la publicité, de  
la communication et du développement**  
Hélène Comlan  
[h.comlan@cieletespace.fr](mailto:h.comlan@cieletespace.fr)

ISSN n° 1255-2828  
CPPAP n° 1013 G 83672  
Photogravure : Atelier André Michel (75)  
Impression : Imaye Graphic (53), France

**Service des ventes en kiosque**  
Europresse Promotion  
Tél. : 01 42 96 00 55  
Mail : [europromo@orange.fr](mailto:europromo@orange.fr)

**Abonnements et vente à distance**  
Ciel & Espace  
18-24, quai de la Marne 75164 Paris  
Cedex 19  
Tél. : 01.44.84.80.27  
Mail : [cieletespace@dipinfo.fr](mailto:cieletespace@dipinfo.fr)

**Abonnements Canada et USA**  
**Canada** : Express Mag  
8155 rue Larrey, Montréal (Québec)  
H1J 2L5  
Tél. : 1(800) 363-1310 ou (514) 355-3333  
Mail : [expsmag@expressmag.com](mailto:expsmag@expressmag.com)

**États-Unis** : Express Magazine, PO Box  
2769 Plattsburg (New-York) 12901 - 0239  
Tél. : 1(800) 363-1310 or (877) 363 1310  
Mail : [expsmag@expressmag.com](mailto:expsmag@expressmag.com)

**Ciel & Espace Hors-série** est distribué  
par les NMPP.

Dépôt légal : octobre 2010  
Imprimé en France.

© 2010 AFA

Crédits couverture :  
Nasa/JPL/O.Hodasava/C&E Photos

# SI LOIN, SI PROCHE

**“I** *L faut cultiver notre jardin.*” La célèbre réplique de Candide au philosophe Pangloss, qui lui rappelait l’enchaînement d’événements l’ayant conduit à parcourir le monde (Voltaire, 1759), pourrait s’appliquer à l’astronomie du XXI<sup>e</sup> siècle... Nous aussi, nous voyageons loin — par le regard — dans le monde des galaxies, des étoiles, des systèmes exoplanétaires... jusqu’aux confins spatio-temporels de l’Univers visible, situés à plus de 13 milliards d’années-lumière il y a plus de 13 milliards d’années.

**IL Y A DU NOUVEAU DANS LE SYSTÈME SOLAIRE... ET CE QUI RESTE À DÉCOUVRIR A DE QUOI OCCUPER LES ASTRONOMES PENDANT DES MILLÉNAIRES.**

Nous frôlons même, par la pensée, l’origine de cet Univers : le big bang (il y a 13,7 milliards d’années). Mais, plus nous connaissons le lointain, plus nous découvrons le caractère unique de notre “jardin” cosmique, le Système solaire. Unique parce que sa nature, que les astronomes du XX<sup>e</sup> siècle pensaient commune à la majorité des systèmes exoplanétaires, s’est révélée plutôt exceptionnelle — tant le cosmos recèle de formes différentes. Et c’est seulement à l’orée du XXI<sup>e</sup> siècle, après

une première phase d’explorations (décennies 1950-1990) centrée sur l’exploit technique — nous pouvons le faire ! —, que nous avons vraiment regardé nos voisins. Et ce qui n’était qu’un décor familier s’est déchiré pour dévoiler un monde infiniment riche et inconnu, au moins autant que tout le reste de l’Univers ! Il y a vraiment du nouveau dans le Système solaire... et ce qui reste à découvrir — peut-être en s’y rendant personnellement — a de quoi occuper les astronomes pendant des millénaires.

Que croyait-on savoir de nos proches voisins cosmiques ? Qu’a-t-on appris de nouveau ? Comment s’est déroulée cette nouvelle phase d’exploration ? Ce troisième volet de la collection *Encyclopédie Ciel & Espace*, composé d’articles du mensuel remis à jour et augmentés, retrace la dernière décennie d’explorations, si décisive, en présentant le processus de (re)découverte de chaque recoin du Système solaire : Soleil, planètes, satellites, comètes et astéroïdes. Preuve que le désir de connaître pousse autant à ratisser le large qu’à creuser le proche, car *in fine* la seule distance qui compte vraiment est celle qui nous sépare de notre ignorance.

**Román Ikonicoff**

# SOMMAIRE

page 03 **ÉDITORIAL**  
Si loin, si proche

page 06 **INTERVIEW D'ANDRÉ BRAHIC**  
Conquête du Système solaire :  
le plaisir et la nécessité

page 10 **INFOGRAPHIE**  
Cinquante ans de voyages spatiaux

## 12 FEU



page 14 **SOLEIL**  
En panne

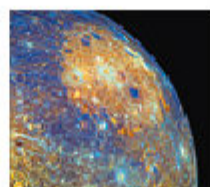


L'astre du jour a connu pendant deux ans un minimum d'activité, même s'il a repris des couleurs depuis quelques mois... Un phénomène qui questionne nos modèles de la structure intime de l'étoile.

## 22 TERRE

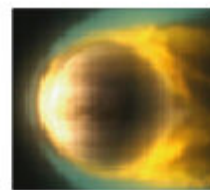


page 24 **MERCURE**  
Chronique d'une redécouverte



Cela faisait 33 ans que Mercure n'avait pas été survolée. Aussi, la visite de la sonde Messenger en janvier 2008 a dévoilé une planète quasiment inconnue...

page 30 **VÉNUS**  
Une terre évaporée



La Terre et Vénus croisent dans la même région, ont la même masse et la même taille. Mais l'une est un havre de vie, l'autre un enfer. Qu'est-ce qui a mal tourné ?

page 36 **LUNE** Histoire d'eau



Eau ou pas eau ? Les réponses à cette question ont fluctué au rythme des visites de l'astre depuis 1959... pour enfin aboutir à une certitude : eau !



page 41

## INFOGRAPHIE

La Terre

page 42

## MARS La vie toujours



L'eau y est... Et la vie ? C'est devenu le leitmotiv des astronomes, au point que la seule question qui compte aujourd'hui, c'est de choisir les emplacements les plus propices à la vie, pour s'y poser.

# 48 AIR



page 50

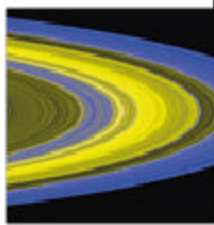
## JUPITER Atmosphère, atmosphère



La géante du Système solaire a été survolée et photographiée sous toutes les coutures. Et la dynamique de son atmosphère est un véritable sujet d'étonnement, tout comme son satellite Europe... qui pourrait abriter de la vie.

page 58

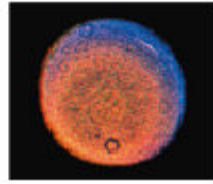
## SATURNE Des anneaux et des lunes



Elle vole la vedette à Jupiter : ses anneaux sont un véritable laboratoire d'étude des interactions gravitationnelles. Et ses lunes sont fort prisées : Titan et Encelade, pour la vie, Japet pour son étrange forme.

page 68

## URANUS ET NEPTUNE De loin en loin



Elles sont peu connues, car visitées seulement par la sonde Voyager 2 entre 1986 et 1989. Mais le peu qu'on en sait dévoile une richesse qui ne demande qu'à être explorée.

# 78 EAU

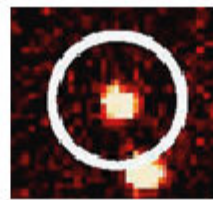


page 80

## INFOGRAPHIE Bestiaire des petits corps

page 82

## PLUTOÏDES Les nouveaux venus



Éris, Makémaké, Hauméa, Sedna... Le Système solaire est bien plus riche en planètes qu'on ne le pensait. On les nomme plutoïdes, ou "planètes naines", et certaines ont des satellites. Un nouveau monde à découvrir.

page 88

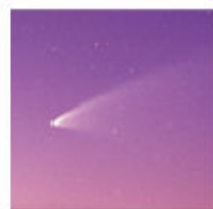
## PLUTON Un peu moins qu'une planète



Elle était la dernière planète du Système solaire. Mais avec l'arrivée des plutoïdes, Pluton a été rebaptisée "première planète naine". En 2015, pour la première fois, elle recevra la visite d'une sonde, New Horizons.

page 92

## CEINTURE DE KUIPER Traces d'activité



Nous y voici, dans les confins du Système solaire, ou du moins les confins observables — la dernière limite, le nuage de Oort, restant hors de portée. On y trouve des plutoïdes et des noyaux cométaires. Une région autrefois débordante d'activité.

page 94

## ASTÉROÏDES

### Témoins proches du lointain passé



Entre Mars et Jupiter existe une ceinture remplie de corps glacés, les astéroïdes, qui auraient dû former une planète. Restés inchangés depuis la naissance du Système solaire, on les visite pour percer le mystère des origines.

page 98

## CHRONIQUE AU COIN DU CIEL DE JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

Fils des planètes

URANUS

p. 68

NEPTUNE

p. 68

PLUTON

p. 88

PLUTOÏDES

p. 82



PLUTON

PLUTOÏDES

UAI/C&E Photos

# CONQUÊTE DU SYSTÈME SOLAIRE : LE PLAISIR ET LA NÉCESSITÉ

Propos recueillis par Román Ikonicoff

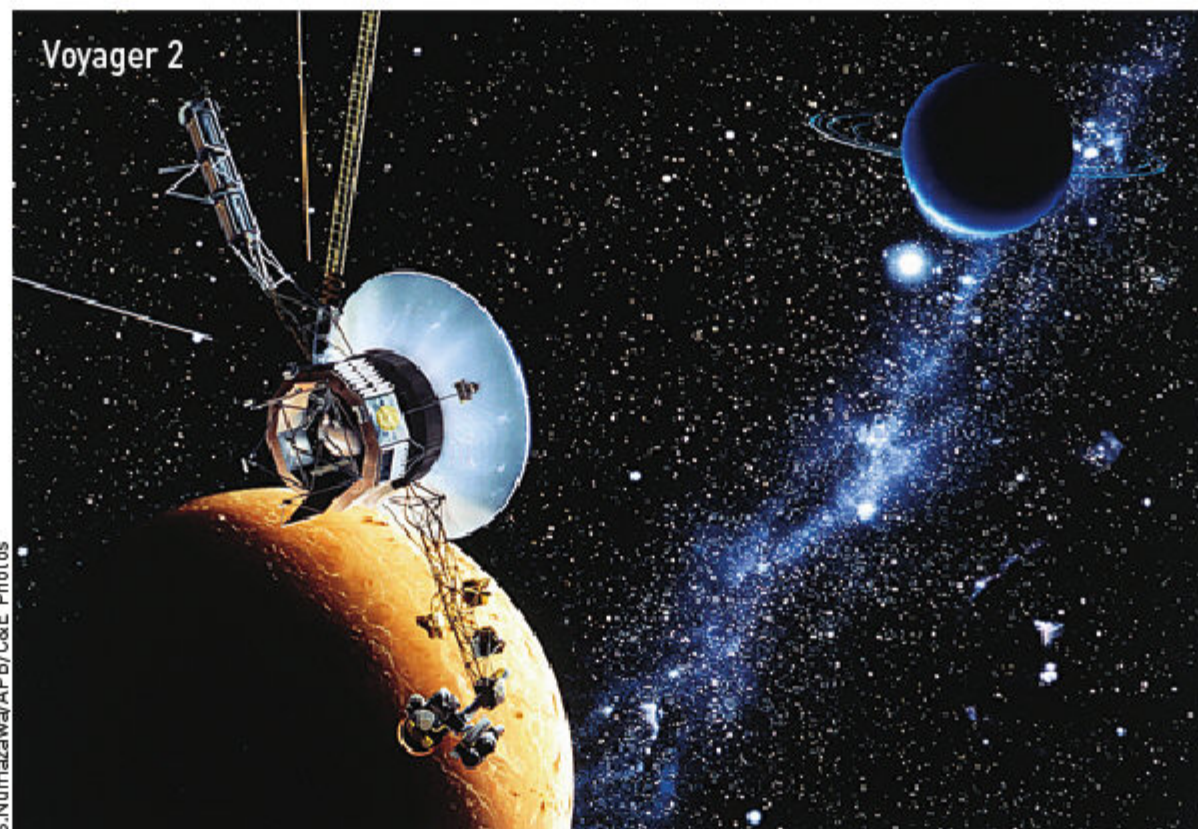
**Ciel & Espace :** Vous êtes aujourd'hui le membre français de l'équipe d'imagerie de la mission Cassini d'étude du monde de Saturne. Vous avez participé aux missions historiques Voyager, qui ont visité Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Quel est le fait qui vous a le plus marqué ?

**André Brahic :** Cassini et Voyager ont récolté tant de découvertes et d'informations qu'il est difficile de faire un choix... Mais le plus marquant reste mon baptême de feu spatial avec Voyager 2. En 1979, j'avais été invité par la Nasa à rejoindre l'équipe Voyager. Pourquoi ? Tout simplement parce que dans un travail sur l'aplatissement des galaxies, j'avais résolu un vieux problème lié... à un autre système plat : les anneaux de Saturne !

De fait, j'avais choisi ces anneaux pour tester mon modèle galactique. L'ironie est que le modèle a répondu à une question sur Saturne que Laplace et Poincaré avaient posée : pourquoi ses anneaux sont-ils homogènes et à bords doux... Un de mes meilleurs souvenirs avec Voyager 2 est la vision des anneaux de Neptune formés d'arcs — que j'ai nommés "Liberté", "Égalité", "Fraternité" et "Courage".

**C&E :** Justement, on aurait tendance à considérer que ces missions spatiales, si elles permettent à la connaissance scientifique d'avancer à grands pas et de résoudre des controverses, demeurent fort éloignées des préoccupations plus "terriennes", comme le problème de l'énergie, des ressources naturelles

**André Brahic** est professeur à l'université de Paris-Diderot et astrophysicien au CEA de Saclay. Ce spécialiste des anneaux planétaires (il a découvert ceux de Neptune en 1984) est l'un des grands experts mondiaux de l'étude de la formation des systèmes planétaires. Il est également membre des équipes d'imagerie des sondes Voyager et Cassini et fait partie de nombreux comités scientifiques des agences spatiales. Par ailleurs, il est connu pour ses interventions enthousiastes à la télévision et a écrit plusieurs livres scientifiques accessibles à un large public. Un astéroïde porte son nom : 3488 Brahic.



et des matières premières, qui posent également des défis scientifiques... mais vitaux.

**A. B. :** Je vous remercie de votre question faussement naïve. Croire que nous pouvons apporter une réponse immédiate aux grands problèmes par une découverte est une illusion que seul un homme politique mal informé peut avoir. Il n'empêche : sans une recherche fondamentale de qualité, des applications pratiques ne seraient jamais trouvées, car les grandes découvertes surgissent, souvent de manière inattendue, d'un socle de recherche émanant de domaines très divers. Un pays comme la Chine, qui a des problèmes plus graves que nous pour nourrir sa population, l'a bien compris en développant une recherche variée et en lançant une multitude de satellites alors que l'Europe est endormie.

**C&E :** Oui, mais en quoi une découverte spatiale, par exemple les arcs de Neptune, apporte une solution à nos problèmes ?

**A. B. :** La découverte des arcs de Neptune en 1989, que j'avais indirectement détectés en 1984, a mis en évidence un phénomène fondamental : le "confinement gravitationnel". Des petits satellites échangent de l'énergie avec les anneaux et confinent le matériau pour former des petits arcs où la matière (poussières, roches, etc.) est concentrée dans un faible volume. Or, ce phénomène est décrit par les mêmes équations que celles du confinement magnétique à la base du projet Iter, étape vers un futur réacteur à fusion nucléaire. En cherchant de nouvelles voies dans des domaines de la physique bien différents, on tombe sur des mécanismes communs car les lois physiques sont universelles.

**C&E :** D'accord, mais les arcs de Neptune ne fourniront pas d'énergie à la Terre...

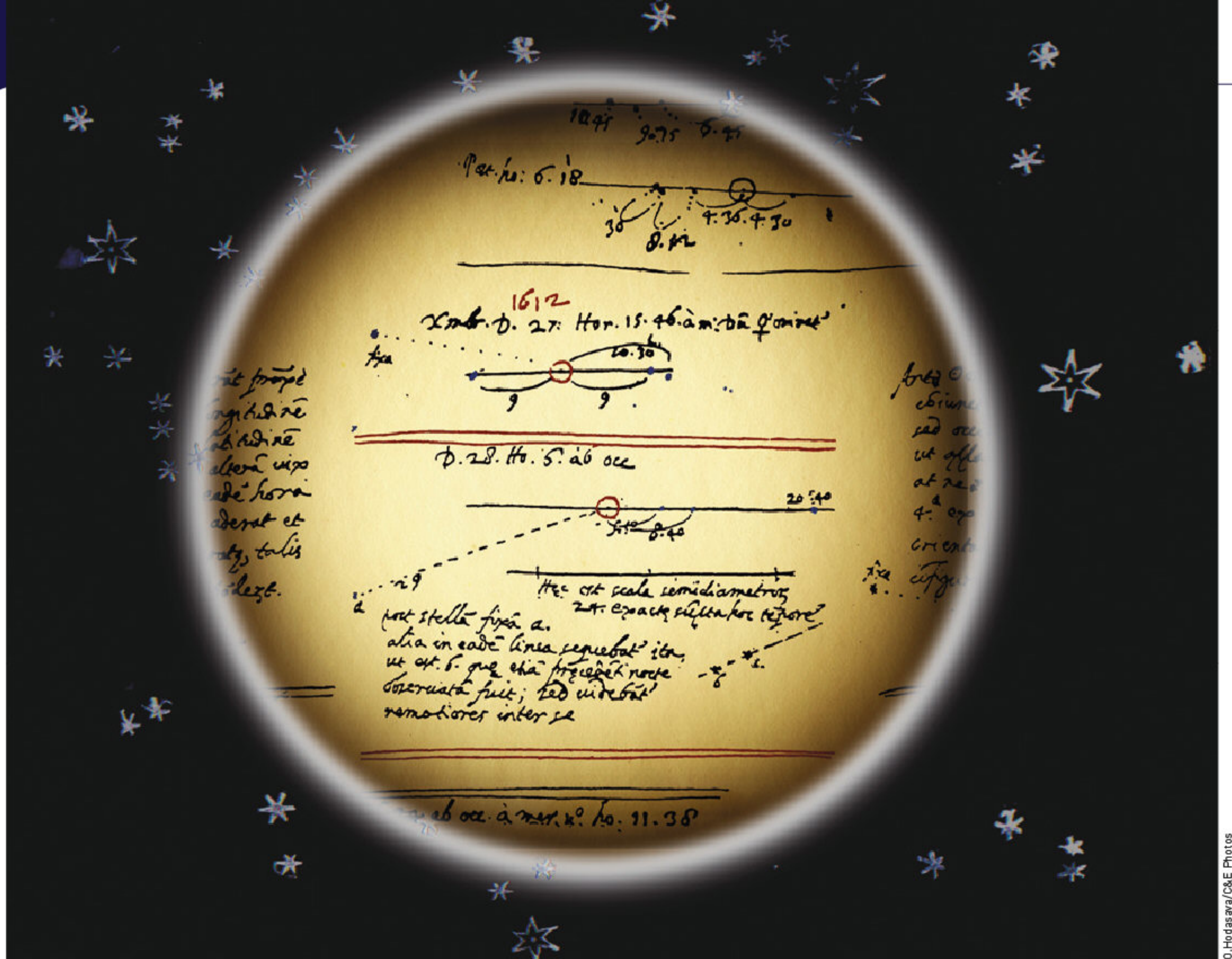
**A. B. :** Certes, mais nous sommes en train de comprendre que l'espace fera partie de notre quotidien de demain. Par exemple, plusieurs missions vers les astéroïdes (voir p. 94) ont été lancées récemment. Ces missions ont *a priori* un but purement scientifique. En effet, contrairement aux planètes et aux gros satellites, ces astres ont peu évolué depuis la naissance du Système solaire, il y a 4,5 milliards d'années. Ils représentent la matière originelle à partir de laquelle tout le reste s'est formé... Mais il devient évident que le problème du tarissement

**“POUR ÉVITER DE DISPARAÎTRE,  
NOUS DEVRONS PUISER LES MATIÈRES  
PREMIÈRES DANS L'ESPACE”**

André Brahic



A. Poilleux/C&E Photos



O. Hodasawa/C&E Photos

Le 27 décembre 1612, Galilée voit avec sa lunette un astre tout près de la planète Jupiter, dont il note la position sur son cahier (ci-dessus), et remarque que celui-ci change de position jour après jour... Sans s'en rendre compte, il vient d'observer Neptune.

des matières premières sur Terre se posera un jour. Or, on en trouve en quantité dans l'espace, comme le lithium et les isotopes de l'hélium (sur les satellites des planètes géantes), ou le fer et le nickel (sur des astéroïdes). Alors, pour éviter de disparaître, il faudra aller les chercher. Les missions scientifiques d'aujourd'hui préparent donc notre avenir.

**C&E :** Il n'y a donc pas vraiment de séparation entre la curiosité scientifique pure, qui motive les projets spatiaux comme Cassini, et des nécessités matérielles en rapport avec la survie de l'humanité.

**A. B. :** Il n'y a jamais eu de telle séparation, contrairement à ce que croient certains. Mais cette synergie ne fonctionne qu'à une seule condition : il ne faut pas orienter la curiosité scientifique dans un but utilitaire. En bridant cette curiosité, on compromet les chances de découvertes qui serviront ensuite à améliorer la vie humaine — ce que les décideurs politiques ont parfois du mal à comprendre ! Par

exemple, l'invention des communications radio n'est pas venue d'une tentative d'amélioration de la technique des pigeons voyageurs ! Ce n'est pas en essayant de mieux détecter les fractures osseuses qu'on a découvert les rayons X. Il en est de même dans le domaine spatial : la curiosité et le souci de la connaissance doivent être la motivation première des scientifiques. Un véritable explorateur ne peut pas savoir avant le départ ce qu'il va trouver, et c'est seulement dans ces conditions que la pensée scientifique s'exerce pleinement et apporte des solutions imprévues à des problèmes concrets qui semblaient *a priori* sans rapport. Cet enchaînement prend parfois de drôles de voies. Si on a pu améliorer la trajectoire de la sonde Voyager vers Neptune (et donc découvrir le phénomène de confinement des anneaux qui peut-être inspirera des techniques pour la fusion nucléaire), c'est grâce à une observation de Galilée en 1612 ! Il avait noté sur son carnet la présence d'un point proche de

Jupiter et qui n'était ni une étoile ni un satellite... C'était Neptune, il y a 400 ans ! Vu de la Terre, il était à l'époque angulairement proche de Jupiter.

**C&E :** Bref, aujourd'hui, un scientifique qui monte un projet de sonde spatiale est un peu comme un Christophe Colomb qui s'élance vers l'inconnu avec des données plus ou moins viables.

**A. B. :** C'est exactement la même chose... même si, contrairement aux explorateurs du passé qui ne revenaient pas toujours de leurs expéditions, nous ne risquons pas de mourir dans la salle climatisée d'une agence spatiale ! Le projet de Colomb ? Fou, cher et à perte : "pourquoi partir vers l'ouest pour aller en Inde ? Qu'est-ce que ce détour va nous rapporter ?" se demandait-on. Personne, pas même Colomb, ne pouvait anticiper la suite. La conquête spatiale est dans la même situation : cela peut paraître inutile et cher... mais c'est aussi la possibilité d'un changement radical du cours de l'histoire, de révolutions scientifiques, culturelles et économiques, et enfin, la seule garantie à terme de notre survie ! Sur le plan de la culture et de l'économie, les retombées sont si importantes que la véritable folie serait de négliger la recherche. Nous devons la développer si nous voulons lutter contre des fléaux comme la violence ou le chômage.

**C&E :** Justement... On en est où dans l'histoire de la conquête du "nouveau monde" spatial ?

**A. B. :** À peine au début du commencement ! Si la suite de l'histoire semble inéluctable (périr par manque de ressources ou conquérir de nouvelles terres), c'est en siècles, voire en millénaires, qu'il faut envisager la conquête du Système solaire... De fait, rien que pour atteindre l'étape "Christophe Colomb", c'est-à-dire mettre un pied dans un nouveau monde, il faut franchir des étapes extraordinairement complexes : 1) survoler ; 2) tourner autour ; 3) se poser dessus (par sonde interposée) ; 4) s'y déplacer (robots) ; 5) rapporter des échantillons sur Terre pour les analyser ; 6) envoyer des hommes ; 7) coloniser... Les six premières étapes n'ont été franchies que pour la Lune. Pour Mars, toute proche, nous n'en sommes pas encore aux échantillons. Pour Vénus, Jupiter et Saturne, nous tournons autour (étape 2), même si l'on a précipité la sonde Huygens sur Titan, satellite de Saturne (étape 3). Nous avons seulement survolé Neptune et Uranus (étape 1). Pour Pluton, l'étape 1

sera franchie en 2015 avec la sonde New Horizons (lire p. 88). Ensuite, nous devrions retourner vers Europe, lune de Jupiter, vers 2020, et un retour d'échantillons martiens est prévu à la même époque. Pour Titan et Encelade (Saturne), il faudra attendre 2030. Uranus, Neptune et Triton ne recevront une seconde visite qu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle... C'est dire si nous en sommes au début !

**C&E :** Pourquoi viser Europe (Jupiter), Titan et Encelade (Saturne) et Triton (Neptune) ?

**A. B. :** Parce qu'on y voit des choses étonnantes. Europe, Titan et Encelade abritent des mers souterraines. On y trouve trois caractéristiques inattendues : de l'eau liquide, des molécules organiques et de l'énergie, c'est-à-dire trois conditions pour que la vie puisse émerger ! Des geysers sont en éruption à la surface de Triton. Ils surplombent peut-être des lacs souterrains. Nous ne pensons pas trouver de la vie dans les entrailles de ces satellites, mais nous aimerions en savoir plus sur la frontière qui sépare le monde minéral du monde biologique...

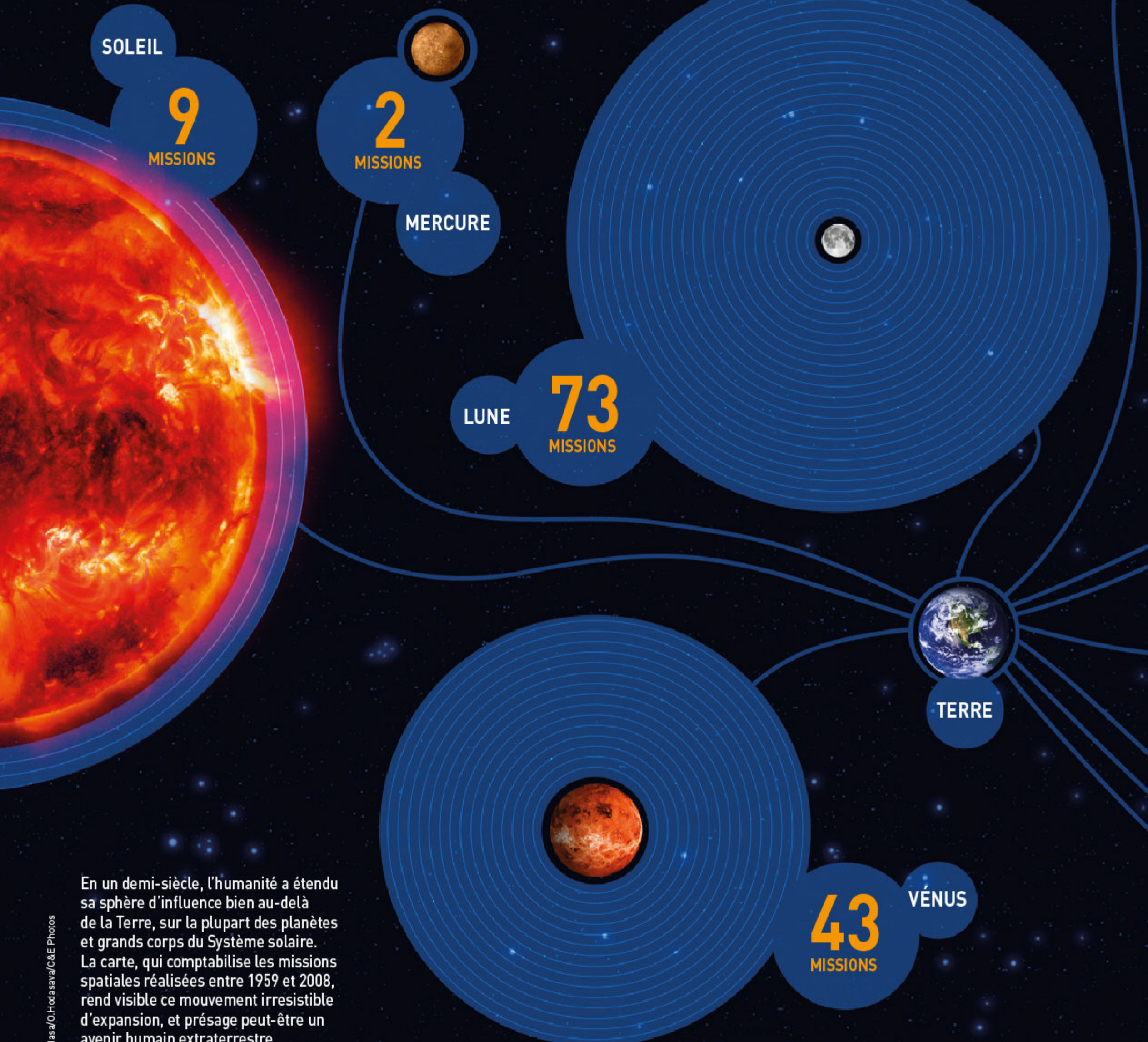
Je suis persuadé que nous connaissons une révolution astronomique et biologique : la découverte d'une vie extraterrestre. Peu importe qu'elle soit élémentaire, ou même que l'on ne découvre que des traces d'une vie ancienne. Cela peut arriver rapidement ou dans plusieurs siècles, mais les conséquences scientifiques et philosophiques seront considérables : un changement total de notre vision du monde. Il ne faut pas oublier que les premières questions philosophiques de l'humanité ont concerné notre place dans l'Univers en tant qu'êtres vivants et pensants. Ce questionnement dure depuis des millénaires, on peut encore attendre un peu...



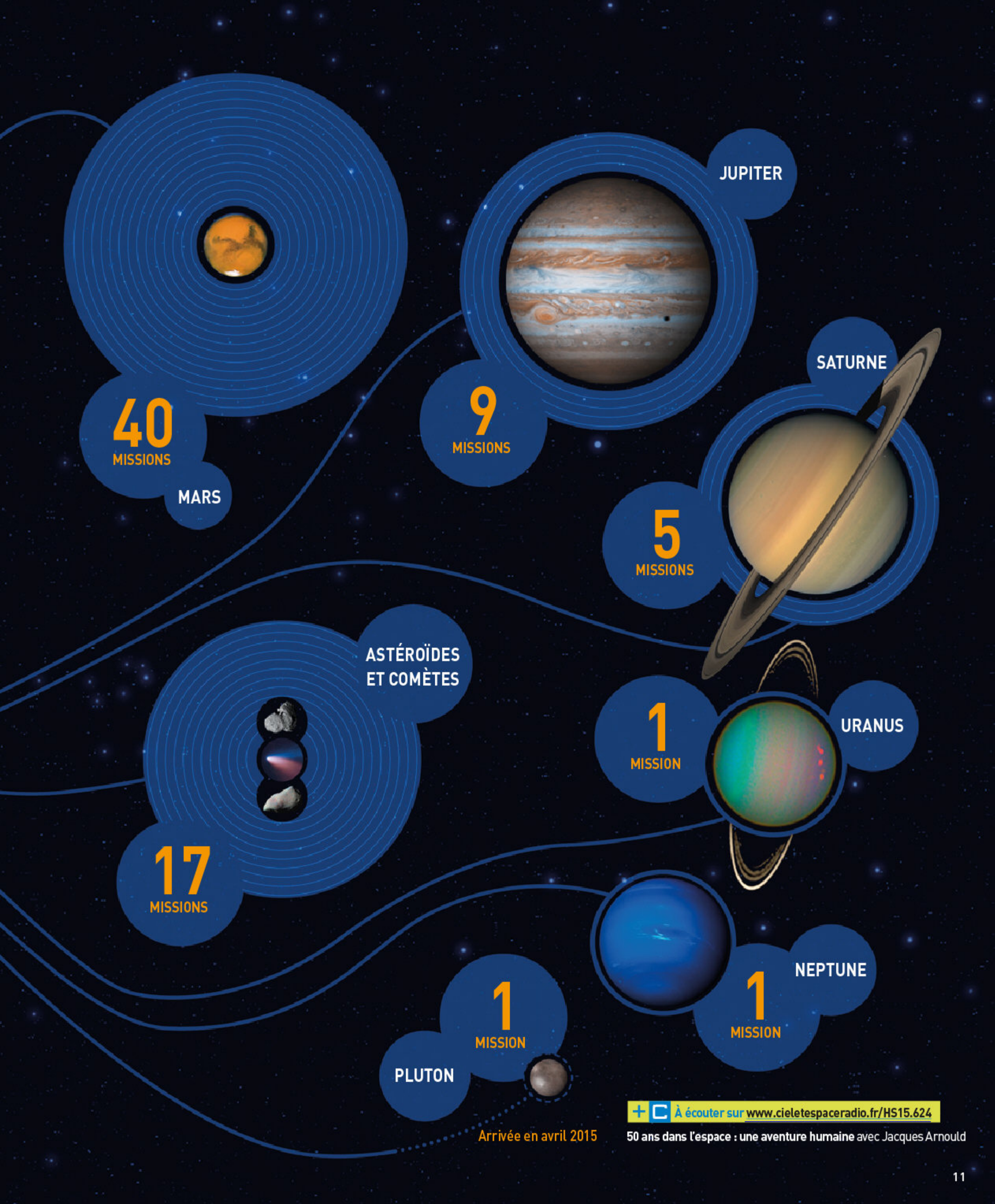
**“JE SUIS  
PERSUADÉ  
QUE NOUS  
DÉCOUVRIRONS  
DE LA VIE  
AILLEURS.  
NOTRE VISION  
DU MONDE  
EN SERA  
TOTALEMENT  
CHANGÉE”**

André Brahic

# 50 ANS de voyages spatiaux



En un demi-siècle, l'humanité a étendu sa sphère d'influence bien au-delà de la Terre, sur la plupart des planètes et grands corps du Système solaire. La carte, qui comptabilise les missions spatiales réalisées entre 1959 et 2008, rend visible ce mouvement irrésistible d'expansion, et présage peut-être un avenir humain extraterrestre...



**40**  
MISSIONS

MARS

**9**  
MISSIONS

JUPITER

SATURNE

**5**  
MISSIONS

ASTÉROÏDES  
ET COMÈTES

**17**  
MISSIONS

**1**  
MISSION

URANUS

**1**  
MISSION

PLUTON

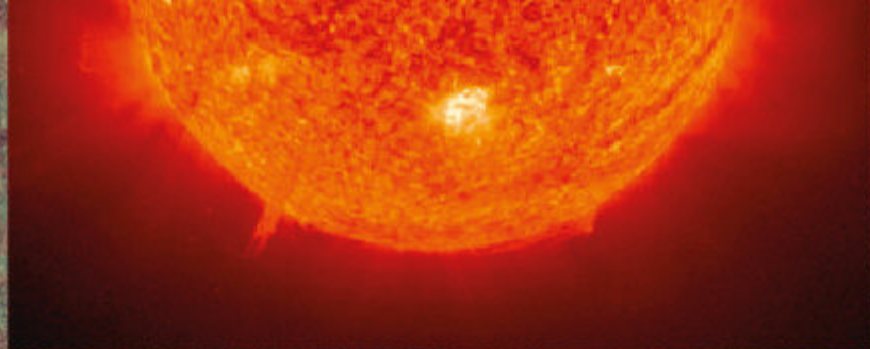
**1**  
MISSION

NEPTUNE

+ C À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Arrivée en avril 2015

50 ans dans l'espace : une aventure humaine avec Jacques Arnould



**DANS LE SYSTÈME SOLAIRE  
IL Y A SURTOUT LE SOLEIL,  
BOULE D'HYDROGÈNE INCANDESCENTE.**

# **F E U**

**LE RESTE, C'EST-À-DIRE LE 0,16 %  
DE LA MATIÈRE QUI COMPOSE  
LA TOTALITÉ DES PLANÈTES ET CORPS  
ERRANTS, N'EST QUE POUSSIÈRE.**

SUMÉRIEN

*Utu Babba*

BABYLONIEN

*Shamash*

GREC

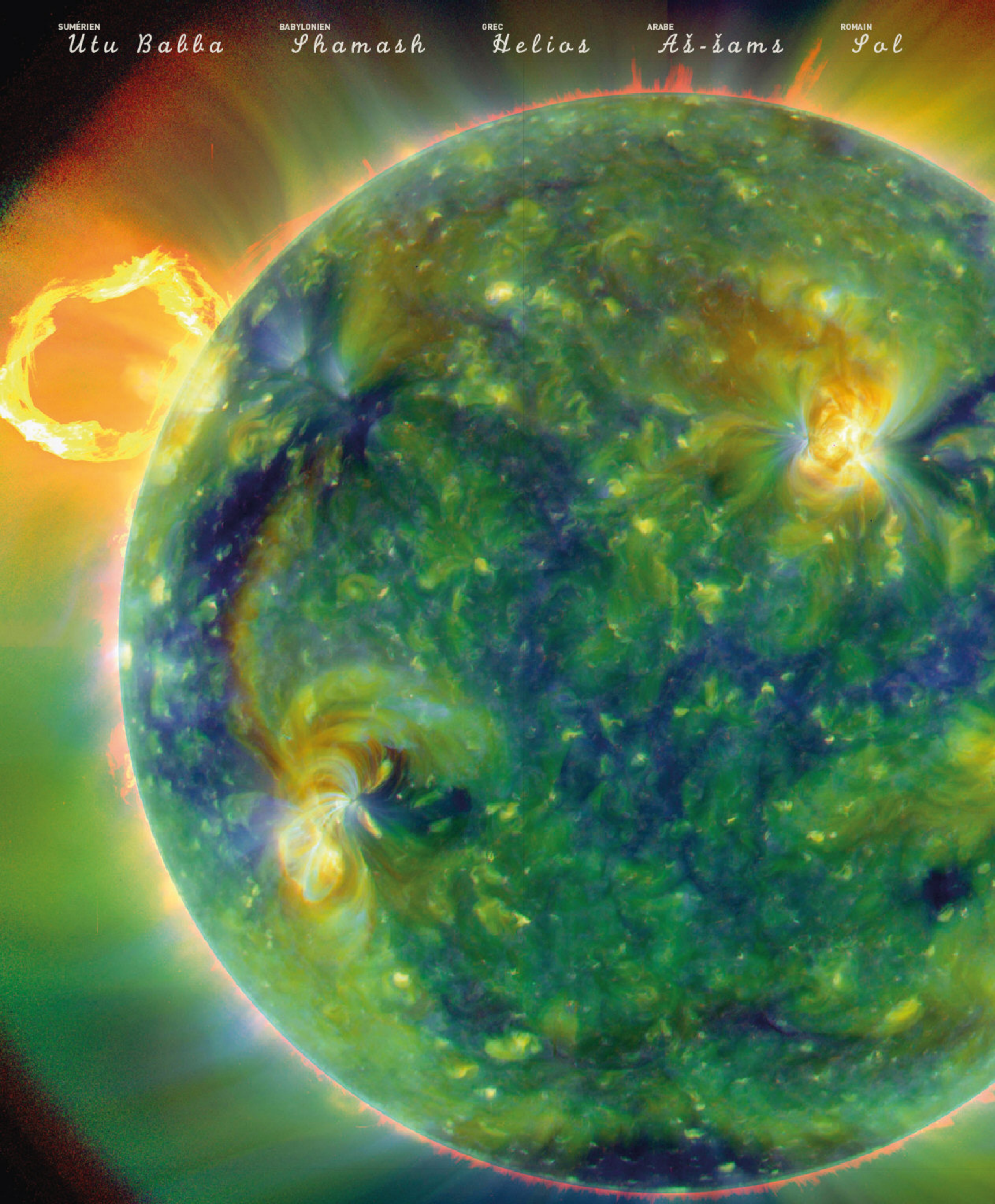
*Helios*

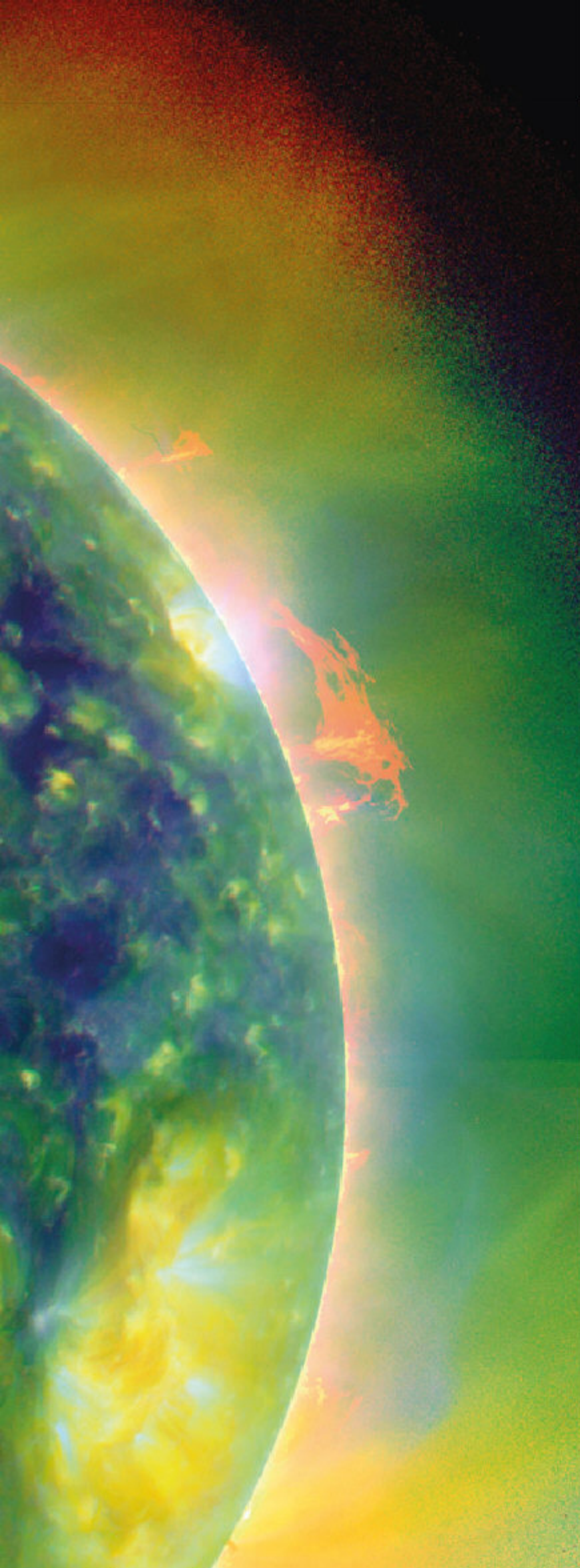
ARABE

*Aš-šams*

ROMAIN

*Sol*





L'ASTRE DU JOUR a connu pendant deux ans un minimum d'activité, même s'il a repris des couleurs depuis quelques mois... Un phénomène qui questionne nos modèles de la structure intime de l'étoile.

# SOLEIL

## IL DEVIENT PARESSEUX

### En panne !

**D**E mémoire d'astronome, on a rarement vu ça. Plongé dans un profond sommeil, le Soleil n'affichait en 2009 pratiquement plus aucun signe d'activité. Les fameuses taches noires, qui constellent sa surface en période de crise, étaient devenues presque invisibles. Les chiffres en témoignent : en 2008, notre étoile a été vierge de toute tache pendant 266 jours. Pour trouver une période plus calme encore, il faut remonter un siècle en arrière, en 1913 ! Selon la Nasa, ce repos pourrait même se prolonger cette année. Et, du même coup, battre le précédent record puisqu'au 31 mars 2009, 78 des 90 jours

#### ← ÉRUPTIONS

Bleu outremer, mauve, vert, bleu ciel... Le Soleil et ses éruptions observées dans dix longueurs d'onde de l'ultraviolet (chacune figurée par une fausse couleur) par le satellite Solar Dynamics Observatory (SDO).

écoulés ont été marqués par l'absence de taches. Une proportion plus forte encore qu'en 2008. Une léthargie à laquelle personne ne s'attendait. Car d'ordinaire, la machinerie solaire est plutôt bien huilée. Tous les 11 ans en moyenne, après une période d'accalmie, elle connaît une intense activité pendant laquelle les éruptions, qui ont lieu précisément à l'endroit où se forment les taches, sont à leur paroxysme. Le Soleil libère alors de grandes quantités de matière dans l'espace. Et sur Terre, le nombre d'aurores polaires croît. Exposés à un rayonnement accru, satellites artificiels et réseaux de communications au sol peuvent être réduits momentanément au silence. Le dernier maximum solaire remonte à 2001. Depuis, notre étoile s'est peu à peu assagie jusqu'à atteindre son minimum. Début 2007, puis à nouveau début 2008, les astronomes pensaient avoir décelé les signes annonciateurs d'une reprise d'activité. Des taches étaient alors apparues aux hautes latitudes du Soleil, un phénomène qui indique en temps normal le début d'un nouveau cycle de 11 ans. Après

Nasa/SDO/AIA/C&E Photos



## Le centre du Système solaire, dit "l'astre du jour"

**Distance au centre galactique :**  $2,5 \cdot 10^{17}$  km / 26 000 années-lumière  
**Période de révolution :** 230 millions d'années  
**Situation :** au centre du bras d'Orion

**Période de rotation moyenne :** 27,28 jours  
**Diamètre moyen :** 1 392 000 km /  $10^9$  Terre  
**Masse :**  $1,99 \cdot 10^{30}$  kg / 332 900 Terre  
**Gravité à l'équateur :**  $274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  / 28 Terre

**Température du cœur :**  $15\,100\,000^\circ\text{C}$  ;  
**en surface :**  $5\,500^\circ\text{C}$  ;  
**de la couronne :**  $\sim 1\,500\,000^\circ\text{C}$   
**Composition :** hydrogène (73,46 %),  
hélium (24,85 %), oxygène (0,77%),  
carbone (0,29%), fer (0,16%), néon  
(0,12%), azote (0,09%), silicium (0,07%),  
magnésium (0,05%), soufre (0,04%)

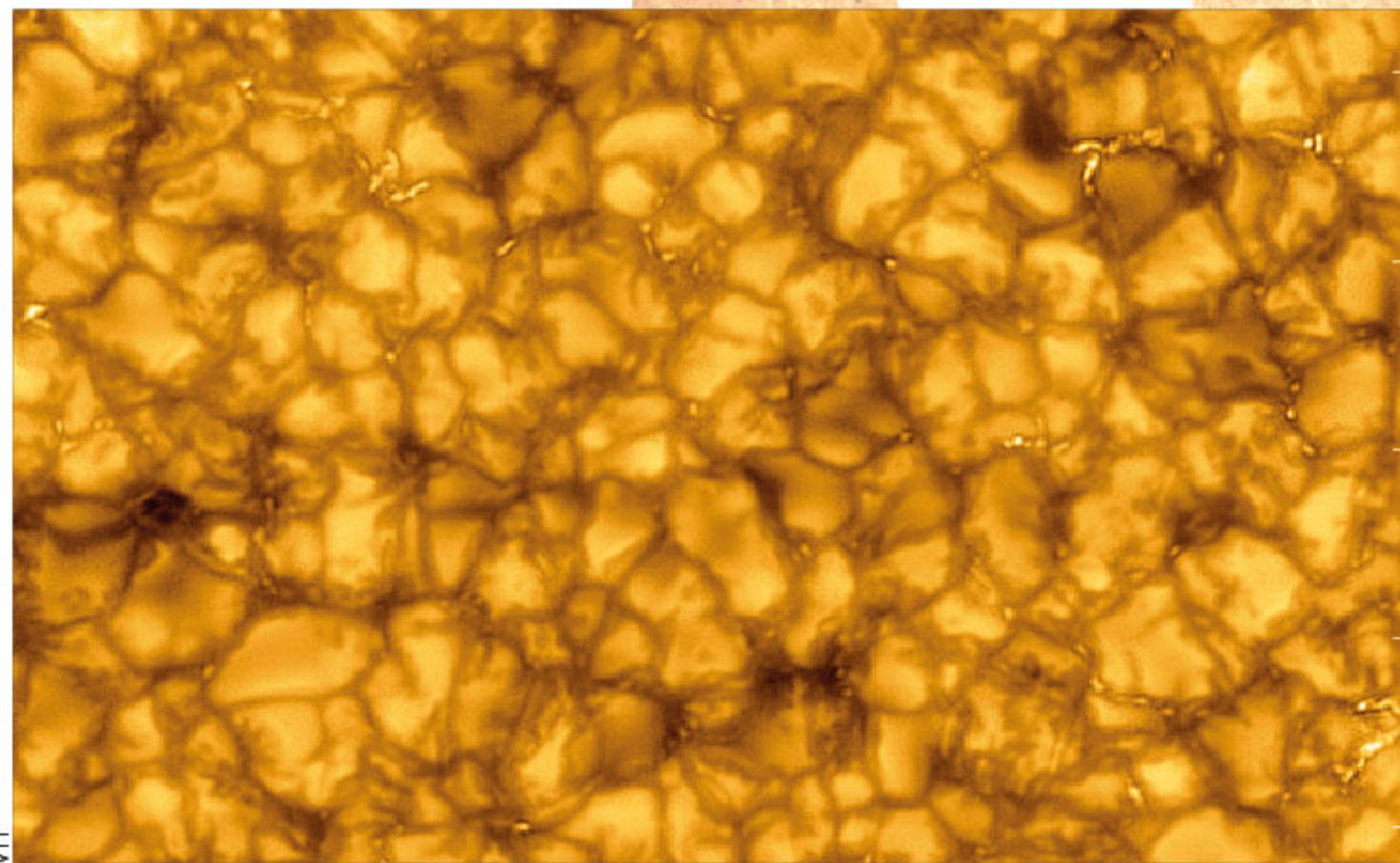


Nasa/C&E Photos

quoi, les taches se déplacent vers l'équateur et leur nombre augmente de plus en plus, jusqu'à atteindre un maximum. Mais rien de tout cela ne s'est produit. *"Ces premières taches ont disparu aussi vite qu'elles étaient apparues,* raconte Guillaume Aulanier, de l'observatoire de Paris. *Il ne s'agissait que de petits soubresauts sans conséquence."* Et depuis, le cycle 23, comme on l'a baptisé, ne cesse de durer. Cela fait 13 ans qu'il a débuté. Un chiffre à comparer aux 9 ans du cycle le plus court jamais enregistré et aux 14 ans du plus long. La situation n'est donc pas loin d'être exceptionnelle.

### ↓ BOUILLONNEMENT

La surface solaire granulée vue avec une résolution de 0,1 seconde d'arc, et des détails de 80 km. Une image obtenue par le télescope allemand VTT (Vacuum Tower Telescope), aux Canaries.



La raison de ce sommeil prolongé ? Il faut la chercher dans les profondeurs du Soleil. Telle de l'eau bouillante dans une casserole, le gaz est brassé sans arrêt dans l'immense fournaise. Ces mouvements créent un intense champ magnétique, qui est le moteur même de l'activité solaire. Au fur et à mesure que le Soleil tourne sur lui-même, ce champ se déforme et s'enroule autour de l'étoile. Il devient de plus en plus instable et finit par percer la surface : des taches apparaissent. Elles subsistent quelques semaines avant de dériver vers les pôles. Entraînées par les courants de matière, elles emportent avec elles une partie du champ magnétique. Résultat : le champ retrouve sa forme d'origine, aligné sur les pôles.

En tout, sans que l'on comprenne encore pourquoi, le processus aura nécessité en

moyenne 11 ans. D'où cette alternance quasi régulière du nombre de taches enregistrées avec précision depuis 1755. Le fait que le cycle 24 n'ait pas démarré en 2009 indiquerait donc que la dynamo solaire a perdu en vigueur ces derniers temps. Pourquoi ? Personne ne connaît la réponse. *"Si tout le monde s'entend sur les phénomènes qui engendrent le champ magnétique dans la zone convective du Soleil [où la matière est mélangée sans arrêt], aucun modèle n'est en accord avec les observations, aucun ne parvient à reproduire les variations du cycle solaire,* note Dean Pesnell, de la Nasa. *Pour rendre compte des changements de l'activité solaire, nous n'avons pas d'autre solution que de recenser les taches."* Les astronomes ne connaissent donc qu'après coup le moment précis où un palier est atteint. Ils en déduisent ensuite par extrapolation quand l'étoile sera au sommet de son activité, mais uniquement lorsque le nouveau cycle est bien entamé, soit 2 ou 3 ans après le minimum. On ne peut donc pas vraiment parler de prévision à long terme. Et, faute de nouvelles taches se maintenant à sa surface, bien malin qui peut dire quand notre astre sortira de sa torpeur.

À défaut de prévoir le moment exact de son réveil, les astrophysiciens tentent malgré tout d'anticiper avec quelle intensité il le fera, quelle sera la force de son prochain maximum. Pour cela, ils utilisent deux indicateurs de l'activité solaire : d'un côté, les variations du champ magnétique terrestre enregistrées au sol depuis 1844, et de l'autre, la force du champ magnétique solaire mesuré aux pôles de l'étoile depuis 1976. En comparant les

## TACHES

**Les taches solaires** sont des régions de la surface (photosphère) plus froides que les autres (entre 3 000 °C et 4 000 °C, contre 5 500 °C), donc moins brillantes, ce qui crée l'effet d'optique d'une tache noire. Elles marquent les zones où des lignes de champ magnétique particulièrement intenses sortent de la sphère. À l'intérieur, ces lignes freinent le mouvement de convection de la matière, ce qui empêche la chaleur venant du cœur d'atteindre efficacement la surface.

## VENTS

**Le vent solaire** est de la matière éjectée du Soleil à très grande vitesse (450 km/s en moyenne) lors des éruptions, principalement des atomes d'hydrogène (73 %) et d'hélium (25 %) chargés positivement, et des électrons. Comme ces particules ont une charge électrique, elles suivent les lignes du champ magnétique, qui irradie dans tout le Système solaire. Heureusement, le champ magnétique terrestre dévie majoritairement ce vent, mais celui-ci provoque néanmoins des orages magnétiques et des aurores polaires.

mesures actuelles à celles des cycles précédents, ils essayent ainsi de se projeter dans le futur. Récemment, une troisième méthode

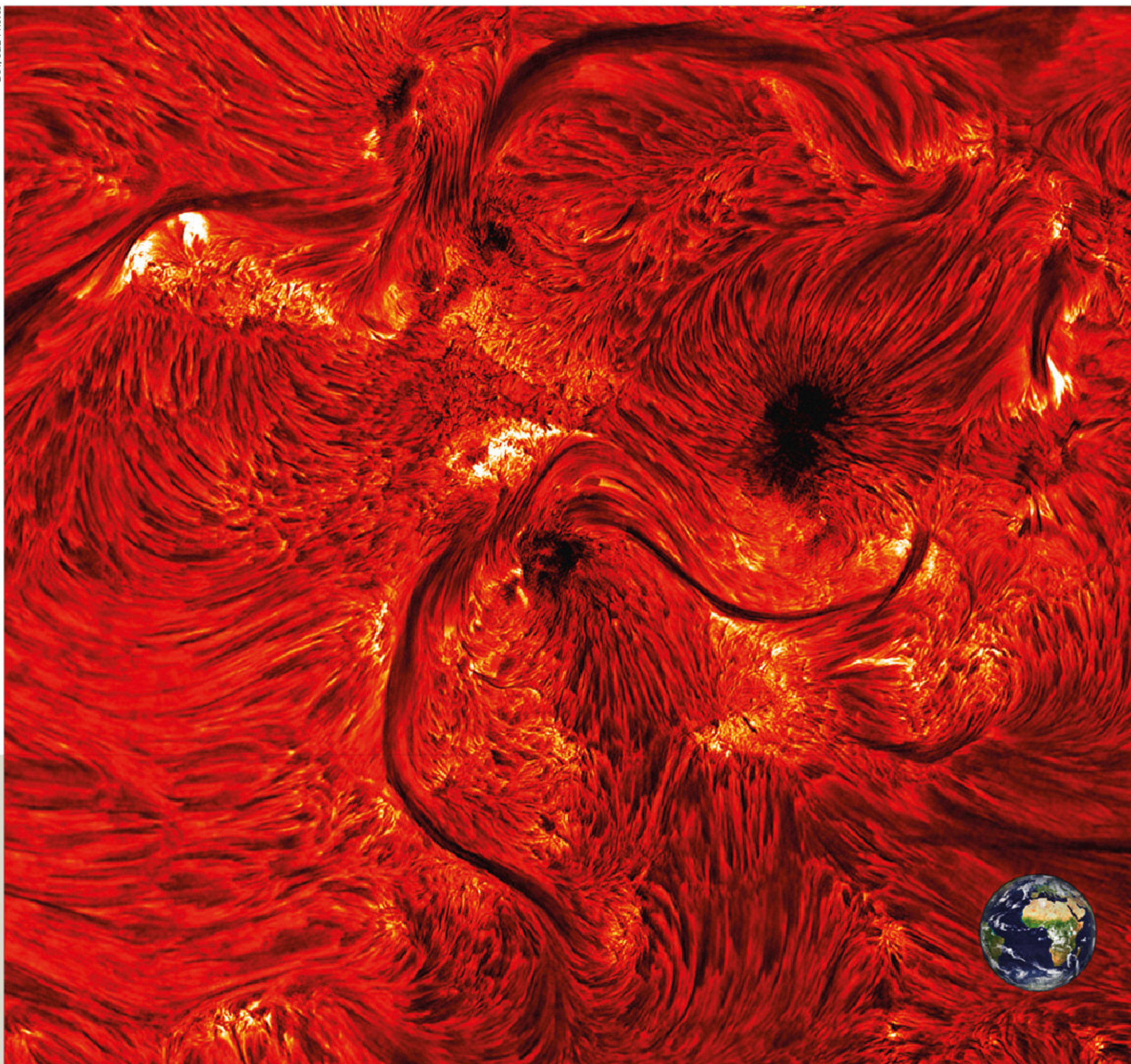
### ↓ CHEVELURE SOLAIRE

Cliché dévoilant l'imbrication des lignes du champ magnétique autour d'une tache solaire (Dutch Open Telescope, La Palma). À droite, la Terre donne l'échelle.

est venue s'ajouter. À la différence des deux autres, elle ne regarde pas dans le passé du Soleil, mais tente de modéliser directement le comportement de la dynamo solaire. Avec comme hypothèse de départ que le déplacement des taches solaires en surface est révélateur des mouvements plus profonds dans la zone convective du Soleil.

Armé de toutes ces techniques, un panel de scientifiques réunis par la Nasa et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) s'est retrouvé en 2007 pour définir un consensus sur l'intensité du prochain cycle 24. Hélas, aucun accord n'a pu être trouvé. Certaines prévisions tablaient sur une activité forte, d'autres sur une activité

DOT/C&E Photos



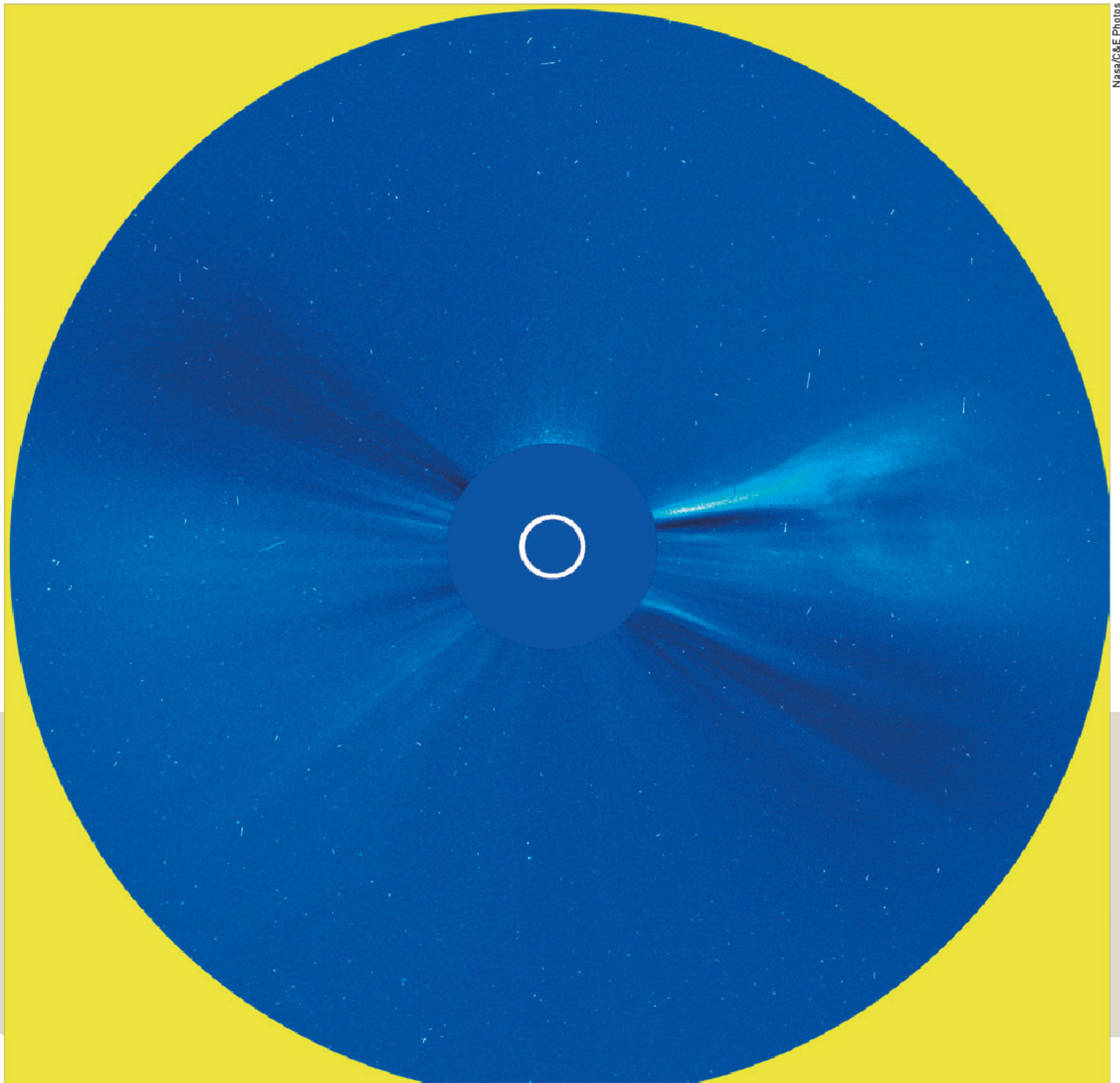
faible. Si bien que la courbe diffusée par la Nasa indique clairement les deux tendances haute et basse. *“Même les modèles les plus sophistiqués, qui prennent en compte le fonctionnement intime du Soleil, aboutissent à*

### ↓ ASTRE COURONNÉ

Vue sur le halo de l'atmosphère solaire, la "couronne", et ses éjections de masse (notamment à droite), obtenue par le satellite Stereo. Au centre, le disque du Soleil a été occulté.

*des résultats très différents*, souligne Nadège Meunier, du Laboratoire d'astrophysique de l'observatoire de Grenoble. *Pour y voir plus clair, il faudra amasser encore beaucoup de données sur les courants profonds de matière à l'intérieur du Soleil.* La léthargie solaire, parce qu'elle ne fait que traîner en longueur, pourrait bien faire pencher la balance du côté des prévisions les plus "pessimistes". Par le passé en effet, il a été remarqué à plusieurs reprises (sans que l'on puisse

expliquer pourquoi) que plus un cycle dure longtemps, plus le suivant est faible. Pour certains, même, ce cycle ne serait que le premier d'une série de plusieurs autres exceptionnellement bas. Là aussi, le phénomène a été observé par le passé. *“Il n'est pas impossible qu'une période marquée par des maxima d'activité très faibles soit en train de s'installer, exactement comme ce fut le cas vers 1810 et vers 1900*, note Gérard Thuillier, chercheur au Laboratoire atmosphères, milieux et



Nasa/C&E Photos

## → AILES MAGNÉTIQUES

Les éjections de la couronne solaire suivent les lignes du champ magnétique, rendant celui-ci visible. La photo, en lumière naturelle, a été réalisée lors d'une éclipse totale, le 1<sup>er</sup> août 2008.

observations spatiales. *Cet intervalle correspond au cycle de Gleissberg, long de 90 à 100 ans, mais dont la réalité est encore débattue dans la communauté scientifique.* Ce cycle, et d'autres plus longs encore, modèleraient en effet le cycle solaire de 11 ans en lui imposant des périodes plus calmes ou plus agitées. Mais avec des données historiques qui s'étalent sur trois siècles à peine, ces cycles restent spéculatifs.

Ce qui n'empêche pas certains d'écrire des scénarios plus "alarmistes" encore sur l'inactivité à venir de notre étoile. *"Si le silence du Soleil se poursuit, il pourrait déboucher pourquoi pas sur un événement équivalant au minimum de Maunder"*, lance ainsi Kees de Jager, spécialiste du Soleil à l'Institut royal néerlandais pour la recherche sur la mer. À cette époque, entre 1645 et 1715, pratiquement aucune tache n'avait été repérée à la surface du Soleil. Dans le même temps, un froid sans précédent s'était abattu notamment en Europe, où la Tamise avait gelé. Connue sous le nom de "petit âge glaciaire", cette période a été attribuée en partie (outre des éruptions volcaniques importantes) à la faiblesse du Soleil.

Se pourrait-il alors qu'une nouvelle vague de froid nous envahisse prochainement ? Non ! répond catégoriquement Valérie Masson-Delmotte, chercheuse au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement. *"Le*

FAVes/C&E Photos



*réchauffement climatique actuel dû à l'effet de serre est largement supérieur aux effets produits par la variation de la luminosité que le Soleil nous envoie entre ses phases actives et ses périodes de repos."* D'après le rapport de 2007 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le Soleil n'aurait ainsi envoyé que 0,1 % de lumière en moins sur Terre lors du minimum de Maunder. Une variation très faible finalement.

Mais pour certains, l'influence du Soleil se jouerait ailleurs. Ainsi, si son éclairement global ne varie que d'une infime quantité, ses fluctuations dans l'ultraviolet sont 100 fois supérieures. Pour Gérard Thuillier,

la haute atmosphère de notre planète serait justement très sensible à ces variations, et pourrait agir en retour sur les plus basses couches. Ce qui pourrait expliquer un éventuel lien entre le climat et l'activité solaire. En attendant de trancher ce débat, les astronomes se sont donné comme priorité de percer le secret de la dynamo du Soleil, la clé pour comprendre l'alternance de ses cycles. Et de l'avis de tous, cette période dénuée de taches est particulièrement propice aux satellites pour sonder les entrailles du monstre.

**Julien Bourdet** [juin 2009]

## COURONNE

**La couronne solaire** marque la limite entre l'atmosphère et l'espace, 2 000 km

au-dessus de la surface. Paradoxalement, la région de la couronne est environ 300 fois plus chaude que la surface, mais cela est dû à la raréfaction du gaz à cette altitude : moins dense, celui-ci est plus facile à chauffer. Or, le Soleil irradie de la chaleur sous forme de photons (particules de lumière), lesquels réchauffent alors cette matière peu dense.

## ÉVOLUTION

**Le Soleil s'est formé** voici 4,5 milliards d'années. Il est aujourd'hui au milieu de

sa vie. Dans 5,5 milliards d'années, il se mettra à grossir et à rougir pour devenir une étoile géante rouge. Vers l'âge de 10,5 milliards d'années, il dégonflera brutalement ("flash de l'hélium"), puis grossira de nouveau, se transformant en supergéante rouge à l'âge de 11 milliards d'années. Enfin, il se contractera et se refroidira progressivement, pour terminer en naine blanche.

## Reprise d'activité

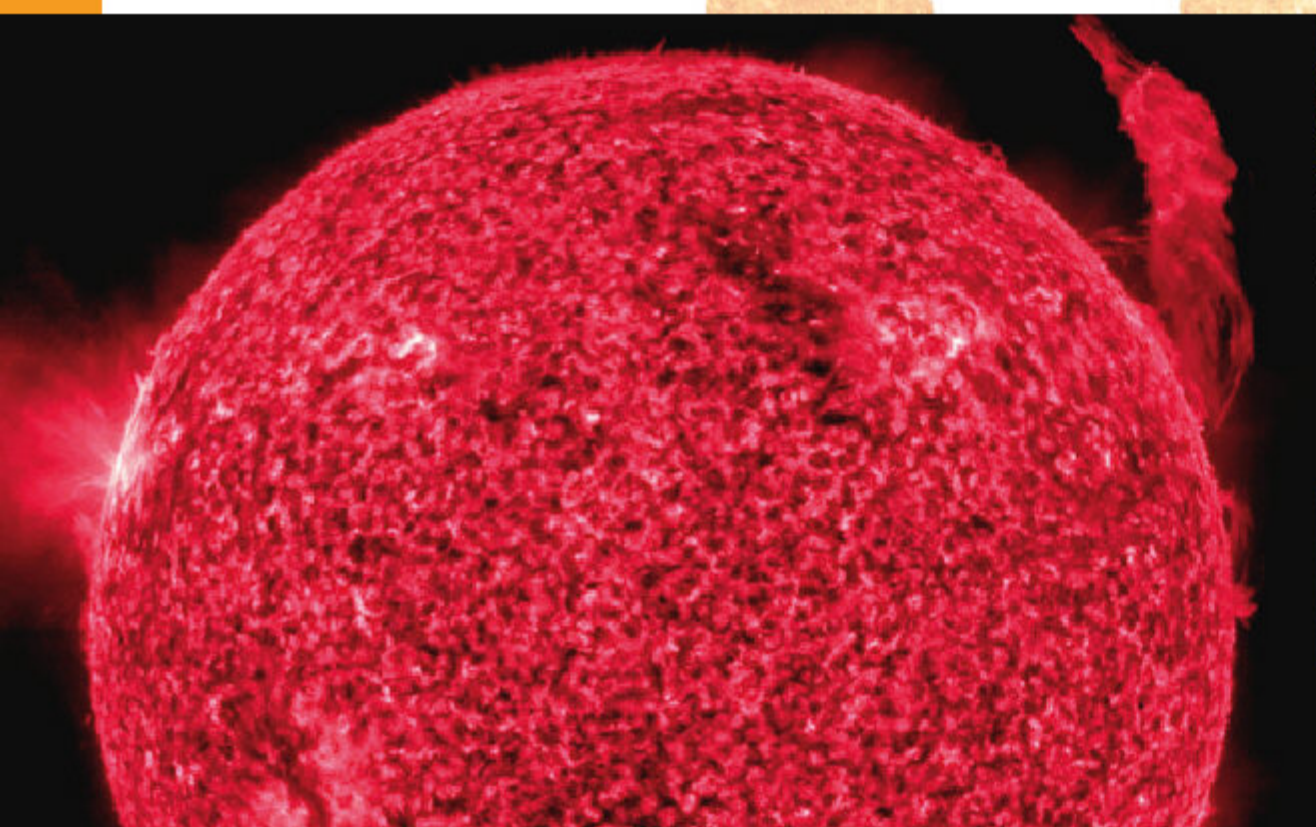
**O**UF ! Depuis fin septembre 2009, le Soleil a repris des couleurs... ou plutôt des taches. Autrement dit : son champ magnétique est enfin entré dans son crescendo de 11 années durant lequel il se renforce et s'entortille, créant des taches aux pôles qui se développent et migrent vers le reste de sa surface. Aussi, après les deux années de "panne"

(2008-2009), durant lesquelles il était inhabituellement peu taché, il devrait atteindre un maximum d'activité magnétique en 2013. Mais ce devrait être un maximum tout relatif, encore paresseux, du moins selon les modèles. En effet, le développement du champ magnétique du Soleil et la valeur de son maximum dépendent de l'intensité des mouvements convectifs de sa matière entre le cœur et le manteau : ceux-ci créent un effet "dynamo" engendrant le champ magnétique. Concrètement, cet effet est dû à la combinaison entre les cellules de convection des particules de gaz (chauffées et chargées électriquement),

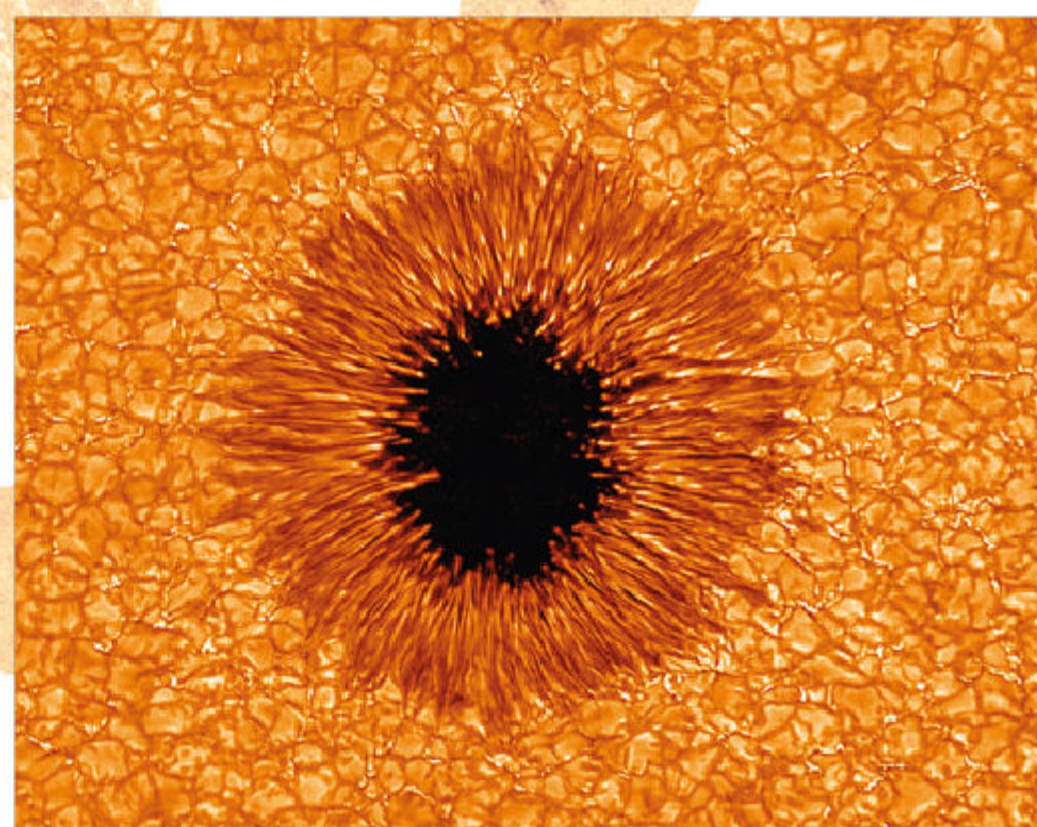
qui font office de spires en fil de cuivre où circule un courant électrique, et le mouvement de rotation de l'astre sur lui-même, qui fait tourner ces cellules latéralement. Si le courant électrique est faible dans les spires, le champ engendré l'est tout autant... Or, la convection a été lente durant deux ans, et ne va pas s'accélérer d'un coup. Donc le prochain maximum sera faible : il ne devrait pas y avoir pléthore de taches.

+  Sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Soleil, les derniers secrets de notre étoile, avec Jean-Paul Zahn et Robert Lainé.



Nasa/SDO/AIA/C&E Photos



BBSO/C&E Photos

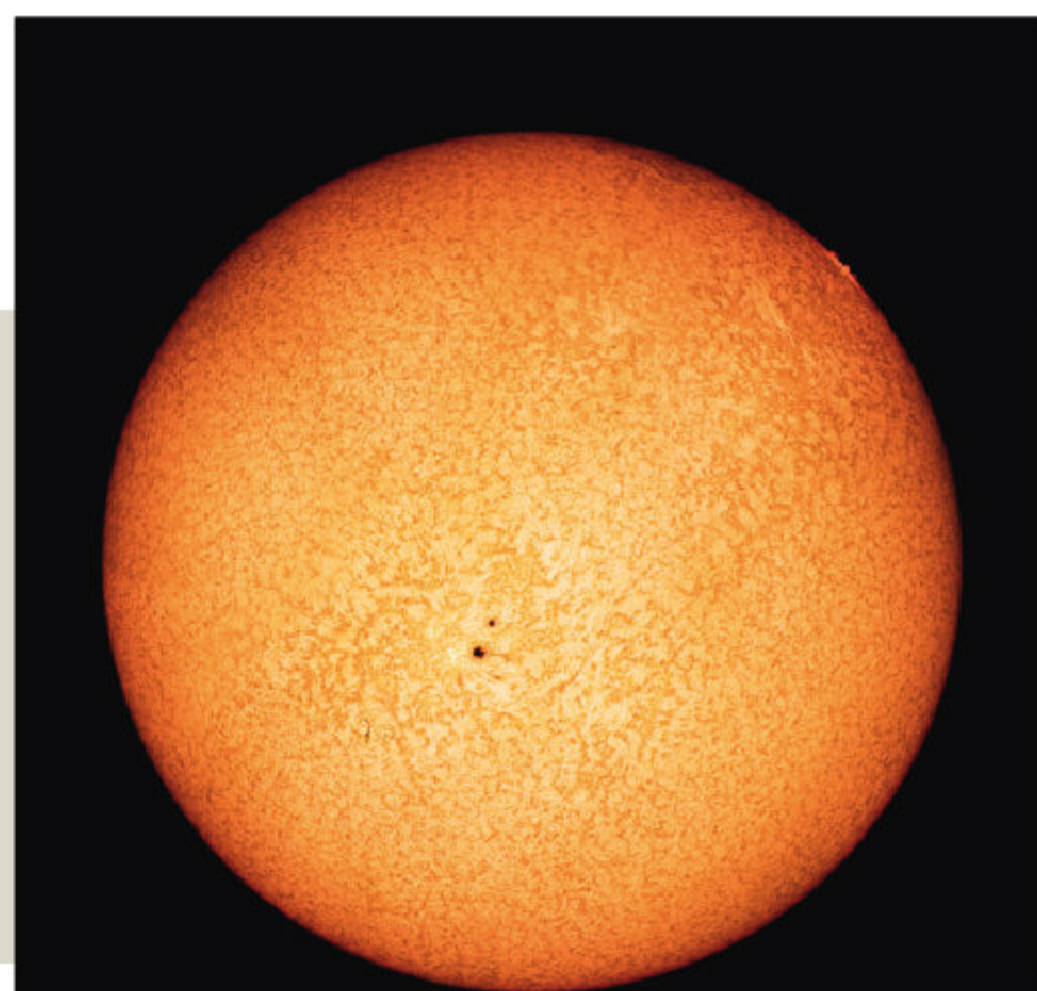
### ↑ PAYSAGES SOLAIRES

Une protubérance de plasma qui s'enroule et retombe, une tache solaire qui marque l'échappée d'une ligne de champ magnétique, une sphère comme une orange qui dévoile la répartition de l'hydrogène à sa surface...

### VISITES

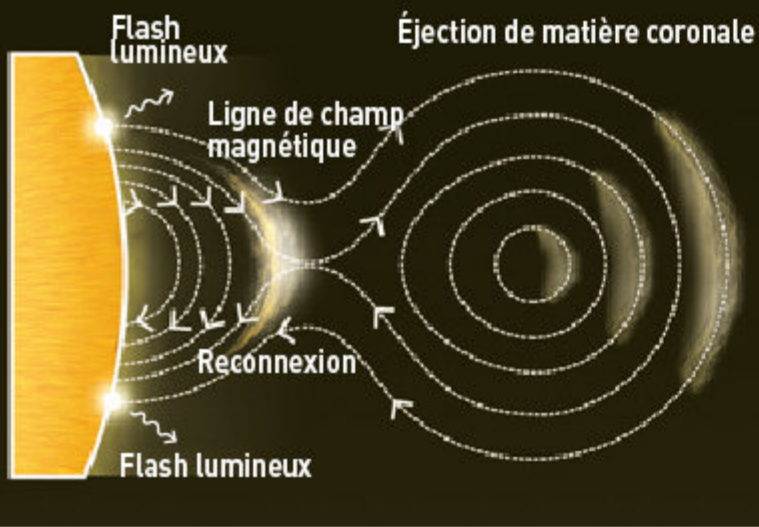
**Dix missions spatiales** ont été consacrées au Soleil depuis 1959, soit depuis l'orbite terrestre ou solaire,

soit lors de survols de l'étoile. Les cinq plus récentes sont : Ulysses (1994-1995 ; 2000-2001), qui a survolé les pôles du Soleil ; Soho (1995-...), de loin la plus complète ; Genesis (2001-2004), qui devait rapporter des échantillons de vent solaire, mais qui s'est écrasée au retour ; Stereo (2006-...), pour une étude du Soleil en 3D ; enfin, Solar Dynamics Observatory (2010-...), la relève de Soho.



M. Weigand/C&E Photos

A. Dagan/C&E Photos



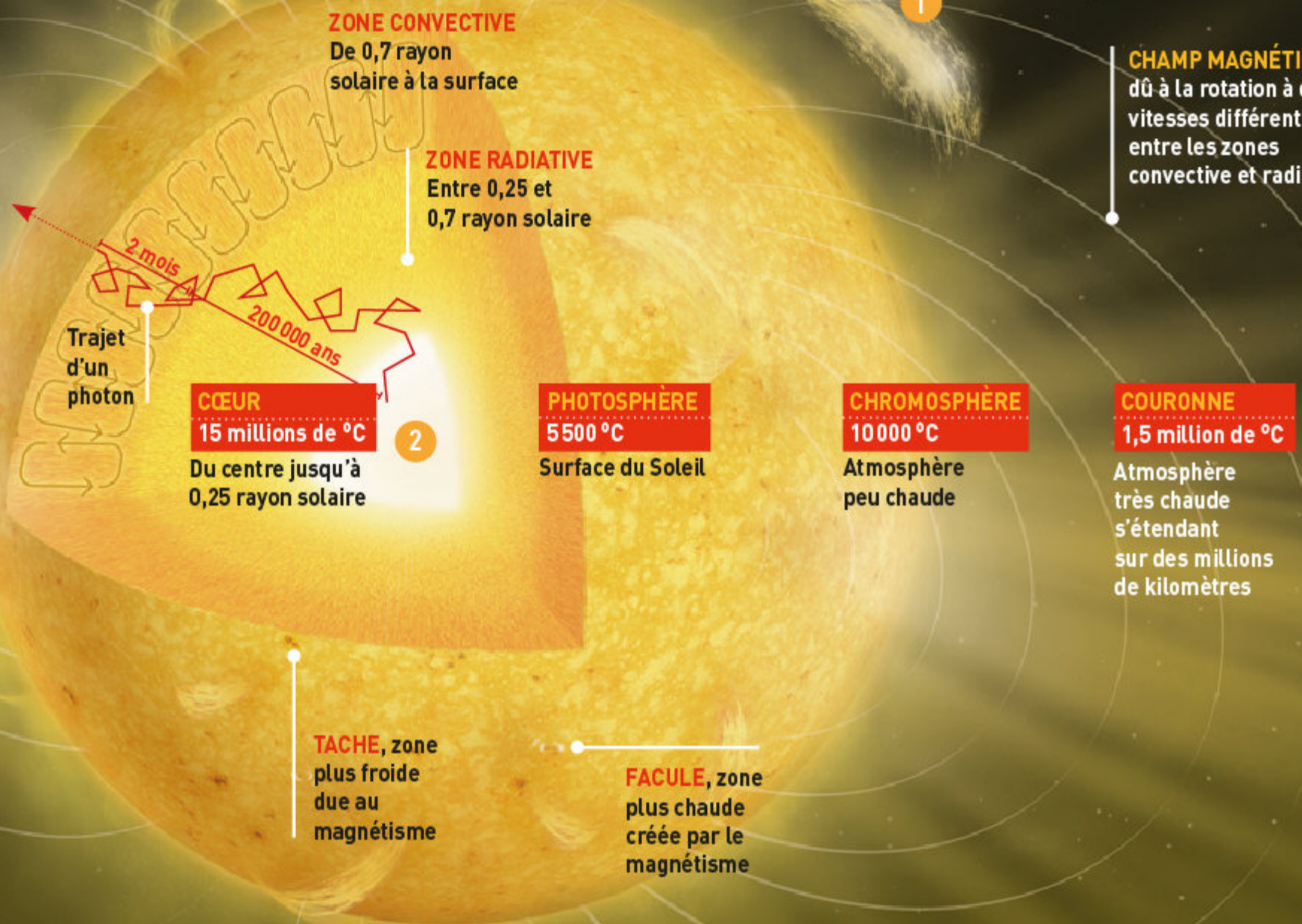
## 1 LA NAISSANCE D'UNE ÉJECTION DE MATIÈRE CORONALE

Dans une région active, lorsque deux boucles magnétiques se cassent et se reconnectent dans la couronne, l'énergie énorme brusquement libérée accélère la matière. Certaines particules retombent vers la surface et créent un gigantesque flash lumineux : c'est l'éruption solaire, observée

en quelques minutes dans toutes les plages d'énergie, rayons UV, X, gamma, ondes radio. Tout en haut, une gigantesque bulle de matière est expulsée. Les particules (protons, électrons, neutrons) de cette éjection de masse coronale (EMC) seront détectées sur Terre 1 à 4 jours plus tard.

**VENT SOLAIRE**  
Flux permanent de particules ionisées éjectées dans l'espace

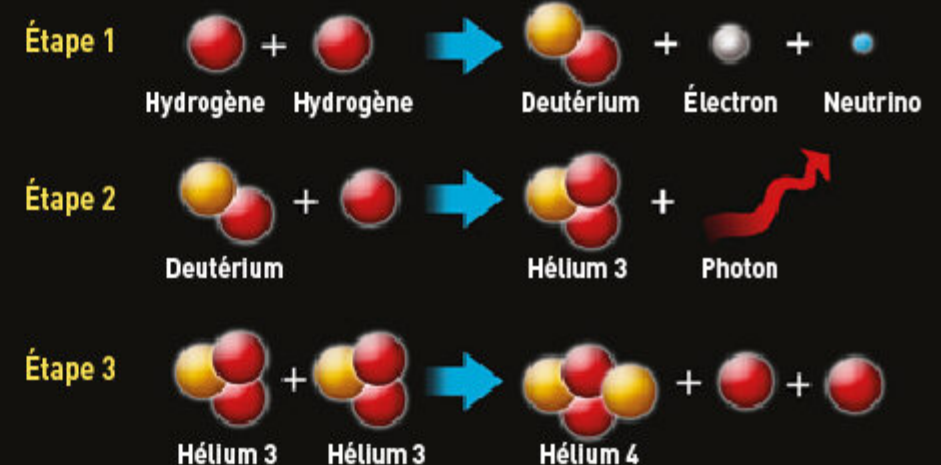
**CHAMP MAGNÉTIQUE**, dû à la rotation à des vitesses différentes entre les zones convective et radiative



## 2 UNE CENTRALE À FUSION NUCLÉAIRE

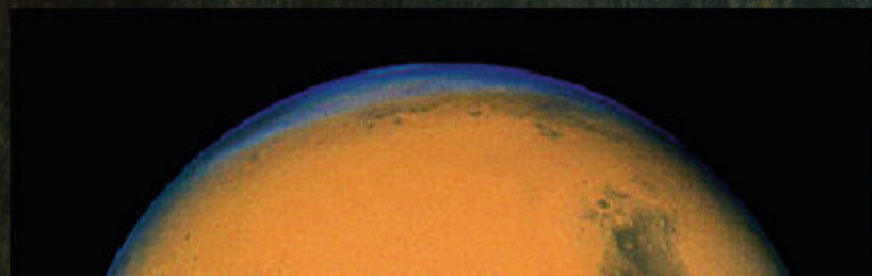
Le Soleil, et toutes les étoiles, passent leur vie à fusionner des atomes entre eux, créant ainsi toute la variété des éléments chimiques naturels : à partir de l'hydrogène, le carburant stellaire de base, plusieurs cycles de fusion engendrent l'hélium, le carbone, l'oxygène, l'azote, etc.

Ces cycles sont fort complexes. Par exemple, la première étape (ci-contre), qui transforme quatre atomes d'hydrogène en un atome d'hélium 4 stable, passe par des sous-étapes au cours desquelles sont libérés des électrons, des neutrinos et, bien sûr, des photons.





T



MERCURE, VÉNUS, LA TERRE ET MARS...

QUATRE GRAINS DE TERRE ACCOLÉS

AU SOLEIL, ET NE REPRÉSENTANT

GUÈRE PLUS DE 0,0016 % DE SA MASSE,

# ERRRE

CONSTITUENT LE GROUPE

DES PLANÈTES TELLURIQUES.

C'EST LE TRÈS PETIT RÈGNE

DES SILICATES, DU FER ET DU NICKEL.

**33 ANS ! CELA FAISAIT 33 ANS** que Mercure n'avait pas été survolée — depuis Mariner 10, en 1975. Aussi, la visite de la sonde Messenger en janvier 2008 a dévoilé une planète quasiment inconnue... Retour sur les trois temps forts de cette nouvelle conquête.

# MERCURE

## CHRONIQUE D'UNE REDÉCOUVERTE



Nasa

### ↑ TOP DÉPART : 3 AOÛT 2004

Décollage de la fusée Boeing Delta 2 de la base de cap Canaveral, en Floride. Elle emporte la sonde Messenger, 485 kg, qui atteindra Mercure début 2008.



**U**N vaste bassin d'impact de plus de 1 000 km de diamètre trône-t-il en plein milieu de l'hémisphère inconnu de Mercure ? Cette région cache-t-elle un volcan ? Vers 18 h 30 TU<sup>(1)</sup>, le 14 janvier 2008, la mémoire informatique de la sonde Messenger a commencé à répondre. Après un survol à seulement 200 km de Mercure, l'engin venait juste d'émerger de l'ombre de la planète et ses caméras ont commencé à photographier méthodiquement une zone encore jamais observée en détail. Pourtant, les scientifiques ont dû patienter avant de découvrir ces images inédites. Messenger n'envoya les réponses que deux jours plus tard au centre de contrôle, dans le Maryland (États-Unis).

Gerald Cecil est l'auteur de photos de l'hémisphère inconnu de Mercure, obtenues depuis la Terre à l'aide du télescope de 4,1 m SOAR, au Chili. Le chercheur américain ne cachait pas son impatience : *"J'ai été invité par Sean Salomon, le chef scientifique de la mission, à assister à la réception des données. Je ne tiens déjà plus en place !"* Et pour cause : lui et une poignée d'autres astronomes avaient rivalisé

d'ingéniosité pour arracher quelques secrets à cette planète difficile à observer car toujours noyée dans le halo lumineux du Soleil. À coups de téléscopes solaires, d'optiques adaptatives montées sur des réflecteurs géants, de capteurs infrarouges et d'échos radars envoyés par des radiotélescopes, ils avaient réussi un tour de force : brosser un portrait sommaire des 55 % de la surface qui n'ont pas été photographiés par Mariner 10, la seule sonde à avoir approché Mercure. Mais après le survol du 14 janvier, Messenger a définitivement transformé en cratères, montagnes, plaines de lave et bassins d'impact les vagues taches blanches, décelées par ces chercheurs opiniâtres. Scientifiquement, l'enjeu était captivant. Car Mercure ne se résume pas à un lointain clone de la Lune. Ce petit monde, qui croise à seulement 58 millions de kilomètres du Soleil (la Terre est à 150 millions de kilomètres), détient des clés essentielles de l'histoire du Système solaire. D'abord parce que, mystérieusement, il est de loin le plus dense. Au point que son cœur de fer occupe 75 % de son volume total (p.28). En cherchant à comprendre cette curiosité,

Nasa/JHUAPL/Carnegie Inst./C&amp;E Photos



Nasa/JHUAPL/Carnegie Inst./C&amp;E Photos



## Première planète en partant du Soleil

**Distance au Soleil** : 57,9 millions de km / 0,387 UA  
**Période de révolution** : 88 jours terrestres  
**Inclinaison de l'orbite / excentricité** : 7° / 0,206

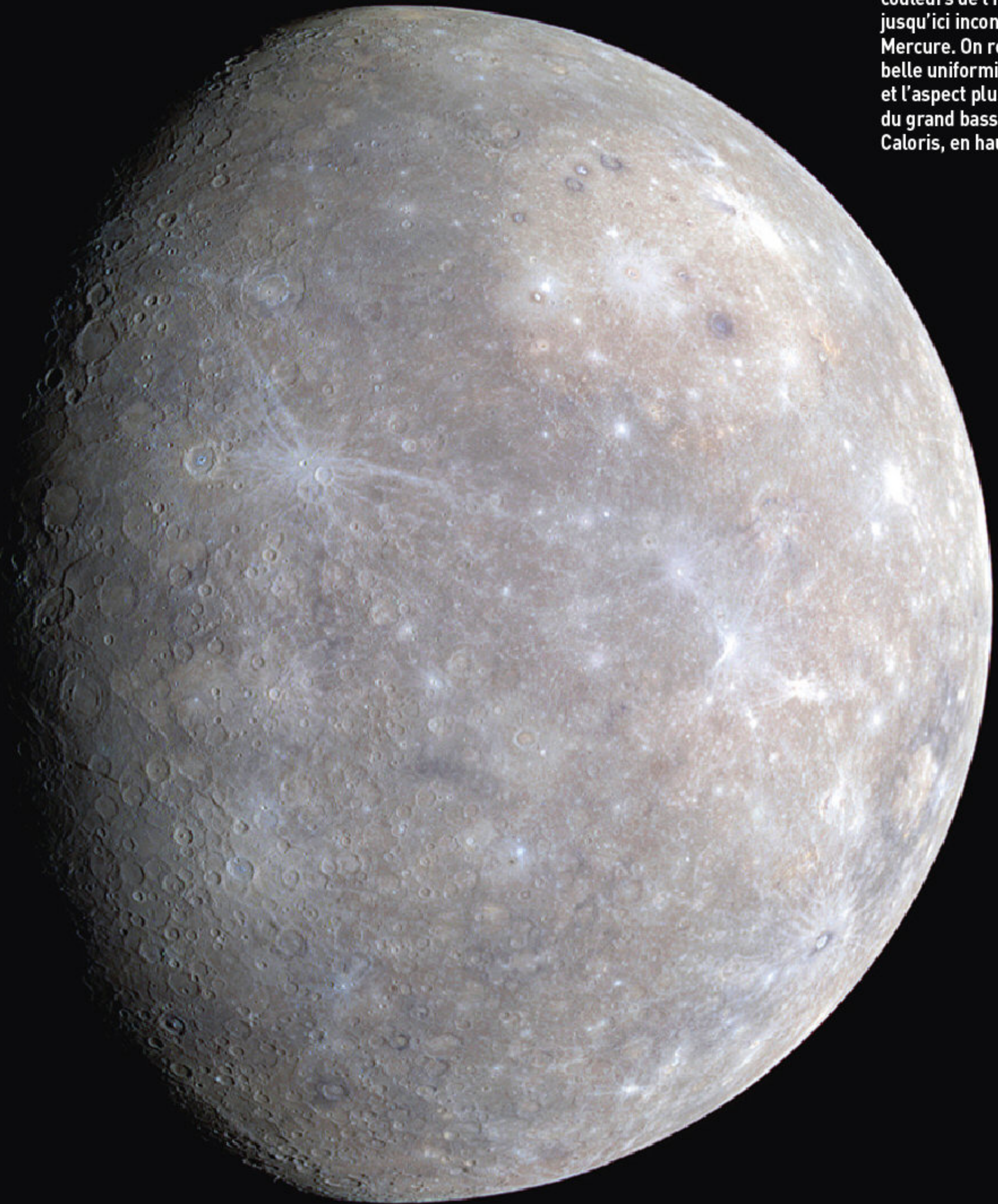
**Période de rotation** : 59 jours terrestres  
**Diamètre** : 4878 km / 0,38 Terre  
**Masse** : 3,31.10<sup>23</sup> kg / 0,056 Terre  
**Gravité à l'équateur** : 3,7 m.s<sup>-2</sup> / 0,38 Terre

**Température moy.** : 167°C ; **max.** : 450°C ; **min.** : -180°C  
**Pression atmosphérique** : 10<sup>-14</sup> bar (Terre : 1 bar)  
**Composition** : potassium (31,7 %), sodium (25 %), oxygène (15 %), argon (7 %), hélium (6 %), azote (5 %)...

**Satellites** : aucun  
**Particularité** : plutôt lisse  
**Découverte** : les Babyloniens, XIV<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

**LES COULEURS  
DE MERCURE**

Les scientifiques de la mission Messenger ont produit cette image en couleurs de l'hémisphère jusqu'ici inconnu de Mercure. On remarque une belle uniformité des teintes et l'aspect plus clair du grand bassin d'impact Caloris, en haut, à droite.



notamment par des observations de sa surface, les chercheurs espèrent maintenant découvrir quelles conditions président à la formation d'une planète au voisinage du Soleil. Sa composition, la présence d'éléments volatils, la mesure précise de son champ magnétique sont autant de pistes pour y parvenir. Les résultats de Messenger pourraient même dépasser le simple cadre de l'histoire du Système solaire et donner des indications sur les exoplanètes, dont certaines sont très proches de leur étoile. Mais ce premier survol de Messenger n'était

### ↓ RASE-MOTTES

Un cratère de 110 km de diamètre situé dans l'hémisphère Nord de Mercure, photographié par Messenger lors de son deuxième survol, le 6 octobre 2008.

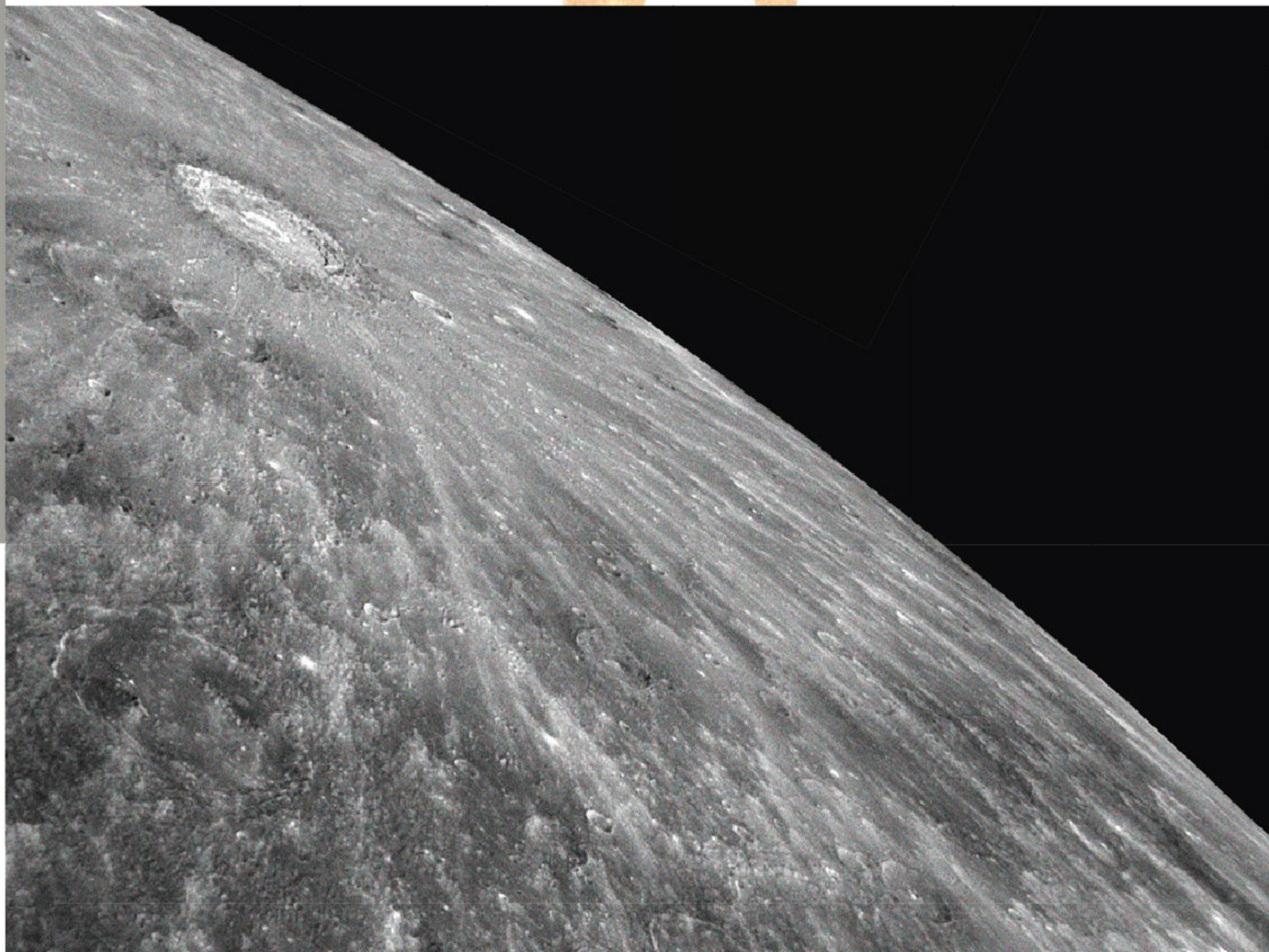
que le début de l'enquête. Pour des raisons de navigation et de mécanique céleste, la sonde a dû ensuite s'éloigner de Mercure. Et l'a croisée à nouveau le 6 octobre 2008, puis le 29 septembre 2009. Mais ces rendez-vous n'ont pas eu la même intensité que le premier, car les régions alors éclairées par le Soleil étaient en majeure partie celles déjà vues par Mariner 10. Pour découvrir de nouvelles terrae incognitae, il faudra attendre le 18 mars 2011. Alors satellisée pour une durée minimale d'un an, la sonde passera toutes les 12 heures au-dessus des pôles de Mercure. Ses instruments résoudront sûrement un autre grand mystère : y a-t-il de la glace au fond des cratères polaires, perpétuellement à l'abri des rayons du Soleil ?

**Philippe Henarejos** [ janvier 2008 ]

(1) TU : temps universel.

# J+1

**D**ES CRATÈRES d'impact, des plaines lisses, des escarpements... Sur les clichés de la sonde Messenger, Mercure ressemble à la Lune. Et pourtant, dans leurs constats préliminaires, les scientifiques américains qui dirigent la mission parlent d'un "monde unique", avec ses propres particularités. C'est un peu comme si, en photographiant la plus grande partie de l'hémisphère inconnu, ils avaient redécouvert cette planète oubliée depuis 1975 et son survol par Mariner 10. Bien sûr, les images de Messenger ont un petit air de déjà-vu.



Mais elles livrent tout de même leur lot de surprises. À commencer par les couleurs de la surface, si mal perçues par Mariner 10. *“Contrairement à la Lune, où l’on voit des étendues claires et d’autres sombres, tout est à peu près de la même couleur, note Pierre Thomas, géologue spécialiste des planètes, à l’ÉNS de Lyon. Ce qui semble indiquer que terrains anciens et jeunes sont de même nature.”* Une interrogation accentuée par l’aspect de Caloris, le plus grand bassin d’impact de Mercure. Photographié pour la première fois en entier, celui-ci apparaît sensiblement plus clair que les autres régions, alors qu’il est rempli de lave, comme les mers lunaires... qui sont sombres. Autre curiosité : le nombre impressionnant de cratères d’impacts très brillants qui constellent la surface. Or, comme le remarque Pierre Thomas, *“en général, un impact brillant est jeune. Ce qui l’assombrit, ou le vieillit, c’est surtout le*

*vent solaire. Et sur Mercure, celui-ci est plus intense que sur n’importe quelle autre planète”.* Faut-il en conclure que ces cratères sont réellement très jeunes — ce qui signifierait que Mercure est plus fréquemment bombardée que la Lune ou Mars ? *“Le nombre de comètes chutant sur le Soleil découvertes par le satellite Soho me suggère que ces cratères pourraient être créés par des comètes, avance Pierre Thomas.*

*La probabilité d’impact avec des comètes est-elle plus forte près du Soleil ?”* Déjà, les nouveaux clichés posent leurs énigmes.

**Philippe Henarejos [mars 2008]**

## ↓ MERCURE, VERSION MARINER 10

La planète Mercure... telle que la voyait la sonde américaine Mariner 10. Cette image-mosaïque de l’hémisphère Sud a été colorisée artificiellement.

## ↓ DES CRATÈRES À DOUBLE ENCEINTE

Mercure compte des cratères à deux enceintes concentriques. À partir de 200 km de diamètre, le rebond central d’un cratère mercurien devient un anneau montagneux. Ici, l’enceinte extérieure fait 260 km de diamètre.

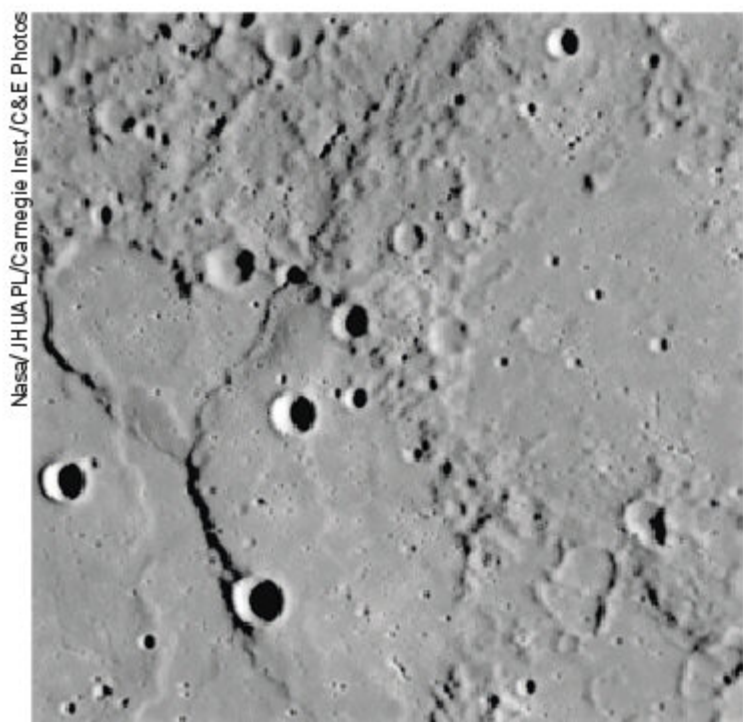


## VISITES

Avant Messenger, la plus petite planète du Système solaire n’a été visitée que par la sonde Mariner 10. L’engin de la Nasa a effectué un premier survol le 29 mars 1974, à 703 km d’altitude, un autre le 21 septembre 1974, à 48069 km, et enfin un dernier, le 16 mars 1975, à 327 km d’altitude. Mariner 10 a alors fourni les premières images proches de 45 % de la surface de Mercure. La prochaine mission, Beppi-Colombo, européenne, est prévue pour 2014.

## in fine

**“A**VANT les passages de la sonde Messenger près de Mercure en janvier et en octobre 2008, nous n'étions pas certains de l'existence d'une activité volcanique sur la planète”, rappelle Brett Denevi, de l'université d'Arizona. Depuis, ses collègues scientifiques et lui ont établi que 40 % de la surface de Mercure (maintenant photographiée à 90%) sont en fait des plaines volcaniques. Et aussi que certains cratères



Nasa/JHU APL/Carnegie Inst./C&E Photos

### ↑ LES VESTIGES DE LA CONTRACTION

Partout sur Mercure sont présents ces longs escarpements (lignes) qui serpentent à travers les terrains, souvent orientés par rapport au bassin d'impact Caloris. Ils sont les témoins de la contraction subie par la planète après la phase de bombardements.

de la planète sont des volcans anciens. *“Une découverte importante”*, assure Thomas Watters, membre de l'équipe scientifique de Messenger. De même, la sonde spatiale a identifié d'importantes quantités de magnésium à la surface, dans des proportions bien supérieures à ce que l'on observe sur Terre. Le 29 septembre 2009 revêtait donc un intérêt particulier pour les planétologues. Pour la troisième fois, la sonde américaine lancée en 2004 a frôlé les reliefs mercuriens. Juste avant de filer à seulement 231 km au-dessus de l'hémisphère nocturne de la planète, elle a complété sa cartographie en dévoilant les 10% de la surface inconnus. Son spectromètre infrarouge et son magnétomètre ont été mis en fonction pour tenter d'arracher quelques secrets minéralogiques à cette fausse jumelle de la Lune.

Au chapitre des curiosités à comprendre : l'aspect des gros bassins d'impact de Mercure. Les astronomes connaissaient déjà Caloris, une énorme dépression circulaire de plus de 1 550 km de diamètre. Au cours des deux précédents survols, ils avaient découvert Rembrandt, 715 km de diamètre, qui serait âgé de “seulement” de 3,9 milliards d'années. Il se serait formé à la fin de la période de bombardement météoritique intense qu'a connu le jeune Système solaire. Surtout, *“c'est le premier bassin observé sur cette planète dont le terrain est bien exposé, et non recouvert d'une épaisse couche de matières volcaniques”*, souligne Thomas Watters. Grâce à l'instrument de prise de vue de Messenger, le MDIS (Mercury Dual Imaging System),

les chercheurs ont ainsi pu y détecter des marques uniques de déformation tectonique, dont certaines causées par la contraction de la planète avec le temps. *“Comme Caloris, le cratère central de Rembrandt se présente sous la forme d'un rayonnement de failles, lui donnant l'apparence d'une araignée aux multiples pattes”*, note le planétologue Pierre Thomas, de l'École normale supérieure de Lyon. Cette singularité, que l'on retrouve dans les deux bassins, serait unique dans le Système solaire. Si bien que seules de prudentes hypothèses sont avancées pour l'expliquer. *“Ces fissures pourraient être provoquées par le gonflement d'une chambre magmatique dans le sous-sol, qui fracturerait ainsi le sol soulevé de façon radiale”*, signale le géologue Charles Frankel. Sauf que, malgré l'apparente similitude des deux bassins, *“les failles de Rembrandt sont bizarrement proches les unes des autres. C'est un phénomène unique, qui n'existe pas chez Caloris, ni nulle part ailleurs”*, indique Thomas Watters. Du coup, aucun modèle actuel n'explique parfaitement l'apparition de ces failles.

Dans tous les cas, le survol du 29 septembre a permis d'en savoir davantage sur le passé volcanique de Mercure et l'histoire tectonique de la petite planète... En attendant la satellisation de Messenger sur une orbite polaire, le 18 mars 2011.

Charlie Shair [octobre 2009]

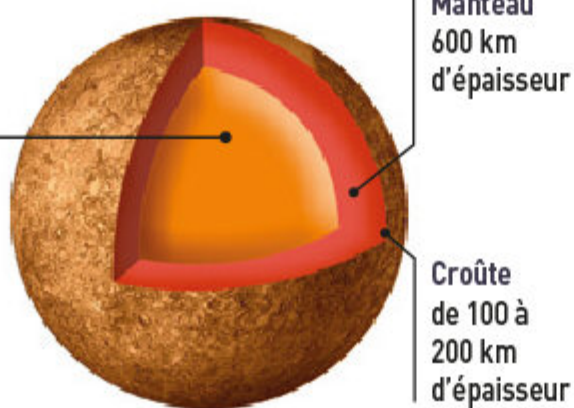
+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Mercury, planète de fer, enfer de planète, avec Pierre Thomas

### PROFIL GÉOLOGIQUE

Noyau  
1 800 km de rayon

Mercure aurait un noyau métallique liquide occupant 75 % de son volume total, ce qui lui permet d'engendrer un champ magnétique.



### L'ÉNIGME

Mercury est aussi dense que la Terre, mais 20 fois plus petite, avec un noyau de fer hypertrophié :

75 % de son volume, contre 17 % pour la Terre... Trois hypothèses sont en lice pour expliquer cette particularité.

1) Mercury aurait été heurtée par un corps ayant le sixième de sa masse, et le choc aurait éjecté son manteau. 2) La planète, formée précocement, aurait vu son manteau vaporisé par la puissance du très jeune Soleil. 3) Grâce à sa proximité du Soleil, elle aurait reçu davantage de fer que les autres planètes.

## LES MERS MERCURIENNES

Sur cette vue du bassin Caloris, les couleurs ont été accentuées afin de faire ressortir les variations géologiques de la surface. En jaune, les zones de lave (similaires aux mers lunaires), qui témoignent d'un épanchement magmatique consécutif aux impacts météoritiques.



SUMÉRIEN

*Inanna*

BABYLONIEN

*Ishtar*

GREC

*Aphrodite*

ARABE

*az-Zuhra*





LA TERRE ET VÉNUS SONT JUMELLES. Mais l'une est un havre pour la vie, l'autre le pire des enfers. En quatre ans, la sonde Venus Express nous a aidés à comprendre ce qui a mal tourné... Quelles questions se posait-on avant son envoi ? Quelles réponses a-t-elle apporté ?

# VÉNUS

## UNE TERRE ÉVAPORÉE



**I**l y a de l'eau sur Vénus. L'affirmation a de quoi surprendre. Comment imaginer un seul instant, en effet, que le précieux liquide synonyme de vie sur Terre puisse subsister à la surface de ce monde chauffé en permanence à plus de 450 °C ? À cette température, le plomb fond instantanément... Et pourtant, il y a de l'eau sur Vénus, ou plus exactement dans son atmosphère, surtout connue pour sa pression phénoménale (92,5 fois supérieure à la pression terrestre, au niveau de la mer) et son caractère totalement irrespirable (le gaz carbonique représente 96 % de sa composition). *"Faible en proportion par rapport aux autres composants, cette eau serait toutefois en quantité suffisante pour recouvrir la planète d'une*

*épaisseur liquide de 3 cm"*, révèle Jean-Loup Bertaux, du service d'aéronomie du CNRS. De cette eau à l'état gazeux, les concepteurs de la sonde Venus Express attendent des révélations. Le 11 avril 2006, leur curiosité sera satisfaite. Ce jour-là, le vaisseau européen doit se satelliser autour de la planète-enfer. Dès lors, Venus Express reprendra une enquête débutée par les Américains et les Russes dans les années 1960 et interrompue en 1994, avec la fin de la mission Magellan. Mais, alors que l'essentiel des efforts passés avait porté sur la découverte de la surface de Vénus, perpétuellement voilée par les nuages, la sonde de l'ESA consacrera ses 500 jours de mission à l'étude de l'atmosphère. Parmi les priorités, la compréhension de l'histoire de l'eau. Comme sur Mars, arriver à savoir quelle quantité d'eau était présente sur la planète à l'époque de sa formation, voici 4,5 milliards d'années, revêt une importance particulière. Car, y compris sur Terre, l'origine de cette eau demeure une énigme.

Philippe Henarejos [avril 2006]

### ← ÉRUPTIONS

Il y a 500 millions d'années, Vénus aurait connu un épisode de volcanisme actif déclenchant un fort effet de serre (vue d'artiste). La violence du vent solaire lui aurait alors arraché la vapeur d'eau.

ESA/C&E Photos



## Deuxième planète, dite "l'Étoile du berger"

**Distance au Soleil :** 108 millions de km / 0,72 UA  
**Période de révolution :** 224,7 jours terrestres  
**Inclinaison de l'orbite/excentricité :** 3,4° / 0,0067

**Période de rotation :** 243 jours terrestres  
**Diamètre :** 12 100 km / 0,95 Terre  
**Masse :** 4,87.10<sup>24</sup> kg / 0,815 Terre  
**Gravité à l'équateur :** 8,87 m.s<sup>-2</sup> / 0,904 Terre

**Température moy. :** 461 °C ; **max. :** 490 °C ; **min. :** 446 °C  
**Pression atmosphérique :** 92,5 bar [Terre : 1 bar]  
**Composition atmosphérique :** gaz carbonique (96 %) ; diazote (3,5 %) , dioxyde de soufre (0,015%)

**Satellites :** aucun  
**Particularité :** se lève et se couche avec le Soleil  
**Découverte :** les Babyloniens, XIV<sup>e</sup> siècle av. J.-C.



Nasa/C&E Photos

# Aujourd'hui

**Q**UE s'est-il donc passé ? Depuis quarante ans, les astronomes qui se penchent sur l'histoire de Vénus restent perplexes. Comment une planète si proche de la Terre est-elle devenue un tel enfer ? Vénus est une planète morte, constellée de plus d'un millier de volcans, où la pression dépasse 90 fois celle de la Terre et la température moyenne de 460°C suffirait à faire fondre du plomb. Pour seul décor, un désert de roches basaltiques érodées par les vapeurs acides. Il y a bien des lits de rivière qui courent à la surface. Mais seuls la lave et les métaux liquides y ont jadis coulé. Outre les cratères d'éruption, les uniques reliefs sont des hauts

## ↓ LE PROFIL DE MAAT MONS

Reconstitution en trois dimensions du volcan-bouclier Maat Mons, 8 km d'altitude, grâce aux données altimétriques de la sonde Magellan (l'échelle verticale a été exagérée 22 fois).

plateaux de la taille de continents — à l'instar d'Ishtar Terra, grand comme l'Australie, dominé en son centre par les monts Maxwell (11 km d'altitude). Les plaines forment sinon l'essentiel de la géographie vénusienne.

L'atmosphère n'est pas plus tendre. Dans ses couches basses, une fine pellicule de vapeur d'eau est vite recouverte à 40 km d'altitude par un voile de monoxyde de carbone. Plus haut, entre 45 et 75 km d'altitude, dans la haute atmosphère, les nuages sont chargés d'acide sulfurique. C'est d'ailleurs à cette richesse en soufre que Vénus doit son éclat, ces particules renvoyant jusqu'à 80 % du rayonnement solaire. On comprend dès lors pourquoi "l'Étoile du berger" brille si intensément dans le crépuscule. Au XIX<sup>e</sup> siècle naît le fantasme d'une planète au climat tropical, peuplé d'une faune aussi luxuriante qu'exotique. Hélas, en 1962, la sonde américaine Mariner 2 vaporise les rêves de vie vénusienne, en révélant un monde inhospitalier.

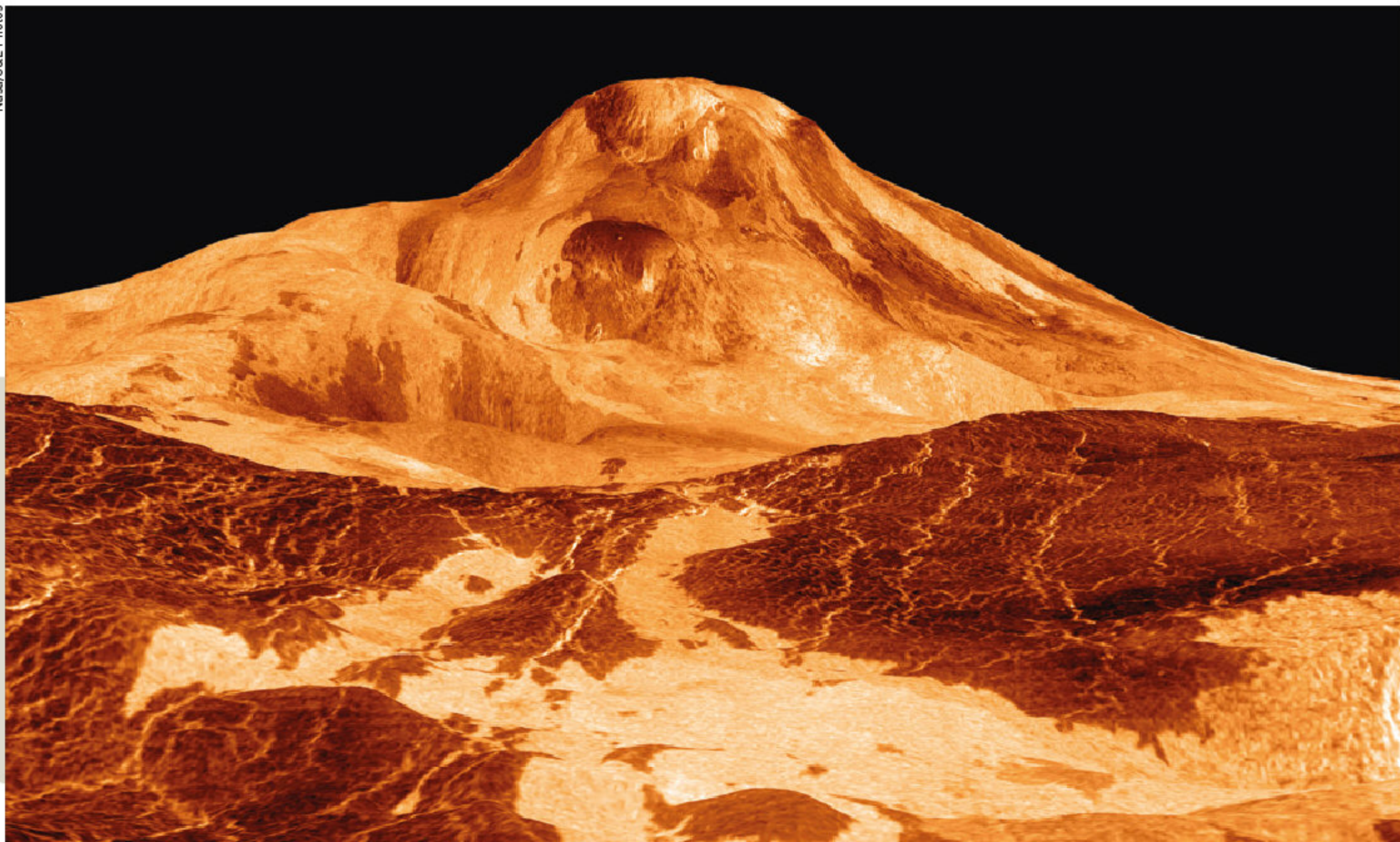
*"Pourtant, Vénus est une jumelle de la Terre, souligne Éric Chassefière, du Latmos<sup>(1)</sup>. Rayon, masse, densité... Par beaucoup d'aspects, Vénus est plus proche de la Terre que Mars, et les modèles de formation montrent*

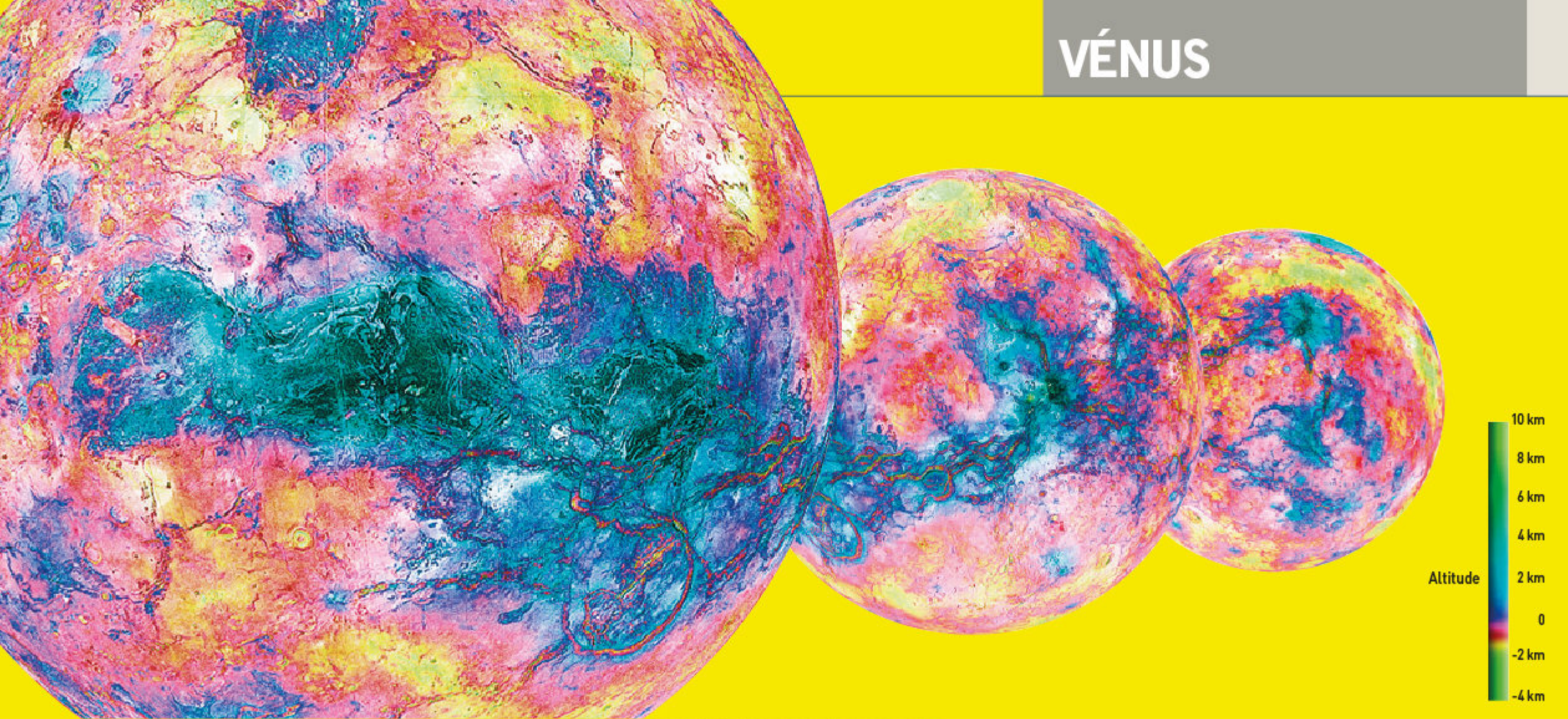
*que les deux planètes sont nées de la même manière." Pourquoi alors sont-elles si différentes aujourd'hui ? Nombre de chercheurs pensent que l'atmosphère de Vénus ressemble à celle de la jeune Terre, quand celle-ci n'avait que quelques centaines de millions d'années. Mais sur notre planète, le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) a été piégé par les océans, où il s'est déposé sous forme de carbonates.*



Nasa/JPL/USGS/C&E Photos

Nasa/C&E Photos





Or, si l'eau abonde sur Terre, formant une couche d'une épaisseur moyenne de 2,8 km sur la croûte planétaire, toute l'eau de Vénus ne ferait qu'une mince pellicule de 14 mm ! Notre voisine a visiblement reçu moins d'eau à la naissance. Et si jamais elle a possédé un océan global, celui-ci n'a fait que 30 à 100 m de profondeur. Mais où a-t-il disparu ?

Depuis les mesures de la sonde américaine Pioneer-Venus, en 1979, les chercheurs soupçonnent que l'eau de Vénus s'est échappée dans l'espace. Témoin de cette fuite, le deutérium, un isotope de l'hydrogène. Alors que sur Terre, le deutérium ne compte que pour 0,015 % de l'hydrogène présent dans l'océan, celui-ci est 120 fois plus abondant dans l'atmosphère de Vénus. La raison ? Les atomes d'hydrogène auraient été arrachés à l'atmosphère, tandis que le deutérium, plus lourd, serait resté captif du champ gravita-

tionnel de Vénus. Une théorie renforcée par les données de Venus Express.

Depuis avril 2006, la mission européenne analyse l'atmosphère et la surface de la planète : profil thermique, composition de l'atmosphère, dynamique des vents et des nuages... La sonde alterne étude détaillée et vue globale grâce à une orbite elliptique qui lui permet d'effectuer des mesures fines à 250 km d'altitude, puis d'observer l'hémisphère Sud de Vénus à quelque 66000 km de distance. Elle a ainsi confirmé l'échappement des atomes d'oxygène et d'hydrogène depuis le côté nocturne de la planète. Mais si les chercheurs savent que les ultraviolets (UV) brisent et ionisent ces atomes, ils ignorent en revanche comment ceux-ci sont arrachés à la planète. À ce jour, le vent solaire est le principal suspect. Avec les mesures de Venus Express, c'est tout un

## ↑ 70 % DE PLAINES

La surface de Vénus, vue ici en radar, est dépourvue de plaques tectoniques, mais dotée de volcans et de plateaux continentaux.

scénario de l'échappement catastrophique de l'eau de Vénus qui s'affirme.

Il y a 4,5 milliards d'années, le Soleil était 30 % moins brillant. À cette époque, Vénus bénéficie d'un ensoleillement clément, qui autorise la présence d'eau liquide à sa surface. Mais avec l'augmentation progressive du rayonnement solaire, la planète commence à se réchauffer. C'est le début d'un effet de serre : l'océan primordial s'évapore peu à peu, et la vapeur augmente la température ambiante, accélérant l'évaporation. Cet emballement du climat est aggravé par la rotation extrêmement lente de la planète : un jour sur Vénus dure 243 jours terrestres !



Une des premières vues du sol de Vénus, prise par Venera 14 en mars 1982. La sonde soviétique n'a survécu que 57 minutes.

## VISITES

Vénus a été très tôt et très souvent visitée par plus d'une dizaine de sondes notamment du programme soviétique

Venera (de 1961 à 1983), la mission Mariner 2 (USA, 1962), Pioneer Venus (USA, 1978), Véga (URSS, 1985), Magellan (USA, 1990), etc. Le 15 décembre 1970, Venera 7 a été la première sonde à atterrir saine et sauve sur cette planète : elle a transmis pendant 23 minutes... Les prochaines missions en préparation comptent Venera D (Russie, 2016) et European Venus Explorer (Europe, entre 2014 et 2018).

Une fois dans l'atmosphère, l'hydrogène de l'eau s'échappe dans l'espace sous l'action du vent solaire (contre lequel Vénus est peu protégée par son faible champ magnétique). L'oxygène, lui, s'associe au soufre craché par les volcans et forme des nuages d'acide sulfurique. Ironie de l'histoire, ce sont ces mêmes nuages de soufre qui ont maintenu la surface de Vénus à une moyenne de 461 °C, en stoppant la plus grande partie du rayonnement solaire. Sinon, la température grimperait encore ! Responsable de l'instrument Virtis sur Venus Express et directeur adjoint du Lesia <sup>(2)</sup>, Pierre Drossart préfère néanmoins rester prudent, soulignant que, si plausible soit-il, *"ce scénario ne nous dit pas si l'eau s'est échappée voici*

#### ↓ VÉNUS VUE DU CIEL

Image de la région de Leda Planitia dans l'hémisphère Nord de Vénus prise par la sonde Magellan (220 km de large x 275 km de long). La partie circulaire est probablement un cratère d'impact, baptisé Heloise (40 km de diamètre).

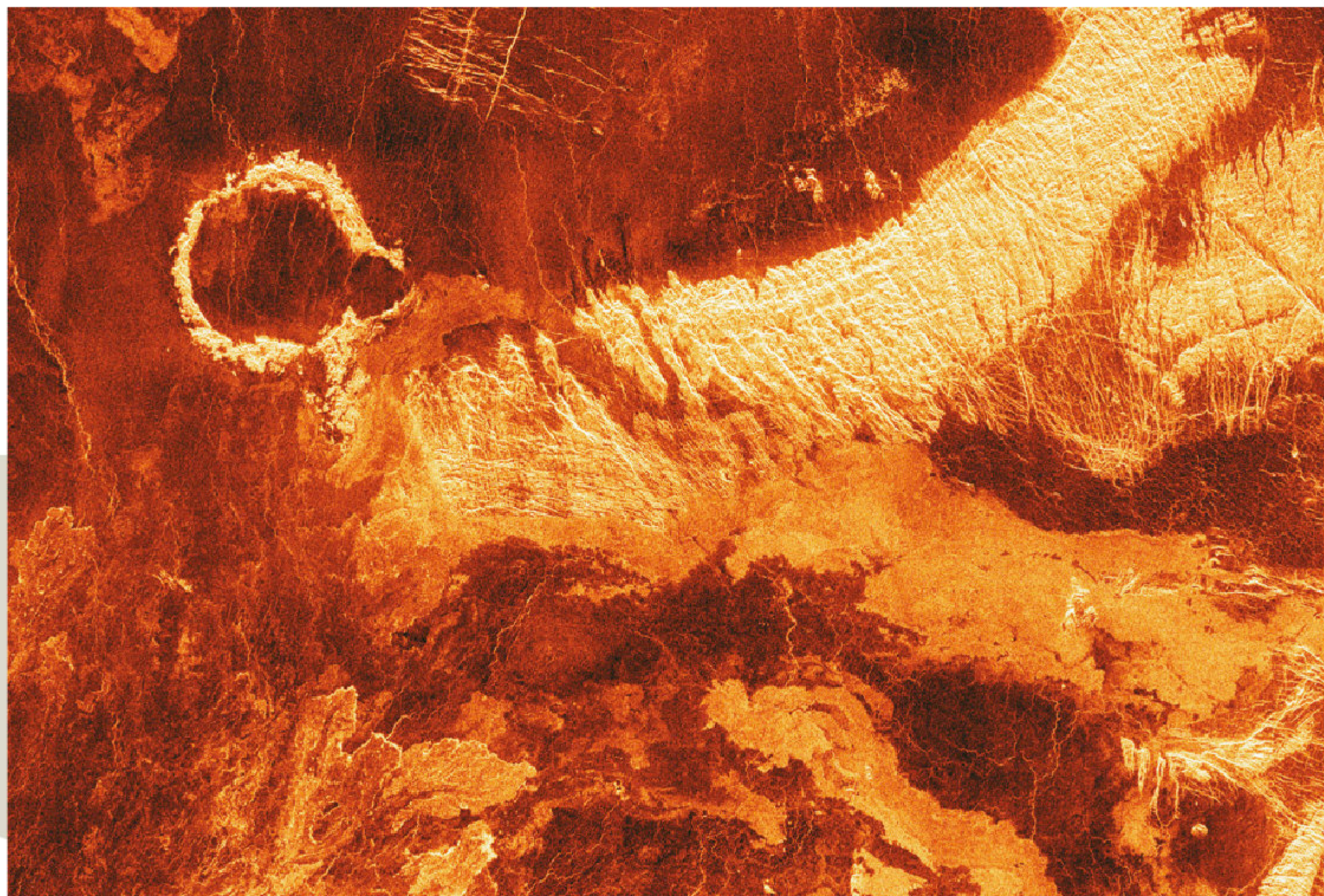
*plusieurs milliards d'années, quand Vénus était encore jeune, ou plus récemment, lors d'un épisode de volcanisme actif il y a 500 millions d'années".* Une hypothèse alternative que le chercheur n'exclut pas totalement : *"Ce que nous voyons à la surface pourrait être lié à la disparition de l'océan du fait d'un volcanisme actif."* Virtis a ainsi complété la cartographie établie par la sonde Magellan<sup>(3)</sup>, en révélant des zones d'anomalie thermique à la surface. *"On voit bien que le sol de Vénus n'est pas uniforme"*, explique Pierre Drossart. Un constat qui appuie l'hypothèse d'un volcanisme récent à la surface de Vénus. En effet, si celle-ci subit une érosion chimique due à l'interaction avec l'atmosphère, les surfaces jeunes (renouvelées par des coulées volcaniques) présentent un aspect différent de celui des zones plus anciennes.

Venus Express a certes permis *"de mettre des chiffres là où nous n'avions que des ordres de grandeur"*, comme l'indique Pierre Drossart, mais ses observations ne répondent pas forcément à toutes les questions. Ainsi, difficile

de savoir s'il existe encore un volcanisme actif sur Vénus. *"Si une source volcanique importante existait, nous aurions mesuré une plus forte proportion de dioxyde de soufre, note Pierre Drossart. Or, ce n'est pas le cas."* Pas de conclusion hâtive, toutefois : *"Peut-être n'avons-nous pas regardé au bon endroit, au bon moment !"*

En revanche, les nuages d'acide sulfurique ont réservé une surprise à l'équipe de Venus Express : des éclairs ! Avec la Terre, Saturne et Jupiter, Vénus devient donc la quatrième planète du Système solaire à connaître des orages. Détectés par le magnétomètre de la sonde, ces éclairs prouvent que la foudre ne naît pas seulement dans des nuages d'eau en suspension. Ils intéressent d'autant plus les chercheurs que la foudre, en cassant l'agencement des atomes, permet souvent leur recombinaison d'une manière inédite, créant ainsi de nouvelles molécules.

Un instrument de Venus Express, en revanche, ne servira jamais. Conçu pour mesurer la composition chimique de



Nasa/JPL/C&E Photos



ESA/C&E Photos

la basse atmosphère, sa température, ainsi que celle de la surface, le Planetary Fourier Spectrometer (PFS) a été gelé par le froid spatial et rendu incapable de bouger pour viser Vénus. Une défection que regrette Pierre Drossart : *“Le PFS nous a beaucoup manqué car nous aurions aimé connaître la variation en température de l’atmosphère selon l’altitude. Mais heureusement, nous avons pu compenser en partie avec *Virtis*.”*

Outre le passé de Vénus, certains phénomènes actuels intriguent les astronomes. Ainsi, la super-rotation de l’atmosphère : les nuages font le tour de la planète en seulement quatre jours ! À une soixantaine de kilomètres d’altitude, ils filent à 360 km/h, soit trois fois plus vite que les cyclones terrestres... À une altitude inférieure, dans la basse atmosphère, Venus Express a relevé des vents soufflant à 210 km/h. Les scientifiques se sentent un peu dépassés par ce curieux phénomène : *“Nos modèles de circulation générale n’arrivent pas à reproduire la super-rotation et nous ne comprenons pas pourquoi*, commente Éric Chassefière. Pour y parvenir, il faudrait aller sur place pour mesurer le vent, ainsi que le rayonnement solaire et la chaleur émise par le sol qui jouent un rôle dans la dynamique des vents, indique le chercheur.

Une fois n’est pas coutume, la mesure de la dynamique des vents a reçu une aide inattendue d’un mystérieux composé chimique présent dans la haute atmosphère. En observant les régions nuageuses les plus sombres, les chercheurs ont détecté un gaz qui absorbe une partie du rayonnement UV du Soleil. Bien que sa nature soit encore inconnue, cet

## → EMPORTÉE PAR LE VENT

À la naissance du Système solaire, voici 4,5 milliards d’années, Vénus avait bien moins d’eau que la Terre. Et celle-ci aurait été “soufflée” par le vent solaire.

invité-surprise pourrait être un gaz de soufre, acheminé depuis la basse atmosphère à l’équateur jusqu’au sommet des nuages.

Mais tout mystérieux qu’il soit, “l’absorbant UV” a permis de “marquer” les nuages, et donc de préciser leur vitesse et leur déplacement. Il est ainsi apparu que la super-rotation donnait une forme originale aux masses d’air sur Vénus. Sur Terre, les nuages se forment à l’équateur et se déplacent ensuite horizontalement vers les pôles, où ils perdent de l’altitude en se refroidissant. Il en va de même sur Vénus, avec cette différence que la super-rotation imprime aux masses d’air une forme de spirale, qui les fait s’enrouler autour du pôle en un énorme vortex. Cet œil monstrueux, d’un diamètre de 2500 km, tourne autour du pôle Sud en seulement deux jours et demi. La vaste structure, qui se dédouble parfois pour rapidement fusionner à nouveau, a été observée par la caméra VMC de la sonde avec un luxe de détails.

Venus Express a fourni une profusion d’informations qui, loin de répondre à toutes les questions, en pose même de nouvelles. Cependant, Pierre Drossart s’estime satisfait de la mission : *“La sonde a bien rempli son objectif, et nous avons obtenu des résultats originaux.”* Éric Chassefière est plus partagé : *“Grâce à Venus Express, nous en savons davantage sur la physique et la chimie de la haute*

*atmosphère. Toutefois, la mission n’a pas révolutionné notre connaissance de Vénus.”* Le chercheur du Latmos regrette en particulier que les données recueillies n’aient pas permis de mieux reconstituer l’histoire de la planète. La mesure des gaz rares, par exemple, a été laissée de côté, alors qu’elle aurait aidé à comprendre comment notre jumelle s’est formée. Mais, si leur avis sur Venus Express diffère, les deux scientifiques s’accordent pour reconnaître que les prochaines missions vénusiennes devront utiliser des ballons pour plonger dans l’atmosphère et récolter des données *in situ*.

**Simon Castéran [avril 2010]**

(1) Latmos : Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales.

(2) Laboratoire d’études spatiales et d’instrumentation en astrophysique, de l’observatoire de Paris.

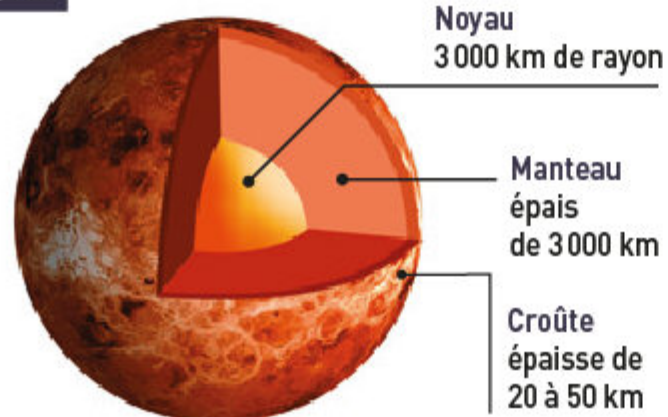
(3) De 1990 à 1994, la sonde américaine Magellan a cartographié la quasi-totalité de la surface de Vénus. Un relevé effectué grâce à son radar, capable de percer les épais nuages de la planète.

+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Et si on revenait sur Vénus, avec Eric Chassefière

## PROFIL GÉOLOGIQUE

Une croûte silicatée, un manteau de silicates et d’oxydes métalliques, et un noyau de fer et de nickel en deux parties : l’externe (liquide) et l’interne (solide).



## DERNIÈRES NOUVELLES

ESA – Vénus pourrait être encore active géologiquement. Selon les dernières informations recueillies par

Venus Express (mai 2010), des coulées de lave récentes dans plusieurs régions de la planète auraient été identifiées par le spectromètre infrarouge *Virtis* de la sonde. Certes, il s’agit de coulées dont l’âge approximatif serait de 2,5 millions d’années, mais à l’échelle du temps géologique, cela rend possible l’existence actuelle d’une activité volcanique ou éruptive.

**EAU OU PAS EAU ?** Les réponses à cette question ont fluctué au rythme des visites du satellite de la Terre depuis 1959... pour enfin aboutir à une certitude : eau !

# LUNE HISTOIRE D'EAU

**J-1** **“O N ne voit pas le névé !”** Par cette boutade, Sylvestre Maurice, chercheur dans l'équipe Surfaces et intérieurs planétaires au Centre d'étude spatiale des rayonnements de Toulouse (CESR), résume les récentes observations de Kaguya. La sonde japonaise a scruté, à la faveur de rares périodes d'illumination, les cratères du pôle Sud de la Lune, plongés la plupart du temps dans l'obscurité. Ces cratères ont longtemps suscité l'espoir que de l'eau y subsiste sous forme de glace, du fait du froid qui y règne.

Une eau précieuse pour les futures missions habitées, afin d'en tirer l'oxygène et l'hydrogène nécessaires à la respiration et à la propulsion des engins spatiaux. La perspective semblait tellement alléchante que la Nasa avait déjà préparé les plans d'usines d'extraction.

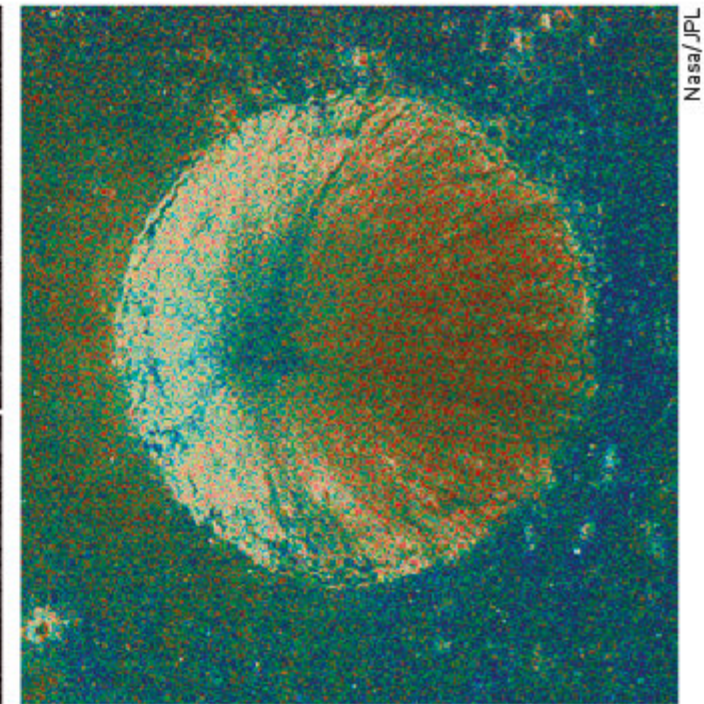
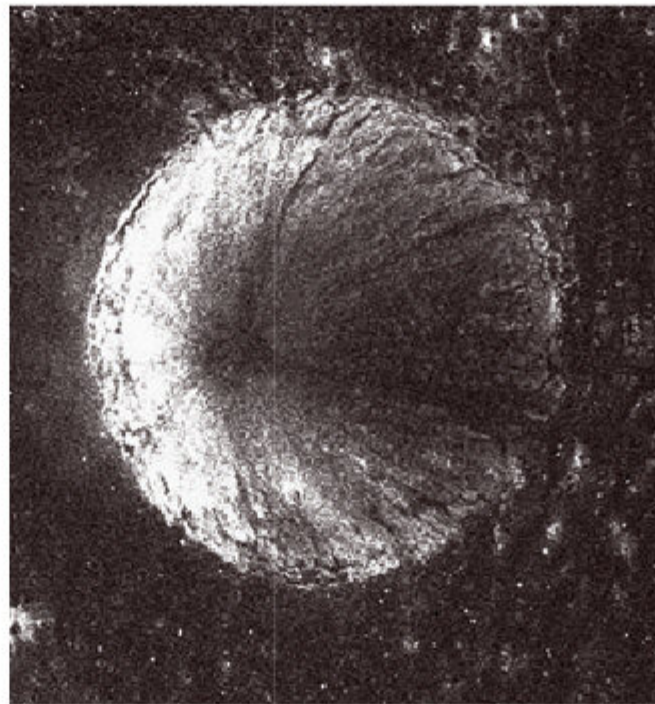
## → Ô QUE D'EAU !

Ce cratère de 8 km de diamètre se trouve à l'intérieur du cirque Rojdestvenski (177 km de diamètre), près du pôle Nord. La présence d'eau y a été mise en évidence en juillet 2010 par la sonde Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO). La couleur rouge indique les zones de forte polarisation circulaire de la lumière, caractéristique de la présence de glace.

Mais aucun reflet de glacier dans les clichés optiques de Kaguya. Et aucun signal dans ses données radars, qui permettent de connaître la texture du terrain. *“S'il y avait de la glace, on verrait son influence sur cette texture”*, souligne Lionel D'Uston, à la tête de l'équipe du CESR et coresponsable scientifique d'un instrument de Kaguya. Sur Terre, les observations radars réalisées au radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico) n'ont rien détecté non plus. L'onde pénètre pourtant dans les 30 premiers centimètres du sous-sol lunaire. Ces résultats restent

à confirmer par plus de mesures, d'autant que les sondes se bousculent autour de la Lune. Mais ils suggèrent fortement que la présence d'eau sous forme de glace de surface, même aux pôles, est peu probable. Et d'ailleurs, cette eau existe-t-elle vraiment ? On l'a longtemps cru. Depuis la nuit des temps, les humains qui regardaient le ciel voyaient à la surface de l'astre les fameuses “mers lunaires”. Mais Galilée, qui observe le Système solaire avec sa lunette dès 1609, doute de leur nature. Elles se révéleront être de grandes et sombres plaines basaltiques. Au XX<sup>e</sup> siècle, les progrès de l'astronomie puis les missions Apollo forgeront l'opinion des scientifiques : la Lune est désespérément sèche.

Jusqu'à ce qu'en 1994, la sonde américaine Clementine détecte grâce à son radar ce que les scientifiques croient être de l'eau au pôle Sud lunaire. La mission suivante, Lunar Prospector, est munie d'un spectromètre à neutrons, capable de détecter l'hy-



Nasa/JPL



## Satellite de la Terre, à l'origine de l'adjectif “lunatique”

**Distance à la Terre :** 384 399 km / 0,00257 UA

**Période de révolution autour de la Terre :** 27,32 jours

**Inclinaison par rapport à l'écliptique/équateur :** 5,1° / 18,28° à 28,57°

**Excentricité :** 0,055

**Période de rotation :** 27,32 jours **Diamètre :** 3 474 km / 0,273 Terre

**Masse :** 7,35.10<sup>22</sup> kg / 0,0123 Terre

**Gravité à l'équateur :** 1,622 m.s<sup>-2</sup> / 0,165 Terre

**Température moyenne :** - 100 °C ;

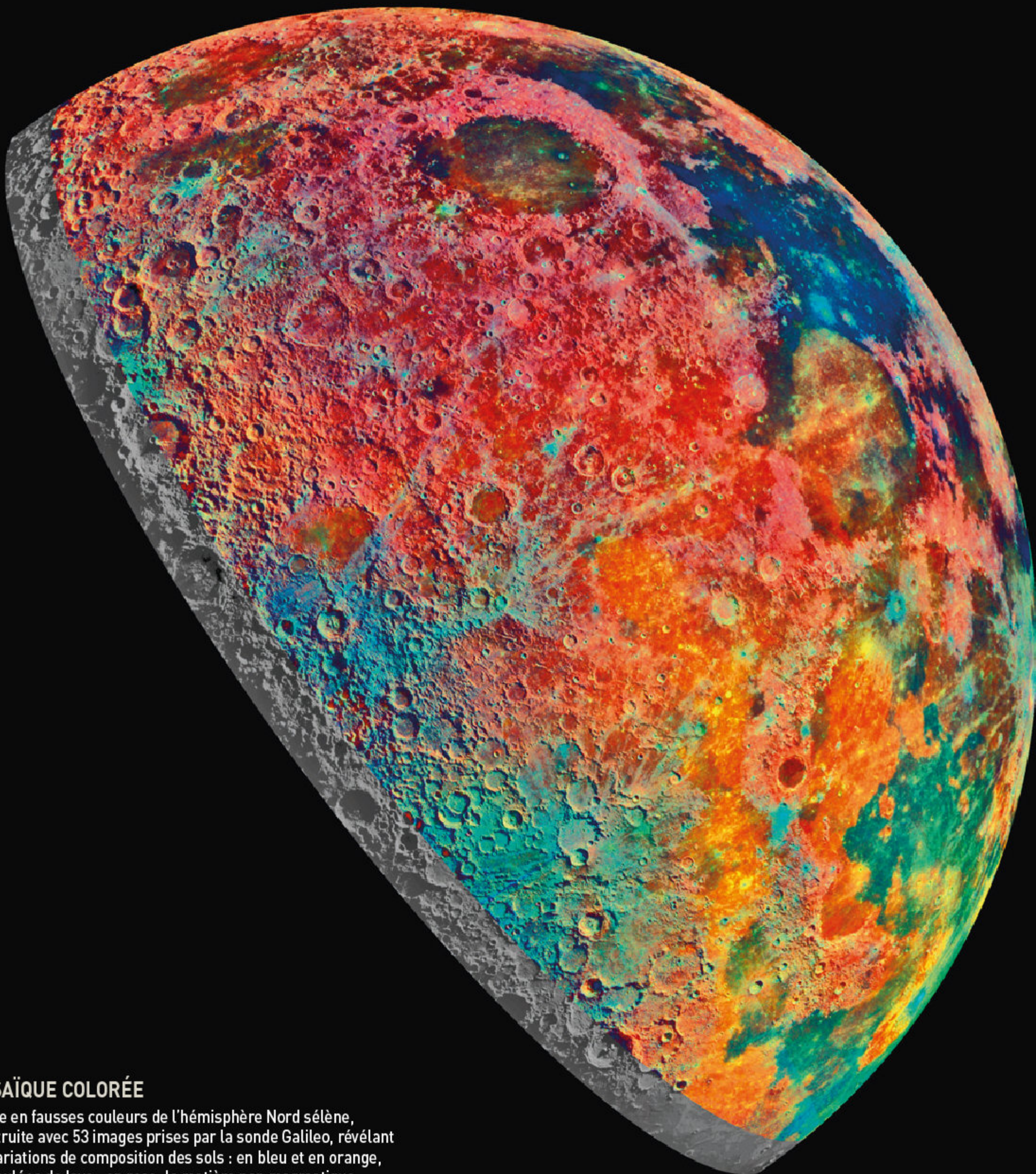
**maximale :** 120 °C ; **minimale :** -200 °C

**Atmosphère :** traces

**Pression en surface :** 10<sup>-13</sup> bar

**Composition atmosphérique :** argon, hélium, sodium, potassium, hydrogène, radon

**Particularité :** s'éclipse parfois



### MOSAÏQUE COLORÉE

Image en fausses couleurs de l'hémisphère Nord sélène, construite avec 53 images prises par la sonde Galileo, révélant les variations de composition des sols : en bleu et en orange, les coulées de lave ; en rose, la matière non magmatique ; en bleu clair, les traces d'impacts relativement récents.

drogène, un des constituants de la molécule d'eau H<sub>2</sub>O. Si l'hydrogène est rare dans les régions équatoriales, il se révèle bien plus abondant aux pôles : 1 500 ppm (parties par million) d'hydrogène, ce qui correspondrait à 1,5 % d'eau. Pas de quoi éteindre sa soif : "La région la plus sèche de Mars contient 2 % d'eau", compare Lionel d'Uston. Et surtout, hydrogène n'équivaut pas forcément eau. "Le vent solaire arrose la Lune de protons (la forme ionisée de l'hydrogène) qui pénètrent le sol sur quelques millimètres. Ensuite, ce sol est remanié, notamment par les impacts de météorites, et l'hydrogène est enfoui. On peut imaginer qu'il y en a sur 4 à 6 m de profondeur", souligne Sylvestre Maurice. Lunar Prospector n'a pas permis de localiser cet hydrogène avec précision, mais la sonde

Lunar Reconnaissance Orbiter, qui devait être lancée par la Nasa en mai 2009, dispose d'un instrument qui en sera capable et mesurera, cratère par cratère, l'abondance en hydrogène. "Il faudra des missions in situ pour trancher et dire si une partie de l'hydrogène détecté est celui de l'eau ou pas", estime cependant Sylvestre Maurice.

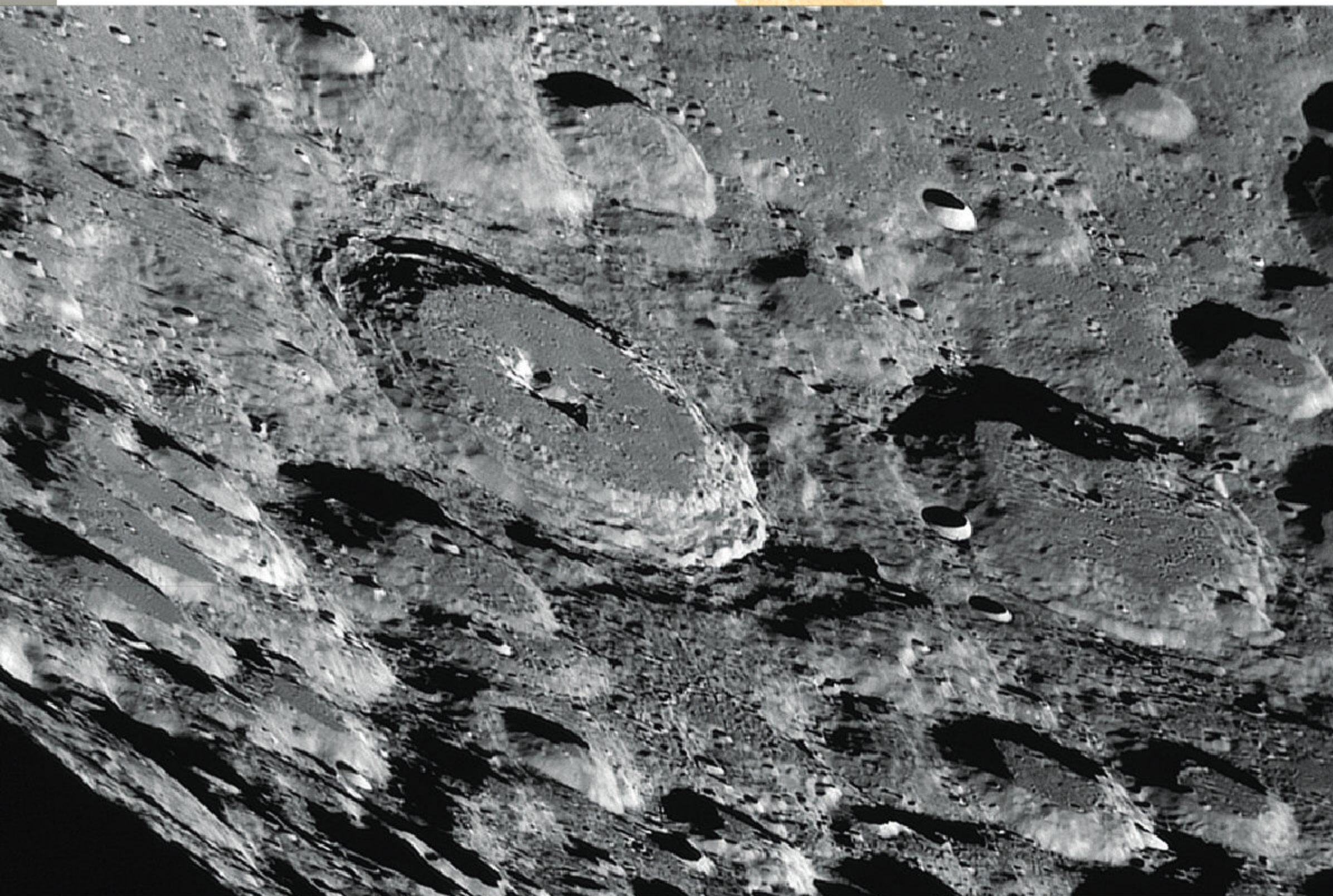
Si c'était le cas, d'où viendrait cette eau ? Probablement pas de la genèse de la Lune elle-même : la température était si élevée après la gigantesque collision supposée avoir engendré le satellite de la Terre, que la plupart des éléments légers se sont volatilisés. En revanche, les comètes sont de sérieuses candidates : "On estime à partir de l'observation des comètes dans le Système solaire actuel que quinze grosses comètes ont

pu tomber sur la Lune ces deux derniers milliards d'années", souligne Sylvestre Maurice. Elles ont pu y déposer des quantités d'eau phénoménales. Mais les conditions de température et de pression sur la Lune sont telles que cette eau ne peut se maintenir (elle se vaporise)... sauf peut-être à l'abri du Soleil, dans des régions très froides : les fameux cratères ! Il faudra donc les examiner de plus près pour en avoir le cœur net.

Jean-François Haït [ juillet 2009 ]

#### ↓ CIBLE DES KAMIKAZES

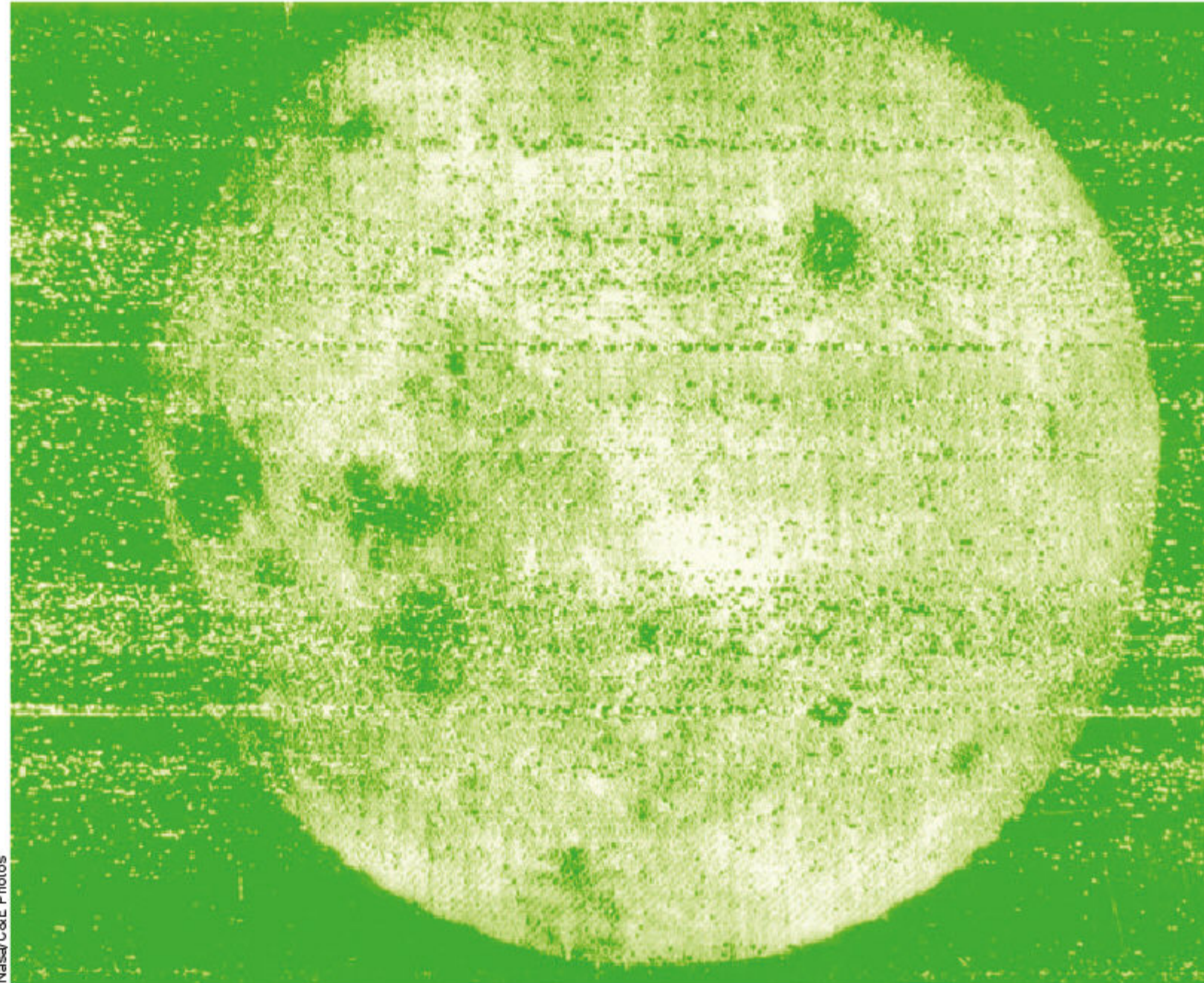
Le pôle Sud et ses cratères dans l'ombre sont la cible des "sourciers" lunaires. Le cirque Cabeus a été bombardé par la mission kamikaze LCROSS, en octobre 2009. Certes, de la glace d'eau a été trouvée, mais les communiqués de la Nasa restent discrets sur la quantité détectée...



W. Higgins/C&E Photos

J+1

**L**a Lune ne serait finalement pas totalement aride. C'est dans l'ombre éternelle des cratères polaires que l'on attendait l'eau, mais elle a d'abord été détectée sur presque toute la surface sélène. Grâce aux spectromètres embarqués sur trois sondes (Chandrayaan 1, la première mission lunaire indienne, qui s'est terminée fin août 2009 ; Deep Impact, passée non loin de la Lune sur sa route vers une nouvelle comète ; et Cassini, qui a survolé la Lune en 1999, avant de filer vers Saturne), une équipe internationale a découvert la signature de ce qui ne peut être que de l'eau. Celle-ci serait mêlée à une fine pellicule de poussière, plus précisément sous la forme de molécules fixées (adsorbées) à la surface des minéraux. Cette eau, dont la quantité fluctue à l'échelle d'une journée lunaire, est probablement formée par l'action du vent solaire chargé en protons ( $H^+$ ) sur le sol riche en oxygène. Les molécules d'eau  $H_2O$  ainsi créées se détachent des minéraux dès que la température augmente, au plus fort du jour lunaire, et se reforment le soir. Certes, "à raison d'un demi-litre pour l'équivalent d'un terrain de football", la Lune reste plus sèche que les déserts terrestres les plus arides, note Olivier Groussin, du Laboratoire d'astrophysique de



NASA/C&amp;E Photos

Marseille, qui a étudié les données de Deep Impact. Mais ce qui est intéressant, surtout, c'est le mode de formation des molécules d'eau : "Le phénomène était soupçonné, mais n'avait jamais été observé." Si ce processus a lieu sur la Lune, on peut imaginer qu'il existe dans d'autres environnements.

Annoncée fin septembre 2009, cette découverte inattendue a donné un coup de projecteur sur la mission kamikaze LCROSS. Un étage de fusée, suivi d'une sonde, s'apprê-

#### ↑ IMAGE BROUILLÉE

Après des siècles de spéculation, les humains découvrent enfin, le 7 octobre 1959, l'aspect de la face cachée de la Lune (ici, colorisée). L'exploit revient à la sonde soviétique Luna 3.

tait alors à s'écraser dans le cratère Cabeus, au pôle Sud de la Lune. Objectif : débusquer la glace d'eau qui pourrait être piégée depuis des millions d'années dans le fond du cratère, jamais effleuré par les rayons



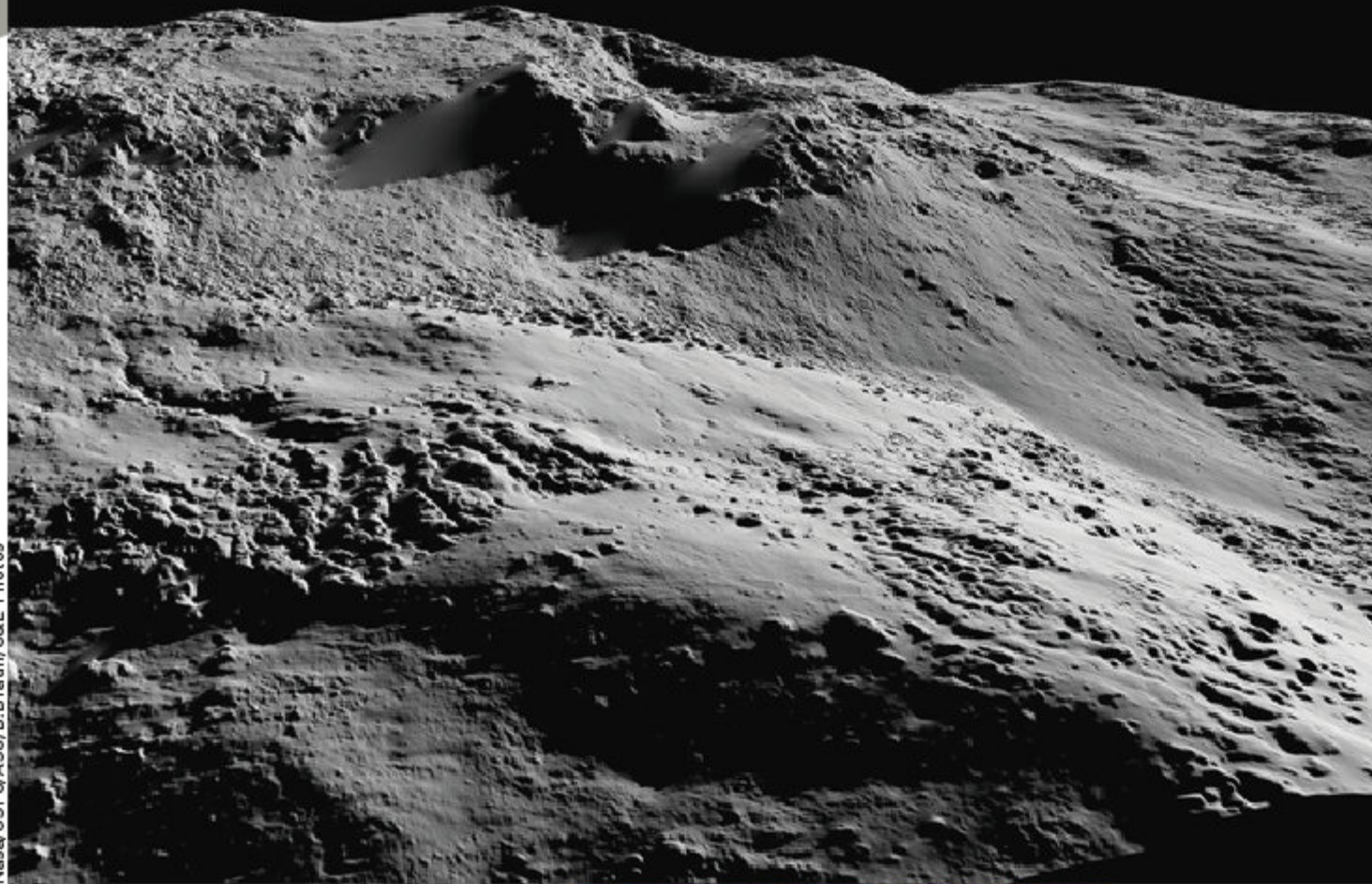
La sonde de la mission kamikaze LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite).

## VISITES

Le 14 septembre 1959, la sonde soviétique Luna 2 ouvre le bal en s'écrasant sur l'astre sélène.

Luna 3 survole la face cachée en octobre 1959,

Luna 9 se pose en douceur sur la Lune (1966) et, en 1970, le robot soviétique Lunokhod 1 a été le premier à explorer sa surface. Côté américain, la saga Apollo (1969-1972) a réussi six missions habitées... À partir des années 1990, la recherche de présence d'eau est devenue prioritaire : Clementine (États-Unis, 1994), Lunar Prospector (États-Unis, 1998), Smart 1 (Europe, 2006), Kaguya (Japon, 2007), Chandrayaan (Inde, 2008), LRO et LCROSS (États-Unis, 2009).



## ↑ RELIEF LUNAIRE

La caméra de la sonde LRO, d'une résolution de l'ordre de 30 cm, a permis de reconstituer comme jamais auparavant le "grain" des paysages lunaires (d'où est tirée cette vue en relief).

solaires. Le 9 octobre, le spectacle manque de panache : le nuage de poussière promis n'est détecté ni par les télescopes professionnels, ni *a fortiori* par ceux des amateurs. Un mauvais souvenir que tente de dissiper, un mois plus tard, l'annonce effective de l'identification de glace d'eau dans les données transmises par la sonde.

Dans les heures qui suivent la conférence de presse, une véritable onde de choc se propage à travers le monde. Google, qui célèbre l'événement par un logo spécial, dénombre pas moins de 1400 articles d'actualité en langue anglaise sur le sujet. Et pour la journée du 13 novembre (jour de l'annonce), le moteur de recherche classe

"*water on the Moon*" comme la dixième expression la plus saisie par les internautes américains. Nombreux sont les articles qui anticipent une base permanente sur la Lune. C'est aussi l'un des arguments qui justifiaient officiellement la recherche d'eau par LCROSS. Mais l'eau détectée est-elle exploitable ? Le communiqué de presse de la Nasa sur ces résultats préliminaires est "*très prolixe sur le qualitatif, mais très discret sur les méthodes de détection et le quantitatif*", résume Yves Langevin, directeur de l'Institut d'astrophysique spatiale (IAS). Ni la quantité d'eau détectée, ni sa répartition ne sont mentionnées. Lors de la conférence de presse, on apprend néanmoins que 95 litres auraient été trouvés. "*Pas de quoi faire couler un bain aux futurs astronautes*", ironise l'astrophysicien.


Mais, à moins d'un hasard inouï, Cabeus n'est pas le seul cratère polaire à renfermer de la glace d'eau. Quoi qu'il en soit, les don-

nées ne permettent pas pour le moment d'estimer la quantité totale de glace présente dans le sous-sol lunaire. Quant à sa répartition, elle est selon toute vraisemblance homogène dans le régolite <sup>(1)</sup>. Si l'eau formait des poches concentrées, la sonde japonaise Kaguya les aurait détectées, comme le note Yves Langevin. "*Tout au plus, la Lune est peut-être à cet endroit un peu moins sèche que le désert de l'Atacama, au Chili*", se hasarde Anthony Colaprete, responsable scientifique de LCROSS.

La présence du précieux liquide pose un vrai débat : celui de la propriété de cette eau. En effet, si elle est le résultat d'une accumulation d'impacts cométaires, comme semble l'indiquer la présence d'autres composés volatils (méthane...), elle mériterait d'être préservée au titre de "*patrimoine scientifique de l'humanité*", estime Pierre Thomas, géologue de l'ENS de Lyon. Une telle relique, qui consigne sur quelques mètres l'histoire de 4 milliards d'années d'impacts cométaires de la même manière que la glace en Antarctique enregistre l'histoire du climat terrestre, aurait sans doute beaucoup à nous dire sur l'évolution du Système solaire. Définitivement, s'en servir pour le bain des astronautes serait du gâchis.

Véronique Étienne [ février 2010 ]

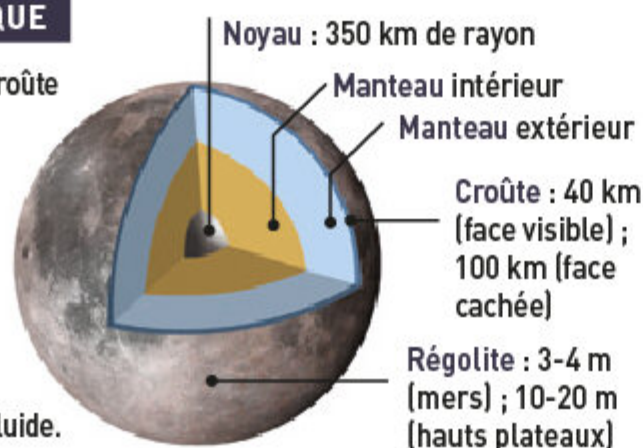
(1) Régolite : couche de poussières et de fins débris qui recouvre la surface de la Lune.

+  Sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

La Lune : ce qu'elle a encore à nous dire, avec le géologue Pierre Thomas  
Terre, le vaisseau spatial de l'humanité, avec Roger-Maurice Bonnet

### PROFIL GÉOLOGIQUE

La Lune possède une croûte (uranium, potassium, oxygène, silicium, magnésium, fer, titane, etc.) surmontée d'une couche poussiéreuse (régolite) de quelques mètres, un manteau et un noyau peut-être fluide.

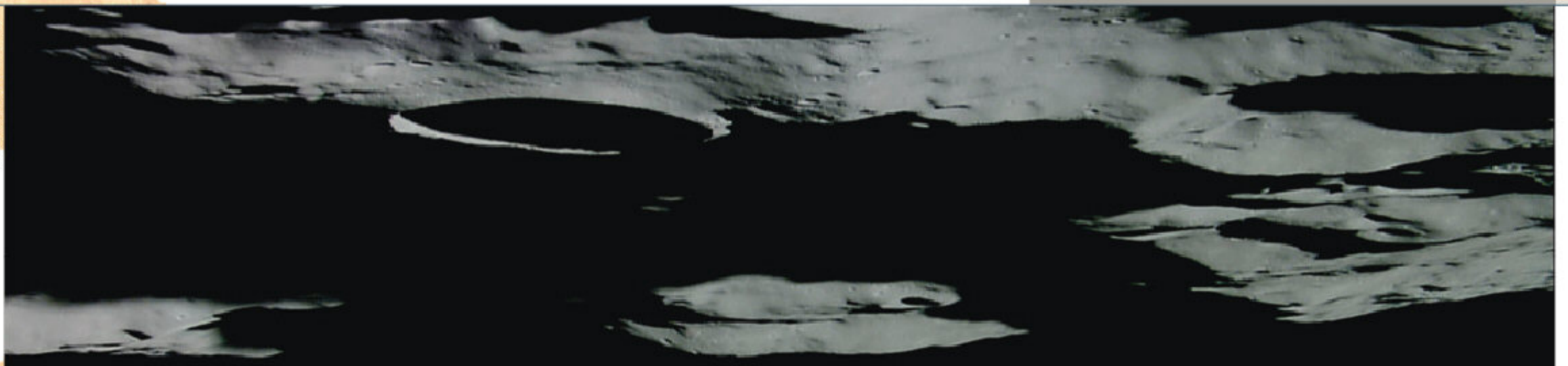


## DERNIÈRES NOUVELLES

Proceedings of the National Academy of Sciences - En

mai 2010, une équipe de chercheurs confirme la présence

massive d'eau dans le sous-sol lunaire, amalgamée à la roche. Ce résultat est issu de l'analyse des échantillons de roche provenant des missions Apollo et de météorites d'origine lunaire. Il indique que la quantité d'eau présente sur la Lune serait 100 fois supérieure à l'estimation faite en 2009 par la mission LCROSS, soit l'équivalent d'un océan global de 1 m d'épaisseur.



## ET À L'HORIZON, LA TERRE...

Pôle Sud de la Lune vu par la sonde Kaguya avec, au loin, la Terre.  
En haut à gauche, le cratère Shackleton, qui abriterait de la glace.



### PROFIL GÉOLOGIQUE

#### CROÛTE :

① continentale (un tiers)  
② océanique (deux tiers)  
Oxydes de silicium (60 %), aluminium (15 %), calcium (5 %), magnésium (4,5 %), fer (3,5 %), sodium (3,5 %), potassium (3 %), eau (1,5 %)

#### MANTEAU :

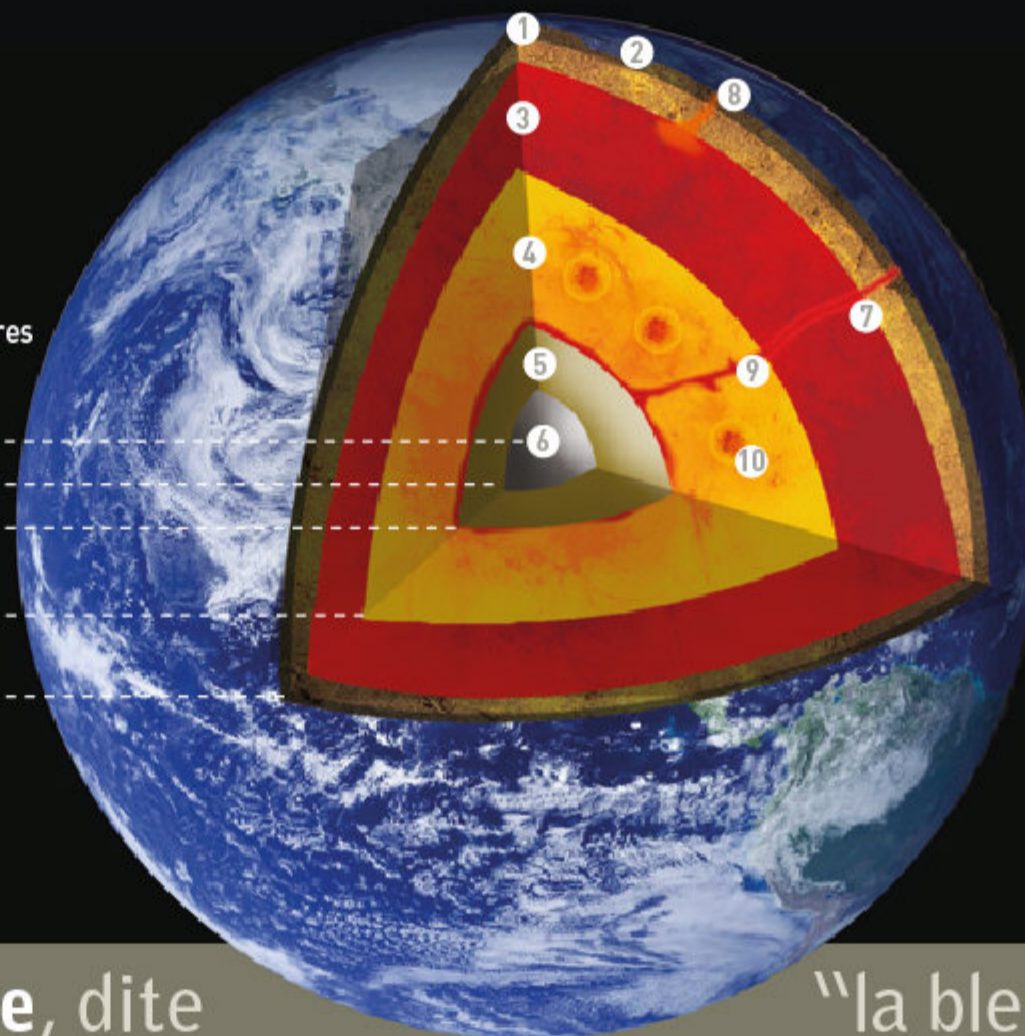
③ supérieur (visqueux)  
④ inférieur (élastique)  
Agrégats de cristaux d'olivine, de pyroxène et de grenat (minéraux silicatés).

#### NOYAU :

⑤ externe (liquide)  
⑥ interne (solide)  
Alliage fer-nickel (80 %-15 %)

Températures internes

5 100 °C  
5 000 °C  
3 500 °C  
2 000 °C  
1 100 °C



⑦ Zone de subduction

⑧ Zones de volcanisme actif

⑨ Panache de matière ("point chaud")

⑩ Cellules de convection du manteau



## Troisième planète, dite

"la bleue"

**Distance au Soleil :** 149 597 887,5 km / 1 UA  
**Période de révolution :** 365,26 jours  
**Inclinaison de l'orbite/excentricité :** 0°/ 0,017

**Période de rotation :** 23,93 heures  
**Diamètre :** 12 742 km  
**Masse :** 5,97.10<sup>24</sup> kg  
**Gravité moy. :** 9,780 m.s<sup>-2</sup>

**Température moy. :** 14 °C ; **max. :** 57,8 °C (relevée à El Azizia, Libye, le 13 septembre 1922) ; **min. :** - 89,2 °C (Vostok, Antarctique, le 21 juillet 1983).  
**Pression atmosphérique :** 1 bar (101 325 Pascal)  
**Composition atmosphérique :** azote (78 %), oxygène (21 %), argon (1 %), vapeur d'eau (0,4 %), dioxyde de carbone (0,04 %).

**Satellites :** la Lune et tous des milliers satellites et débris artificiels  
**Particularité :** il semble qu'il y ait de la vie

L'EAU Y EST... ET LA VIE ? C'est devenu le leitmotiv des astronomes, au point que la seule question qui compte aujourd'hui, c'est de choisir les emplacements qui pourraient abriter la vie... afin de s'y poser.

# MARS

## LA VIE TOUJOURS

### Aujourd'hui

**I**MPOSSIBLE de trouver de l'eau liquide à la surface de Mars. La pression au sol est si faible qu'elle se vaporiserait rapidement. Et, contrairement à Europe ou à Encelade (p. 65), la planète rouge n'offre pas les indices d'un océan souterrain. En revanche, elle renferme de grandes quantités de glace d'eau à seulement quelques centimètres sous la surface. La sonde Phoenix en a apporté la preuve. En juillet 2008, deux mois après son atterrissage dans Vastitas Borealis, une plaine gelée située à 68° de latitude nord, elle a prélevé de la glace à l'aide de son bras articulé. En faisant fondre celle-ci dans un minifour, Phoenix a détecté la molécule H<sub>2</sub>O. Il y a quelques centaines de millions d'années, quand l'axe de rotation de Mars était plus incliné et que les pôles recevaient davantage de lumière, toute cette eau était peut-être liquide.

*"Il est possible que subsistent de petites poches d'eau dans cette couche de glace",* propose

Jack Farmer, de l'université d'Arizona. On peut donc imaginer que des bactéries y survivent, ainsi protégées du froid, de la faible pression et des rayonnements énergétiques (ultraviolets, rayons cosmiques).

Les deux prochaines missions Mars Science Laboratory (alias Curiosity) et Exo-Mars chercheront à détecter la vie sur Mars. À bord de Curiosity, dont le départ est programmé pour 2011, des échantillons de sol seront chauffés à 1 100 °C dans des minifours pour tenter d'y déceler des molécules organiques. En outre, celles-ci seront triées en fonction de leur type, ce qui permettra éventuellement d'isoler celles issues du vivant.

Quant à l'atterrisseur Exo-Mars, dont le départ est prévu en 2016, il sera capable de forer jusqu'à 2 m dans le sol. Son robot mobile Pasteur comprendra un microscope destiné à analyser les échantillons collec-

#### ➔ TRACES D'EAU, TRACES DE VIE

L'eau ruisselait sur Mars il y a plus de 3 milliards d'années, comme semblent le prouver certaines formations (ici, les sédiments du cratère Victoria). Si aujourd'hui l'eau ne subsiste en surface que sous forme de glace, qu'en est-il en profondeur ?



Nasa/JPL/Univ. of Arizona/C&E Photos



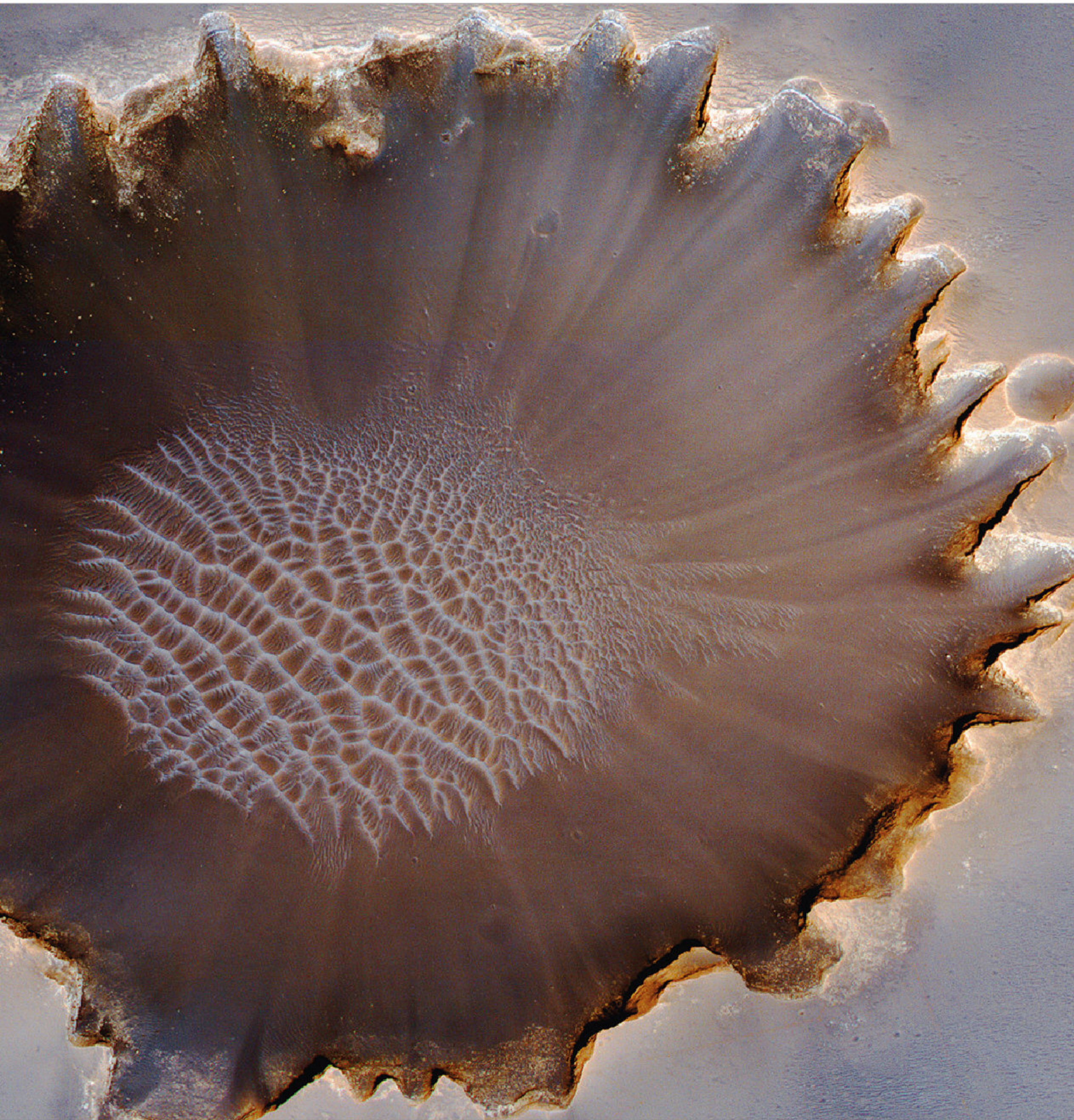
### Quatrième planète, dite "la rouge"

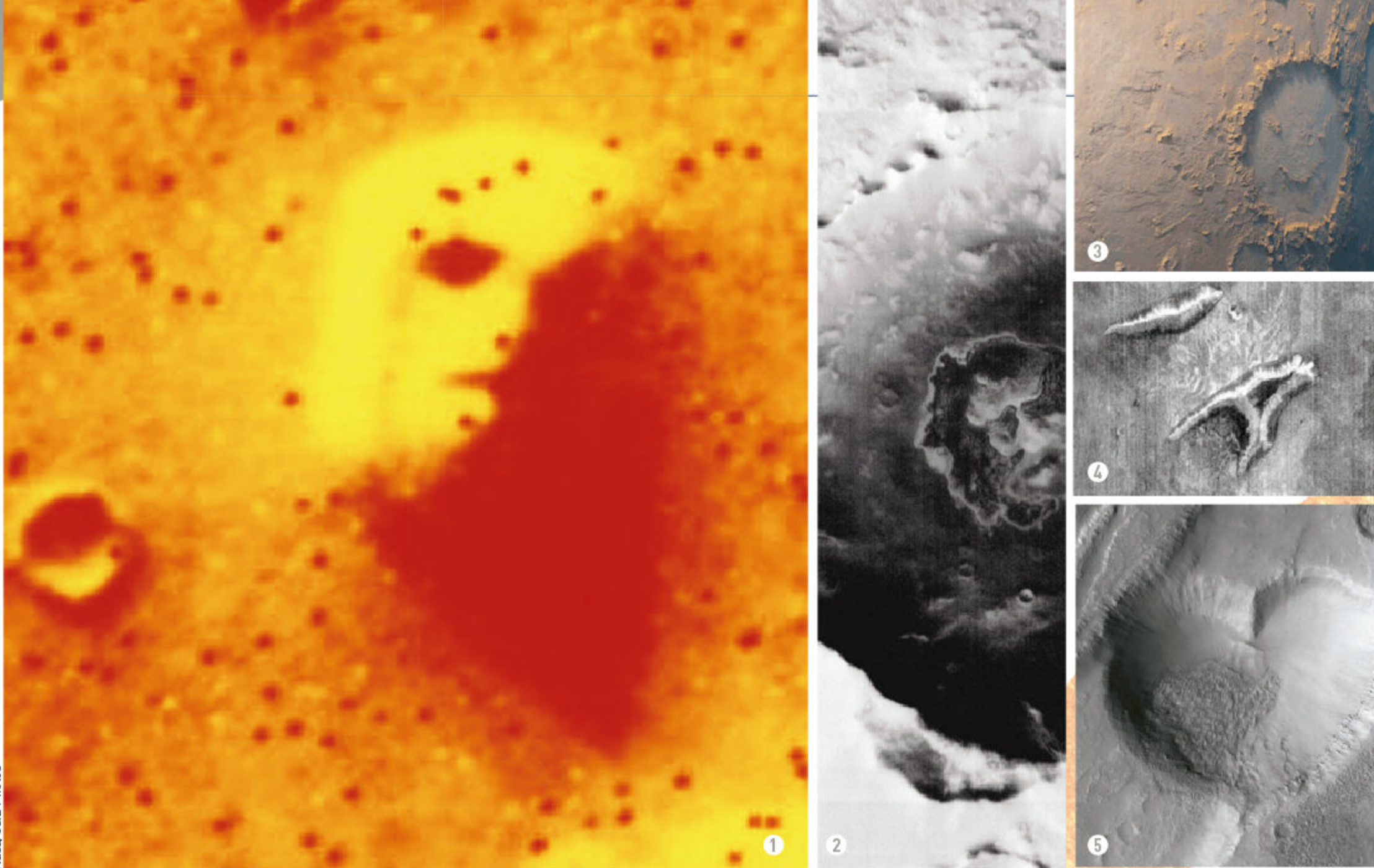
**Distance au Soleil :** 228 millions de km / 1,52 UA  
**Période de révolution :** 687 jours terrestres  
**Inclinaison de l'orbite/excentricité :** 1,85° / 0,0093

**Période de rotation :** 24,62 heures  
**Diamètre :** 6 779 km / 0,53 Terre  
**Masse :** 6,42 × 10<sup>23</sup> kg / 0,107 Terre  
**Gravité à l'équateur :** 3,71 m.s<sup>-2</sup> / 0,376 Terre

**Température moy. :** -63 °C ; **max. :** -3 °C ; **min. :** -133 °C  
**Pression atmosphérique :** 6,4.10<sup>-3</sup> bar (Terre : 1 bar)  
**Composition atmosphérique :** gaz carbonique (95,3 %) ; diazote (2,7%) ; argon (1,6 %) ; oxygène, vapeur d'eau, etc.

**Satellites :** Phobos et Deimos  
**Particularité :** aurait peut-être abrité de la vie  
**Découverte :** les Babyloniens, XIV<sup>e</sup> siècle av. J.-C.





### ↑ ILLUSIONS MARTIENNES

Le Géant martien, photographié par Viking en 1976 (1), un visage d'homme au fond du cratère (2), un Smiley (3), les initiales "I.A" (4), un cœur (5)... La surface de Mars est pleine de surprises pour qui sait se laisser emporter par son imagination.

tés, ainsi qu'un détecteur d'acides aminés et de bases nucléotides, deux composants de l'ADN. Mais la spécialité de Pasteur, c'est surtout l'expérience Life Marker Chip, conçue pour déceler des molécules orga-

+  sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Mars, planète bleue ? avec Jean-Pierre Bibring

niques grâce à des anticorps les reconnaissant spécifiquement. Même si les chances de détecter une vie microbienne en sous-sol existent, les scientifiques parient davantage sur la découverte des vestiges d'une vie passée. Une vie qui s'est peut-être développée il y a entre 4,5 et 3,8 milliards d'années. Alors, le climat de la planète rouge était différent de celui d'aujourd'hui : l'atmosphère, plus épaisse, engendrait un effet de serre qui réchauffait la surface. L'eau, sous forme de fleuves, de mers, d'océans peut-être, baignait la planète rouge et offrait à la vie un nid douillet pour prospérer.

Émilie Martin [ décembre 2009 ]

# Demain

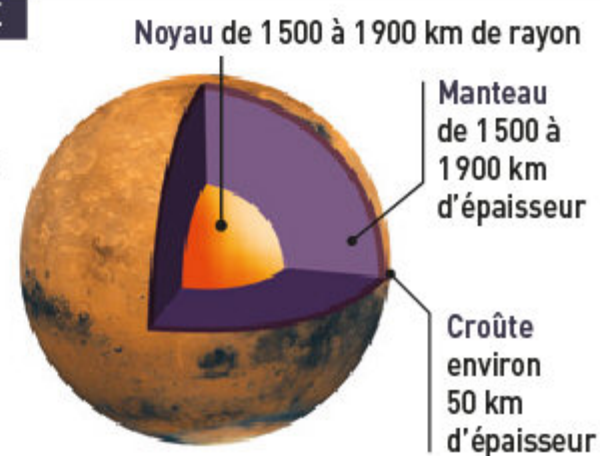
**E**N 2011, la Nasa déposera un petit bijou de technologie sur Mars. Pesant 800 kg, équipé de deux fois plus d'instruments scientifiques que ses prédécesseurs Spirit et Opportunity, le futur robot américain Curiosity devra répondre à une excitante question : les conditions ont-elles été réunies sur Mars pour que la vie s'y développe ? *"Évidemment, le succès d'une telle mission*

## VISITES

L'américaine Mariner 4 a été la première sonde à survoler la planète, à moins de 10 000 km d'altitude, les 14 et 15 juillet 1965. Six ans plus tard, le 2 décembre 1971, l'atterrisseur soviétique Mars 3 s'y pose en douceur. Depuis, la planète rouge a été visitée par une quinzaine de sondes et d'atterrisseurs des missions Mariner, Mars, Viking, Mars Global Surveyor, Mars Pathfinder, Mars Odyssey, Mars Express, Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Exploration Rover (Spirit, Opportunity), Phoenix...

### PROFIL GÉOLOGIQUE

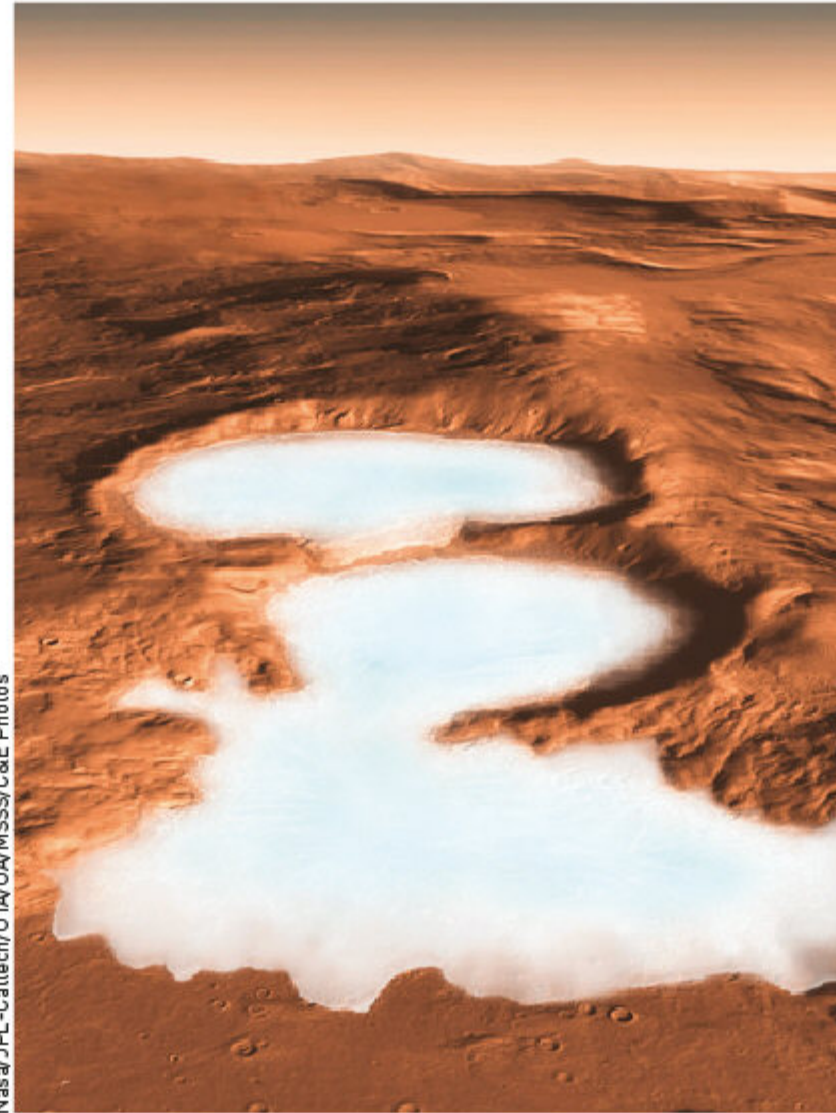
Mars semble avoir un profil géologique proche à celui de la Terre (croûte solide, manteau visqueux, noyau liquide), hormis l'extrême asymétrie de la croûte de l'hémisphère Sud (épaisse) et celle de l'hémisphère Nord (fine).



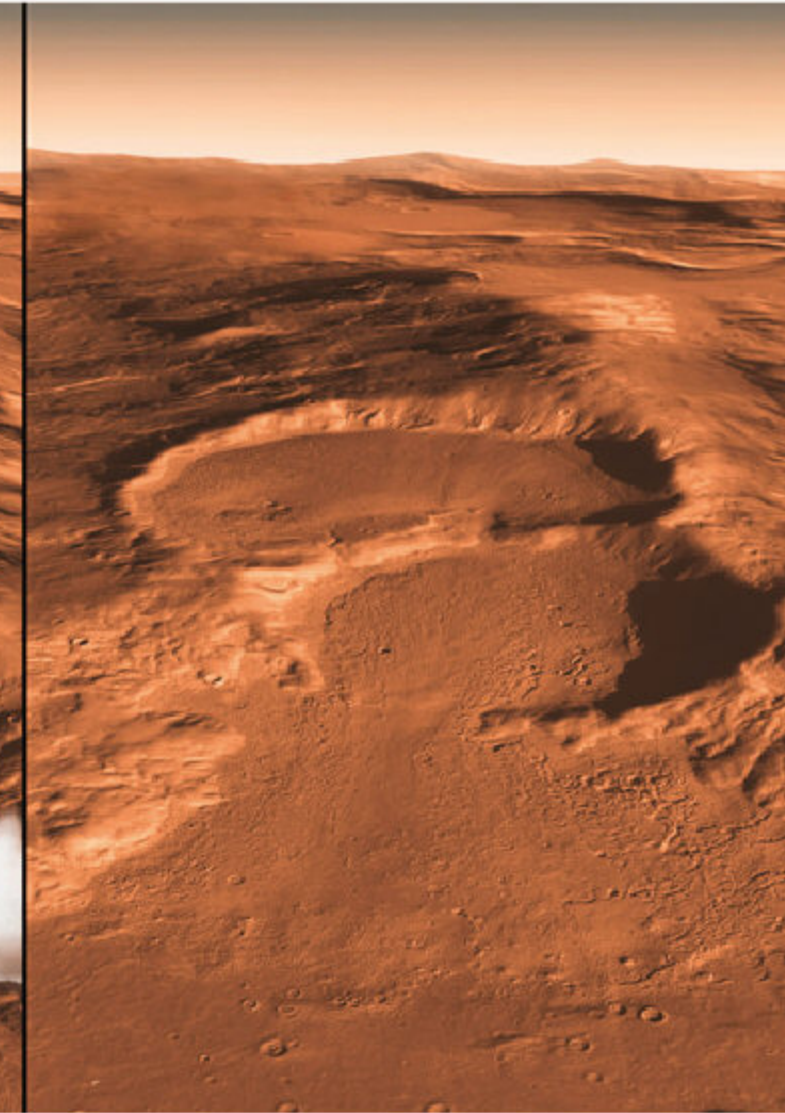
## → GLACE CACHÉE

Cette simulation fait voir la glace contenue dans ces trois cratères de la région d'Hellas, invisible à l'œil nu car recouverte par une couche de poussière.

dépend beaucoup de l'endroit où elle se pose car, sur Mars, les indices d'un passé propice à la vie sont rares", souligne François Poulet, de l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay (IAS). Afin de choisir le meilleur site pour sa mission à 2 milliards de dollars, la Nasa a donc convié les scientifiques à proposer des cibles et à participer au choix. Une cinquantaine de sites ont été éliminés ces trois dernières années. Aujourd'hui, il n'en reste plus que quatre. Les critères de sélection ? "Ce sont d'abord ceux que nous imposent les ingénieurs pour assurer la sécurité du robot", répond Nicolas Mangold, du Laboratoire de planétologie et de géodynamique du CNRS, à Nantes. Les sites à plus de 1 000 m d'altitude par rapport à l'aréioïde sont éliminés d'office, car l'atmosphère au-dessus d'eux est trop fine pour ralentir efficacement la sonde (elle y entre à plus de 18 000 km/h !). Ceux qui sont à plus de 30° de latitude nord ou 45° Sud ne permettent pas à Curiosity de communiquer avec la Terre. De toute façon, ils sont trop froids pour le robot une fois



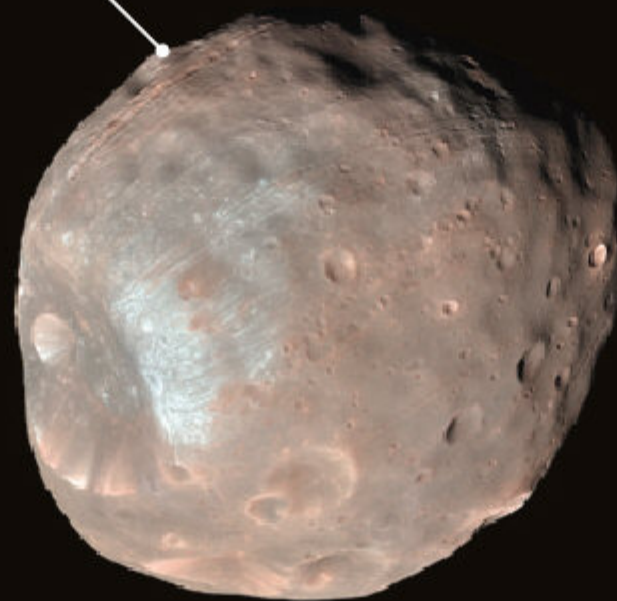
Nasa/JPL-Caltech/UTA/UA/MSSS/C&E Photos



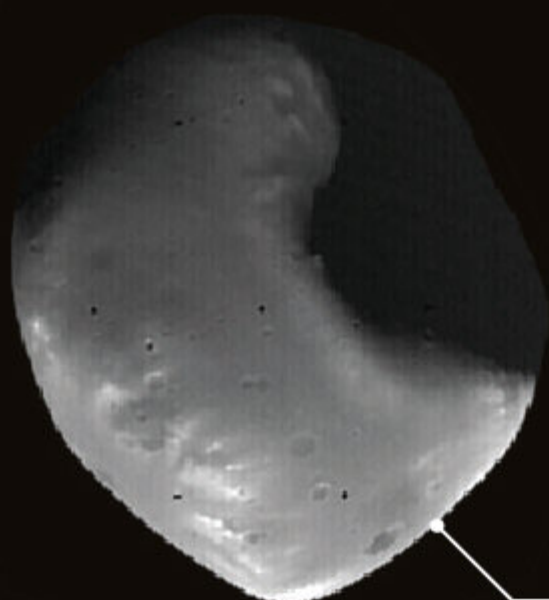
l'hiver venu (ses caméras craignent le givre, et ses moteurs ne fonctionnent que jusqu'à -55°C). Quant aux sites pentus ou couverts de rochers, il n'est pas question de s'y risquer ! Sur ce point, la Nasa a d'ailleurs été précise : dans la zone d'atterrissage — une ellipse de 20 km par 25 km —, la probabi-

lité de trouver un rocher de plus de 55 cm de haut sur une surface quelconque de 4 m<sup>2</sup> (celle du "bas de caisse" de Curiosity) doit être inférieure à 0,5 %. "Du coup, au JPL<sup>(1)</sup>, tout un groupe d'étudiants se consacre à compter les cailloux", s'amuse François Poulet. Les critères scientifiques d'un bon site, eux, sont beaucoup plus débattus. "En fait, géologues et astronomes ne sont pas d'accord", note le chercheur. Les premiers veulent des sites "lisibles", où la présence d'eau liquide est inscrite dans la roche. Ce sont des deltas fossiles, des paléolacs... Bref : des lieux dont la morphologie parle d'elle-même, et dont on trouve des analo-

**PHOBOS** : 27 × 22 × 19 km<sup>3</sup> ; 1,08.10<sup>15</sup> kg  
Elle orbite à moins de 6 000 km d'altitude (demi-grand axe : 9 377 km) avec une période de 7 h 40 min.



**DEIMOS** : 10 × 12 × 16 km<sup>3</sup> ; 2.10<sup>15</sup> kg  
Elle orbite à quelque 20 000 km d'altitude (demi-grand axe : 23 460 km) avec une période de 30 h 20 min.



## DEIMOS ET PHOBOS

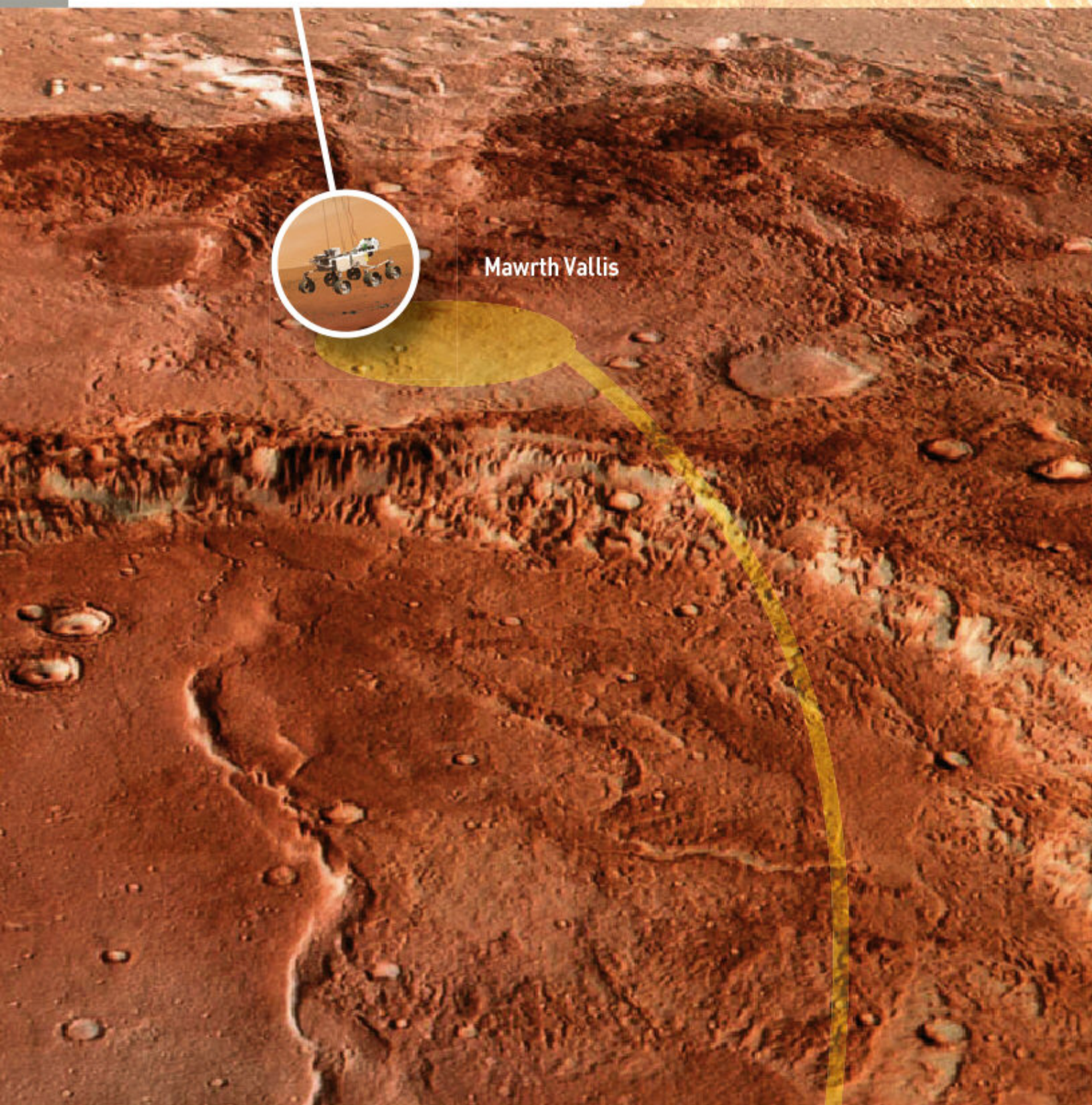
Découvertes en 1877 par l'Américain Asaph Hall, Phobos (Peur) et Deimos (Terreur) sont les lunes jumelles de Mars. Ce sont des corps aux formes irrégulières et de faible densité (environ la moitié de celle de Mars) composés de silicates, de molécules organiques et, sans doute, de glace — à l'instar des astéroïdes de type chondrite carbonée. De fait, on pense que ce sont des astéroïdes capturés par la planète...

gues sur Terre. Les astronomes font davantage confiance à la minéralogie. Selon eux, il faut se poser là où les sondes sur orbite ont détecté des minéraux formés au contact de l'eau, que ces sites ressemblent à d'anciens

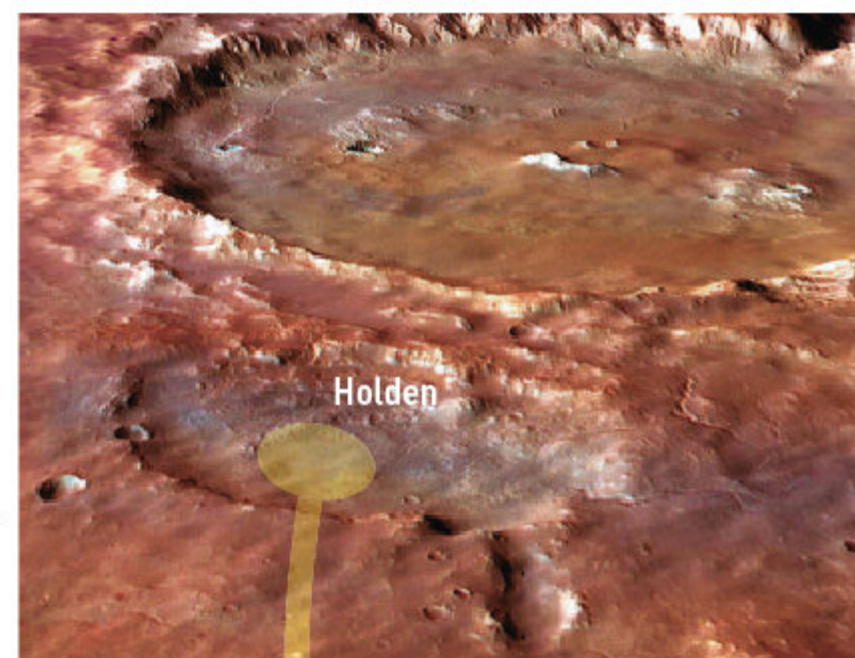
lacs ou pas. François Poulet est de ceux-là : "Souvenez-vous de Spirit et d'Opportunity. Le premier, qui s'est pourtant posé au fond d'un paléolac, n'avait toujours rien trouvé d'intéressant après trois mois sur Mars. Au

contraire, Opportunity a fait de belles découvertes dès ses premiers tours de roue sur Terra Meridiani. Pourtant, cette plaine n'a pas d'analogue sur Terre. Elle est vraiment extra-terrestre !"

Après tout, le propre de l'exploration n'est-il pas de visiter des lieux étranges mais prometteurs, même s'ils ne ressemblent à rien de connu ? "Devant cet argument, les géologues américains rétorquent qu'ils ne peuvent pas prendre le risque de se poser dans une région dont ils ne pourront pas interpréter les résultats. Peut-être, mais alors, pourquoi sélectionner des deltas ? Ce sont des pou-belles, où ont été drainés quantité de débris venus d'ailleurs." Peut-on vraiment en tirer des informations sur l'habitabilité de Mars ? Pour le chercheur de l'IAS, il faut en fait se précipiter vers les zones les plus riches en argiles. Non pas parce qu'elles ont été repérées pour la première fois par la sonde européenne Mars Express et son spectro-imageur Oméga, conçu à l'IAS, mais parce qu'il leur faut beaucoup d'eau, sur



Mawrth Vallis



Holden

Toutes les images : ESA/DLR/FU Berlin/C&E Photos

## Quatre sites où se poser



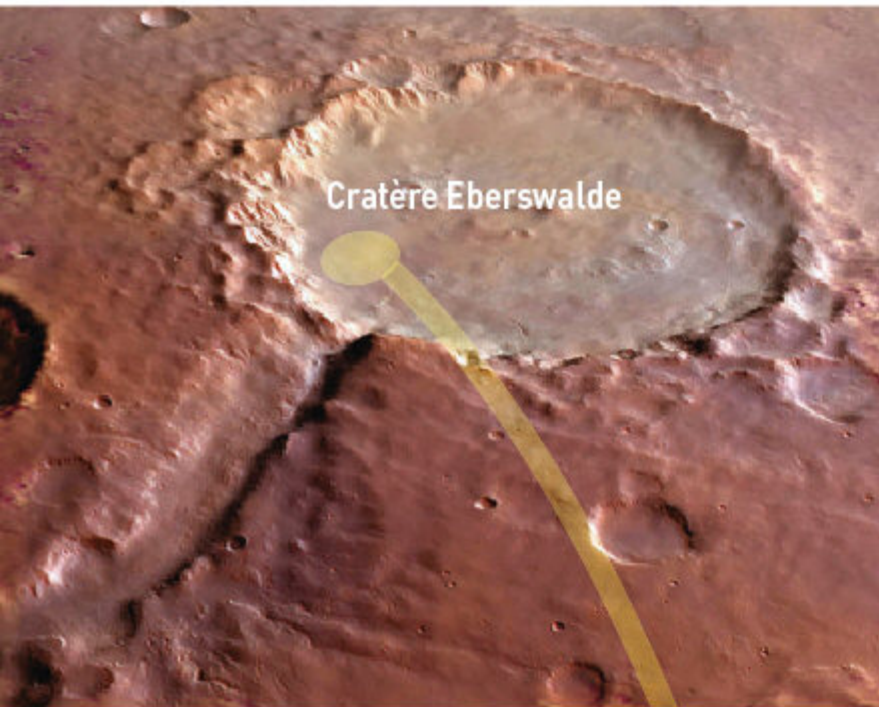
Nasa/C&E Photos

### 1 MAWRTH VALLIS, LE PARADIS DES ARGILES

Ces argiles sont sans doute le plus précieux témoignage de l'habitabilité de Mars dans un lointain passé, voici plus de 3,8 milliards d'années. Découvertes par l'équipe de Jean-Pierre Bibring grâce à la sonde européenne Mars Express, elles couvrent une zone de plusieurs centaines de kilomètres et sont ici plus abondantes et diversifiées que nulle part ailleurs.

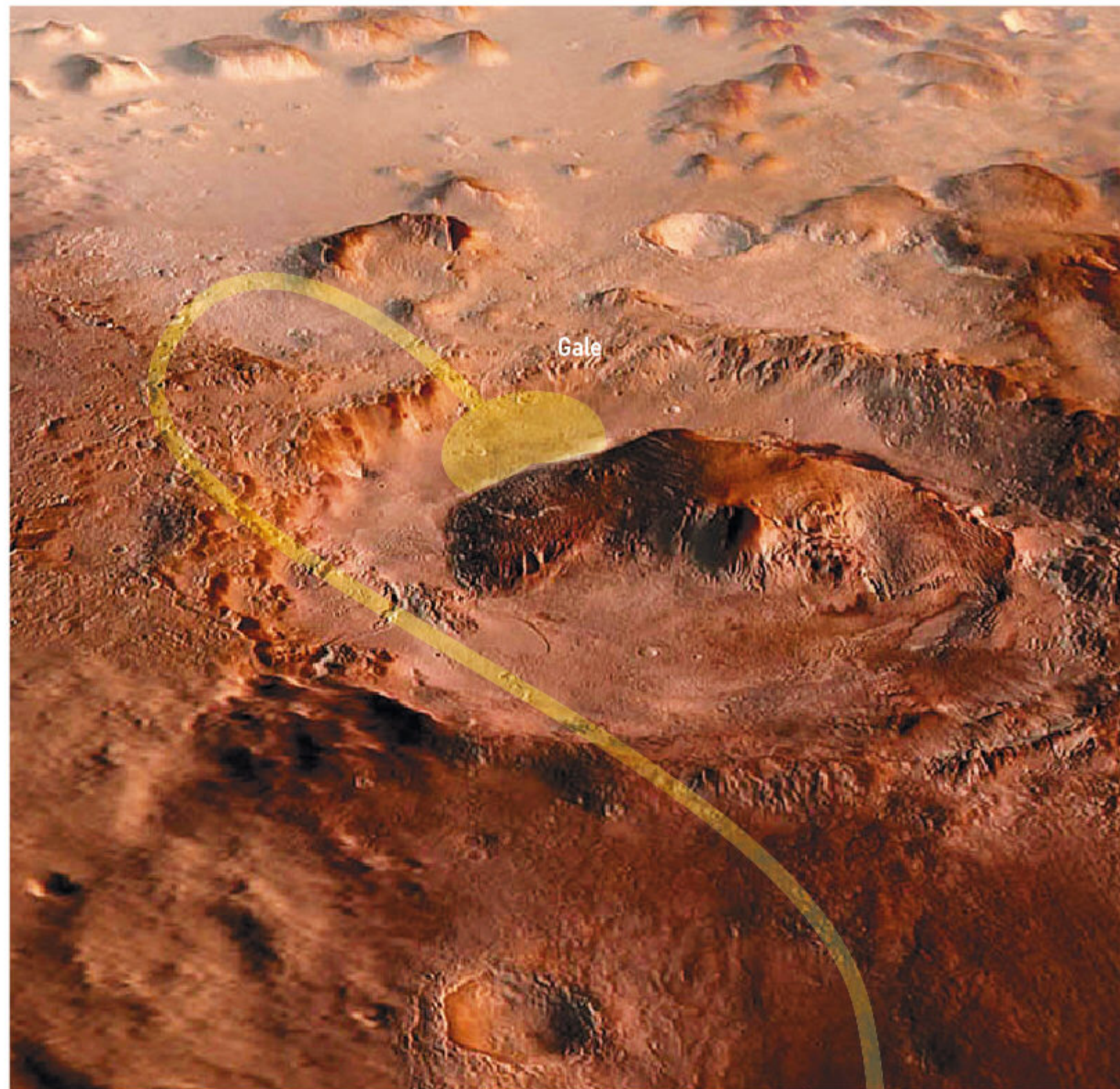
### 2 HOLDEN, UN ANCIEN LAC

Il y a plus de 3 milliards d'années, le plancher de Holden était probablement recouvert d'eau. Puis une brèche s'est ouverte dans les flancs de ce cratère de 154 km de diamètre, et un gigantesque flot s'est écoulé. La trace de cet épisode est toujours visible, sous la forme d'un vaste complexe alluvial dans lequel Curiosity pourrait se poser sans problème.



Cratère Eberswalde

de longues périodes, pour se former. “De plus, contrairement aux sulfates de Terra Meridiani, les argiles ne peuvent pas se former dans une eau acide, peu favorable à la vie”, ajoute le chercheur. Elles sont donc plus spécifiques aux zones potentiellement habitables. Mieux encore, ces roches qui se forment par dépôt de sédiments très fins sont parfaites pour piéger de la matière organique. Pourrait-on y trouver des fossiles ? Évidemment, nous n’en sommes pas là. Dans l’immédiat, il s’agit de départager les quatre sites retenus à l’automne 2008. Tous présentent des traces d’argiles, mais un seul permet de les atteindre immédiatement : il s’agit de Mawrth Vallis, le site présenté par l’équipe d’Oméga <sup>(2)</sup>. Est-ce suffisant pour trancher ? “En tout cas, il y a un débat à propos des sites ‘go-to’, ces sites pour lesquels la zone d’atterrissage et la zone d’intérêt scientifique sont séparées de plusieurs kilomètres”, note Nicolas Mangold. Curiosity est conçu pour parcourir au moins 20 km à la sur-



Gale

face de Mars, mais à raison de 150 m par jour en moyenne, atteindre un site scientifique à quelques kilomètres aura tout d’une odyssée ! Pour 2 milliards de dollars, peut-on prendre le risque de rouler pendant plusieurs jours avant de faire une mesure

vraiment intéressante ? La Nasa a encore quelques mois pour y réfléchir.

**David Fossé [ juillet 2009 ]**

(1) Le Jet Propulsion Laboratory, en Californie, où a été conçu Curiosity.

(2) Menée par Jean-Pierre Bibring (IAS), elle comprend notamment François Poulet et Nicolas Mangold.

### 3 LE DELTA FOSSILE DU CRATÈRE EBERSWALDE

Pour qu’un delta se forme, il faut que des sédiments s’y accumulent, et donc qu’une rivière coule pendant longtemps. C’est essentiellement pour cette raison que les planétologues de la mission MSL apprécient Eberswalde : pendant 150 000 ans à plusieurs millions d’années (l’incertitude reste grande !), il y a eu de l’eau dans ce petit cratère. La présence d’argile assure en outre que l’eau n’était pas acide, et que sa température a pu rendre l’endroit habitable.

### 4 GALE ET SA MONTAGNE MAGIQUE

Entré un des derniers dans le processus de sélection, le cratère Gale est probablement le site favori des planétologues. Sa butte centrale, haute de 5 km, présente à la fois des strates d’argiles et de sulfates, qui se déploient sur le double de la hauteur du Grand Canyon ! Une preuve flagrante de la présence d’eau sur de longues périodes, qui a pu donner sa chance à la vie, à laquelle s’ajoutent de nets indices d’écoulements : rigoles, lits asséchés ou autres dépôts sédimentaires.



JUPITER, SATURNE, URANUS  
ET NEPTUNE. CES GÉANTES DE GAZ,  
AU PETIT NOYAU SOLIDE,  
DÉLIMITENT LA PARTIE "EXTERNE"

# AIR

DU SYSTÈME SOLAIRE.  
DU GAZ QUI PÈSE 99 FOIS PLUS  
LOURD QUE LA ROCHE  
DES PLANÈTES TELLURIQUES.

**LA GÉANTE** du Système solaire a été survolée et photographiée sous toutes les coutures, et la dynamique de son atmosphère est un véritable sujet d'étonnement, tout comme sa lune Europe... qui pourrait abriter de la vie.

# JUPITER

## ATMOSPHÈRE, ATMOSPHÈRE

### La planète

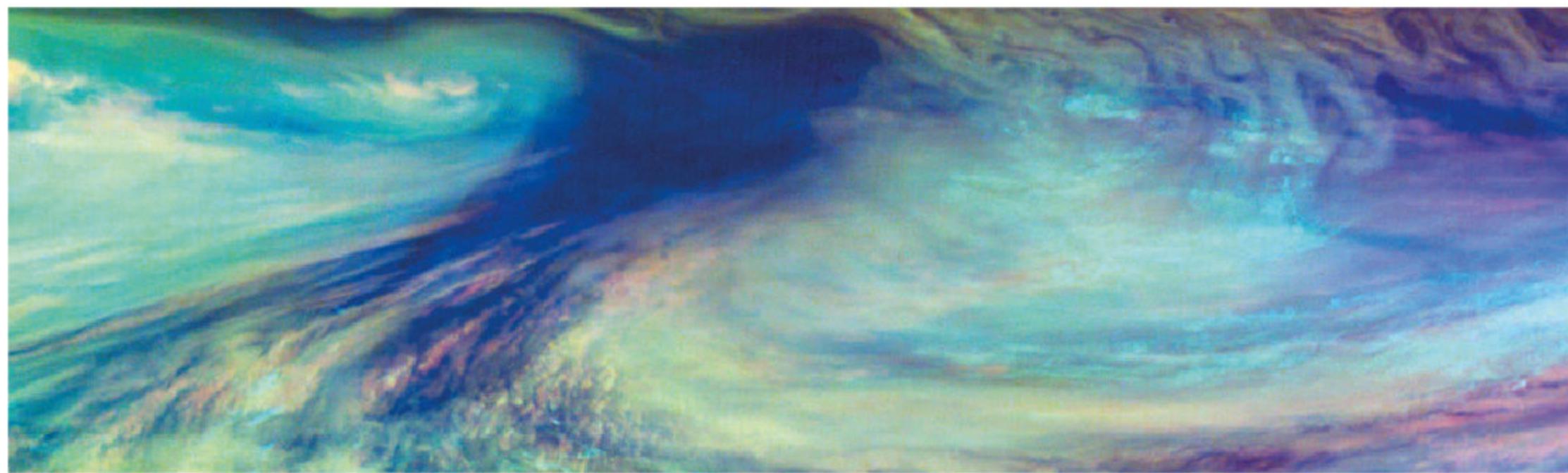
**C'**EST la reine des planètes. Elle fait à elle seule 2,5 fois la masse de toutes les autres planètes réunies, avec un diamètre de plus de 11 fois celui de la Terre. Pourtant ce n'est que du gaz, ou presque : Jupiter est l'archétype des géantes gazeuses, que l'on

trouve également dans d'autres systèmes planétaires et qui, par leur masse, jouent un rôle prépondérant dans le processus de formation et de répartition des autres planètes. Pourtant, on sait peu de choses sur sa physique, et les modèles de sa structure interne sont théoriques. Et pour cause ! À quelques centaines de kilomètres sous la première couche gazeuse, la pression devient si forte qu'aucune sonde n'y survivrait. De fait, au fur et à mesure qu'on s'enfonce vers le

centre, le gaz – principalement de l'hydrogène (90 %) et de l'hélium (10 %) – est si comprimé qu'il devient liquide, puis métallique comme le mercure (vers 10 000 km de profondeur)... Et au centre, se trouverait un "petit" noyau solide de la taille de la Terre, mais au moins dix fois plus massif, peut-être rocheux. Dans le passé, les astronomes pensaient que Jupiter était une étoile ratée. Mais aujourd'hui, on sait que pour faire une étoile, c'est-à-dire pour déclencher la fusion de l'hydrogène, il faut au moins 75 fois plus de masse. Il n'empêche, avec ses 63 lunes, Jupiter est un petit système planétaire à lui seul. C'est d'ailleurs l'observation en 1610 des principales lunes de la planète qui conforta Galilée dans l'idée que la Terre n'est pas le centre de l'Univers, conformément au modèle héliocentrique de Copernic.

### ↓ AU CŒUR DES CYCLONES

Détail de la rencontre entre les deux grandes "taches" de Jupiter, d'immenses tempêtes, obtenu par le télescope Gemini de 8 m de diamètre.



Nasa/C&E Photos

4

## Cinquième et plus grande planète du Système solaire

**Distance au Soleil :** 778 millions de km / 5,204 UA  
**Période de révolution :** 11,86 années terrestres  
**Inclinaison de l'orbite / excentricité :** 1,3° / 0,049

**Période de rotation à l'équateur :** 9,92 heures  
**Diamètre :** 142 900 km / 11,21 Terre  
**Masse :**  $1,9 \cdot 10^{27}$  kg / 317,8 Terre  
**Gravité à l'équateur :** 24,8 m.s<sup>-2</sup> / 2,53 Terre

**Température moyenne en surface :** -110 °C

**Pression atmosphérique en surface :** 1 bar (Terre : 1 bar)

**Composition :** dihydrogène (~90 %) ; hélium (~10 %) ; méthane (~0,3 %) ; vapeur d'eau (0,1 %) ; ammoniac (0,026 %) ; éthane, sulfure d'hydrogène...

**Satellites :** 63

**Particularité :** Grande Tache rouge

**Découverte :** les Babyloniens, XI<sup>e</sup> siècle av. J.-C.



## UNE GÉANTE TACHETÉE

Jupiter, la plus grande planète du Système solaire, observée depuis la Terre par le télescope Gemini, à Hawaï. Le cliché ayant été pris dans l'infrarouge proche, les deux taches rouges apparaissent en blanc.

# Les taches

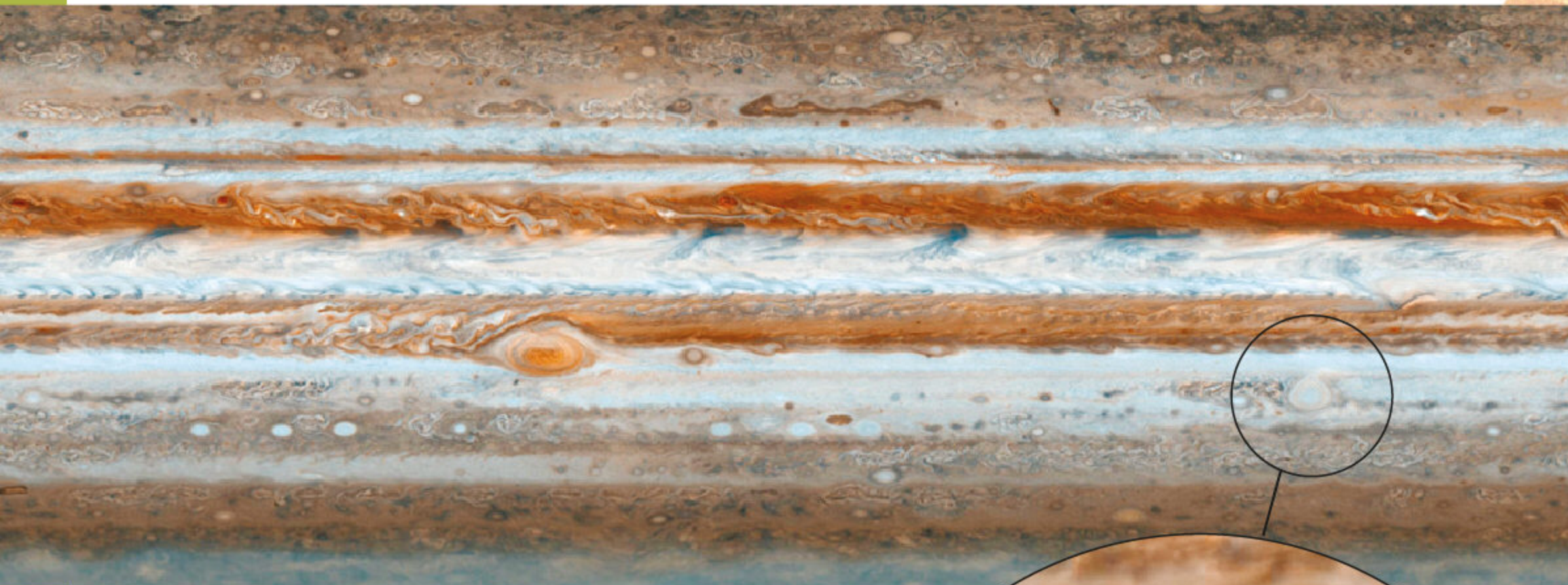
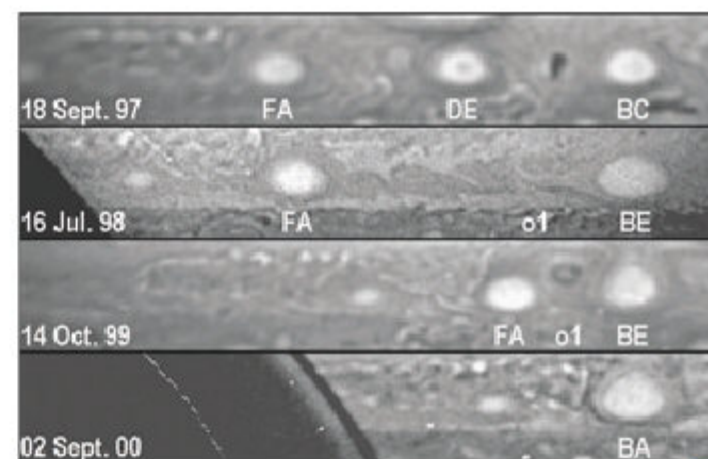
## DEUX TACHES

**D**EPUIS la fin février 2006, "Red Junior" est devenu la coqueluche des astronomes amateurs. Cet ouragan géant, apparu en 2000 dans l'atmosphère de Jupiter par 33,6° Sud, vient de prendre une teinte rosée. Il ressemble ainsi à la Grande Tache rouge, repérée à 28° S, par l'Anglais Robert Hooke en 1664. D'un diamètre double de celui de la Terre, celle-ci fait preuve d'une étonnante stabilité depuis près de 350 ans. En revanche, Red

Junior, moitié moins grande, est en évolution rapide. Son histoire est celle de trois petites tempêtes (des ovales blancs), observées depuis 1939. Entre 1997 et 2000, ces dépressions ont fusionné pour donner naissance à une tache unique, blanche, qui vire aujourd'hui au rouge. "Ce changement de teinte signifie probablement qu'elle est alimentée en permanence par les couches basses de l'atmosphère, à une centaine de kilomètres de profondeur, explique Pierre Drossart, de l'observatoire de Meudon. Des hypothèses ont été formulées sur les particules solides, soufrées ou phosphorées, qui sont transportées vers la surface et subissent une réaction chimique lorsqu'elles se trouvent exposées aux ultraviolets du Soleil." En attendant, les astronomes se demandent si

## NAISSANCE DE "ROUGE JUNIOR"

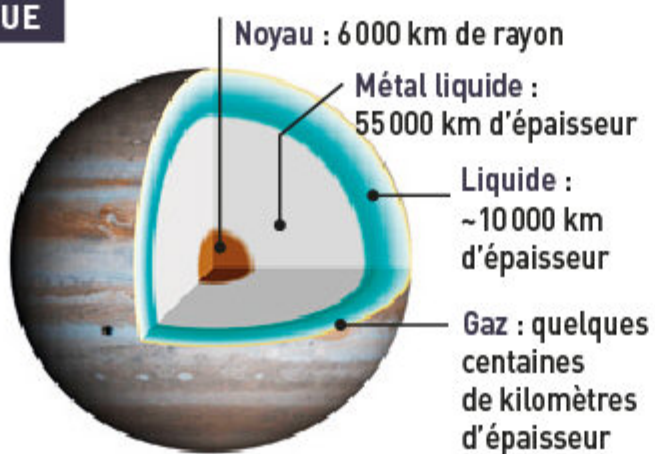
En décembre 2000, la sonde Cassini a pris cette photo des deux gigantesques tempêtes joviennes (en bas). La Grande Tache rouge, à gauche, était connue depuis 350 ans. Mais c'est Rouge Junior, à droite, qui a surpris les astronomes. Avec ses 12000 km de diamètre, elle est aussi vaste que la Terre ! Junior est apparue entre 1997 et 2000 (ci-dessous) par fusion de trois tempêtes mineures connues depuis 1939, FA, DE et BC.



### PROFIL GÉOLOGIQUE

À cause de sa pression interne, l'hydrogène et l'hélium, gazeux en surface, se transforment en liquide puis en métal liquide quand on s'approche du centre. Le noyau est solide, peut-être rocheux.

Source : Nasa background image.



Red junior va finir par fusionner avec sa grande sœur, même si l'écart en latitude semble aujourd'hui les isoler, et sur quelle échelle de temps. "On ne peut exclure cette éventualité. Si la dynamique de ce système reste la même, la fusion pourrait se produire d'ici trente ans", note Pierre Drossart. Un battement de cil à l'échelle des planètes... mais une attente bien longue pour les observateurs.

La rédaction [mai 2006]

## TROIS TACHES

**E**T de trois ! Après la Grande Tache rouge, puis la Petite Tache rouge et baptisée "Junior" (bien qu'elle soit aussi grande que la Terre...), un troisième cyclone vermillon vient de faire son apparition dans l'hémisphère Sud de Jupiter. Une équipe américaine l'a repéré les 9 et 10 mai 2008 grâce au télescope spatial Hubble.

La nouvelle tache rouge était connue jusqu'ici sous la forme d'un ovale blanchâtre. Pourquoi a-t-elle changé de couleur ? Les astrophysiciens s'en tiennent à l'hypothèse avancée en 2005 : "Il est probable que l'anticyclone injecte de la matière issue des couches profondes de Jupiter vers sa stratosphère", explique Glenn Orton, du Jet Propulsion Laboratory (Californie). Au bout d'un temps suffisamment long, par des réactions chimiques induites par le rayonnement ultraviolet du Soleil, cette matière prendrait la teinte bien connue de la Grande Tache rouge, qui culmine à 8 000 m au-dessus des nuages environnants. Pour en savoir davantage, les astrophysiciens ont

décrypté les images réalisées par le télescope Keck (10 m de diamètre). Dans l'infrarouge, elles donnent accès à des couches plus profondes de l'atmosphère jovienne. Mais surtout, ils attendent avec impatience la rencontre annoncée de la petite dernière avec la Grande Tache rouge ! Que va-t-il se passer ? La plus grosse des deux tempêtes, qui souffle depuis au moins deux siècles, va-t-elle absorber la petite ? À moins que

### ↑ JAMAIS DEUX SANS TROIS

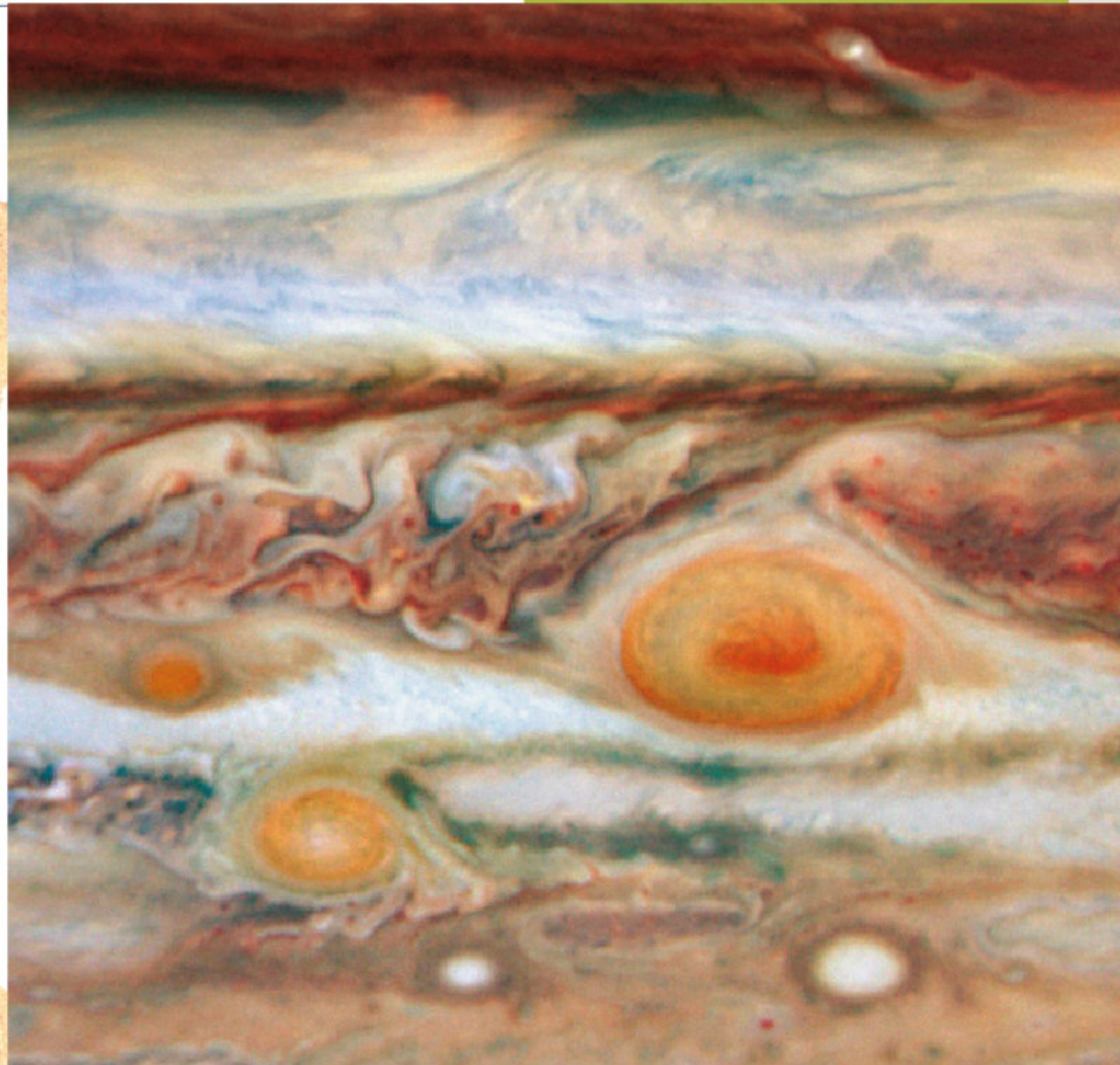
Les 9 et 10 mai 2008, le télescope spatial Hubble a réalisé cette vue saisissante de la Grande Tache rouge de Jupiter (à droite). Junior et une troisième Petite Tache rouge sont bien visibles. L'image fait environ 70 000 km de côté.

celle-ci soit finalement "régurgitée" par l'anticyclone géant... L'événement sera observable depuis la Terre (voir suite),

## VISITES

**Encore proche de la Terre** et parée de lunes dont certaines, comme Europe, possèdent des caractéristiques intéressantes (énergie interne, molécules organiques, eau liquide), Jupiter a souvent été survolée — d'autant plus que sa gravité en fait une "fronde gravitationnelle" idéale pour catapulter les engins vers des destinations plus lointaines, comme dans le cas de la mission New Horizons vers Pluton,

qui l'a croisée fin 2006. La première sonde qui l'a approchée, à 130 000 km, a été l'américaine Pioneer 10, en décembre 1973, suivie de Pioneer 11 (décembre 1974) à 34 000 km, record d'approche. Puis Voyager 1 et 2 (mars et juillet 1979), Ulysses (février 1992 et février 2004). La sonde Galileo s'est satellisée autour de Jupiter pendant sept ans (1995-2002) et y a lancé un module qui a pénétré son atmosphère sur 150 km avant d'être détruit. Enfin, la sonde Cassini l'a survolée en décembre 2000.



notamment par des amateurs dotés d'instruments relativement puissants (plus de 150 mm). Quoi qu'il en soit, avec l'apparition de "Junior" en 2005, puis d'une nouvelle tache rouge, certains chercheurs avancent désormais l'hypothèse controversée d'un possible "changement climatique" sur Jupiter.

David Fossé [ juillet 2008 ]

## COLLISION DE TACHES

Le télescope spatial Hubble a photographié la rencontre de la Grande Tache rouge (Great Red Spot, ou GRS) et de sa petite sœur, Baby Red Spot (ou Little Red Spot, LRS) entre les 1<sup>er</sup> et 6 juillet 2008. La plus petite et plus jeune des trois taches rouges de Jupiter, aperçue pour la première fois le 9 mai 2008 par

Hubble, évoluait aux mêmes latitudes que la GRS et semblait promise à rencontrer son aînée. Ces taches sont des tempêtes, les plus violentes du Système solaire, dont les vents peuvent atteindre 650 km/h. Les scientifiques pensent qu'elles doivent leur teinte particulière aux matériaux qu'elles font remonter des couches profondes de Jupiter vers sa stratosphère, où ceux-ci subissent le rayonnement ultraviolet du Soleil. Elles sont alors bien visibles sur les longueurs d'onde du méthane. Tout au long du mois de juillet, de nombreux astronomes amateurs et professionnels ont suivi l'événement. La LRS a contourné le cœur de la Grande Tache en se disloquant en plusieurs tourbillons blancs, propulsés vers l'est par les vents périphériques. Ils sont ressortis les 5 et 6 juillet, et ont constitué un nouvel anticyclone rouge qui a perduré au moins jusqu'au 14 juillet. Selon Glenn Orton, du Jet Propulsion

Laboratory (Californie), l'étude du nouveau venu doit "donner des indices sur les conditions physiques et chimiques nécessaires aux changements de couleur des tempêtes", notamment liés aux températures et aux vitesses des vents. Avec d'autres scientifiques, il travaille d'ailleurs encore sur les dernières images. "Désormais, les vestiges de la LRS ne sont plus décelables en lumière visible ni sur les longueurs d'onde du méthane, mais seulement en infrarouge, précise l'astrophysicien. Nous sommes en train d'étudier leur évolution et annoncerons probablement des résultats en octobre." Affaire à suivre !

La rédaction [ septembre 2008 ]

### ↓ CANNIBALISME ATMOSPHERIQUE

Entre mai et juillet 2008, la Petite Tache rouge a failli être avalée par la Grande. Elle s'en est sortie, mais considérablement affaiblie (flèche). Cliché pris par Hubble.



# Les lunes

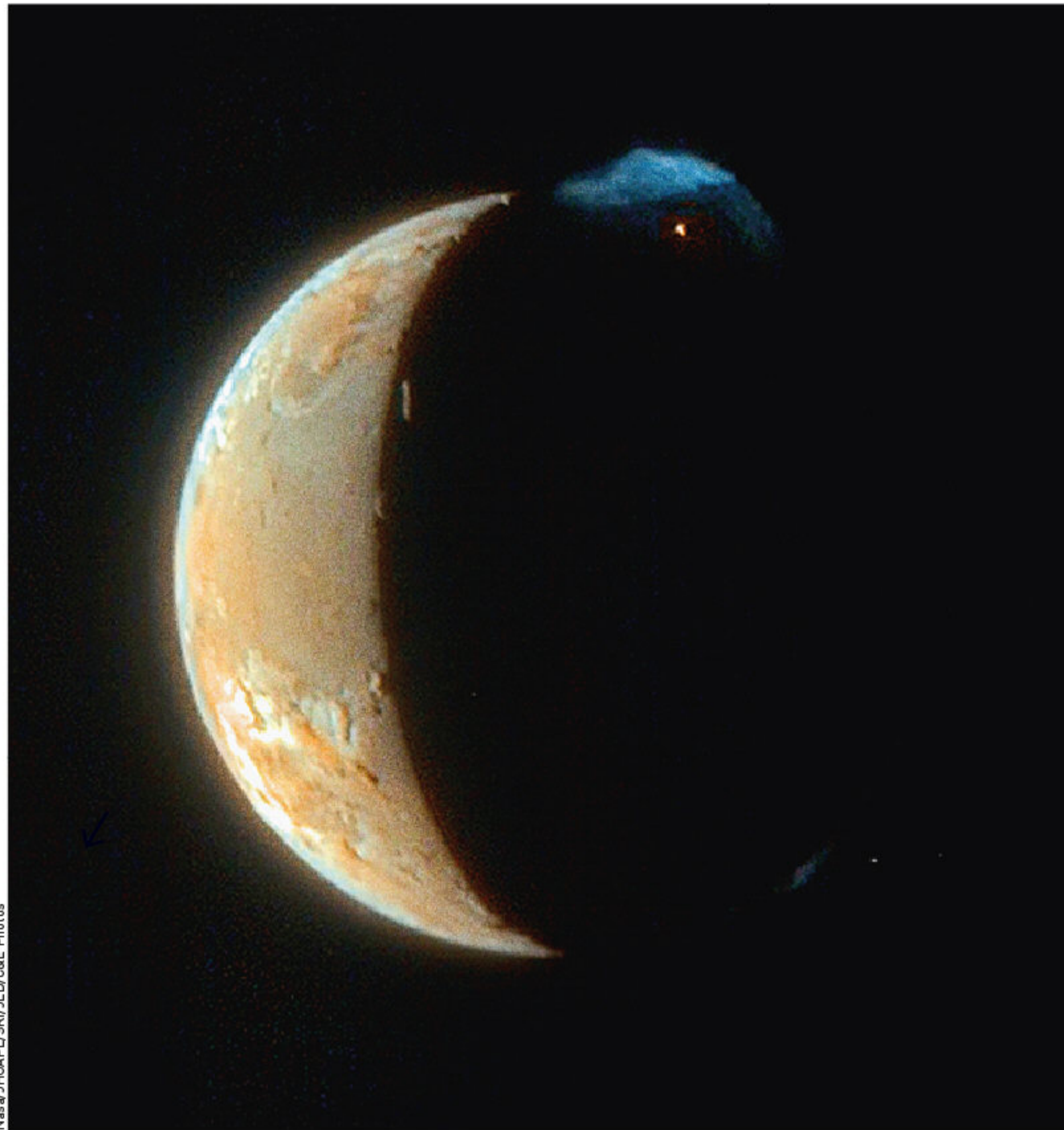
## IO, LA VOLCANIQUE

**I**O est une véritable palette de peintre : vue par Voyager 2, Galileo, Cassini, New Horizons et le télescope Hubble, elle offre l'apparence, unique dans le Système solaire, d'une pizza riche en dégradés de jaune, rouge, blanc, noir et vert.

De fait, toutes ces couleurs signalent la présence de laves de soufre et de sulfures dérivés, car Io est une lune volcanique très active. En effet, son voisinage avec Jupiter (c'est sa lune la plus proche) lui fait subir des forces gravitationnelles extraordinaires, provoquant de continuelles frictions internes qui l'échauffent : la température moyenne de sa surface atteint les 1000 °C. On y dénombre plus de 400 volcans actifs qui crachent leurs sulfures à des centaines de kilomètres d'altitude, ainsi qu'une centaine de montagnes dont certaines atteignent la hauteur de l'Everest. Contrairement aux autres lunes de Jupiter, Io est composée de roches silicatées entourant un noyau de fer ou de sulfure de fer liquide.

Très étudiée depuis la découverte de son activité volcanique par Voyager 2, elle ne semble pas néanmoins présenter les caractéristiques propices au développement d'une vie, en raison de sa température et surtout de l'absence d'eau liquide.

Nasa/JHUAPL/SRI/JLD/C&E Photos

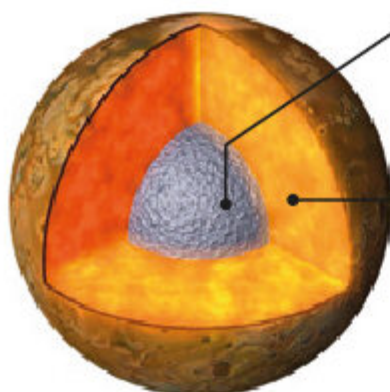


### ↑ IO COIFFÉE

La sonde New Horizons, en route vers Pluton, a traversé le système de Jupiter le 28 février 2007 et a pris cette étonnante photo de sa lune Io. On y distingue deux volcans en éruption : Tvashtar, au nord, et Masubi, au sud (panache gazeux éclairé par le Soleil).

### PROFIL GÉOLOGIQUE

Selon les modèles, Io posséderait un noyau en fer ou en sulfure de fer, surmonté d'un manteau riche en forstérite (silicate de magnésium).



Noyau : entre 350 et 900 km de rayon (selon sa composition)

Manteau et croûte : entre 900 et 1500 km d'épaisseur.

24

## Io, la plus proche

**Diamètre** : 3 650 km / 0,286 Terre

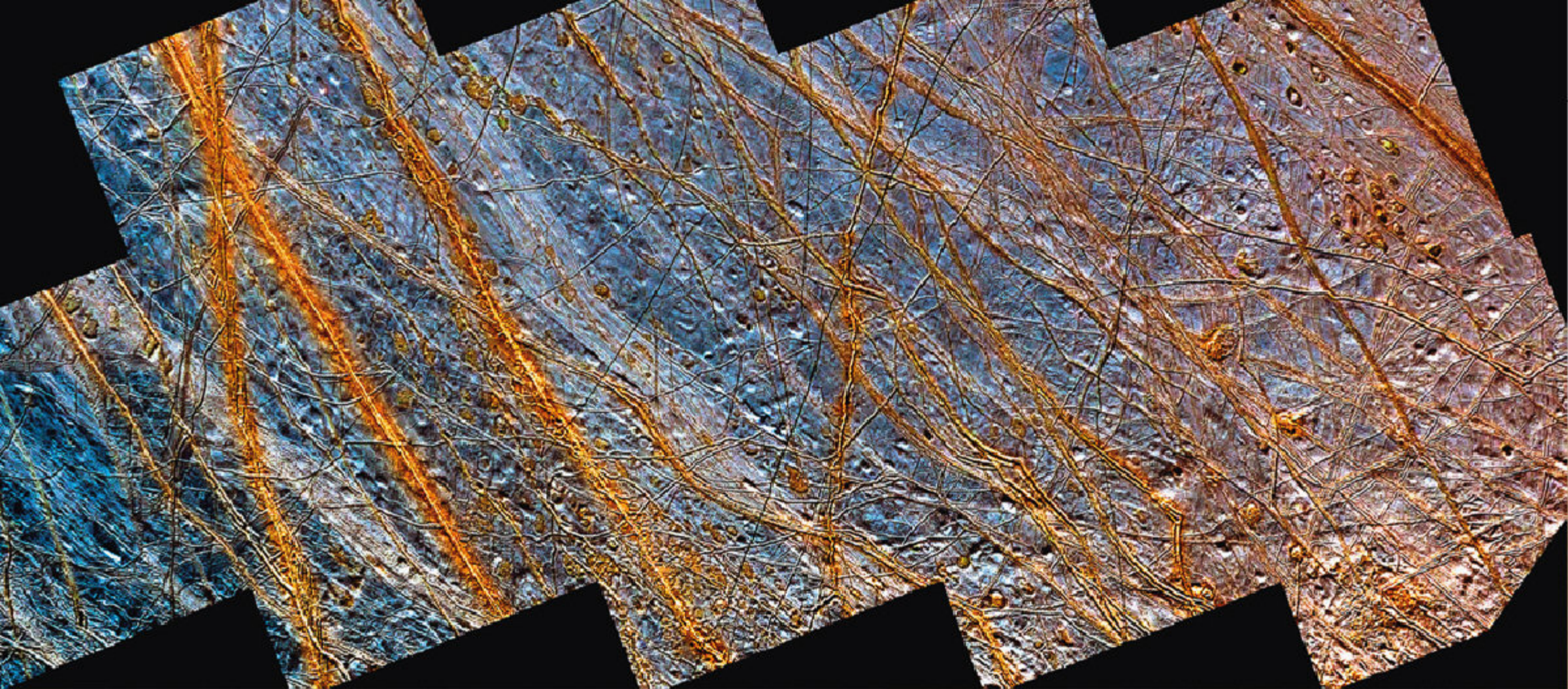
**Masse** :  $8,93 \cdot 10^{22}$  kg / 0,015 Terre

**Orbite autour de Jupiter** : 421 700 km

**Période de révolution autour de Jupiter** : 1,8 jours

**Atmosphère** : traces

**Température en surface maximale** : 1 700 °C ; **minimale** : -190 °C



Photos : Nasa/C&E Photos

## EUROPE, LA CONGELÉE

**D**E l'eau liquide s'agite sous l'épaisse couche glacée d'Europe. Tour à tour, les sondes Voyager, Galileo et les observatoires terrestres ont apporté des indices : une surface lisse semblant se renouveler sans cesse, rayée de craquelures évoquant la présence de morceaux de glace qui se déplacent sur du matériau meuble... Les modèles les plus "optimistes" mentionnent un vaste océan, trois fois plus épais que l'océan terrestre, recouvrant la totalité du satellite de Jupiter. Les plus prudents parlent plutôt de "poches" d'eau liquide piégées dans la glace. "Mais la vie pourrait également se nicher dans ces petites poches d'eau", note Jack Farmer, exobiologiste à l'université d'Arizona. Au fond d'un océan global ou nichée dans des poches d'eau, la vie pourrait-elle

vraiment se développer sur Europe ? Une étude d'octobre 2009 appuie cette hypothèse. Richard Greenberg, de l'université d'Arizona, révèle que le sous-sol d'Europe est plus riche en oxygène que les océans terrestres. Élément indispensable au métabolisme de la plupart des êtres vivants sur Terre, l'oxygène est produit à la surface d'Europe par réaction de la glace d'eau avec les particules énergétiques produites par la magnétosphère de Jupiter. Jusqu'à présent, les scientifiques se demandaient si une quantité suffisante d'oxygène parvenait à traverser l'épaisse couche de glace pour atteindre l'eau liquide et permettre ainsi à la vie de se développer. Pour répondre à cette question, Richard Greenberg a étudié le taux de renouvellement de la glace de surface, afin de mesurer l'ampleur des échanges entre la surface et le sous-sol. En comparant cette donnée au taux de production de l'oxygène en sur-

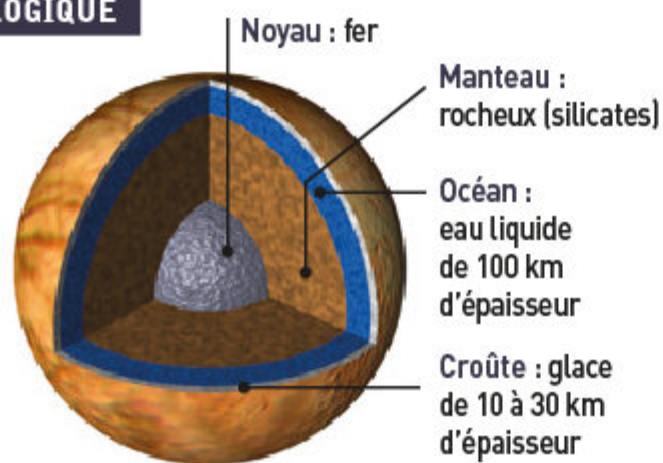
### ↑ RIDES GELÉES

Mosaïque de la surface gelée d'Europe obtenue par la sonde Galileo en 1996, avec une résolution de 250 m par pixel. Les grosses rides ocre se seraient formées suite à des éruptions cryovolcaniques.

face, il a mis en évidence que la teneur en oxygène de l'océan (ou des poches d'eau liquide) d'Europe est 100 fois supérieure à ce que l'on croyait. "Il y a suffisamment d'oxygène là-dessous pour faire vivre 3 millions de tonnes d'une faune macro, tels des poissons, affirme le chercheur. L'autre bonne nouvelle est qu'il a fallu 2 milliards d'années, après la formation d'Europe, pour que l'oxygène de surface soit transporté dans l'océan. Un délai suffisant au développement d'une chimie prébiotique anaérobique (pour qui l'oxygène est un poison, comme ce fut le cas sur Terre il y a 2,7 milliards d'années)." Les chercheurs ont de multiples raisons de croire à la vie sur Europe. C'est notamment

#### PROFIL GÉOLOGIQUE

On suppose qu'Europe possède un océan global de 100 km d'épaisseur sous la surface gelée.



## Europe, la plus "vivable"

**Diamètre :** 3 150 km / 0,245 Terre

**Masse :**  $4,8 \cdot 10^{22}$  kg / 0,008 Terre

**Orbite autour de Jupiter :** 670 900 km

**Période de révolution autour de Jupiter :** 3,55 jours

**Atmosphère :**  $10^{-11}$  bar (Terre : 1 bar)

**Température en surface moy. :**  $-171^{\circ}\text{C}$  ; **max. :**  $-148^{\circ}\text{C}$  ; **min. :**  $-225^{\circ}\text{C}$

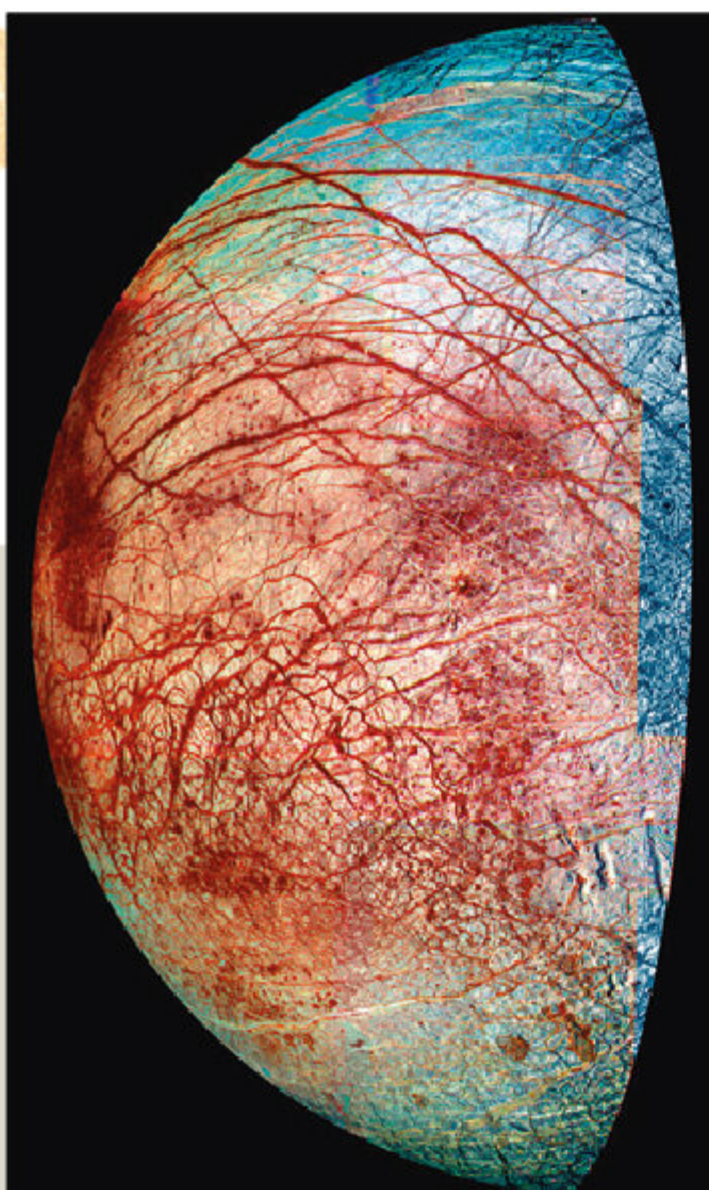
afin de vérifier l'habitabilité du système de Jupiter que la mission EJSM (Europa Jupiter System Mission) s'envolera en 2020. Elle sera composée de deux entités : le Jupiter Europa Orbiter (JEO) de la Nasa et le Jupiter Ganymede Orbiter (JGO) de l'Agence spatiale européenne, respectivement lancés en février et en mars. Entre 2026 et 2029, JEO cartographiera précisément Europe, positionné entre 100 et 200 km d'altitude.

Comment espérer détecter la vie d'Europe qui, si elle existe, est enfouie à des dizaines de kilomètres sous la surface, avec un orbiteur ? *"Du matériau océanique pourrait remonter à la surface par certaines failles, explique François Raulin, de l'université d'Orsay-Paris 12. En les observant en spectroscopie, on pourrait repérer les signatures de composés organiques émanant d'une chimie prébiotique, ou même de gaz produits par des organismes."*

La rédaction [ décembre 2009 ]

## ↓ SOUS LA GLACE, LA MER

L'aspect de la surface d'Europe, avec ses rides et ses craquelures, laisse supposer la présence de gigantesques blocs de glace se déplaçant sur un océan d'eau liquide qui entoure tout le satellite.



## ↑ LES PLUS GRANDES

À gauche : Ganymède, le plus grand satellite de Jupiter, avec ses régions sombres (anciennes) et claires (plus récentes). Et Callisto, la seconde, dont la surface est très cratérisée, mais sans trace d'activité tectonique.

## GANYMÈDE ET CALLISTO, FAUX JUMEAUX

**C**ES DEUX satellites de Jupiter sont différents parce qu'ils n'ont pas subi la même intensité d'impacts cométaires voici 3,8 milliards d'années. Grâce à leur résultat, Amy Barr et Robin Canup répondent à une question qui date des survols de Jupiter par les sondes Voyager, il y a trente ans. *"Comme la Terre et Vénus, Ganymède et Callisto sont nés ensemble. Comprendre comment ces corps jumeaux sont devenus si distincts est d'un intérêt immense pour les planétologues"*, explique Amy Barr. En fait, Ganymède est plus

proche de Jupiter que Callisto. Or la planète géante, par sa masse énorme, attire tous les petits corps qui passent à proximité. Du coup, lors du bombardement massif qu'a connu le Système solaire à ses débuts, Ganymède aurait été frappé deux fois plus que Callisto. Selon Amy Barr, *"les impacts de cette époque ont fait fondre Ganymède si profondément que la chaleur n'a pas pu s'en évacuer rapidement. Toute la roche de Ganymède a plongé vers le centre."* Ayant reçu moins d'impacts et à plus faible vitesse, Callisto aurait évité ce destin.

Les deux lunes, composées des mêmes quantités de glace et de roche, ont ainsi une structure et une apparence différentes.

La rédaction [ janvier 2010 ]

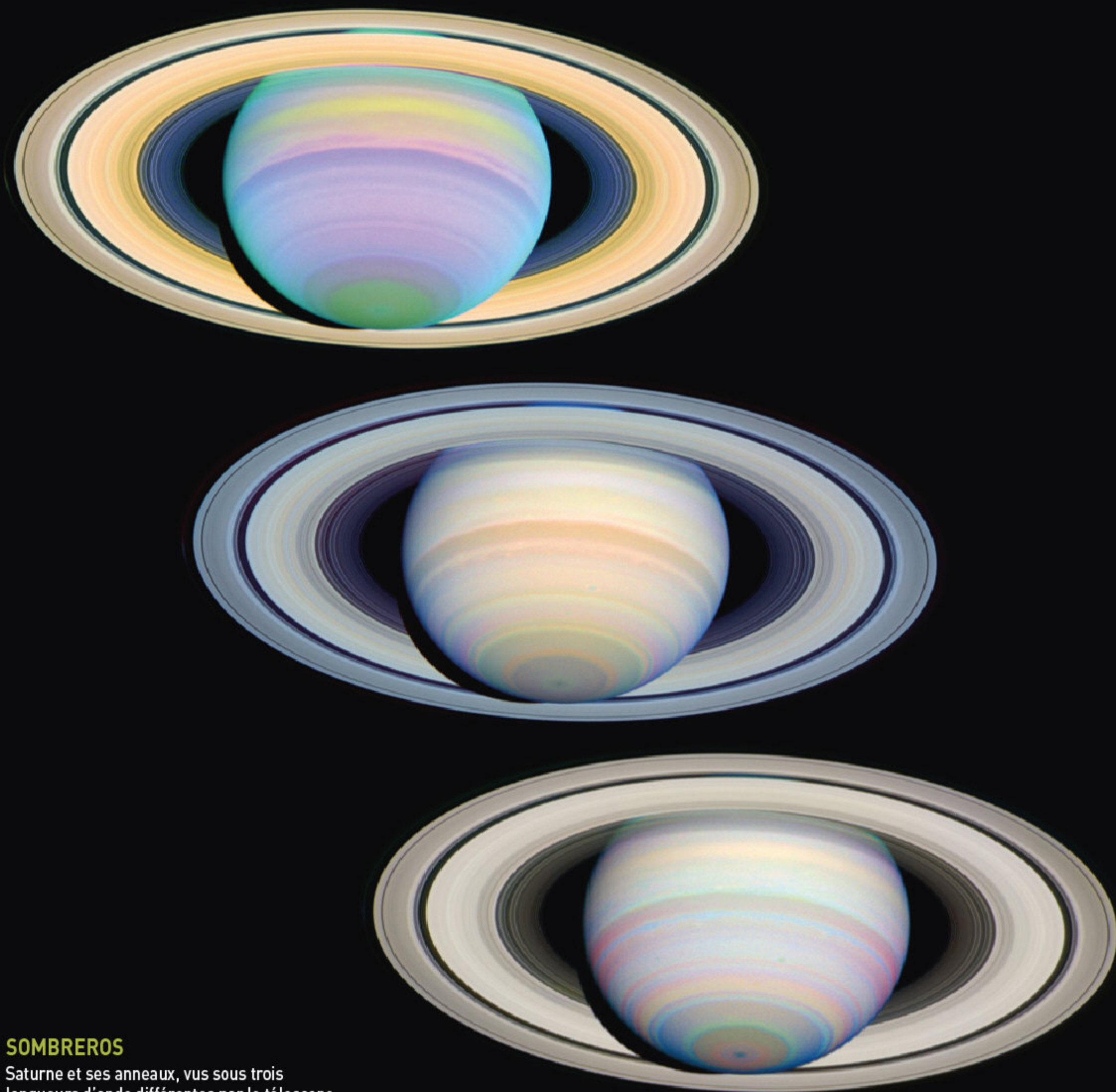
+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Jupiter et Saturne, planètes géantes et gazeuses avec Thérèse Encrenaz

## DERNIÈRES NOUVELLES

**NASA** – Depuis 2008, des ingénieurs de la Nasa tentent de mettre au point un robot dédié à l'exploration sous-marine du

satellite Europe, qui pourrait faire partie d'une prochaine mission vers l'astre gelé. Le robot, qui serait capable de cartographier l'environnement marin, de relever ses paramètres physiques et d'analyser des échantillons d'eau en vue de détecter une éventuelle présence de vie, devra d'abord prouver sa valeur dans les lacs sub-glaciaires de l'Antarctique.



### SOMBREROS

Saturne et ses anneaux, vus sous trois longueurs d'onde différentes par le télescope spatial Hubble (2003). Les filtres utilisés permettent de distinguer divers éléments chimiques des anneaux et de l'atmosphère.

ELLE VOLE LA VEDETTE à Jupiter : ses anneaux sont un véritable laboratoire d'étude des interactions gravitationnelles. Et ses lunes sont fort prisées : Titan et Encelade, pour la vie, Japet pour son étrange forme.

# SATURNNE

## DES ANNEAUX ET DES LUNES

### La planète

**S**ATURNE, la dernière planète connue par les Anciens, a intrigué les astronomes depuis sa première observation à la lunette, par Galilée en 1610... et c'est toujours le cas : ses anneaux sont un phénomène unique dans le Système solaire<sup>(1)</sup> que l'on n'a pas encore parfaitement expliqué. Galilée, dont la lunette était rudimentaire, crut voir des protubérances de part et d'autre de l'astre, comme si deux autres planètes étaient accolées à lui. Mais dès 1655, Huygens, qui ne put voir les anneaux (ils se présentaient alors par la tranche), fit l'hypothèse audacieuse d'un anneau très fin, ce qui sera confirmé quelques années plus tard lorsque les "protubérances" seront à nouveau observées. Depuis lors, les anneaux volèrent la vedette à la planète elle-même. De fait, Saturne est une géante gazeuse comme

Jupiter, mais plus petite. Comme elle, elle possède une atmosphère très active avec des taches (cyclones). C'est ce qu'ont montré les sondes qui, après Jupiter, sont passées par elle : Pioneer 11 (1979), Voyager 1 et 2 (1980, 1981) et Cassini (depuis 2004), qui doit y rester jusqu'en 2017.

Mais outre ses anneaux, Saturne possède une autre caractéristique de valeur : quelque 200 lunes dont certaines, Titan et Encelade, pourraient être des havres de vie...

(1) Même si Jupiter, Uranus et Neptune en possèdent également, mais fort ténus.



Nasa/C&E Photos

## L'ÉNIGME DES ANNEAUX

**M**YSTÉRIEUX anneaux... Ils ont beau être les objets les plus brillants du Système solaire, car les plus réfléchissants, ils sont les plus sombres... au regard de notre connaissance. Formés de corps de 1 cm à une dizaine de mètres, et de petits satellites d'un diamètre de quelques dizaines de mètres à une dizaine de kilomètres, le tout évoluant en bonne harmonie, leurs caractéristiques physiques ont de quoi surprendre.

D'abord, ils s'étendent dans le plan équatorial de Saturne sur un rayon de 67 000 km à 140 000 km par rapport au centre de la planète (de 7 000 km à 80 000 km d'altitude par rapport à sa "surface") pour une épaisseur inférieure au kilomètre. Ensuite, ils sont en glace d'eau pure à plus de 99 %, alors qu'ils évoluent dans un milieu plutôt poussiéreux. Enfin, ils présentent d'étonnantes lacunes (divisions de Cassini, de Encke, de Guérin et de Keeler) qui les séparent en cinq anneaux "principaux" : D, C, B, A et F (dans l'ordre en partant de Saturne), auxquels s'ajoutent les anneaux G et E, et d'autres très diffus, s'étendant jusqu'à 400 000 km de distance. Et ce n'est pas tout : chaque anneau cache, derrière

### ← TACHES DE SATURNE

Détail de l'atmosphère de l'hémisphère Nord saturnien, pris en août 1981 par la sonde Voyager 2, à 7 millions de kilomètres. On y distingue trois taches : la plus grosse, à gauche, fait 3 000 km de diamètre.



## Sixième planète, la seule couronnée de magnifiques anneaux

**Distance au Soleil** : 1,43 milliard de km / 9,6 AU  
**Période de révolution** : 29,46 années terrestres  
**Inclinaison de l'orbite / excentricité** : 2,5° / 0,055

**Période de rotation à l'équateur** : 10,57 h  
**Diamètre** : 120 500 km / 9,45 Terre  
**Masse** :  $5,7 \cdot 10^{26}$  kg / 95 Terre  
**Gravité à l'équateur** :  $10,4 \text{ m.s}^{-2}$  / 1,06 Terre

**Température moyenne en surface** : -190 °C

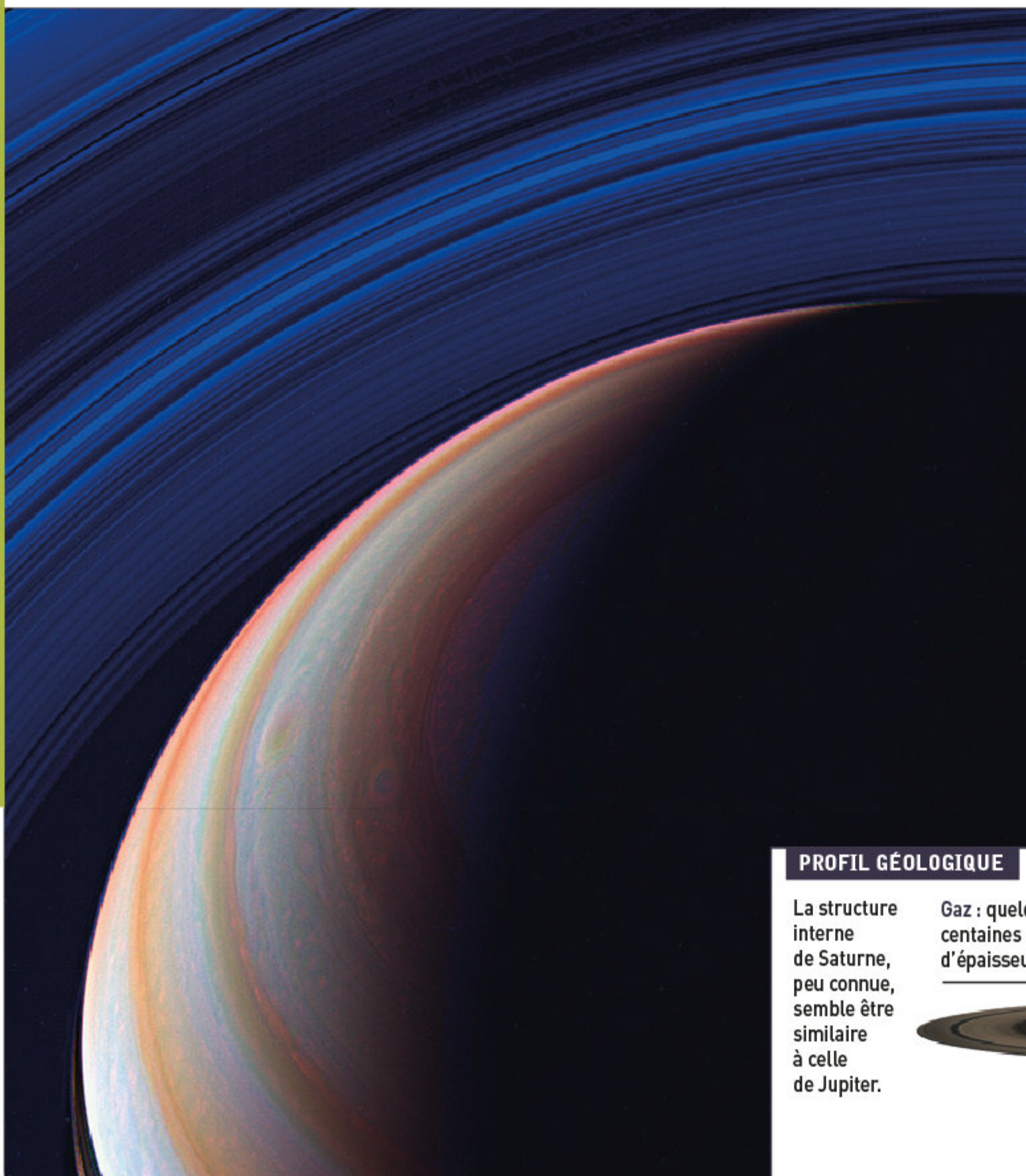
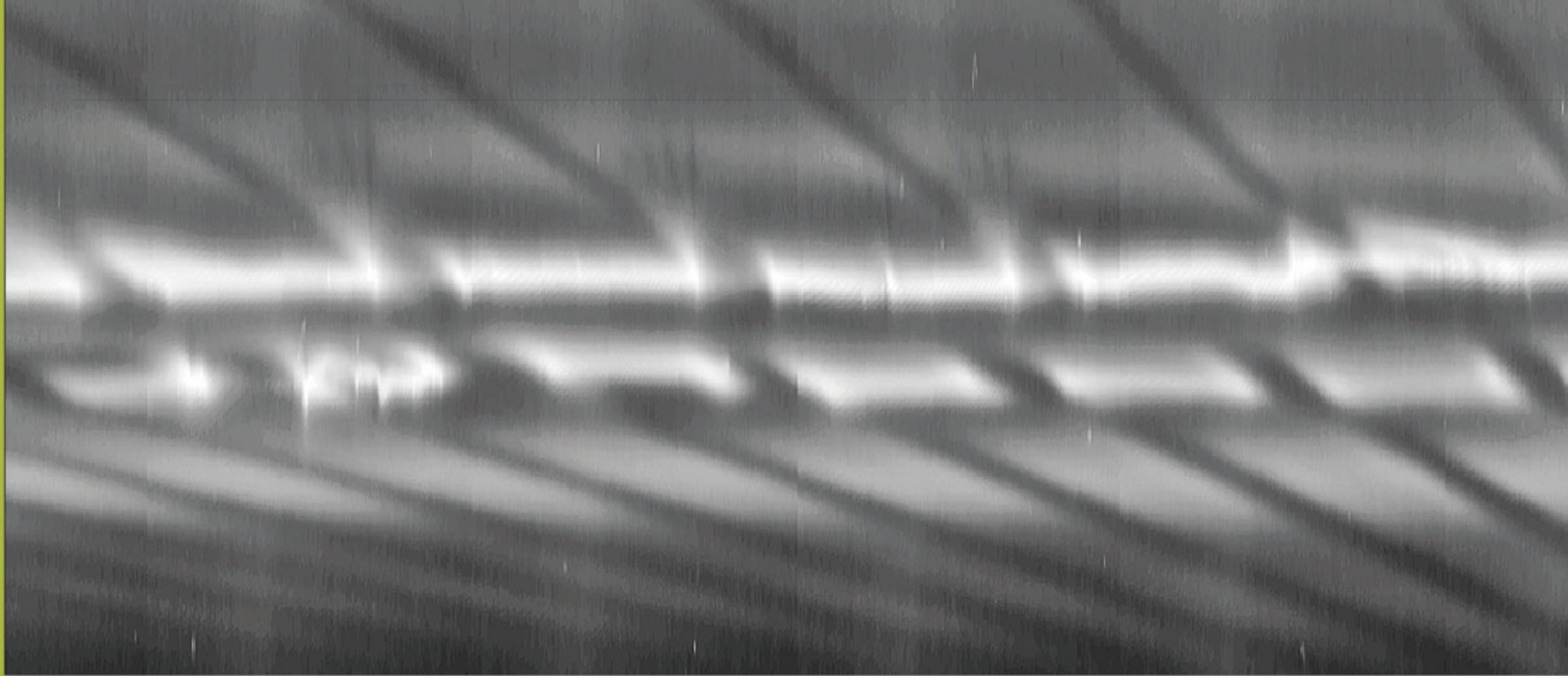
**Pression atmosphérique en surface** : 1 bar (Terre : 1 bar)

**Composition** : dihydrogène (~96 %), hélium (~3 %), méthane (~0,4 %), vapeur d'eau (0,1 %), ammoniac (0,01 %), éthane...

**Satellites** : plus de 200

**Particularité** : anneaux

**Découverte** : les Babyloniens, XIV<sup>e</sup> siècle av. J.-C.



une apparente homogénéité, une structure en sillons rappelant les vieux disques en vinyle, parcourus de vagues, ponctués de zones d'accumulation, rayés de bandes sombres tels les rayons d'une roue de vélo (photo ci-dessus)... Et l'on pourrait continuer à égrainer les particularités qui les rendent si uniques. Mais ce qui surprend le plus dans les anneaux de Saturne... c'est qu'à ce jour on ignore comment ils se sont formés.

Du coup, plusieurs scénarios sont en lice. Déjà, la masse totale de la matière présente dans les anneaux principaux est estimée à  $3.10^{19}$  kg. Réunie, elle formerait un corps d'à peine 400 km de diamètre,

#### ← VUE DU NORD

Photo de Saturne et ses anneaux intérieurs en vue plongeante, réalisée par la sonde Cassini lors d'un de ses passages au-dessus du pôle Nord de la planète.

#### PROFIL GÉOLOGIQUE

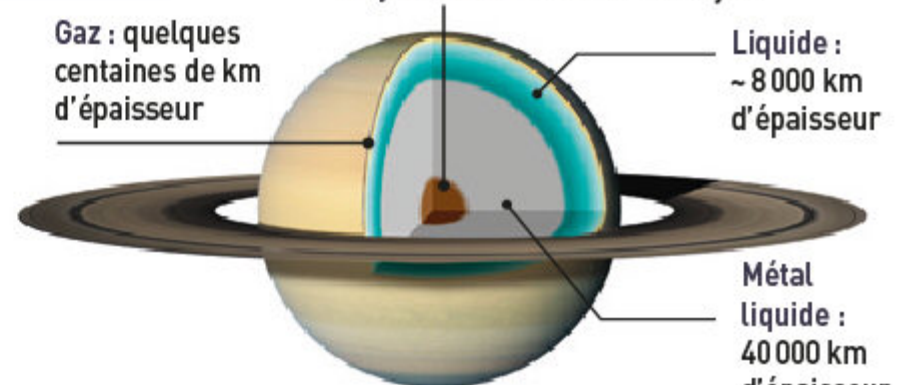
La structure interne de Saturne, peu connue, semble être similaire à celle de Jupiter.

Gaz : quelques centaines de km d'épaisseur

Noyau solide : 5 000 km de rayon

Liquide : ~ 8 000 km d'épaisseur

Métal liquide : 40 000 km d'épaisseur



### ← EN ÉVENTAIL

Vue détaillée de l'anneau F, prise par la sonde Cassini le 5 juillet 2010. Ce phénomène, mal connu, serait dû notamment à la proximité d'un des satellites de Saturne, Prométhée.

4,5 milliards d'années. Dans tous les cas, une chose semble acquise : la dynamique interne des anneaux serait l'*autorégénération*. Concrètement, leur matière tend à former des agrégats par le hasard des collisions, mais le processus inverse est aussi fréquent : les agrégats sont désintégrés par les collisions. Aussi, les anneaux se régénèrent continuellement et présentent ainsi un aspect jeune, qui a fait penser un temps qu'ils étaient bien plus récents que Saturne. Mais aujourd'hui, il est majoritairement admis que les anneaux sont aussi vieux que la planète et ses satellites, satellites avec lesquels d'ailleurs ils entretiennent des relations d'influence gravitationnelle fort complexes qu'on commence à peine à clarifier. Le mystère des anneaux, s'il devrait finir par s'éclaircir, demeure aujourd'hui bien prégnant.

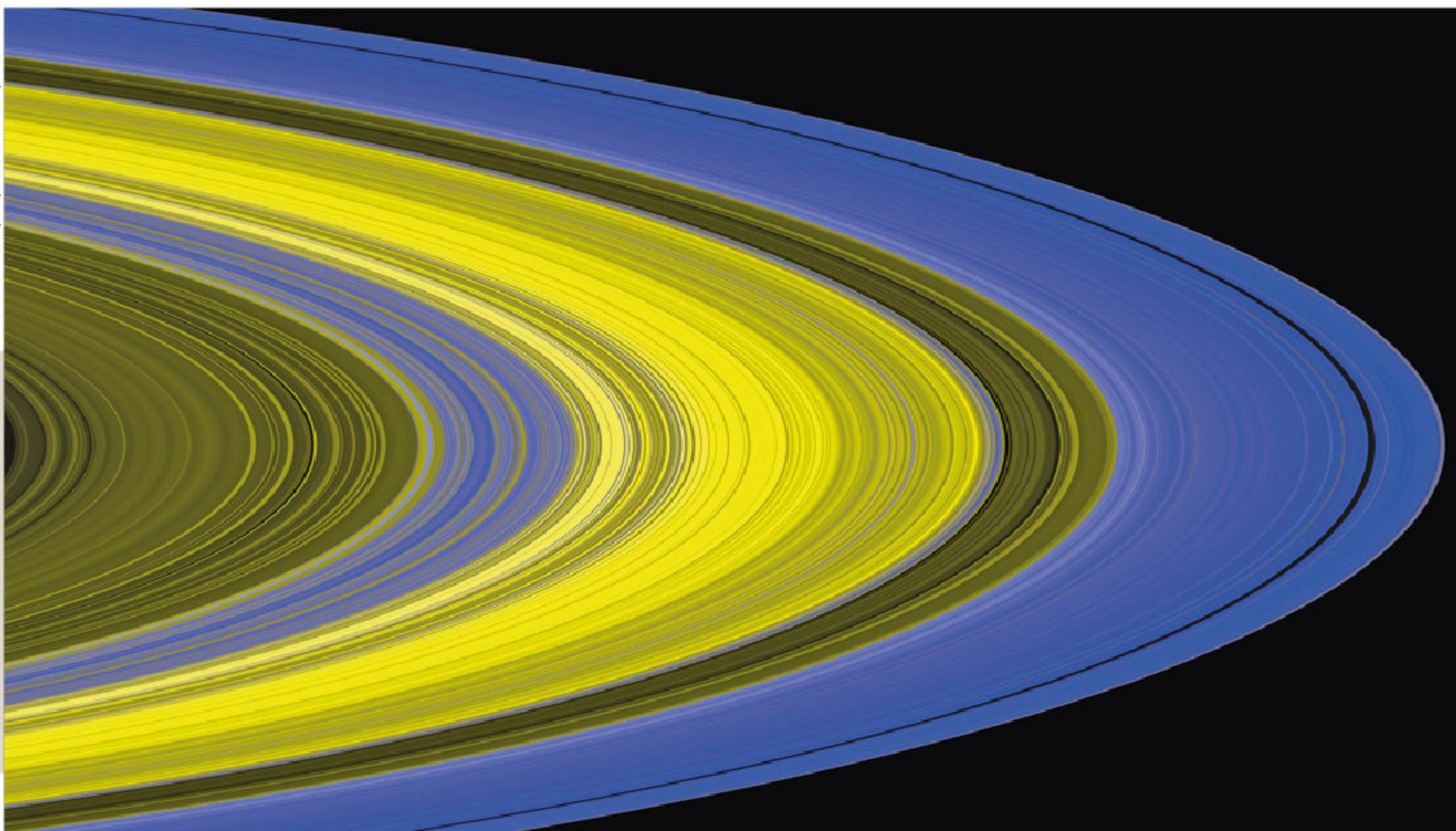
Nasa/JPL/SSI

soit moins d'un huitième de la taille de la Lune ! Aussi, l'une des hypothèses émises est que les anneaux seraient les restes d'un ancien satellite, broyé par les colossales forces de marées gravitationnelles de la planète géante, combinées à celles

### ↓ DES MILLIERS DE SILLONS

Jamais, avant Cassini, les anneaux de Saturne n'étaient apparus avec une telle finesse. Les nuances de jaune révèlent la présence de glace, et les contrastes, la densité de matière.

de ses lunes principales. À moins que ce satellite hypothétique n'ait été pulvérisé par une comète passant justement par là à l'époque du grand bombardement, 700 millions d'années après la naissance du Système solaire — mais en termes de probabilités, les chances d'une telle rencontre sont minimales. Un autre scénario, moins privilégié par les astronomes, postule que les anneaux seraient un vestige du gaz et de la poussière de la "nébuleuse" originelle qui a formé Saturne, voici



## LE GRAND ANNEAU

**D**EPUIS qu'ils observent Saturne, les astronomes n'avaient jamais remarqué qu'elle était entourée par un gigantesque anneau ! Un tore de poussières qui s'étend jusqu'à plus de 12 millions de kilomètres de la planète — soit 40 fois plus loin que ceux, bien connus, qui ceignent Saturne. Sa seule différence avec les majestueux anneaux découverts en 1655 par Huygens : il est indécélable en lumière visible. Il a fallu des observations menées avec le télescope spatial Spitzer pour le révéler. Par sa sensibilité aux infrarouges, Spitzer a mis en évidence l'émission thermique extrêmement faible de particules congelées à  $-193^{\circ}\text{C}$  et très dispersées — rien à voir avec celles des anneaux

“classiques” qui s'entrechoquent régulièrement. *“Ces particules sont si éparses que si vous étiez dans l'anneau, vous ne le sauriez pas”*, précise Anne Verbiscer, de l'université de Virginie (États-Unis). Voilà pourquoi cet anneau géant, qui occupe sur la voûte céleste un diamètre apparent équivalant à deux fois la Pleine Lune, était jusqu'à présent invisible à nos télescopes. Cette découverte pourrait bien mettre un terme à une énigme : celle du double visage de Japet, l'un des satellites de Saturne. Celui-ci possède un hémisphère blanc et l'autre sombre. Une curiosité que les astronomes attribuaient à des particules venues de Phoebé, un minuscule satellite qui gravite en sens inverse de tous les autres, à environ 13 millions de kilomètres de la planète.

Or, le nouvel anneau tourne dans le même sens que Phoebé et dans le même plan, avec une inclinaison d'environ  $27^{\circ}$  par rapport aux autres membres du système saturnien. Ses particules peuvent donc, comme l'imaginaient les spécialistes, migrer vers Saturne et frapper de plein fouet l'hémisphère “avant” de Japet, qui croise à 3,5 millions de kilomètres de la planète. *“Ce nouvel anneau fournit une preuve convaincante de la relation entre les deux satellites”*, note Douglas Hamilton, de l'université du Maryland (États-Unis), coauteur de la découverte. Et Phoebé serait à l'origine de l'anneau lointain, alimenté par la poussière arrachée au petit satellite lors des impacts météoritiques.

La rédaction [ novembre 2009 ]



### LE GRAND ANNEAU

Le plus large anneau de Saturne mesure 24 millions de kilomètres de diamètre. Il est sur la même orbite que Phoebé. Ses constituants viendraient donc de ce satellite, le plus éloigné de la planète.

Nasa/JPL/Caltech

## Les lunes

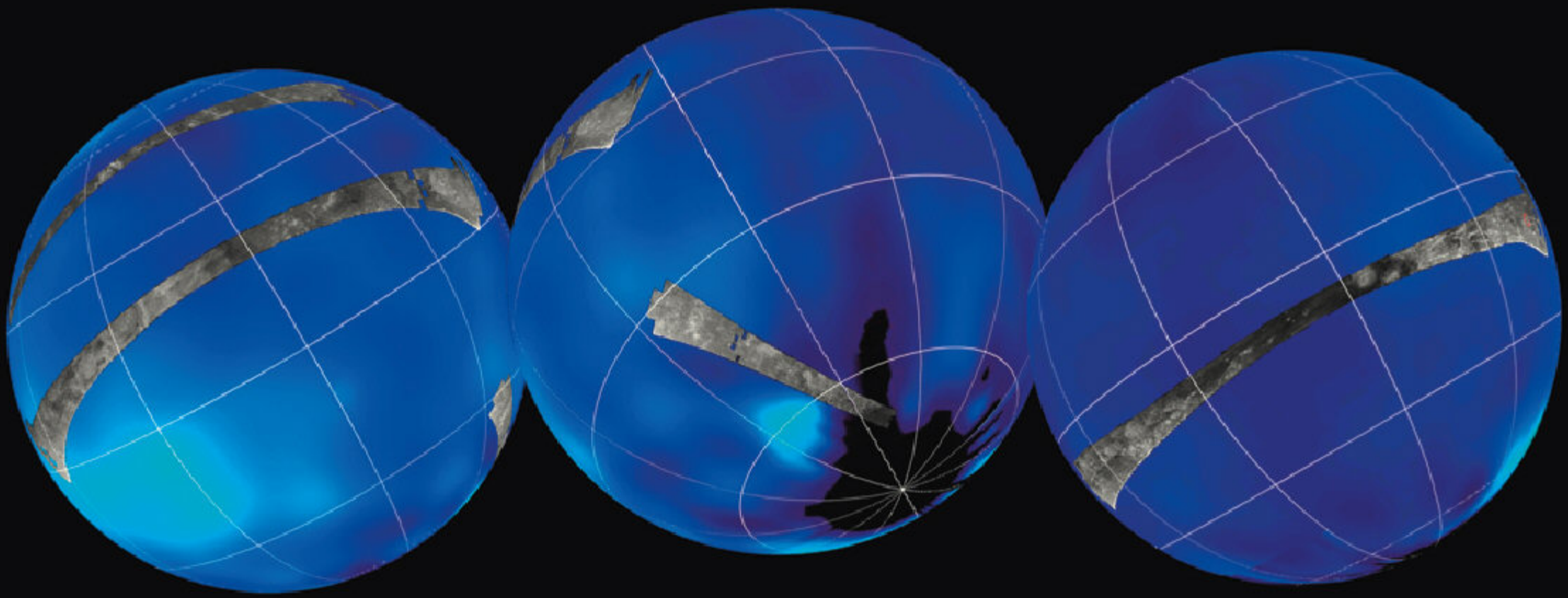
### TITAN

**T**ITAN... Ce monde éloigné d'un milliard de kilomètres, littéralement congelé par une température de  $-180^{\circ}\text{C}$ , mérite le détour. Car loin d'être figé par le froid extrême, le plus gros satellite de Saturne partage avec la Terre un privilège rare dans le Système solaire : celui d'être en activité perpétuelle. La manifestation la plus évidente réside dans ces étendues liquides, les seules connues hors de notre planète, repérées et cartographiées par la sonde Cassini en six ans de périple dans

### VISITES

La plus importante visite de Titan a été

faite par le module européen Huygens, largué par la sonde Cassini. Huygens a atterri sur Titan le 14 janvier 2005 et a transmis des données sur sa structure et sa composition atmosphérique, confirmant aussi la présence de lacs de méthane à la surface du satellite.



Nasa/JPL

le système de Saturne. Mais ces milliers de lacs, qui constellent les régions polaires, ne contiennent pas une goutte d'eau — celle-ci subsiste sous la forme d'une glace aussi dure que la pierre, qui constitue le sol et le rivage des lacs. Sur Titan, le liquide, c'est principalement de l'éthane et du méthane. Or ces lacs intriguent les astronomes, notamment à cause d'une bizarrerie : ils sont 25 fois plus nombreux au pôle Nord qu'au pôle Sud ! Cette dissymétrie est-elle due aux saisons ? C'est d'abord ce que l'on a cru. Car, comme la Terre, Titan connaît des saisons du fait de l'inclinaison de son équateur par rapport à l'écliptique (de 26° pour Titan, de 23° pour la Terre). Saturne (et Titan avec elle) boucle une révolution autour du Soleil en presque 30 ans. Chaque saison de cette "année" dure donc un peu plus de 7 ans. Jusqu'alors

plongé dans l'été, l'hémisphère austral de Titan aurait été davantage ensoleillé. Voilà pourquoi ses lacs se seraient asséchés... Mais un élément contrarie ce scénario.

*"Dans les conditions atmosphériques de Titan, l'éthane liquide s'évapore très peu ou pas du tout. Quant au méthane, il s'évapore de 1 à 10 m par an, explique Sébastien Rodriguez, du CEA. Extrapolé sur une saison, cela donne 70 m au maximum. Or, les bassins font plusieurs centaines de mètres de profondeur. Conclusion : en une saison, ils n'ont pas du tout le temps de se vider."* Ces calculs semblent confirmés par les observations de Cassini, qui montrent que le rivage d'Ontario Lacus, le plus vaste lac de l'hémisphère Sud, n'a que légèrement reculé entre 2005 et 2009.

Quelque chose d'autre ne colle pas : si la cause de la dissymétrie était saisonnière, les

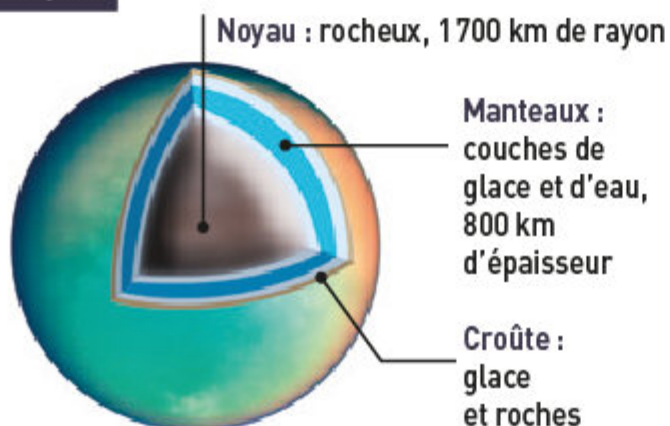
### ↑ TRANCHES DE TITAN

Processus de cartographie de Titan par Cassini : en bleu, le satellite tel que l'a observé le télescope spatial Hubble ; en noir et blanc, les détails révélés par le radar de la sonde (résolution de 300 m par pixel).

bassins devraient être répartis équitablement entre les deux hémisphères, et se remplir puis s'assécher au fil des saisons. Or, ce n'est pas le cas : les bassins (asséchés ou non) sont bien plus nombreux au nord qu'au sud. Et la topographie n'y est pour rien. Aucune observation ne montre par exemple que le sol austral est plus poreux, c'est-à-dire de nature à laisser le liquide s'infiltrer dans le sous-sol. Et si un autre mécanisme, au rythme beaucoup plus lent, expliquait la dissymétrie ? C'est ce que propose l'équipe d'Oded Aharonson,

#### PROFIL GÉOLOGIQUE

Titan serait fait principalement d'eau (liquide et glace) et de roches silicatées, avec une présence importante de méthane et d'éthane.



## Titan, la plus grande lune

**Diamètre** : 5 150 km / 0,404 Terre

**Masse** :  $1,34 \cdot 10^{23}$  kg / 0,022 Terre

**Orbite autour de Saturne** : 1 221 900 km

**Période de révolution autour de Saturne** : 15,95 jours

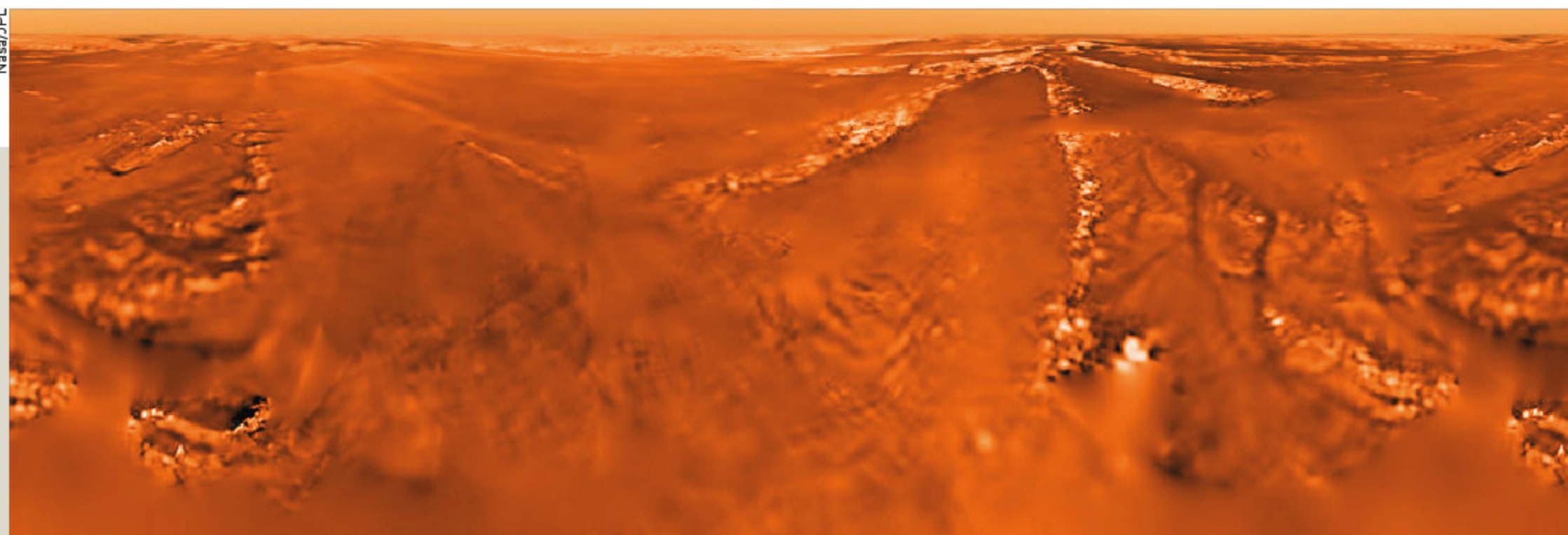
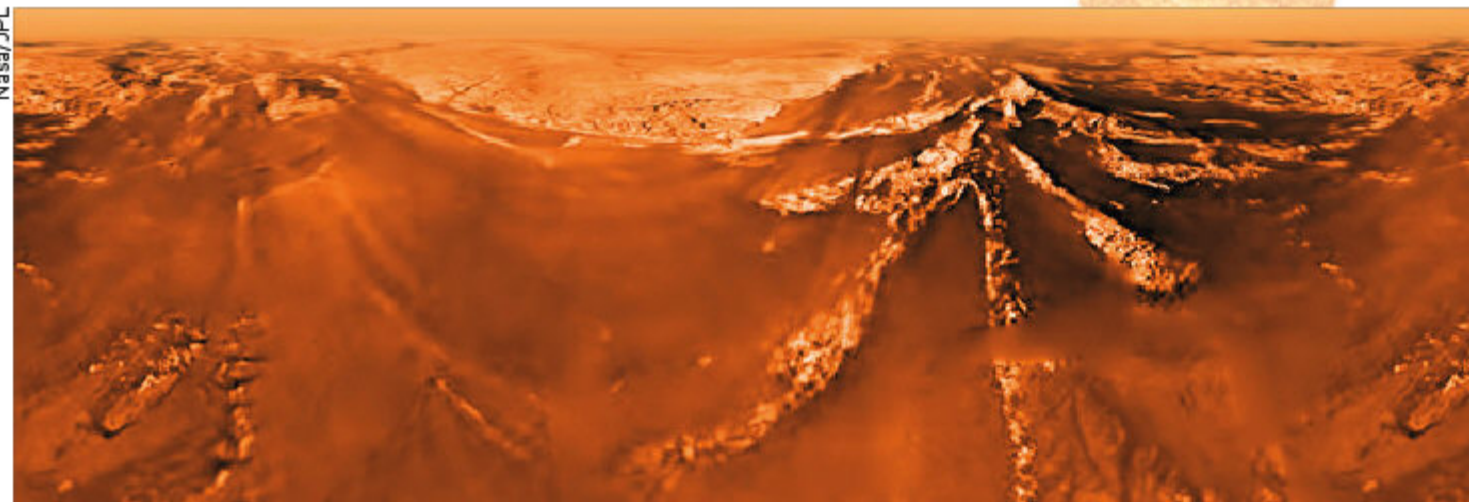
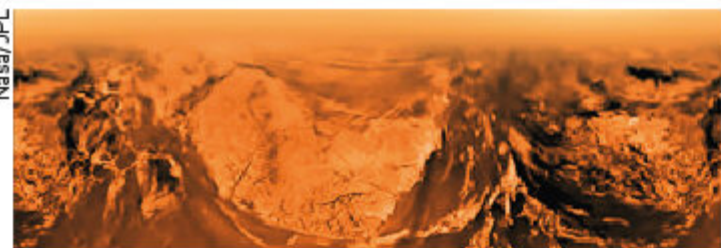
**Atmosphère** : 1,47 bar (Terre : 1 bar) ; azote (98,4 %), méthane (1,6 %)

**Température en surface moyenne** : - 180°C

du Caltech (Californie). Selon elle, il existe sur Titan un phénomène semblable à celui qui, sur Terre, provoque la succession des ères glaciaires : de très lentes variations de l'orbite de Saturne selon un cycle de 45000 ans. *"Saturne [et donc Titan] navigue sur une orbite légèrement elliptique"*, explique Oded Aharonson. Du coup, sa distance au Soleil varie au cours de sa révolution : il en résulte des saisons inégales. Actuellement, quand Titan est au plus près du Soleil (périhélie), c'est l'été dans l'hémisphère Sud. Un

### ↓ DESCENTE VERS TITAN

Le paysage de Titan photographié par la sonde Huygens lors de sa descente vers la surface le 14 janvier 2005 : à 10 km (haut), 2 km (milieu) et 400 m du sol (bas). L'échelle verticale est exagérée afin d'amplifier l'effet de relief.



été plus court que celui de l'hémisphère Nord car, suivant les lois de Kepler, Saturne accélère lors de ce passage au périhélie. Mais aussi un été plus intense, l'hémisphère austral recevant 24 % de lumière solaire en plus que l'hémisphère boréal en été. À l'inverse, les hivers sont plus froids au nord qu'au sud. *"Cette configuration dure depuis 30000 ans"*, indique le chercheur américain.

Au fil de ces étés "arides", les lacs australs se sont peu à peu évaporés et les bassins se sont érodés. Au nord, au contraire, les hivers plus froids favorisent la stabilité des liquides, et les lacs se sont remplis. *"C'est une idée astucieuse, commente Sébastien Rodriguez. Elle explique le déséquilibre de lacs entre le nord et le sud, tout en permettant de reconstituer le passé climatique de Titan et de prédire son avenir !"* Car la situation n'est pas figée : d'ici 15000 à 20000 ans, les cartes seront redistribuées. Quand Titan sera au périhélie, ce sera l'été dans l'hémisphère Nord. Les étés y seront alors plus courts et plus intenses qu'au sud. Et tous les lacs

boréaux pourraient bien "migrier" alors vers l'hémisphère austral. Voilà pour les grandes ères climatiques à venir. Mais pour la météo à plus courte échéance, ce sont bel et bien les saisons qui gouvernent. Et elles viennent justement de changer : en août 2009, Saturne a passé l'équinoxe : c'est le début du printemps dans l'hémisphère Nord de Titan et dans 7 ans, ce sera l'été. *"Même si les saisons sont très longues, on s'attend à observer assez vite des changements, explique Sébastien Rodriguez. C'est le moment idéal pour tester les modèles concurrents sur la circulation nuageuse."*

Car Titan est couvert de nuages et il y pleut ! Dans l'hémisphère d'été (au sud), des cumulus sporadiques, formés de méthane, au pôle et à 40° S. À cette latitude, les conditions de pression et de température sont telles que les gouttes de pluie de méthane, pourtant gigantesques (1 cm contre 6 mm pour les gouttes de pluie sur Terre), s'évaporent avant d'avoir atteint le sol. Mais au pôle, le liquide subsiste un peu mieux... En revanche, dans l'hémisphère d'hiver (au nord), il règne un énorme "maelstrom" nuageux diffus et tenace au pôle, qui engendre des pluies un peu plus soutenues. Ce maelstrom polaire s'établit quand de l'éthane, présent dans la haute atmosphère, descend et se condense en traversant des couches plus froides. Or, l'éthane est plus stable que le méthane, même si les gouttelettes sont si fines qu'une partie reste en suspension dans l'air. Maintenant que Saturne et Titan

Nasa/JPL

Nasa/JPL

Nasa/JPL



ont passé l'équinoxe, les scientifiques se posent une foule de questions : les cumulus vont-ils migrer vers le nord et le maelstrom, vers le sud ? Là-bas, la pluie va-t-elle creuser de nouveaux lacs amenés à s'évaporer par la sécheresse de l'été suivant ? Plusieurs modèles prévoient une inversion de la tendance nuageuse, mais les équipes ne sont pas d'accord sur la rapidité de cette inversion. Pour les 5 à 15 ans à venir, le bulletin météo prévoit donc (avec un indice de confiance assez faible) de la pluie d'éthane et de méthane au pôle Sud de Titan.

Émilie Martin [juin 2010]

## ENCELADE

EN 2005, la sonde Cassini avait créé la surprise en photographiant des jets de vapeur d'eau et de particules de glace émanant du pôle Sud d'Encelade. Pour expliquer ces panaches de plusieurs centaines de kilomètres, certaines équipes évoquaient la présence d'un océan sous la croûte glacée du satellite de Saturne. Une hypothèse qui semble aujourd'hui renforcée. En juin 2009, une étude a montré que ces jets contiennent 2 % de sel. Le même que celui de nos océans. Or, d'après les chercheurs, seul le

### ↑ GEYSERS GAZEUX

Lors de son survol du pôle Sud d'Encelade, le 21 novembre 2009, la sonde Cassini a saisi ces jets de vapeur d'eau et de poussières.

contact d'un vaste réservoir d'eau liquide avec le plancher rocheux d'Encelade peut expliquer la présence de ce sel.

Depuis la découverte de ces panaches, Encelade séduit les exobiologistes. Il vient une nouvelle fois de marquer des points. Abel Mendez, de l'université de Puerto Rico, a établi la première évaluation de l'habitabilité des planètes du Système solaire. Il a



## Encelade, la plus active

**Diamètre :** 504 km / 0,039 Terre

**Masse :**  $1,1 \cdot 10^{20}$  kg / 0,00002 Terre

**Orbite autour de Saturne :** 237 950 km

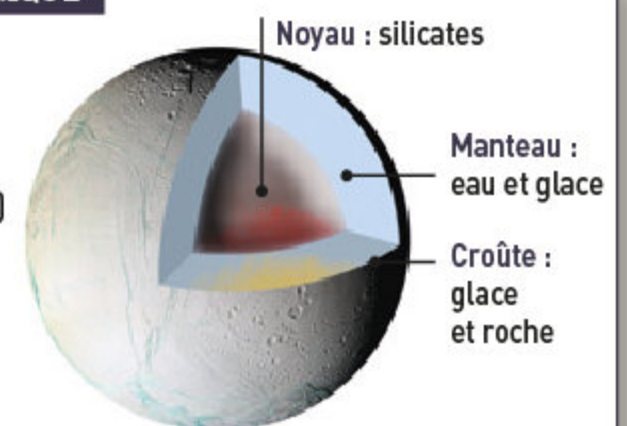
**Période de révolution autour de Saturne :** 1,37 jours

**Atmosphère :** traces

**Température en surface moy. :**  $-200^{\circ}\text{C}$  ; **max. :**  $-130^{\circ}\text{C}$  ; **min. :**  $-240^{\circ}\text{C}$

### PROFIL GÉOLOGIQUE

Malgré sa petite taille, Encelade connaît une intense activité géologique (geysers, tectonique) dont l'origine est mal connue (radioactivité, frictions gravitationnelles).



comparé Mars, Europe, Titan (le plus gros satellite de Saturne) et Encelade en mesurant la température et la pression qui y règnent à mesure que l'on s'enfonce dans le sol. Et c'est Encelade qui sort grand gagnant. Sur Mars, les "meilleures" conditions possible pour la vie se trouvent à 7,5 km de profondeur : il y fait 37°C et 800 bars de pression. Sur Europe, c'est à 15,2 km de profondeur que les conditions sont les meilleures : 0°C pour une pression de 200 bars. Sur Titan, on ne trouve pas mieux que 0°C et 1 100 bars à

90 km de profondeur. La combinaison la plus confortable, Abel Mendez l'a repérée sur Encelade : un douillet 37°C avec une pression raisonnable de 130 bars. Seul problème, il faut s'enfoncer à 100 km sous la surface pour rencontrer de telles conditions.

À l'heure actuelle, et même dans les années à venir, aucune sonde ne sera capable de forer à cette profondeur. *"Comme sur Europe, c'est en analysant le matériau interne éjecté par des points chauds que nous aurons le plus de chance de détecter*

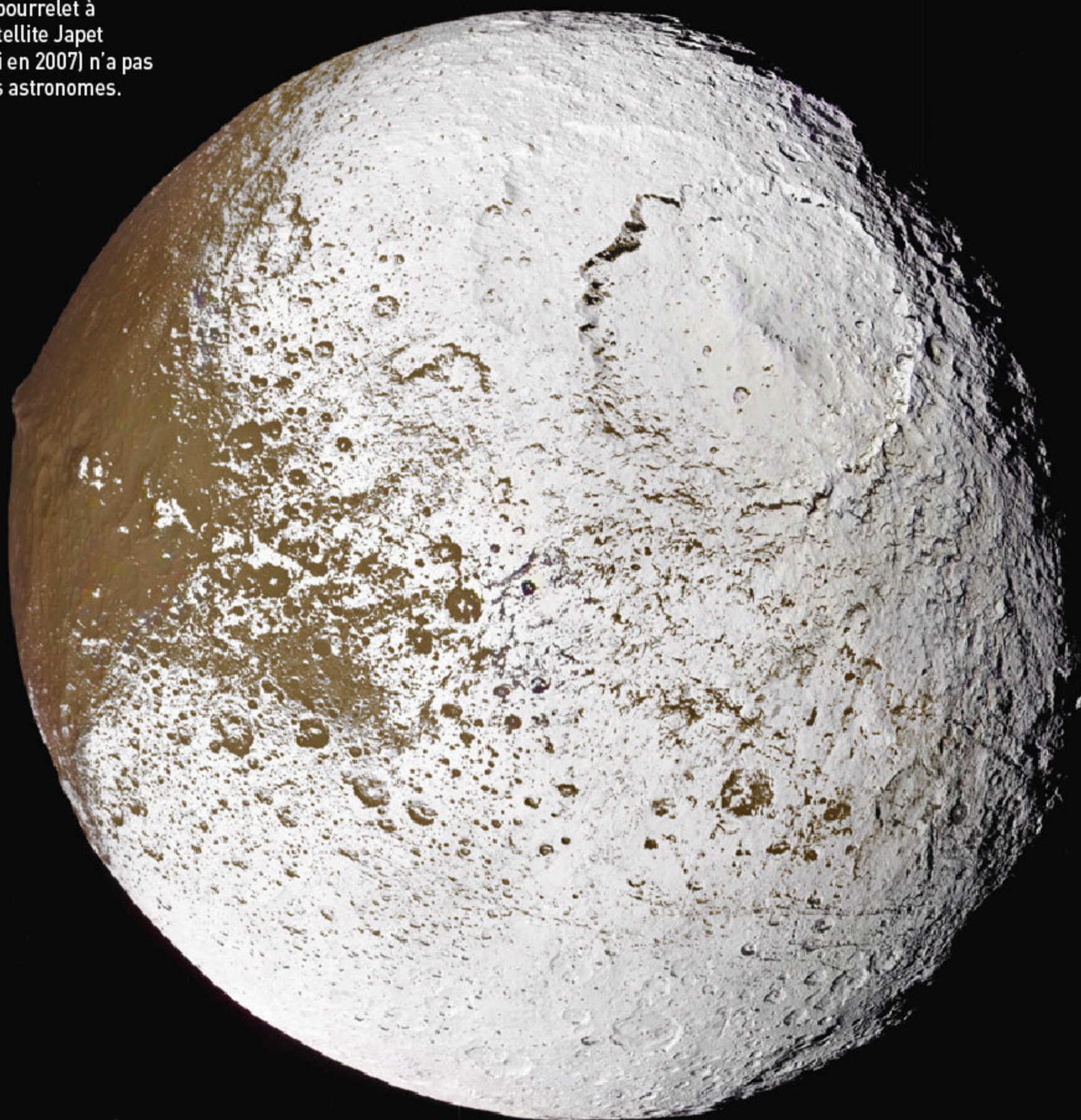
*des indices de vie"*, suggère Abel Mendez. Le 12 mars 2009, la sonde Cassini est passée à seulement 48 km d'Encelade. Elle a survolé les failles d'où s'échappent les panaches et y a décelé des molécules complexes, signes qu'une chimie organique existe à l'intérieur du satellite. *"Tous ces arguments nous incitent à penser qu'Encelade est potentiellement habitable, ce que nous étions loin d'imaginer voici encore quelques années !"* conclut le chimiste François Raulin.

**Émilie Martin** [ décembre 2009 ]

Nasa/JPL/JLD/C&E Photos

## SALE ET DÉFORMÉ

Avec ses deux faces, sombre et claire, et son bourrelet à l'équateur, le satellite Japet (photographié ici en 2007) n'a pas fini d'étonner les astronomes.



## JAPET

**L**E 10 septembre 2007, Cassini s'est approchée à 1 640 km de Japet, un gros satellite de Saturne. Et les photos qu'elle a transmises ont permis de s'attaquer à ses deux mystères. D'une part, l'incroyable chaîne de montagnes qui ceint son équateur, hérissée de sommets de 20 000 m d'altitude ! D'autre part, la différence entre les deux hémisphères, déjà aperçue en 1671 par Jean-Dominique Cassini : l'un est tout blanc, l'autre est en grande partie noir ! Et sur les portions de surface où blanc et noir cohabitent, elles ne se mélangent jamais.

Première énigme donc : comment le "bourrelet" qui ceinture Japet à l'équateur s'est-il formé ? Pour Christophe Sotin, de l'université de Nantes, membre de l'équipe de Julie Castillo, du Jet Propulsion Laboratory, elle est apparue quand la rotation du satellite a ralenti brusquement. *"Japet est très aplati aux pôles, comme s'il tournait sur lui-même assez vite, en 16 heures. Or, il le fait en 79 jours ! Pour conserver cette forme fossile d'une rotation rapide, le freinage a dû être brutal — en un millier d'années à peine. Comme sa croûte est rigide, Japet s'est alors 'figé'. Or, ce freinage soudain a eu pour effet de comprimer l'équateur, ce qui a soulevé la chaîne de montagnes."* Mais ce n'est pas tout : *"le bourrelet a l'air érodé, avec des reliefs très doux, confie Sébastien Charnoz, du CEA. C'est étrange car, sur Japet, il n'y a pas d'érosion."* Comment expliquer ces rondeurs ? *"Les éjectas des impacts successifs de météorites ont probablement recouvert peu à peu les arêtes des montagnes."*

Venons-en à l'autre énigme : les trois quarts de l'hémisphère "avant" (dans le sens du mouvement du satellite) sont noirs, tandis que les deux pôles et l'hémisphère "arrière" sont clairs... *"Il est possible que la face avant ramasse la poussière située sur l'orbite de Japet, un peu comme l'avant d'une voiture qui roule reçoit davantage de neige que l'arrière",* explique Pierre Thomas, de l'ENS de Lyon. Possible. En effet, *"la partie sombre est constituée de molécules complexes, révèle Christophe Sotin. Or, Japet n'a pas d'atmosphère capable de les synthétiser. En revanche, Titan est une formidable usine à fabriquer ces matériaux."* Ce serait lui le responsable du noircissement de Japet... La poussière noire pourrait aussi provenir des débris de comètes. Autre hypothèse : comme les taches noires correspondent aux endroits les plus exposés au Soleil, la glace s'y serait vaporisée, laissant apparaître la couche inférieure du satellite, plus sombre. Du coup, c'est le blanc qui recouvrirait le noir, et non l'inverse ! *"Certaines images donnent cette impression. C'est déroutant, admet Christophe Sotin. On ne peut exclure le fait que, tout comme Phoebé, Japet soit sombre à l'origine. Mais nous aurions alors une autre énigme à résoudre : d'où vient ce matériau blanc qui, d'après nos données, est composé d'un mélange de glaces d'eau et de gaz carbonique ? Mystère..."*

Émilie Martin - Jean-Luc Dauvergne

[ novembre 2007 ]

+  Sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Encelade, la lune-geyser de Saturne, avec Pierre Thomas

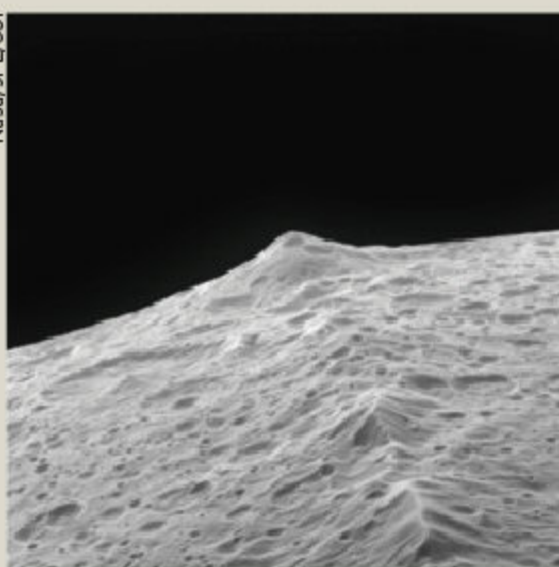
**TÉTHYS** : 1 071 km de diamètre ; 6,176.10<sup>20</sup> kg. L'une des "quatre lunes" de Saturne découvertes en 1684 par Jean-Dominique Cassini est un corps principalement composé de glace, qui gravite à 295 000 km de la planète en 1 j 21 h 7 min et 12 s.

**HYPÉRION** : lune très irrégulière peut-être issue d'une collision entre deux corps célestes. 370x280x226 km ; 1,1x10<sup>19</sup> kg. Gravitant à 1 464 000 km de Saturne en 21 j 6 h 43 min 12 s, elle est composée de glace et recouverte d'une couche de poussière.



Nasa/JPL/JLD/C&E Photos

Nasa/JPL/SSI



Vue rapprochée de la "ceinture" de Japet, une chaîne montagneuse de 20 km d'altitude, photographiée par la sonde Cassini.



## Japet, la plus étonnante

**Diamètre** : 1 472 km / 0,11 Terre

**Masse** : 1,8.10<sup>21</sup> kg / 0,0003 Terre

**Orbite autour de Saturne** : 3 560 800 km

**Période de révolution autour de Saturne** : 79,32 jours

**Atmosphère** : sans

**Température** : région sombre : -143 °C ; région claire : -173 °C

ELLES SONT PEU CONNUES car visitées seulement par la sonde Voyager 2 entre 1986 et 1989... mais le peu qu'on en sait dévoile une richesse qui ne demande qu'à être explorée.

# URANUS et NEPTUNE

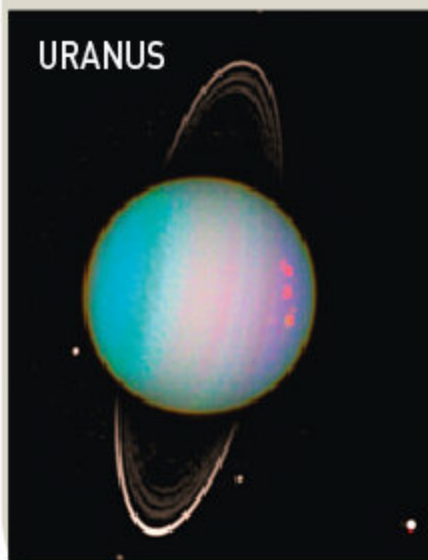
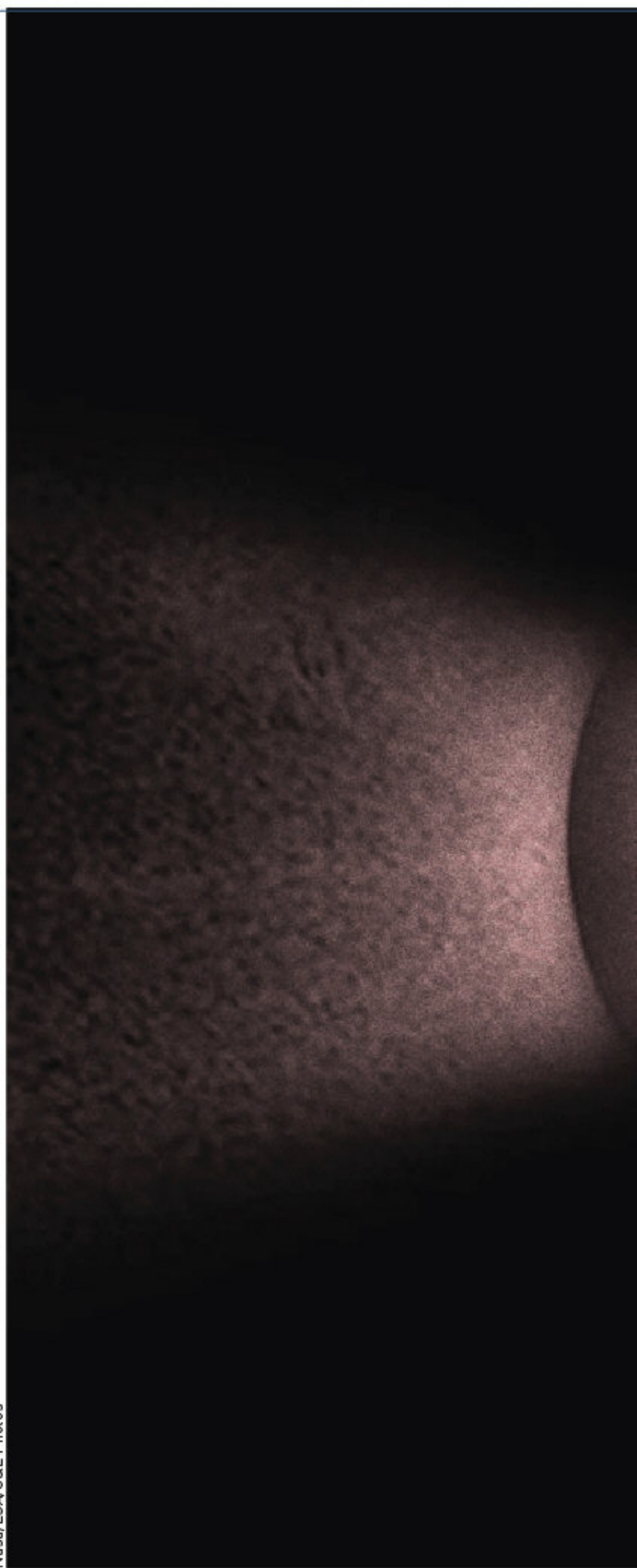
## DE LOIN EN LOIN

### Délaissées !

**U**RANUS et Neptune, les deux dernières planètes du Système solaire sont très mal connues et semblent les mal-aimées des agences spatiales : elles n'ont été survolées que par une seule sonde, Voyager 2, entre 1986 et 1989. La raison : elles sont très loin ! Uranus est au double de la distance de Saturne, et Neptune au triple. Aussi, y envoyer des sondes, c'est s'engager sur un projet très cher, à très long terme et fort risqué. Tant qu'à prendre des risques, la Nasa a privilégié la "planète naine" Pluton car c'est la seule à avoir été découverte par un Américain (Clyde Tombaugh, en 1930).

La sonde New Horizons devrait l'atteindre en 2015. Pourtant Uranus et Neptune sont uniques : gazeuses comme Jupiter et Saturne, elles sont plus petites et, surtout, différentes dans leur composition, au point qu'on les nomme parfois les "géantes de glace". Même si elles sont formées majoritairement d'hydrogène et d'hélium, comme leurs sœurs géantes, elles contiennent également de l'eau (glace), de l'ammoniac, du méthane et quelques hydrocarbures, ce qui leur donne une dynamique atmosphérique particulière. Par ailleurs, l'axe de rotation d'Uranus est décalé de 98° par rapport à son axe de révolution autour du Soleil, ce qui est unique et pose question. Quant à Neptune, la plus extérieure, elle provoque des perturbations gravitationnelles des astres de la ceinture de Kuiper (voir p. 92) dont la dynamique est mal connue.

Nasa/ESA/C&E Photos



Nasa/ESA/C&E Photos



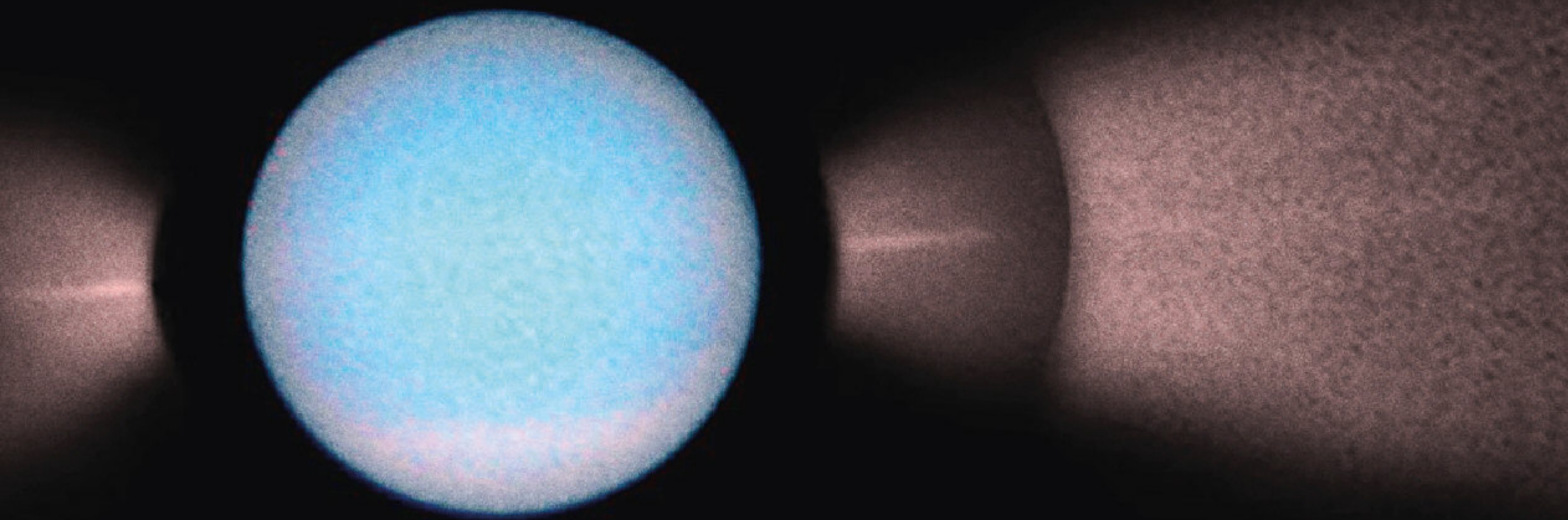
## Septième planète, dite "la penchée"

**Distance au Soleil** : 3004 millions de km / 20 UA  
**Période de révolution** : 84,32 années terrestres  
**Inclinaison de l'orbite / excentricité** : 0,8° / 0,044

**Période de rotation à l'équateur** : 17,24 heures  
**Diamètre** : 51 500 km / 4 Terre  
**Masse** :  $8,7 \cdot 10^{25}$  kg / 14,5 Terre  
**Gravité à l'équateur** :  $8,7 \text{ m.s}^{-2}$  / 0,87 Terre

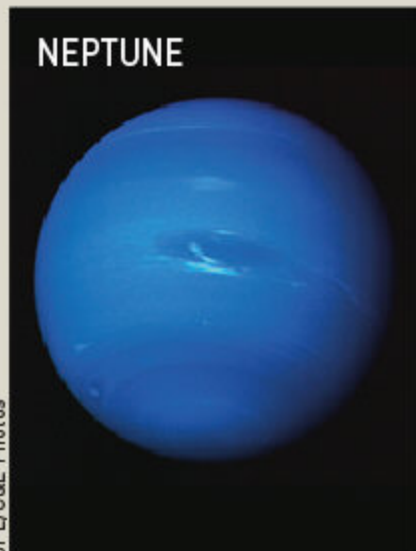
**Température moyenne en surface** : -220 °C  
**Pression atmosphérique en surface** : 1 bar (Terre : 1 bar)  
**Composition** : dihydrogène (~83 %), hélium (~15 %), méthane (~2,3 %), ammoniac (0,01 %), glace, éthane...

**Satellites** : 27  
**Particularité** : anneaux  
**Découverte** : William Herschel, 1781



### LES ANNEAUX D'URANUS

Première image des anneaux d'Uranus vus par la tranche depuis leur découverte en 1977 (fins traits blancs visibles sur les deux zones éclairées). Photo du télescope Hubble, le 14 août 2007.



JPL/C&E Photos



## Huitième planète, la dernière du Système solaire

**Distance au Soleil :** 4 500 millions km / 30 UA  
**Période de révolution :** 164,8 années terrestres  
**Inclinaison de l'orbite / excentricité :** 1,8° / 0,0085

**Période de rotation à l'équateur :** 16,1 heures  
**Diamètre :** 49 500 km / 3,9 Terre  
**Masse :** 10,2.10<sup>25</sup> kg / 17,1 Terre  
**Gravité à l'équateur :** 11,15 m.s<sup>-2</sup> / 1,14 Terre

**Température moyenne en surface :** -220 °C  
**Pression atmosphérique en surface :** 1 bar (Terre : 1 bar)  
**Composition :** dihydrogène (~80%) ; hélium (~19 %) ; méthane (~1,5 %), ammoniac, glace, éthane...

**Satellites :** 13      **Particularité :** anneaux  
**Découverte :** Johann Gottfried Galle, sur les indications d'Urbain Le Verrier, 1846

# Modèles

**S**UR Terre, les diamants sont peut-être éternels mais, sur Uranus et Neptune, ils fondent ! La pression et la température sont telles au sein de ces deux planètes géantes que le précieux cristal passerait sous forme liquide. Et pourrait même coexister sous ces deux états, solide et liquide ! L'annonce de ce résultat obtenu par une équipe américaine a vite pris sur Internet une curieuse ampleur : des icebergs de diamant se sont mis à flotter sur un océan de la même "eau".

Fantasme ou réalité ? La réponse des spécialistes est... oui et non. Revenons au point de départ de cette annonce. En janvier 2010, l'Américain Jon Eggert et son équipe du Lawrence Livermore National Laboratory (Californie) publient les résultats d'une expérience pionnière dans la revue *Nature*. Ces physiciens spécialistes des hautes pressions se sont intéressés au diamant. Un matériau certes connu de tous, mais dont certaines caractéristiques physiques restent encore à découvrir. Par exemple, la température à partir de laquelle il fond...

Le diamant est un cristal constitué uniquement d'atomes de carbone. Quand on le chauffe, plutôt que de se liquéfier, il se reconfigure en un autre solide, lui aussi composé de carbone pur, le graphite – la mine des crayons à papier. Jon Eggert, curieux, veut en savoir plus. Il décide de

chauffer bien davantage son échantillon, tout en augmentant cette fois la pression de manière significative. Après tout, le diamant ne se forme-t-il pas dans les profondeurs de notre planète, où la pression est très élevée ? Au moyen de méthodes et d'instruments expérimentaux sophistiqués (laser ultra-puissant et ondes de choc), l'équipe américaine réussit l'impossible. De manière très locale et brève, elle soumet un échantillon de diamant à une température de quelque 50 000 °C et une pression allant jusqu'à 40 mégabars, soit 40 millions de fois la pression atmosphérique moyenne à la surface de la Terre. Elle en déduit la courbe de fusion, qui donne l'état du diamant en fonction de la température et de la pression.

Ses observations lui révèlent un fait original : quand la pression redescend à 11 mégabars, le diamant adopte un comportement similaire à celui de l'eau. Il existe alors à la fois sous les formes de solide et de liquide, la première étant moins dense que la seconde. Ainsi, des diamants peuvent flotter sur du carbone liquide, à l'instar des glaçons dans le verre de Perrier... Voici comment est née "l'affaire des icebergs" sur Uranus et Neptune. Pourquoi sur ces planètes ? Parce que les conditions de pression et de température créées en laboratoire ressemblent à celles régnant dans les profondeurs des deux

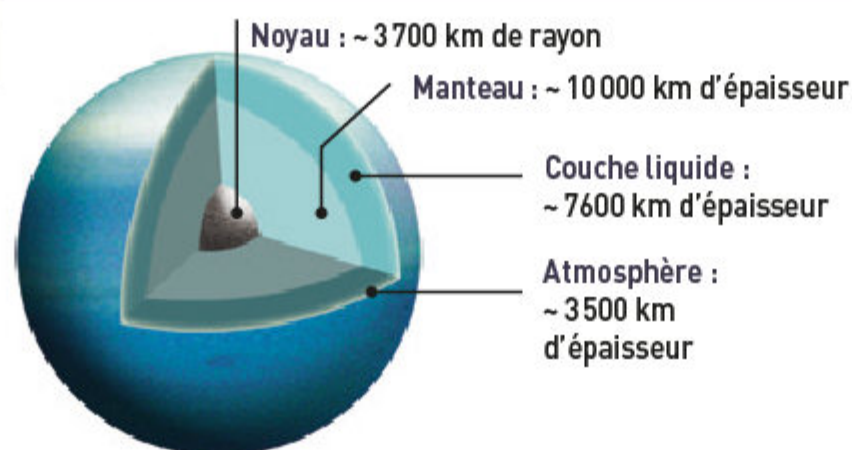
## ➔ NEPTUNE APPROCHÉE

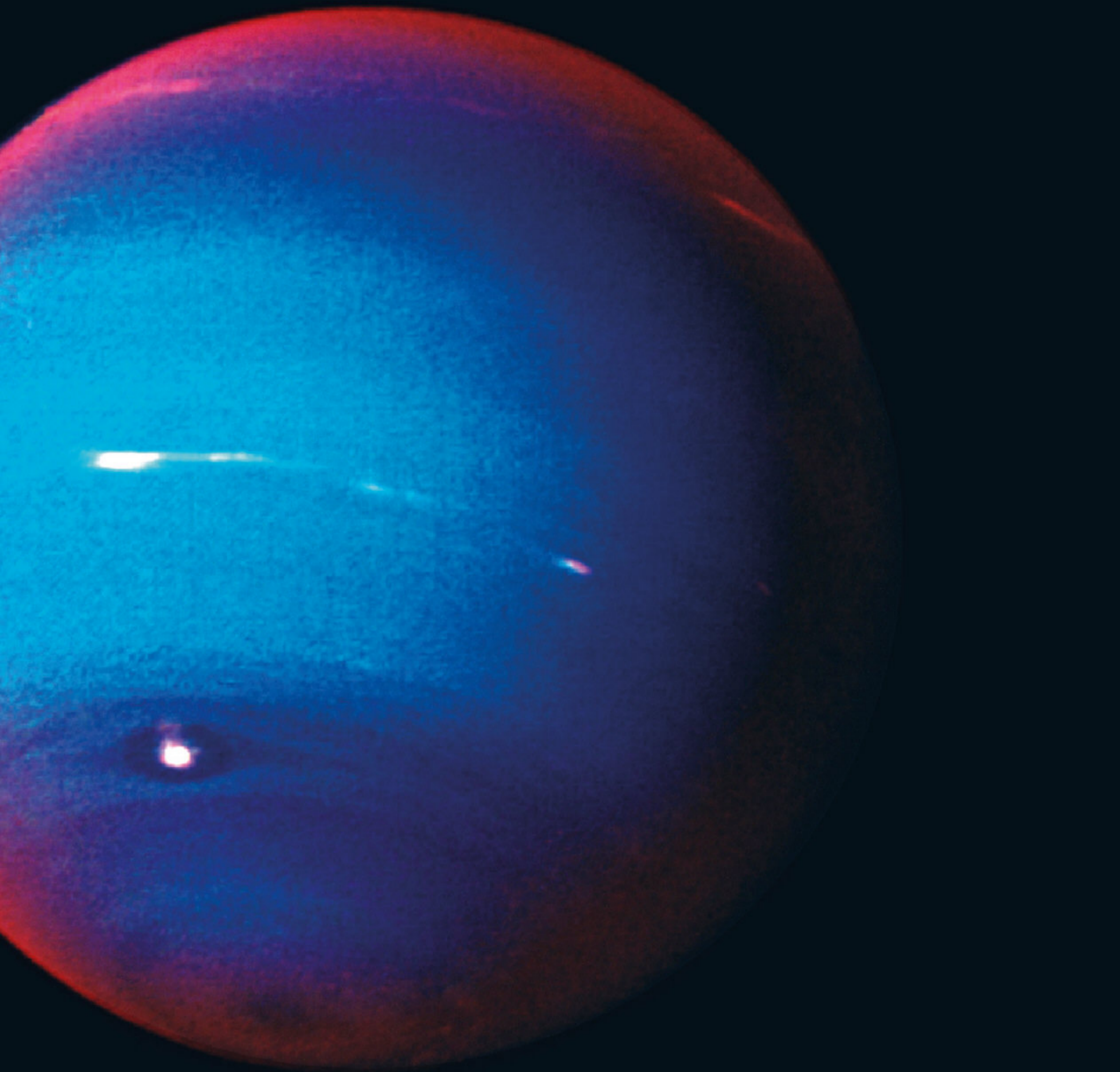
Ce cliché de Neptune, réalisé le 26 août 1989 par Voyager 2, est l'une des premières vues rapprochées de la planète. Les couleurs résultent des filtres utilisés afin de détecter le méthane (en blanc).

JPL/C&E Photos

### PROFIL GÉOLOGIQUE D'URANUS ET NEPTUNE

Un noyau solide de fer et silicates, un manteau de glace, hélium, méthane et ammoniac, une couche extérieure d'hydrogène et d'hélium et une atmosphère de la même composition.





géantes... qui seraient composées de 10 à 15 % de carbone. Sur Uranus et Neptune, "il n'y a que peu d'hydrogène et d'hélium, l'équivalent de 1 à 4 fois la masse de la Terre, précise Tristan Guillot, de l'observatoire de la Côte d'Azur. Pour le reste (10 à 15 masses terrestres), ces planètes sont constituées d'éléments dits lourds, c'est-à-dire autres que l'hydrogène et l'hélium. Le carbone en représenterait une bonne partie, sans doute l'équivalent de plusieurs masses terrestres." Le travail des physiciens californiens apporte de précieuses informations aux planétologues. "Ce sont des expériences complexes, difficiles à réaliser, commente l'astronome français. Il y a là

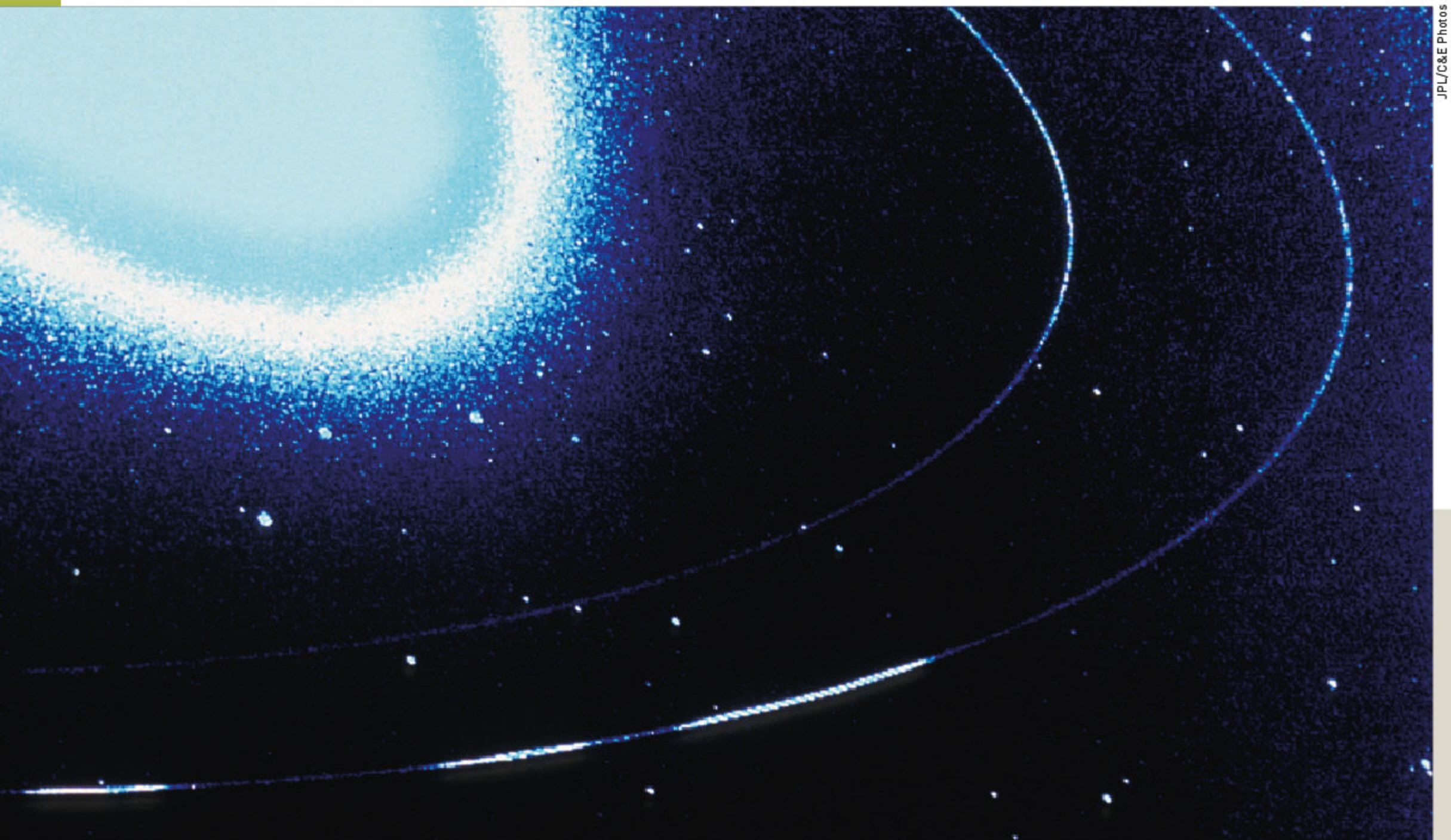
### ↓ HYPOTHÈSE CONFIRMÉE !

Postulée au début des années 1980, l'existence d'anneaux neptuniens a été confirmée le 26 août 1989 par Voyager 2 (cliché). Leur distance du centre de la planète varie entre 53000 km et 63000 km.

*une prouesse technique indéniable, et c'est fondamental de mieux connaître le comportement de tous les matériaux à très haute pression pour comprendre la structure et l'évolution des planètes géantes."*

Les résultats de l'expérience nous renseignent certes sur le comportement du diamant dans les conditions de pression et de température régnant au cœur d'Uranus et de Neptune. Mais, pour avoir du diamant, encore faut-il que le carbone présent soit sa forme "pure", c'est-à-dire qu'il n'interagisse pas avec d'autres éléments chimiques pour constituer de nouveaux composés. Rien n'est moins sûr. On ne sait pas comment les autres éléments (oxygène, azote, fer...) se comportent sous ces mêmes conditions. Des expériences du même type devront donc aussi analyser leur comportement pour étayer l'hypothèse du diamant sur Uranus et Neptune. Mais cela ne paraît plus impossible dorénavant.

Jon Eggert a ouvert la voie. Pour autant, dans l'état actuel des connaissances, l'hypothèse "diamant" est bien acceptée par la communauté scientifique qui la qualifie de "raisonnable". Elle correspond aux modèles de la composition interne des deux planètes, qui plaident en faveur d'une "différenciation" : les éléments lourds, dont le carbone fait partie, se retrouveraient au cœur des planètes, attirés par la gravité du noyau, tandis que les éléments plus légers, l'hydrogène et l'hélium stagneraient dans les couches supérieures. Le carbone se trouverait alors au bon endroit pour bénéficier des conditions propices à sa forme diamantaire. Aussi, la valeur exacte de la température des noyaux d'Uranus et de Neptune n'ayant jamais pu être mesurée, rien n'empêche de penser qu'à ces profondeurs, le diamant fonde. Sans valeur plus précise, les mesures d'Eggert permettent d'entrevoir cette possibilité... Les



JPL/C&E Photos

## → LE NUAGE D'URANUS

En janvier 1986, Voyager 2 réalisa ce cliché d'Uranus (filtres violet, bleu et orange) mettant en lumière l'existence de nuages (en haut, à droite). Les "gouttes" sont des imperfections de la caméra.

scientifiques précisent cependant que, si ce carbone liquide existe bel et bien, il se trouverait alors à l'intérieur d'un noyau liquide et serait entouré par une "croûte diamant". Voici donc évincés les icebergs de diamant...

Sabine Stanley, spécialiste des champs magnétiques planétaires, voit cette nouvelle hypothèse d'un très bon œil. Les champs magnétiques d'Uranus et de Neptune, à la différence de ceux de Saturne, de Jupiter ou de la Terre, ne sont pas dominés par un axe dipolaire, avec les pôles magnétiques alignés sur les pôles géographiques. Ils seraient plutôt créés par plusieurs dipôles magnétiques, à différents endroits de la planète — un phénomène encore inexpliqué. *"Les champs magnétiques planétaires sont engendrés par la circulation de fluides à l'intérieur de régions électriques, explique la chercheuse. Ceux d'Uranus et de Neptune seraient produits, non pas par leur noyau, mais par des couches supérieures. Du diamant solide dans les régions internes de Neptune et d'Uranus pourrait expliquer pourquoi vers le centre de ces planètes, il existerait une couche stable stratifiée. Celle-ci empêcherait alors leur partie interne de contribuer de manière prépondérante à leur champ magnétique."*

À lire ces lignes, certains se sentent peut-être déjà l'âme de prospecteurs. Disons-le

tout net : les diamants de Neptune ou d'Uranus risquent fort de rester éternellement inaccessibles. Nous ne sommes même pas capables de forer notre propre planète à grande profondeur, avertissent les scientifiques. Sur une planète géante, qui plus est très chaude et très dense, compo-

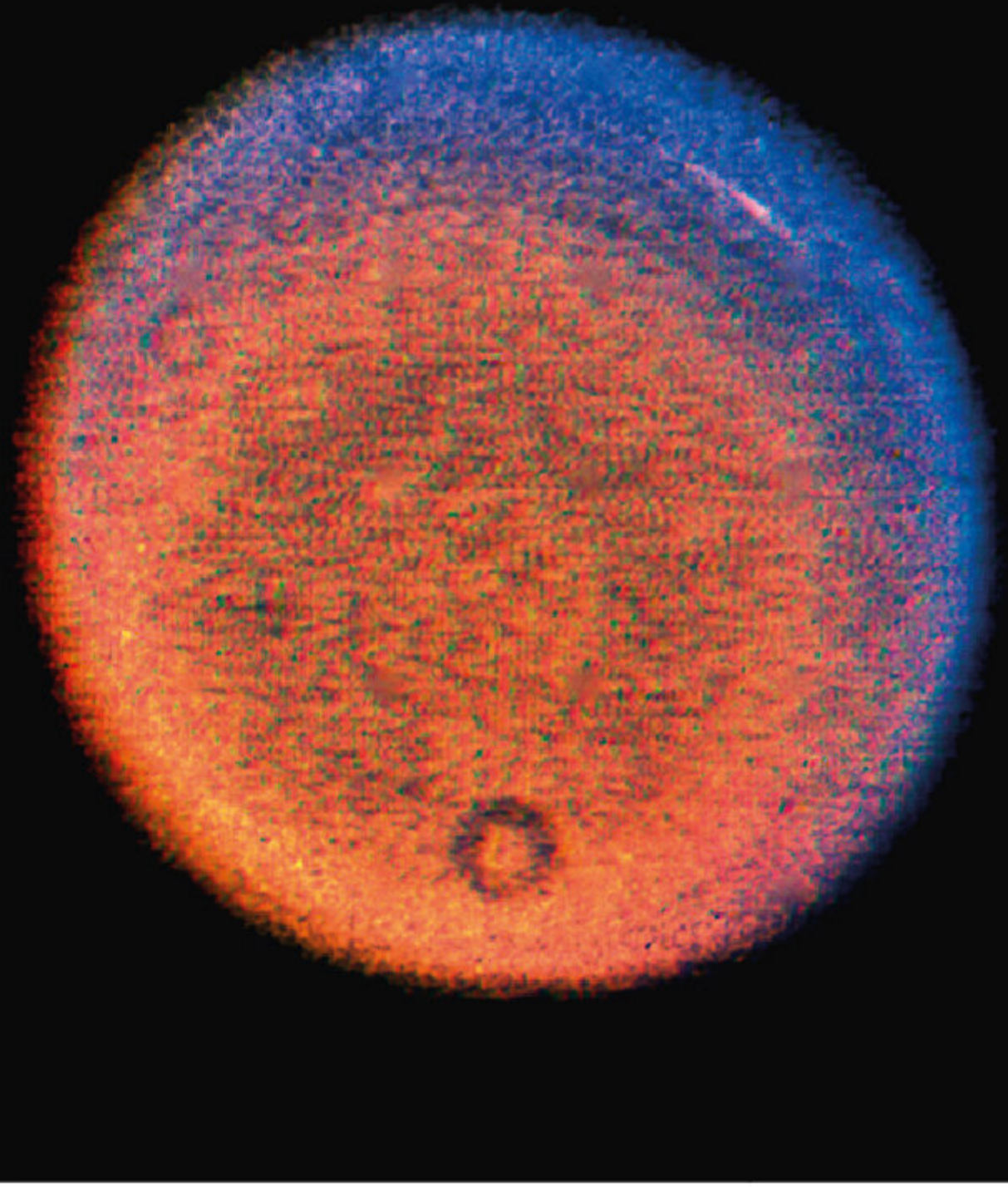
sée de gaz irrespirables, et à des dizaines de milliards de kilomètres de la Terre... Oublions cela pour le moment.

Gilles Grenot [ mai 2010 ]

+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Le cœur des planètes géantes, avec Tristan Guillot

NASA/C&E Photos



## RÉSONANCES

peuplée de petits corps : les plutoïdes (voir p. 82) ou noyaux cométaires. Aussi, par sa masse (17 fois la Terre), la planète induit dans la ceinture des perturbations gravitationnelles qui rythment l'orbite de ces objets — du moins celle des plus proches de ce bord de la ceinture de Kuiper. Des corps sont ainsi en "résonance

**L'orbite de Neptune** marque l'entrée dans la ceinture de Kuiper,

orbitale" avec Neptune. Les "plutinos" (dont Pluton) effectuent deux révolutions autour du Soleil quand la planète en boucle trois ; on parle de résonance 2:3. Il s'agit de corps distants de quelque 40 UA. Les "twotinos" effectuent une révolution quand Neptune en fait deux (résonance 1:2). On les trouve à 47,7 UA. En outre, on suppose que certains corps de Kuiper furent précipités vers le Soleil quand Neptune a migré vers son orbite actuelle, devenant ainsi des comètes.

# Bribes d'Uranus

## UNE PLANÈTE COUCHÉE

**C**ONTRAIREMENT aux autres planètes, Uranus est "couchée" : son équateur est incliné de  $97^\circ$  par rapport au plan de son orbite. Le scénario généralement invoqué pour cette originalité est celui d'une violente collision avec une protoplanète de la taille de la Terre. Mais un fait ne colle pas avec cette hypothèse : les principaux satellites d'Uranus évoluent dans le plan équatorial de la géante. Or, si un impact avait désorienté la planète, ses satellites n'auraient pas basculé avec elle.

Selon Gwenaël Boué et Jacques Laskar, de l'observatoire de Paris, la planète s'est couchée en douceur, basculée peu à peu sur son orbite, du fait d'une interaction avec un gros satellite. Et ce, au moment où le très lent mouvement de toupie effectué par son axe de rotation (appelé précession) et celui de l'axe de son orbite sont entrés en résonance — c'est-à-dire lorsqu'ils se sont mis à osciller avec la même période.

*"Nos travaux montrent que si Uranus était accompagnée d'un satellite d'un centième de sa masse, et situé à 50 rayons d'elle, la précession de son axe de rotation a pu s'accélérer, ce qui a pu conduire à la résonance",* explique Jacques Laskar. Ce satellite aurait ensuite été éjecté par l'influence gravitationnelle de Saturne ou de Jupiter.

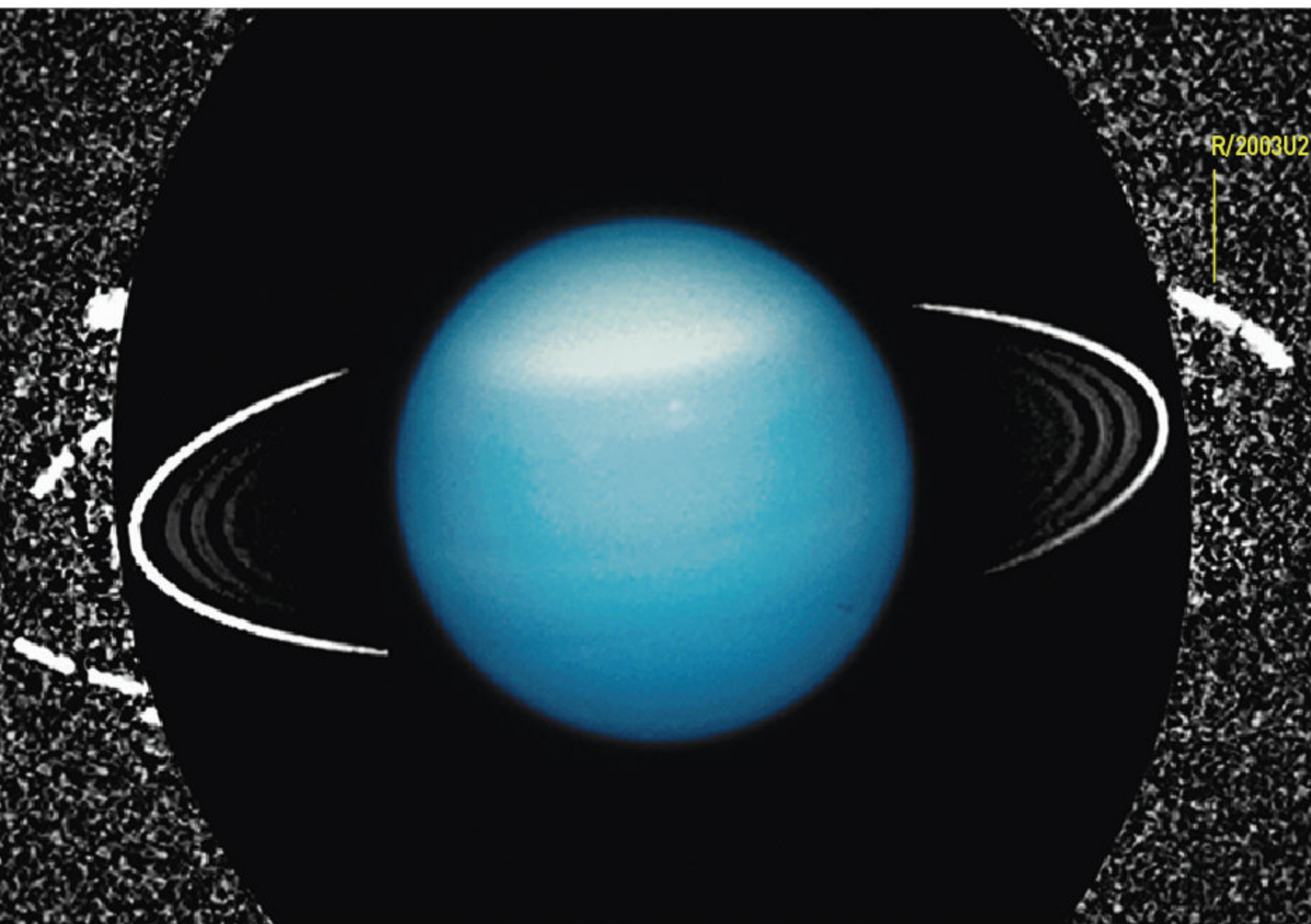
### ↓ ET DEUX DE PLUS !

Entre 2003 et 2005, le télescope spatial Hubble a découvert deux nouveaux anneaux uraniens : R/2003U1, le plus extérieur, et R/2003U2, l'intérieur.

## ATMOSPHÈRE

**L**E télescope spatial Hubble a mis en évidence une tache sombre dans l'atmosphère d'Uranus. En effet, c'est le 23 août 2007, grâce à l'analyse des images du télescope, que l'équipe de Lawrence Stromovsky, de l'université du Wisconsin, a repéré cette gigantesque perturbation atmosphérique. Il s'agit en fait d'un tourbillon mesurant 1 700 km sur 3 000 km, situé à  $27^\circ$  de latitude nord. D'après les chercheurs, il se serait développé à l'approche du printemps de l'hémisphère Nord de la planète — l'équinoxe survenant en décembre 2007.

Mais c'est surtout avec le développement des systèmes d'optique adaptative, comme ceux des réflecteurs géants du télescope Keck (10 m de diamètre), que la surface de la planète a commencé à dévoiler ses détails et sa dynamique. Alors que pendant des décennies, la planète Uranus n'est restée qu'un point



## LUNES ET ANNEAUX

**U**RANUS a gagné deux satellites et deux anneaux de plus en 2006, découverts grâce au télescope Hubble. Le premier des satellites mesure seulement 20 km de diamètre. Surnommé Mab (un personnage de Shakespeare), il partage la même orbite que l'un des nouveaux anneaux. En fait, il alimenterait cet anneau sous l'effet du bombardement météoritique. Quant au second objet, Cupid, son orbite n'est qu'à 800 km de celle de Belinda, autre petit satellite. Cette situation instable devrait conduire à leur collision d'ici quelques millions d'années.

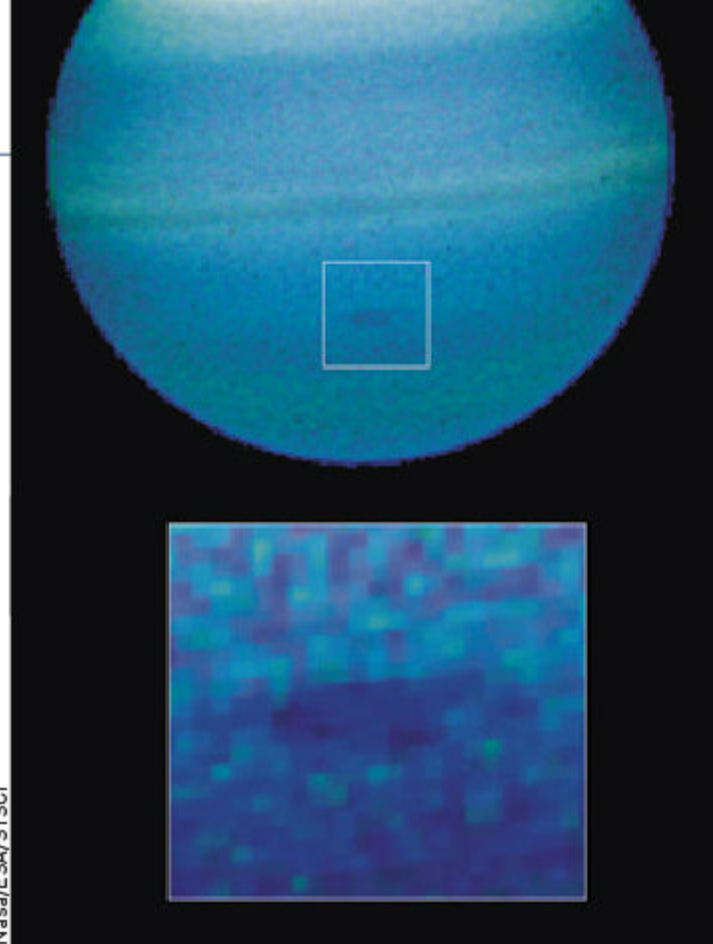
Les deux nouveaux anneaux, externes, étaient passés inaperçus sur les clichés de la sonde Voyager 2, en 1986. L'un est rouge, constitué de poussières et de petits cailloux circulant à 135 000 km de la planète. L'autre est bleu, éloigné de 195 000 km. Cette couleur, inhabituelle pour un anneau, serait due à la présence presque exclusive de particules micro-

## ↑ URANUS ET SATURNE

Les anneaux d'Uranus (à gauche) ont les mêmes couleurs que ceux de Saturne (à droite). Ils ont sans doute été formés par les mêmes processus.

scopiques, diffusant préférentiellement le rayonnement bleu. Ces particules auraient été éjectées lors d'impacts météoritiques sur le petit satellite Mab, auquel l'anneau bleu est associé.

La rédaction [ 2006- 2010 ]

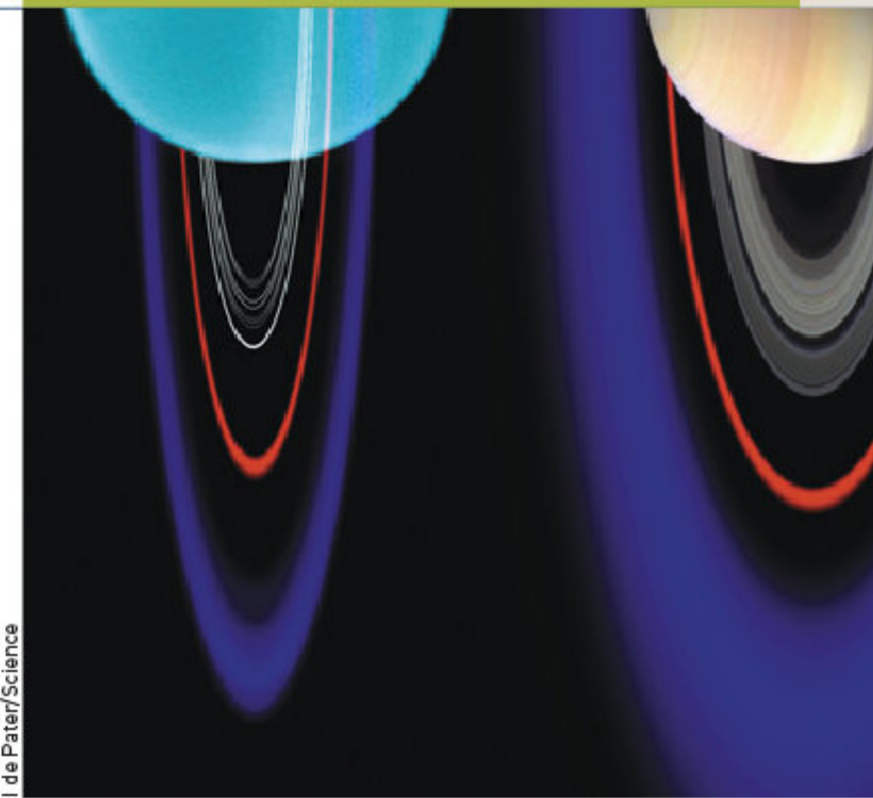


Nasa/ESA/STSCI

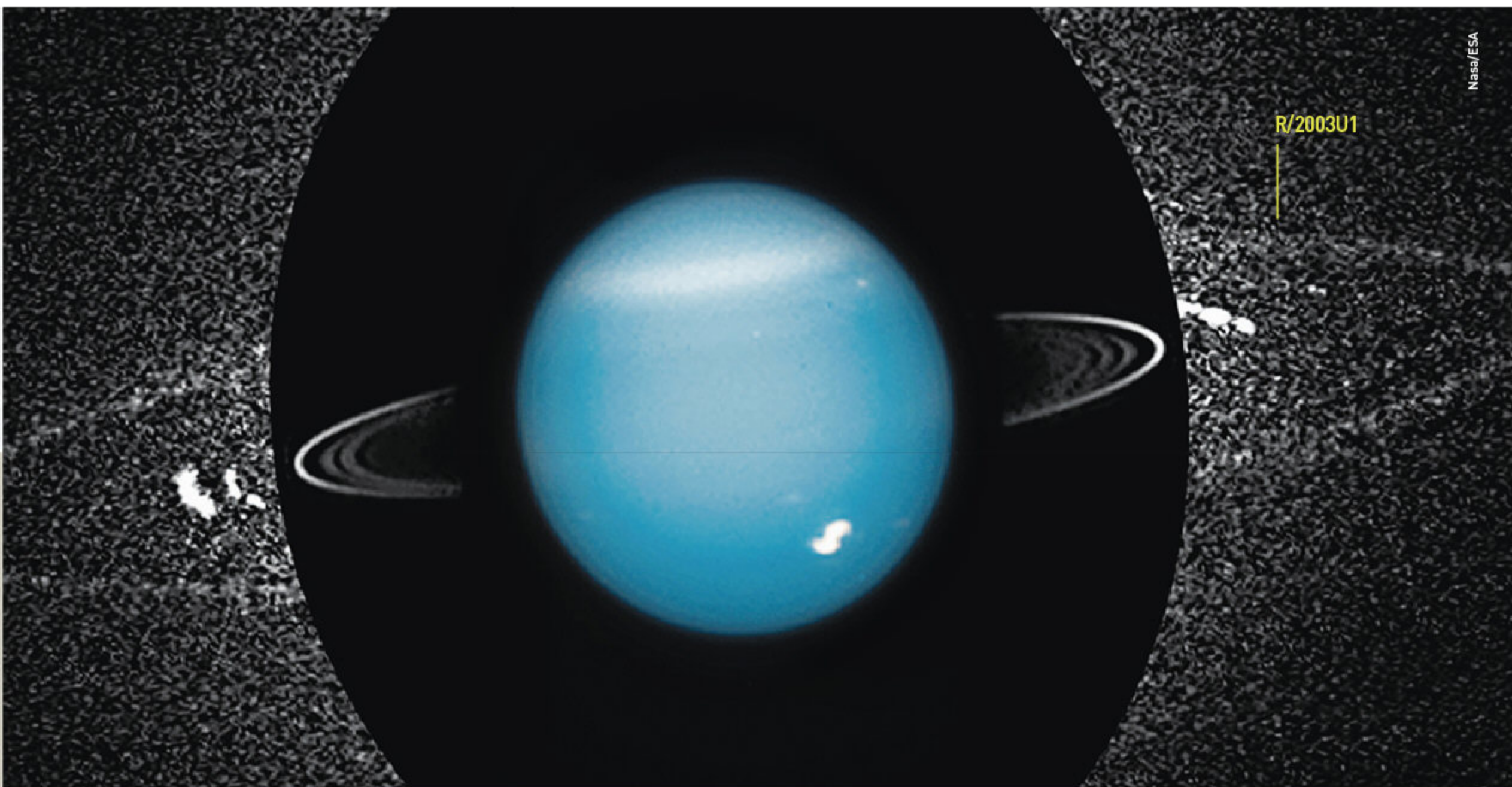
## ↑ TACHE SOMBRE

Grâce au télescope Hubble, Uranus a commencé à révéler sa dynamique atmosphérique, comme ce gigantesque tourbillon de 3 000 km sur 1 700 km, observé en août 2006, annonciateur du printemps sur la lointaine planète.

éblouissant sur les clichés des grands télescopes, aujourd'hui on peut apercevoir, par exemple, ses formations nuageuses et suivre sa météo.



de Pater/Science



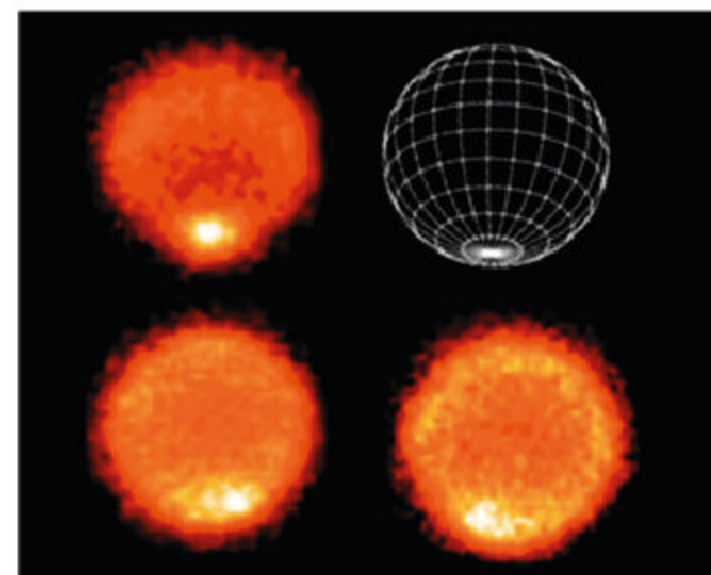
Nasa/ESA

# Bribes de Neptune

## PÔLE AU CHAUD

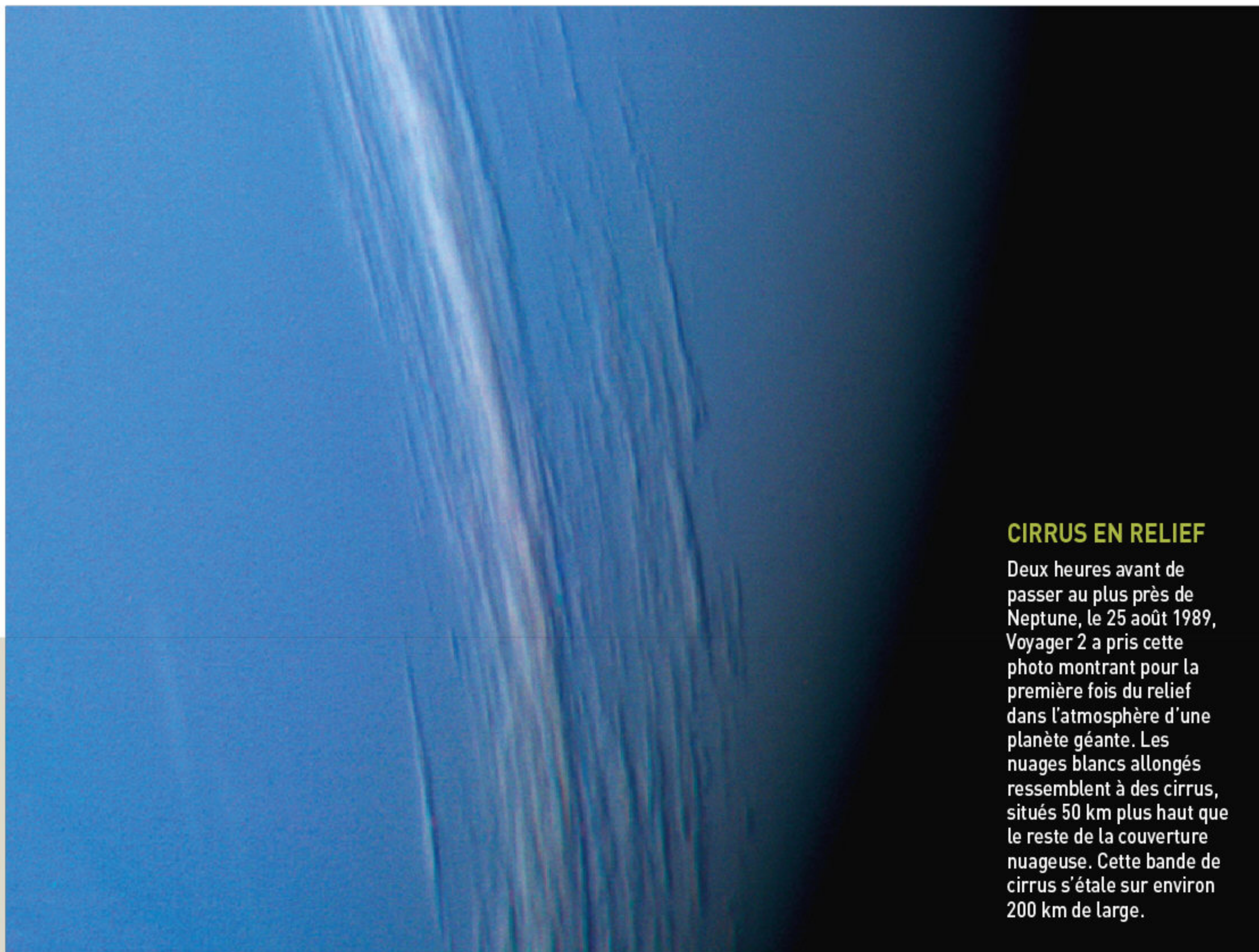
**L**e pôle Sud de Neptune est plus chaud de 10 °C que le reste de la planète, qui affiche -200 °C en moyenne. C'est ce qu'a découvert une équipe de chercheurs avec le Very Large Telescope

(VLT, au Chili). Rien d'anormal à cela : depuis 40 ans, c'est l'été dans l'hémisphère austral de la planète (qui accomplit sa révolution en 165 ans). Le pôle Sud est donc la seule région à être éclairée jour et nuit par le Soleil. *“Du coup, il y fait suffisamment chaud pour que les cristaux de méthane glacé de l'atmosphère se transforment en méthane gazeux, explique Thérèse Encrenaz, de l'observatoire de Paris. Nous avons enfin trouvé la mystérieuse source du méthane de Neptune que nous cherchions depuis des années ! Dans 80 ans, quand ce sera l'été dans l'hiver boréal, c'est depuis le pôle Nord que le méthane sera émis.”*



### ↑ DU MÉTHANE S'ÉVAPORE

La relative chaleur du pôle Sud de Neptune (en blanc) permet la vaporisation du méthane solide dans l'atmosphère.



### CIRRUS EN RELIEF

Deux heures avant de passer au plus près de Neptune, le 25 août 1989, Voyager 2 a pris cette photo montrant pour la première fois du relief dans l'atmosphère d'une planète géante. Les nuages blancs allongés ressemblent à des cirrus, situés 50 km plus haut que le reste de la couverture nuageuse. Cette bande de cirrus s'étale sur environ 200 km de large.

## UNE LUNE ÉTONNANTE

**T**RITON, le plus gros satellite de Neptune, aurait à l'origine appartenu à un système de deux planétoïdes tournant autour du Soleil. Il aurait été capturé par la force gravitationnelle de Neptune, lors du passage du tandem auprès de la planète. Ce modèle, conçu par les Américains Craig Agnor et Douglas Hamilton, expliquerait le mouvement rétrograde de Triton. En effet, c'est le seul grand satellite à tourner dans le sens opposé à la rotation de sa planète, d'où l'idée d'une capture de

l'objet. Les théories supposant une collision avec un des satellites de la planète, ou le ralentissement de Triton par un disque de gaz initial, comportaient des faiblesses importantes. En revanche, ce nouveau scénario semble d'autant plus cohérent que 11 % des objets qui gravitent près de l'orbite de Neptune, située à 4,5 milliards de kilomètres du Soleil, sont doubles.

Quant à sa surface, elle est la plus jeune de tout le Système solaire. En retravaillant des photos prises par Voyager 2 en 1989, Paul Schenk et Kevin Zahnle en ont établi une nouvelle cartographie. Ils ont découvert 100 cratères de plus de 5 km de diamètre sur la face la plus cratérisée, située dans le

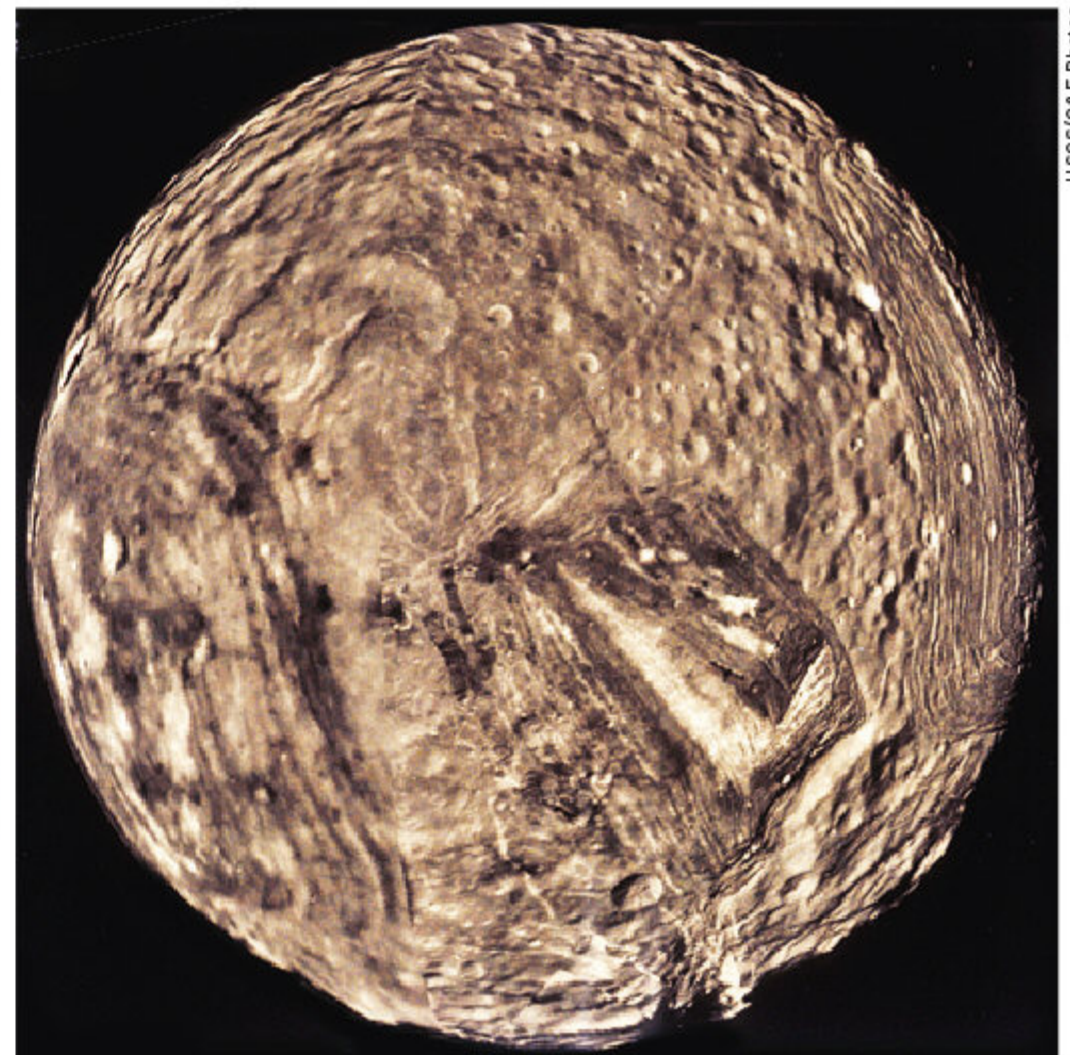
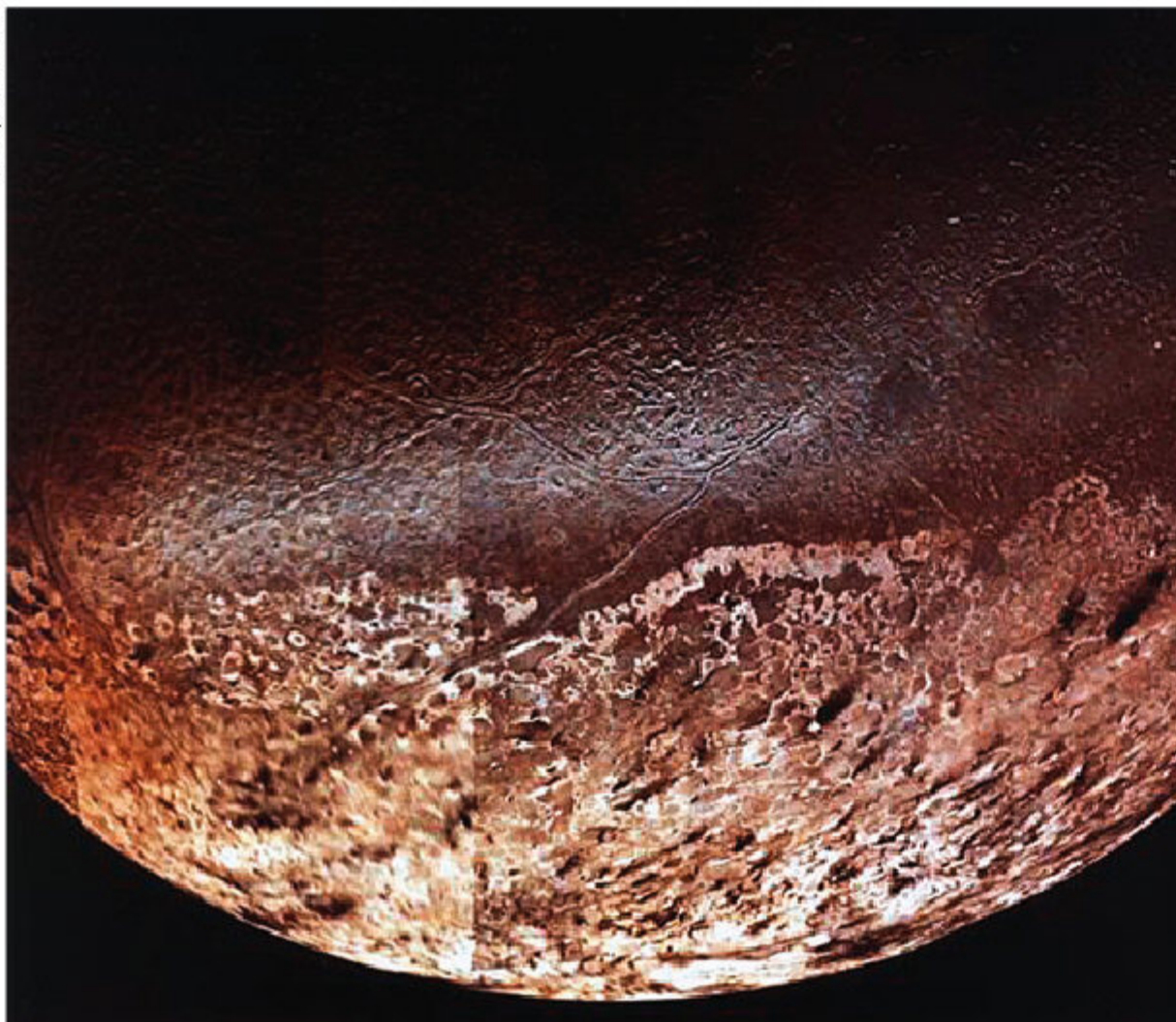
sens de sa révolution autour de Neptune. Vu leur emplacement, les cratères résulteraient de la collision du satellite avec des débris rocheux sur son orbite, qu'il "nettoie" au fur et à mesure de ses passages. Ces impacts sont donc des signes trompeurs de vieillesse. La surface de Triton, soumise aux forces de marées de Neptune, est en effet continuellement renouvelée. Elle aurait 100, voire 10 millions d'années seulement.

La rédaction [ 2006-2010 ]

### ↓ TRITON ET MIRANDA

Triton, à gauche, et Miranda, à droite, intéressent les astronomes car ils possèdent des caractéristiques favorables à la vie.

Nasa/C&E Photos



USGS/C&E Photos



### Triton, la lune à rebours

**Diamètre :** 2 707 km / 0,2 Terre

**Masse :** 2,14.10<sup>22</sup> kg / 0,0036 Terre

**Orbite autour de Neptune :** 354 760 km

**Période de révolution autour de Neptune :** 5,9 jours (rétrograde)

**Atmosphère :** traces

**Température moyenne en surface :** -235 °C



### Miranda, l'active

**Diamètre :** 470 km / 0,037 Terre

**Masse :** 6,6.10<sup>19</sup> kg / 0,00001 Terre

**Orbite autour de Neptune :** 129 900 km

**Période de révolution autour de Neptune :** 1,41 jours

**Atmosphère :** sans

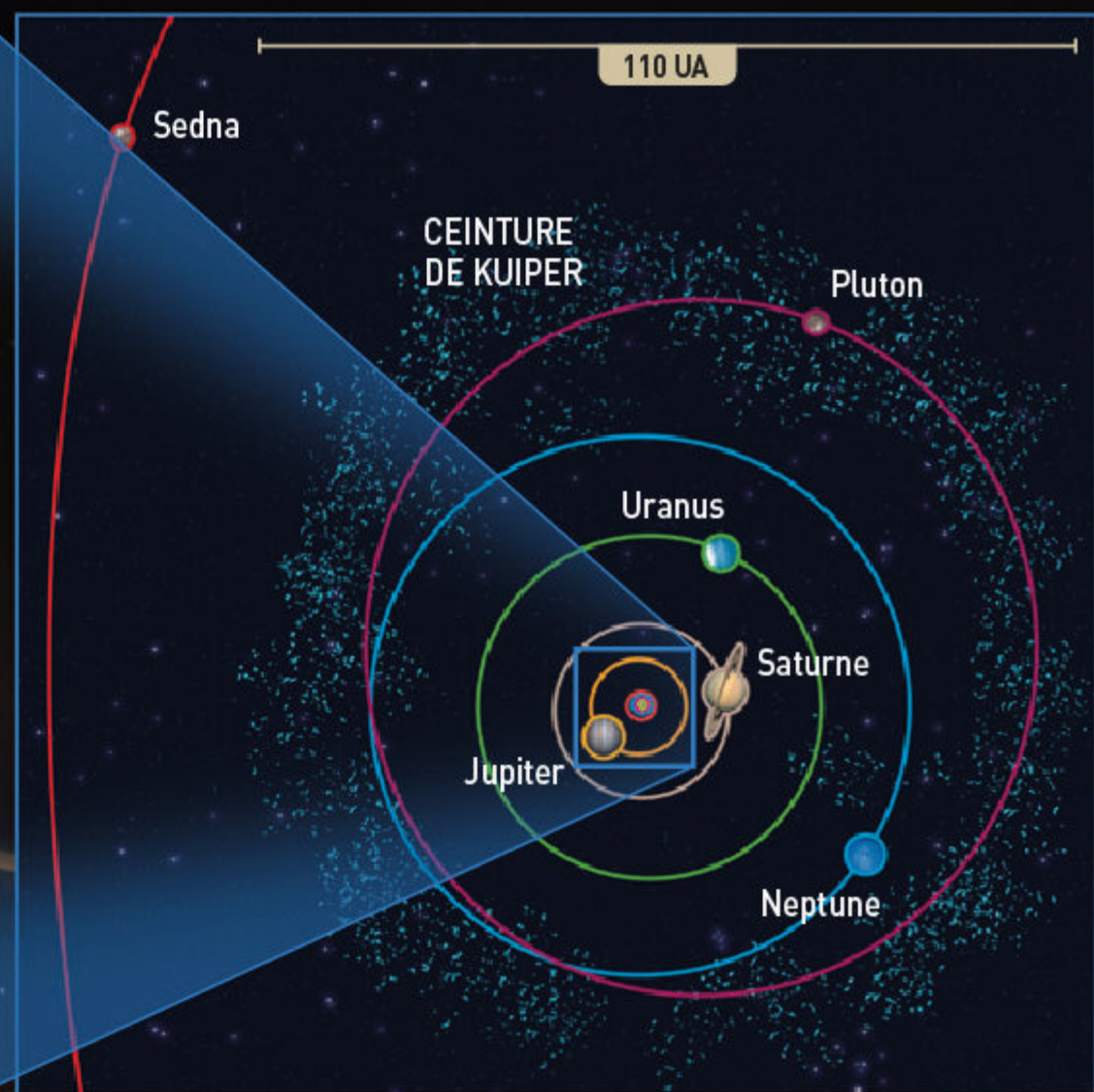
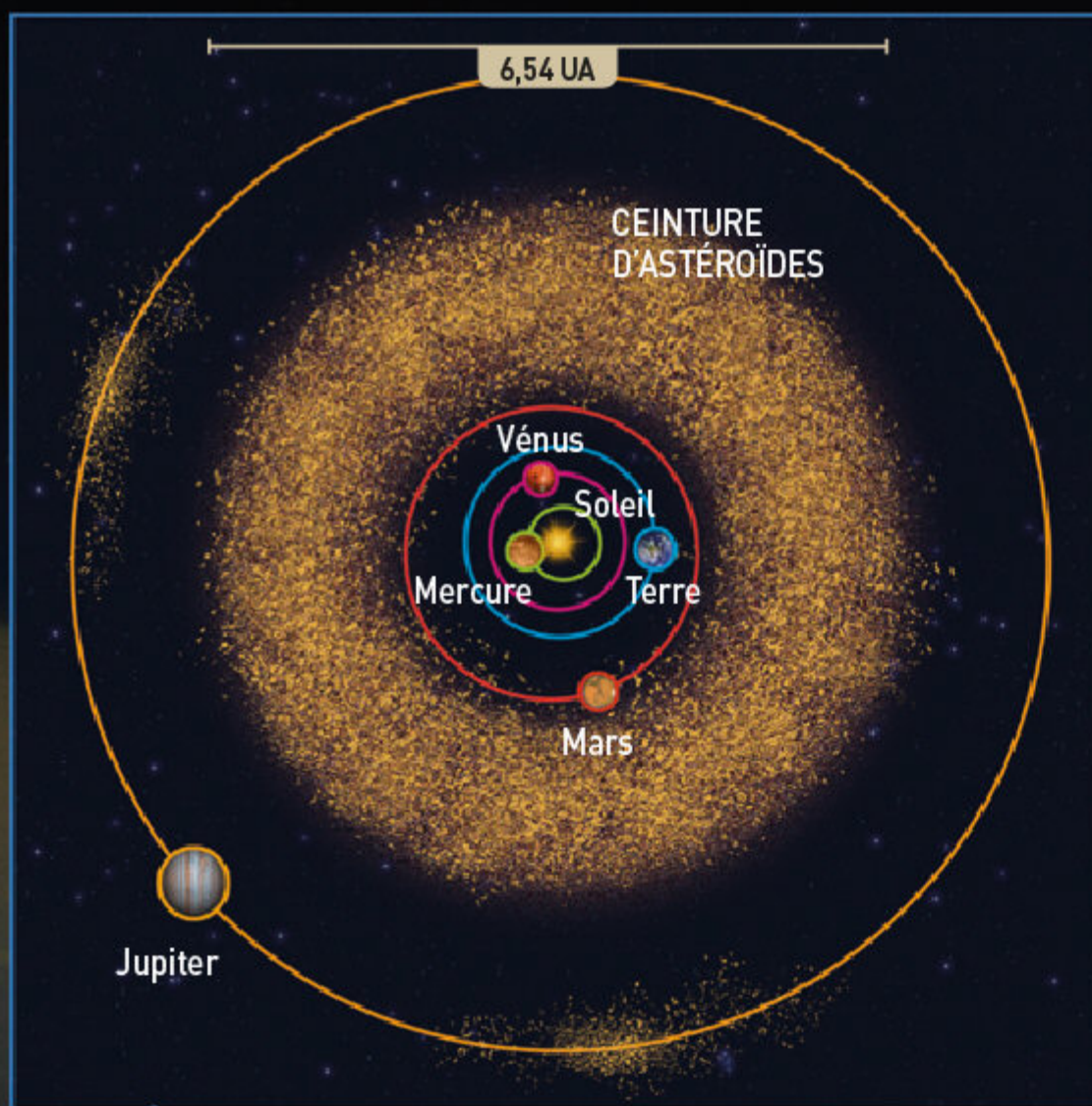
**Température moyenne en surface :** -190 °C



DE LA GLACE ET ENCORE  
DE LA GLACE... IL N'Y A PRESQUE  
RIEN D'AUTRE DANS LES ASTÉROÏDES,  
LES NOYAUX COMÉTAIRES

# EAU

ET LES PLANÈTES NAINES  
QUI NICHENT DANS LA CEINTURE  
D'ASTÉROÏDES, L'ANNEAU  
DE KUIPER ET LE NUAGE DE OORT.



Itokawa

### ↑ CEINTURE PRINCIPALE D'ASTÉROÏDES

C'est une couronne située entre Mars et Jupiter (de 2 à 4 UA). Elle marque la limite du Système solaire interne, domaine des planètes telluriques. Là orbitent des millions de petits corps de forme irrégulière (à l'exception de Cérés, p. 86), composés de glace, de roche et de métaux : les astéroïdes (p. 94). Au-delà débute le Système solaire externe, où évoluent les planètes géantes gazeuses.

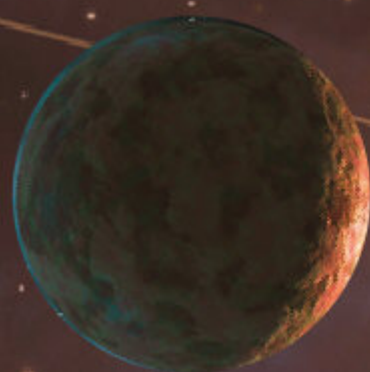


Éris

### ↑ CEINTURE DE KUIPER

Cette région s'étend au-delà de l'orbite de Neptune, entre 30 UA et probablement 55 UA. Elle recèle des planètes naines (ou plutoïdes), dont Pluton, Hauméa, Makémaké et Éris (p. 82 à p.93), et des corps similaires aux astéroïdes, mais de composition différente : plus de glace, et moins de roche et métaux. On les nomme "noyaux cométaires" car la plupart des comètes en sont issues.

**LE SYSTÈME SOLAIRE** contient trois grands réservoirs objets de faible taille, c'est-à-dire des astéroïdes, des noyaux cométaires et des plutoïdes (ou planètes naines) : la ceinture principale d'astéroïdes, la ceinture de Kuiper et le nuage de Oort.



Sedna

### ↑ ↗ NUAGE DE OORT

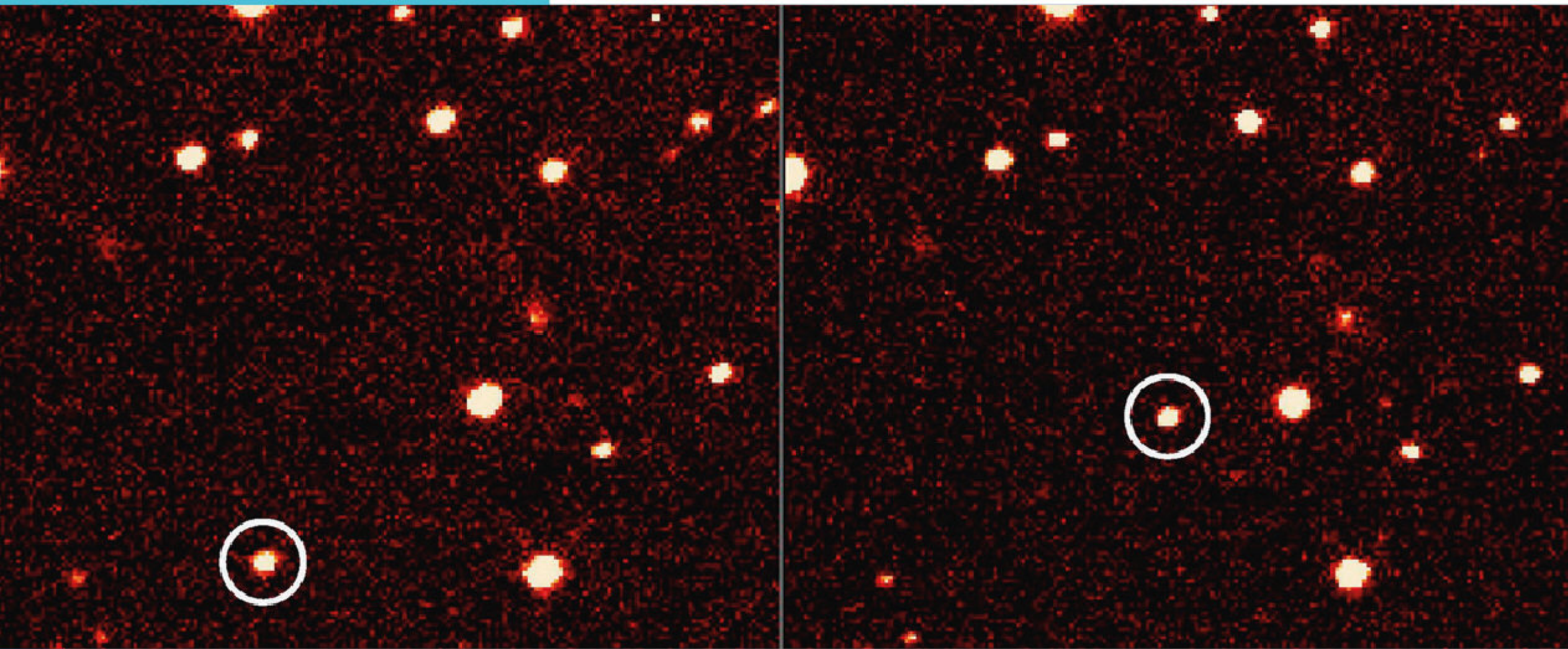
C'est la limite du Système solaire : une sphère d'un rayon d'au moins 50 000 UA et d'une épaisseur d'environ 5 000 UA contenant des corps similaires aux objets de Kuiper. Ce nuage est hypothétique car il est aujourd'hui impossible d'observer de si petits corps à une telle distance. Néanmoins, la planète naine Sedna pourrait en provenir (p. 92).

# BESTIAIRE

## des petits corps du Système solaire

### COMÈTES

La majorité des comètes proviennent de la ceinture de Kuiper ou du nuage de Oort. On suppose qu'elles ont été déstabilisées et éjectées de leur orbite par des perturbations gravitationnelles.



ÉRIS, MAKÉMAKÉ, Hauméa, Sedna... Le Système solaire est bien plus riche qu'on ne le pensait : il recèle quantité de plutoïdes ou "planètes naines", dont certaines ont des satellites. Un nouveau petit monde à découvrir.

# PLUTOÏDES

## LES NOUVEAUX VENUS

### Polémique !

**“P**RÉPAREZ-VOUS à réécrire les manuels scolaires. Il n'y a plus neuf planètes dans le Système solaire, mais dix !” Le 29 juillet 2005, l'Américain Michael Brown, du

California Institute of Technology, joue la provocation. Selon lui, l'objet de magnitude 18,7, dont il annonce la découverte à quelque 15 milliards de kilomètres du Soleil, est la mythique dixième planète du Système solaire. Et non un vulgaire planétoïde glacé tel que les astronomes en débusquent régulièrement depuis les années 1990 au-delà de Neptune. Ses arguments ? Déjà, le diamètre

de l'astre, estimé à 2 600 km, dépasse celui de Pluton la réputée neuvième et dernière planète. De plus, les premières observations spectrales, réalisées avec le télescope de 8 m Gemini Nord (Hawaï), plaident dans le même sens. “On y lit sans ambiguïté la présence de méthane glacé à la surface. Et l'azote semble dominer, note Catherine De Bergh, de l'observatoire de Paris-Meudon. Tout cela est

### QU'EST-CE QU'UNE PLANÈTE ?

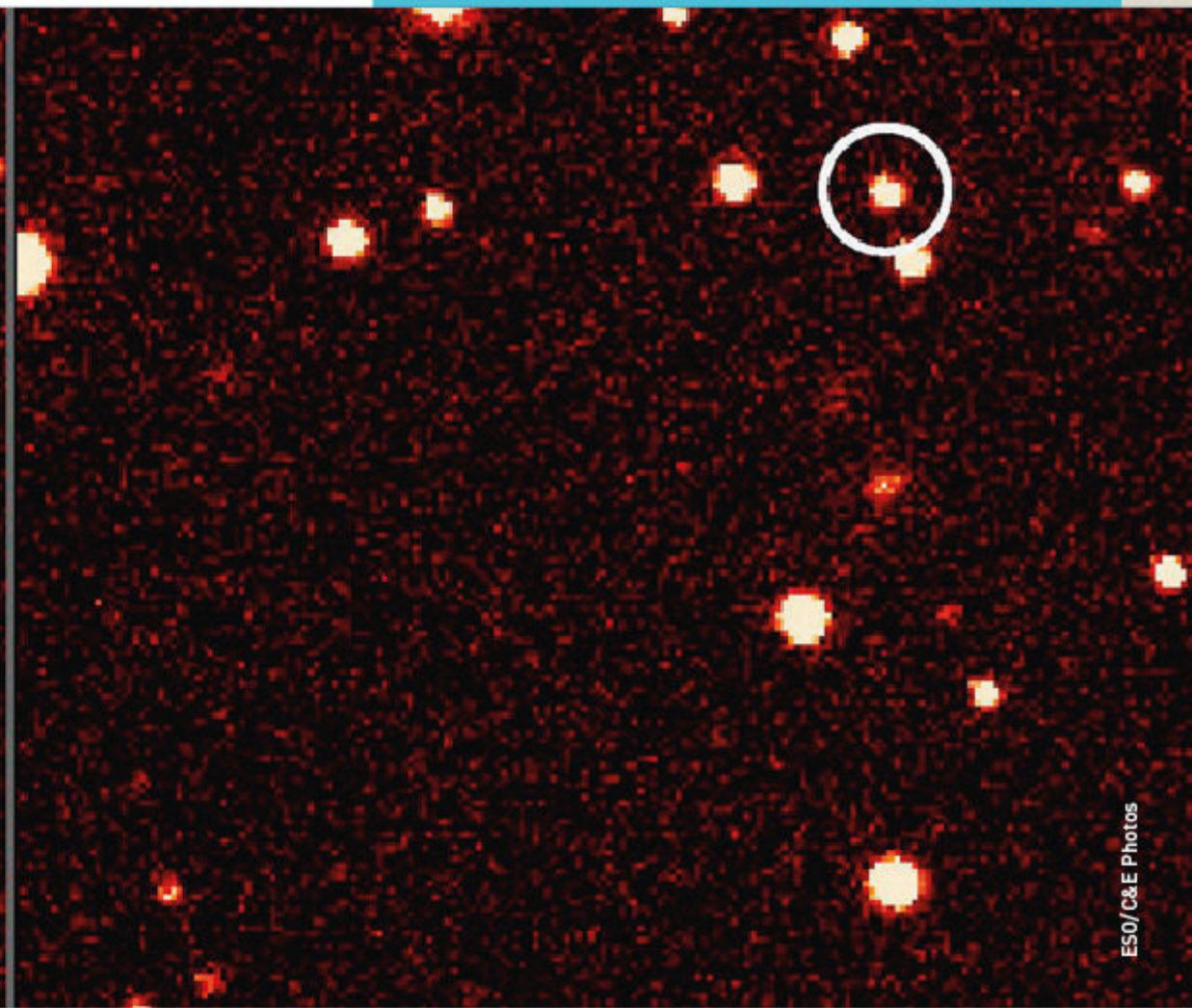
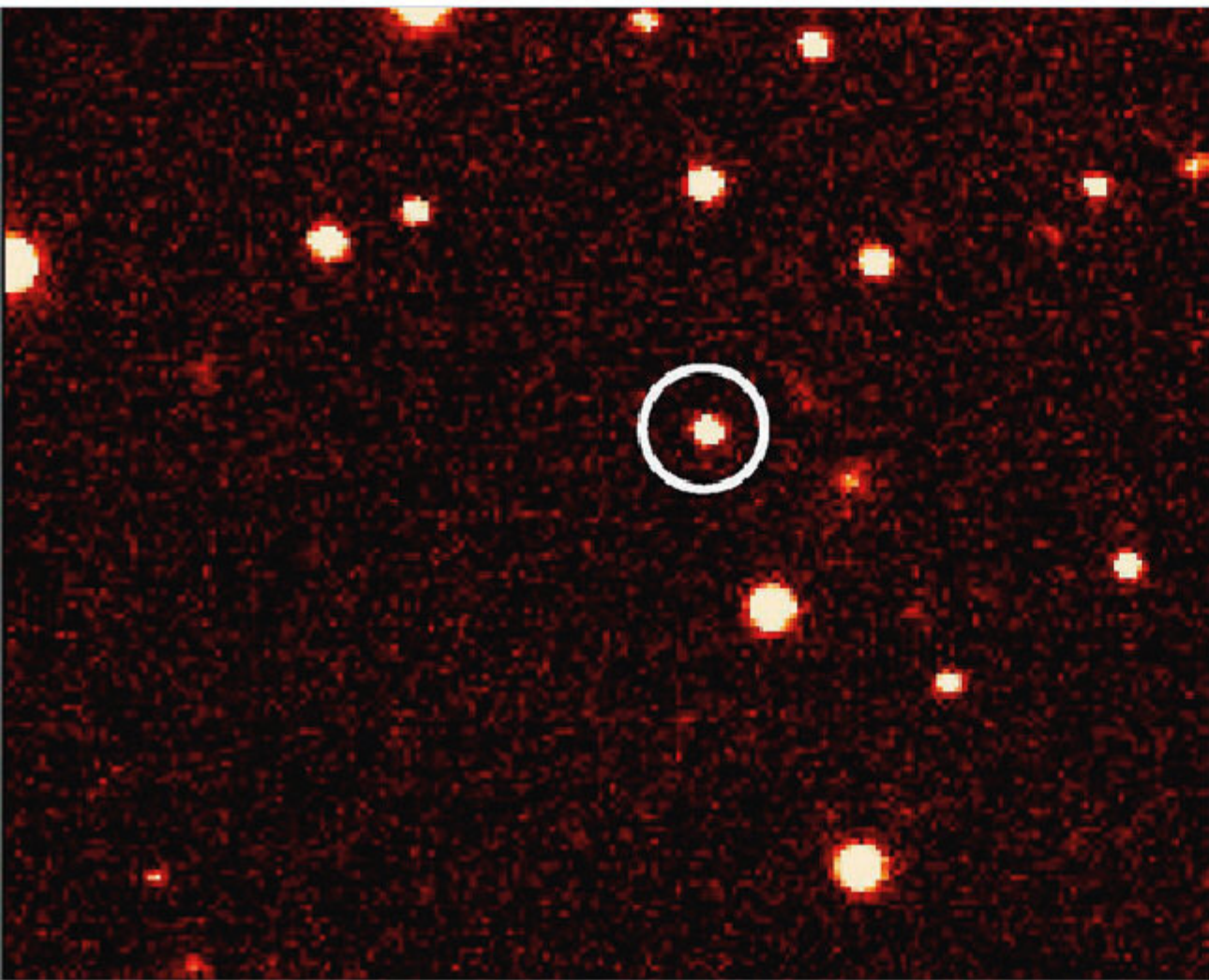
Le 24 août 2006, l'UAI a statué sur les définitions suivantes :

Une planète est un corps céleste qui :

① est sur orbite autour du Soleil ; ② a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne

en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique ; ③ a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche. Ainsi, Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont des planètes.

Une planète naine ou plutoïde est un corps céleste qui : ① est sur orbite autour du Soleil ; ② a une masse suffisante pour posséder une forme presque sphérique ; ③ n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche ; ④ et n'est pas un satellite. Pluton, Cérès, Éris, Sedna... sont des planètes naines.



ESO/C&E Photos

très similaire à ce que l'on trouve sur Pluton." Autant d'éléments qui ont permis à Mike Brown de le présenter comme une planète, provisoirement baptisé 2003 UB313 mais qui deviendra Éris. Lors de sa conférence de presse, il concluait : "Si Pluton est une planète, alors 2003 UB313 l'est également." L'est-elle vraiment ? Rares sont les astronomes qui le pensent. "Les similitudes avec Pluton ne per-

mettent pas cependant de lui accorder le titre de planète !" affirme ainsi Catherine De Bergh. "L'orbite de 2003 UB313 est très elliptique et surtout très inclinée (44°) par rapport au plan de l'écliptique, remarque pour sa part Antonella Barucci, spécialiste des petits corps à l'observatoire de Paris-Meudon. Il partage le même type de propriétés orbitales que les transneptuniens, dont l'orbite a été perturbée par Neptune."

### ↑ MYSTÉRIEUSE "10<sup>e</sup> PLANÈTE"

Les premiers clichés d'Éris (alias 2003 UB313), plus grande que Pluton. Ils ont lancé la polémique sur le statut de celle-ci. En 2006, Éris et Pluton furent classées "planètes naines".

Et Philippe Rousselot, du même observatoire, d'ajouter : "Désormais, nous n'aurons de cesse de découvrir des objets tels que celui-là. Si le titre de planète est attribué à 2003UB313, alors c'est bientôt 20, 30, 50 planètes qu'il faudra compter dans le Système solaire !"

De fait, au fil des découvertes, le nombre de gros astéroïdes au-delà de Pluton ne cesse de grandir. En 2002, Brown et son équipe découvrent Quaoar, d'un diamètre de 1 280 km. En 2004, les mêmes repèrent Sedna, plus gros encore. Enfin, en même temps que 2003 UB313, la même équipe

Nasa/JPL/R. Hunt



### ← ÉRIS, L'OBJET DU CONFLIT

Avec ses 2 400 à 3 000 km de diamètre et une masse supérieure de 27 % à celle de Pluton, Éris (ici, en vue d'artiste) est à ce jour l'astre le plus massif de la ceinture de Kuiper. Découvert le 21 octobre 2003 par Mike Brown (télescope Oschin du mont Palomar), Éris est, à l'instar de Pluton, un corps de glace et de roche.

# CIEL & ESPACE

VOYEZ LE MONDE AUTREMENT

## Abonnement

[papier + version numérique]

Recevez chaque mois  
votre magazine  
en version papier

+  
sa version numérique  
en format PDF



Les hors-série  
vous sont **OFFERTS**  
et vous bénéficiez  
des **AVANTAGES**  
du numérique

Vous disposez du numéro  
téléchargeable directement  
sur votre ordinateur  
(pas de délai d'acheminement).

Vous archivez ainsi les numéros.

Très pratique :  
le moteur de recherche intégré  
à la version numérique.

Bon à retourner, accompagné de son règlement, à Ciel & Espace,  
Service abonnements, 18/24, quai de la Marne 75164 PARIS cedex 19

Tél. : 01 44 84 80 27

Fax : 01 42 00 56 92 — Email : [cieletespace@dipinfo.fr](mailto:cieletespace@dipinfo.fr)

Oui, je m'abonne pour 1 an 24 NUMÉROS [12 numéros papier et leur version numérique]  
+ 4 hors-série [2 numéros papier et leur version numérique] au prix exceptionnel de 69 €

\* Prix de vente au numéro. Le tarif d'abonnement s'entend TVA et port inclus pour la France métropolitaine, Dom, Tom et autres pays, information sur [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping) ou au 33 1 44 84 80 27.

Pour le Canada et les USA, contacter : Express Mag (Québec), au 1.800.363.1310 - email : [expsmag@expressmag.com](mailto:expsmag@expressmag.com) - internet : [www.expressmag.com](http://www.expressmag.com)

Pays étrangers : voir tarif de l'offre sur [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping) Tarifs valables jusqu'au 31/12/2010

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal | | | | |

Ville .....

E-mail .....

Je règle  par chèque  par CB n° | | | | | Expiration | | | | |  
cryptogramme\* | | | | | (\*3 derniers chiffres du numéro figurant au dos de votre carte)

Pour consulter toutes nos offres en France et  
à l'étranger, pour vous abonner et réabonner  
en ligne : [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping)  
Paiement sécurisé.

Signature

HSSS

**CIEL & ESPACE**

le monde comme vous ne l'avez jamais vu

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 noms et adresse soient cédés ultérieurement.

Siège social : Ciel & Espace 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.

# Abonnement

# 1 AN

**24 numéros**  
[12 numéros papier  
et leur version numérique]

+  
**4 hors-série**  
[2 hors-série  
et leur version numérique]

**69 €**  
au lieu de 152,40 €\*

Soit **54 % de réduction**

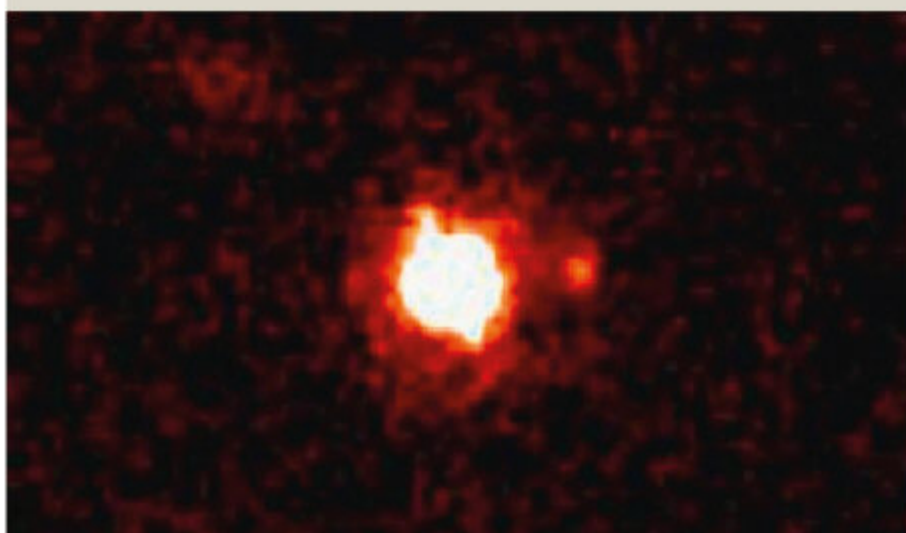
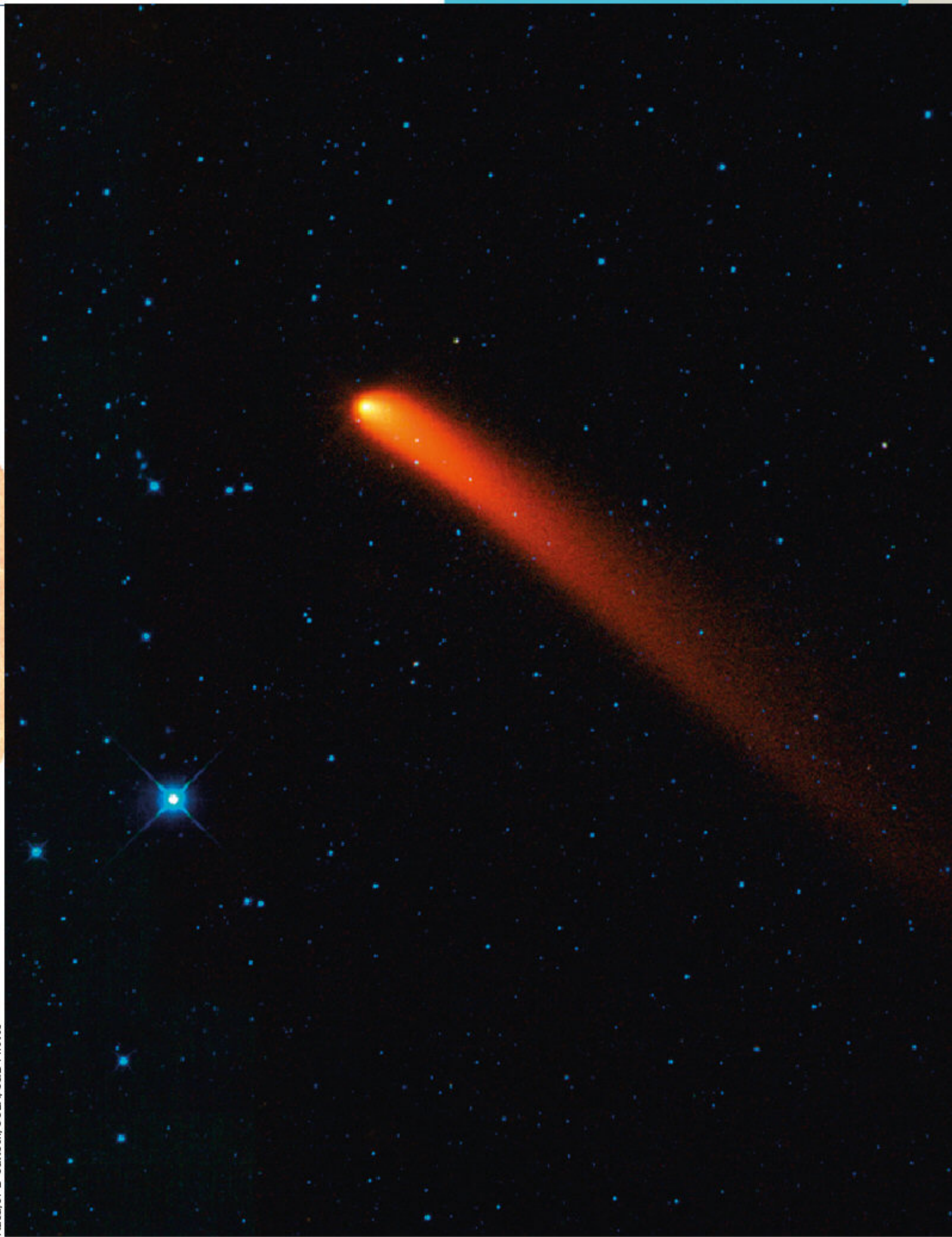
\* Prix kiosque

## → MESSAGERS LOINTAINS

Les comètes (ici C/2007 Q3 observée dans l'infrarouge en octobre 2009) proviennent des confins du Système solaire. Observables depuis la Terre, elles nous renseignent sur la nature des corps lointains.

annonce la découverte de 2005 FY9, un corps de 1 200 km de diamètre dont l'orbite est inclinée à 29°. Sans oublier que, quelques heures seulement avant leur téléconférence, une équipe espagnole menée par José Luis Ortiz, de l'Institut d'astrophysique d'Andalousie, rendait publique la détection de 2003 EL61, un tantinet plus gros que 2005 FY9 et, qui plus est, flanqué d'un petit satellite... Sur le plan scientifique, la cause est entendue. *"Les modèles de formation planétaire indiquent qu'il doit exister, dans cette région éloignée du Système solaire, davantage de 'masse' que l'on en observe, insiste Bruno Sicardy, de l'observatoire de Paris-Meudon. Y détecter des corps plus gros encore, voire de la taille de Mars, s'accorderait donc bien avec la théorie."* Alors, au rythme où vont les détections, comptera-t-on bientôt 50 planètes dans le Système solaire ? Clairement, non. Les astronomes ne laisseront pas cette population d'objets lointains, gravitant sur des orbites chaotiques, usurper le titre de planètes. 2003 UB313 risque donc de subir le même sort que Sedna, "précédente dixième planète", rapidement reléguée dans la masse des innombrables objets trans-neptuniens. *"Nous nous retrouvons dans la situation du début du XIX<sup>e</sup> siècle, quand Cérès, Juno, Pallas et Vesta ont été découverts, observe André Brahic, astronome au CEA. D'abord considérés comme des planètes, ils*

Nasa/JPL-Caltech/UCLA/C&E Photos



Nasa



## Éris, la plus grande

**Diamètre :** entre 2400 et 3000 km / ~ 0,212 Terre

**Masse :** 1,67.10<sup>22</sup> kg / 0,028 Terre

**Orbite autour du Soleil :** 10 milliards de kilomètres / 68 UA

**Période de révolution :** 557 années

**Atmosphère :** traces

**Température en surface moyenne :** -230 °C ; **maximale :** -220 °C ; **minimale :** -243 °C

ont ensuite été qualifiés d'astéroïdes dès que le cinquième petit corps a été identifié en 1845." Mais si 2003 UB313 n'entre jamais au panthéon des planètes, qu'advient-il de Pluton ? En toute logique, la neuvième planète devrait elle aussi perdre son titre. "Plus on découvrira d'astres tels que Sedna, Quaoar ou 2003 UB313, affirme Catherine De Bergh, plus il deviendra évident que Pluton est un objet transneptunien." Donc pas une planète... Mais les Américains, nombreux au sein de l'Union astronomique internationale (UAI), auront du mal à accepter de "lâcher" la seule planète découverte par un compatriote. La prochaine réunion de l'UAI, du 14 au 25 août 2006 à Prague promet de belles empoignades...

Émilie Martin [ septembre 2005 ]

## Apaisement

Le calme a régné à Rio pour l'assemblée générale de l'UAI, du 3 au 14 août 2009. Car les 2 000 astronomes du monde entier présents n'ont pas eu à débattre d'un sujet qui fâche. Ou, en tout cas, qui avait fâché lors de leur précédente réunion, à Prague en 2006. Des débats houleux avaient eu lieu sur la manière de définir une planète, qui s'étaient soldés par un vote à main levée, conduisant à l'exclusion de Pluton du cortège planétaire du Système solaire. Rendez-vous avait été

pris alors pour poursuivre la discussion en 2009, à Rio. Mais Catherine Cesarsky, la présidente de l'UAI, avait annoncé qu'il n'y aurait pas de débat : "Nous avons décidé qu'il était inutile de revenir sur la définition de planète. À Rio, il n'y aura aucune discussion officielle sur ce sujet."

La définition adoptée en 2006 est la suivante : un corps est une planète s'il tourne autour du Soleil, s'il est suffisamment massif pour être sphérique et s'il a fait le "ménage" sur son orbite. Ce n'est pas le cas de Pluton, qui navigue parmi les objets de Kuiper, dont Éris (anciennement 2003 UB313), plus gros qu'elle. Mais Alan Stern, responsable de la mission New Horizons (lire p. 88), avait alors pris la tête d'un groupe d'astronomes refusant ces nouveaux critères.

Peu après le rendez-vous de Prague, ses membres ont organisé des manifestations et fait signer des pétitions, qui ont recueilli quelque 300 signatures d'astronomes américains. Parce que Pluton était la seule planète découverte par un de leurs compatriotes ? Toujours est-il qu'aujourd'hui le mouvement semble éteint et que la plupart des membres de l'UAI ont accepté le reclassement de Pluton en "planète naine". La définition votée en 2006 a fixé la limite entre une planète et un corps plus petit. L'assemblée générale ne reviendra pas dessus.

Émilie Martin [ août 2009 ]

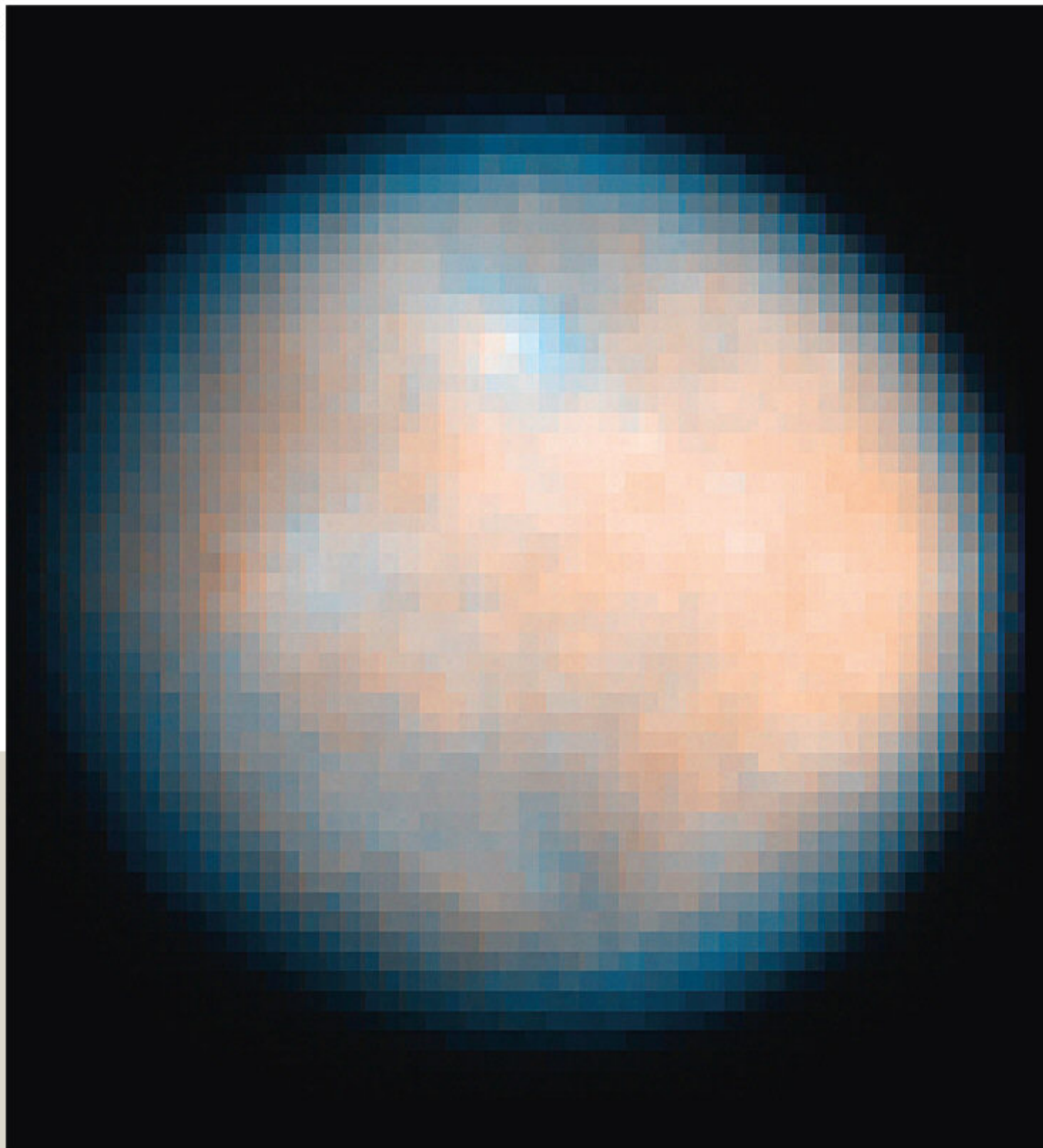
+  Sur [www.cieltespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieltespaceradio.fr/HS15.624)

Pluton et les confins du Système solaire, avec Emmanuel Lellouch

### ← CÉRÈS, PARTI AILLEURS

Cérès niche dans la Ceinture d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter (voir p. 94). Mais selon certains chercheurs, ce corps sphérique de 950 km de diamètre (ici, photographié par le télescope Hubble en 2004) serait un plutoïde qui aurait migré vers l'intérieur du Système solaire, voici 3,8 milliards d'années. Pour le confirmer, il faudra attendre 2015, date à laquelle la sonde Dawn se satellisera autour de Cérès pour analyser sa composition.

Nasa



# CIEL & ESPACE

VOYEZ LE MONDE AUTREMENT

## Abonnement 1 AN

12 numéros + 2 hors-série

# 55 €

au lieu de 76,20 €\*

\* Prix kiosque

**ABONNEZ-VOUS !**  
Et bénéficiez  
des **AVANTAGES**  
réservés aux abonnés

Les hors-série du magazine  
vous sont offerts

Vous recevez chaque mois  
Ciel & Espace avant sa parution  
en kiosque

Vous êtes à l'abri des  
augmentations du prix kiosque  
du magazine

Vous recevez des plus produits  
réservés aux abonnés

## Économisez 21,20 €



Bon à retourner, accompagné de son règlement, à Ciel & Espace,  
Service abonnements, 18/24, quai de la Marne 75164 PARIS cedex 19  
Tél. : 01 44 84 80 27 Fax : 01 42 00 56 92 - Email : [cieletespace@dipinfo.fr](mailto:cieletespace@dipinfo.fr)

Oui, je m'abonne pour 1 an 12 NUMÉROS  
et je reçois en plus 2 HORS-SÉRIE au PRIX EXCEPTIONNEL de 55,00 €

\* Prix de vente au numéro. Le tarif d'abonnement s'entend TVA et port inclus pour la France métropolitaine.  
Dom, Tom et autres pays, information sur [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping) ou au 33 1 44 84 80 27.

Pour le Canada et les USA, contacter : Express Mag (Québec), au 1.800.363.1310 - email :  
[expmag@expressmag.com](mailto:expmag@expressmag.com) - internet : [www.expressmag.com](http://www.expressmag.com)

Pays étrangers : voir tarif de l'offre sur [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping) Tarifs valables jusqu'au 31/12/2010

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal | | | | |

Ville .....

E-mail .....

Je règle  par chèque  par CB n° | | | | | Expiration | | | | |  
cryptogramme\* | | | | | (\*3 derniers chiffres du numéro figurant au dos de votre carte)

Pour consulter toutes nos offres en France et  
à l'étranger, pour vous abonner et réabonner  
en ligne : [www.cieletespace.fr/shopping](http://www.cieletespace.fr/shopping)  
 Paiement sécurisé.

Signature

HSSH

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 noms et adresse soient cédés ultérieurement.

Siège social : Ciel & Espace 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.

## CIEL & ESPACE

le monde comme vous ne l'avez jamais vu

ELLE ÉTAIT LA DERNIÈRE PLANÈTE du Système solaire. Mais avec l'arrivée des plutoïdes, Pluton a été rebaptisée "première planète naine". Un changement qui n'a pas empêché d'y envoyer une sonde... qui arrivera en 2015.

# PLUTON

## UN PEU MOINS QU'UNE PLANÈTE

**J-1** **L**À-BAS, le Soleil n'est qu'une étoile brillante dans le ciel. Un point pas plus gros que Vénus dans notre ciel lorsqu'elle passe au plus près de la Terre. Son éclat est divisé par mille. Là-bas, un satellite monumental, sept fois plus gros que la Lune vue depuis la Terre, occupe le ciel. Là-bas, il fait un froid inimaginable :  $-240^{\circ}\text{C}$ . Cet "ailleurs", c'est Pluton, la planète naine

du Système solaire, découverte en 1930 par l'Américain Clyde Tombaugh. De ce monde très lointain, les astronomes savent qu'il ne ressemble ni aux planètes telluriques, ni aux géantes gazeuses. Pluton et son satellite Charon sont des corps constitués d'un mélange de glace et de roche.

Parce qu'ils sont hybrides et qu'ils gravitent dans un environnement des plus hostiles, ces deux astres devaient être explorés. Le 19 janvier 2006, la sonde américaine New Horizons s'est élancée de cap Canaveral avec cet objectif. Et à la mi-avril 2015, au terme d'un voyage de plus de 9 ans qui la mènera à près de 5 milliards de kilomètres de la Terre, elle entamera les premières observations rapprochées de Pluton et de Charon. Enfin, le 14 juillet 2015, lancée à 50 000 km/h, elle frôlera Pluton, à seulement 12 500 km d'altitude. Quatre-vingt-

### → UNE CONNAISSANCE FLOUE

La surface de Pluton telle qu'on la voit aujourd'hui (téléscope spatial Hubble, colorisation artificielle) est à l'image de ce que les astronomes du XVII<sup>e</sup> siècle apercevaient de la surface martienne : un jeu d'ombres. On y distingue néanmoins des zones sombres et claires pouvant refléter la répartition de la glace et de la roche.

cinq ans après avoir été identifiée, Pluton révélera alors sa surface aux chercheurs. Un quart d'heure plus tard, ce sera au tour de Charon, son plus gros satellite, d'être dévoilé depuis une distance minimale de 26 700 km. Une fois passée au-dessus du tandem, New Horizons poursuivra sa mission deux mois encore.

L'enjeu est simple : "D'abord, savoir à quoi Pluton ressemble ! dit Leslie Young, coresponsable scientifique de la mission. Les images actuelles, réalisées par le télescope spatial Hubble ou depuis le sol, sont très mauvaises et ne nous permettent pas de distinguer les détails de sa surface." La sonde, elle, va mitrailler Pluton en haute résolution. Notamment avec l'imageur Ralph, qui réalisera des cartes de couleur et de composition avec une résolution de 600 m, mais aussi grâce à la puissante caméra Lorri



### ← À L'ASSAUT DES CONFINS

La sonde New Horizons a quitté cap Canaveral le 19 janvier 2006. Son arrivée à Pluton est prévue le 14 juillet 2015, après la visite de l'astéroïde 132524 APL (juin 2006) et de Jupiter (février 2007). Sur sa lancée, New Horizons survolera aussi Charon.



## Première planète naine située après Neptune

**Distance au Soleil :** de 4,4 à 7,3 milliards de km / 30-49 UA

**Période de révolution :** 248,09 années

**Inclinaison de l'orbite/excentricité :** 17,14° / 0,250

**Période de rotation :** 6,39 jours (rétrograde)

**Diamètre :** 2300 km / 0,18 Terre

**Masse :**  $1,3 \cdot 10^{22}$  kg / 0,002 Terre

**Gravité moyenne :**  $0,658 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  / 0,067 Terre

**Température moyenne :**  $-230^{\circ}\text{C}$  ; **max. :**  $-218^{\circ}\text{C}$  ; **min. :**  $-243^{\circ}\text{C}$ .

**Pression atmosphérique :** de 5 à 24 microbar ( $10^{-6}$  bar)

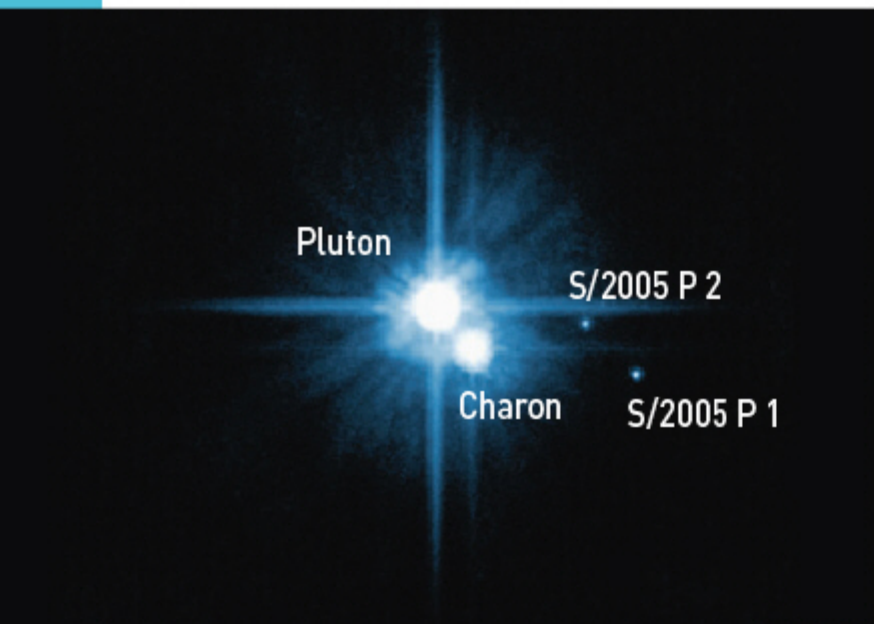
**Composition atmosphérique :** azote (90 %), monoxyde de carbone (10 %), méthane.

**Satellites :** Charon, Hydra (S/2005 P1), Nix (S/2005 P2)

**Découverte :** Clyde Tombaugh, le 18 février 1930

**Particularité :** depuis 2006, n'est plus considérée comme une planète





Nasa/ESA/C&E Photos

## ↑ DEUX NOUVEAUX VENUS

En 2005, le télescope Hubble a révélé deux nouveaux satellites autour de Pluton, dont le diamètre ne dépasse pas 160 km : S/2005 P1 et S/2005 P2, rebaptisés Hydra et Nix.

qui, lors de l'approche maximale, saisira des détails d'à peine 100 m. "Nous allons enfin comprendre pourquoi sa surface est si contrastée", poursuit Leslie Young.

Les images de Hubble ont en effet montré que celle-ci se découpe en douze régions majeures, certaines très brillantes, d'autres très sombres. Une singularité qui fait de Pluton le corps le plus contrasté du Système solaire après Japet<sup>(1)</sup>. "Les régions sombres correspondent peut-être à des tholins, des zones où la glace a été altérée par le Soleil et changée en une boue constituée de matériaux organiques, d'hydrocarbures", suppose Catherine De Bergh, de l'observatoire de Paris-Meudon. Quant aux régions brillantes, elles peuvent résulter d'un dépôt de glace d'azote fraîche sur ces surfaces altérées." Reste à savoir d'où provient cette

glace fraîche. Sur ce point, les astronomes ont leur petite idée : lorsqu'ils sont exposés au Soleil, les éléments les plus volatils<sup>(2)</sup>, tel l'azote, se vaporisent. Transportés par l'atmosphère, ils se condensent ensuite sous la forme d'une glace très pure, sur les régions situées à l'ombre.

Mais à quelle échelle de temps ce phénomène a-t-il lieu ? "Il s'étend sur une année plutonienne, soit 248 ans, explique Bruno Sicardy, de l'observatoire de Paris-Meudon. Non seulement l'orbite de Pluton est très elliptique, ce qui induit de gros contrastes d'ensoleillement entre l'aphélie et le périhélie, mais son axe de rotation est incliné de 122° par rapport à son plan orbital. Ainsi, durant toute une moitié de l'année plutonienne, soit 120 ans, l'un des pôles est à l'opposé du Soleil. À mesure que Pluton se rapproche du Soleil, une grande partie de la glace du pôle tourné vers lui se vaporise, ce qui épaissit l'atmosphère. Ensuite, à mesure que Pluton rejoint son aphélie, cette glace se condense à nouveau, sur le pôle plongé dans la nuit."

Cet épaississement de l'atmosphère a été observé en 2002, depuis la Terre, à l'occasion de l'occultation d'une étoile par Pluton. La courbe de lumière de l'étoile éclipcée a en effet indiqué que la pression au sol était passée de 5 microbars (relevés lors d'une précédente occultation en 1988) à 10 microbars ! "L'atmosphère devrait s'épaissir ainsi jusqu'en 2020, précise Bruno Sicardy. Après quoi, elle diminuera progressivement jusqu'à devenir cent fois plus ténue."

L'étude de l'atmosphère de Pluton, composée en grande majorité d'azote mais aussi de méthane et de

monoxyde de carbone, est l'une des raisons d'être de New Horizons. La mission devrait en effet lever le voile sur certains mystères, dont celui-ci : la courbe de lumière obtenue lors de l'occultation de 1988 n'est pas lisse mais comporte une rupture. Celle-ci est interprétée soit comme une élévation brutale de la température (passant de -230°C à -170°C) à partir de 20 km d'altitude, soit comme la présence, au-dessus du sol, d'une couche de brume d'au moins 10 km d'épaisseur. "Nous n'avons pas encore réussi à trancher entre ces deux modèles concurrents. New Horizons devrait nous faciliter la tâche", indique Emmanuel Lellouch, de l'observatoire de Paris-Meudon.

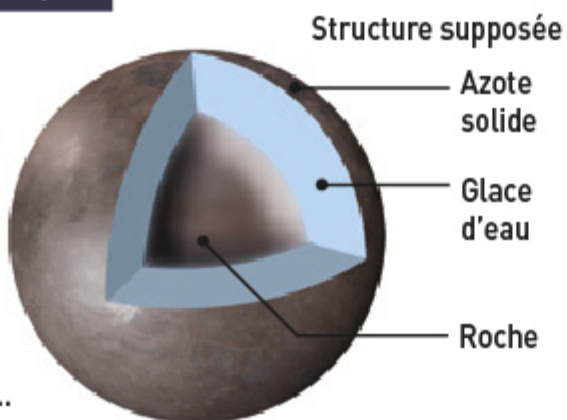
Moins de 50 minutes après être passée au plus près de Pluton, la sonde pénétrera dans son ombre afin d'observer elle-même une occultation. Au moyen de son spectromètre UV Alice, elle observera la diffusion des rayons solaires à travers l'atmosphère, ce qui devrait permettre de connaître avec précision ses constituants. Une minute plus tard, New Horizons recevra en provenance de la Terre un signal radio qui, avant de l'atteindre, aura traversé l'atmosphère de Pluton. Grâce à son radiomètre Rex, la sonde étudiera la déformation subie par ce signal lors de son cheminement dans l'atmosphère. Elle en déduira de précieuses informations sur la structure et le profil des températures de celle-ci. De telles expériences permettront-elles éga-

+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Pluton, planète naine, avec André Brahic

### PROFIL GÉOLOGIQUE

On suppose que Pluton contient 50 à 70% de roche, 30 à 50% de glace (eau et azote) et, peut-être, un noyau encore chaud favorisant la présence d'eau liquide souterraine...



## DERNIÈRES NOUVELLES

**NASA** – Le 30 juin 2010, la sonde New Horizons a reçu une petite correction de sa trajectoire — la quatrième depuis son départ.

Ses fusées ont été allumées pendant 36 secondes, accélérant la sonde de 1,8 km/h, ce qui devrait suffire pour tenir le planning : se placer à 12500 km de Pluton le 14 juillet 2015, à 7 h 49 (heure standard de l'Atlantique). Qu'est-ce qui a dévié la sonde ? Ce serait la chaleur émise (photons thermiques) par son générateur thermoélectrique à radio-isotope (RTG), qui alimente toute la sonde.

Nasa/C&E Photos



## ↑ CÔTÉ RÉALITÉ...

À cause de leur distance colossale et de leur petite taille, Pluton et son satellite Charon sont à la limite de résolution des instruments terrestres, même du puissant télescope spatial Hubble, dont l'image ci-dessus est une des plus précises du couple.

lement de mesurer des vents sur Pluton ? *“Le meilleur moyen de mesurer l'activité éolienne (probablement pas exceptionnelle) est d'observer d'éventuelles traînées de poussières, explique Emmanuel Lellouch. En 1989, Voyager avait vu sur Triton, le satellite de Neptune, de telles traînées, éjectées par des geysers puis transportées par les vents. Tout porte à croire qu'elles existent aussi sur Pluton.”* Même taille, même distance au Soleil, même densité, même atmosphère d'azote... Triton et Pluton cumulent en effet les points communs. Ce qui fait dire aux scientifiques que, tout comme

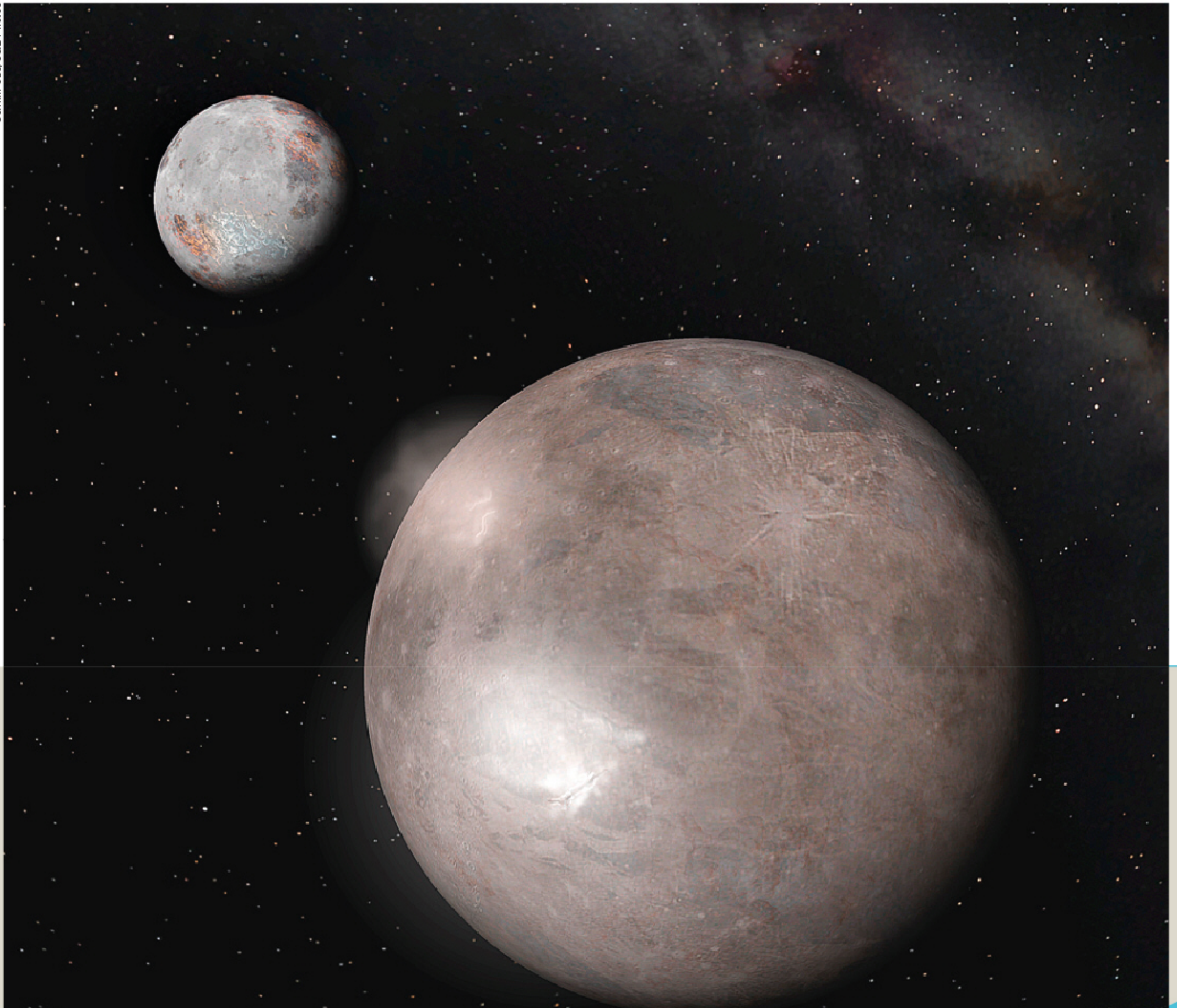
le satellite de Neptune, Pluton pourrait être encore active et évacuer sa chaleur interne par cryovolcanisme. Là-bas, de formidables geysers éjectent peut-être de la glace d'azote en de majestueux panaches de 8000 m de haut.

Émilie Martin [ janvier 2006 ]

## ↓ ... ET CÔTÉ RÊVE

Peut-être que New Horizons nous enverra des images semblables à cette vue d'artiste (Charon est au premier plan). Dans tous les cas, elle permettra de répondre aux questions essentielles : à quoi ressemble la surface de ces corps lointains ? Est-elle encore active ?

Gemini Obs/C&E Photos



**NOUS VOICI** dans les confins du Système solaire... ou du moins les confins observables, la dernière limite, le nuage de Oort, restant hors de portée. On y trouve des plutoïdes et des noyaux cométaires. Hier débordante d'activité, la région est aujourd'hui tranquille.

# CEINTURE DE KUIPER

## TRACES D'ACTIVITÉ

### Confins

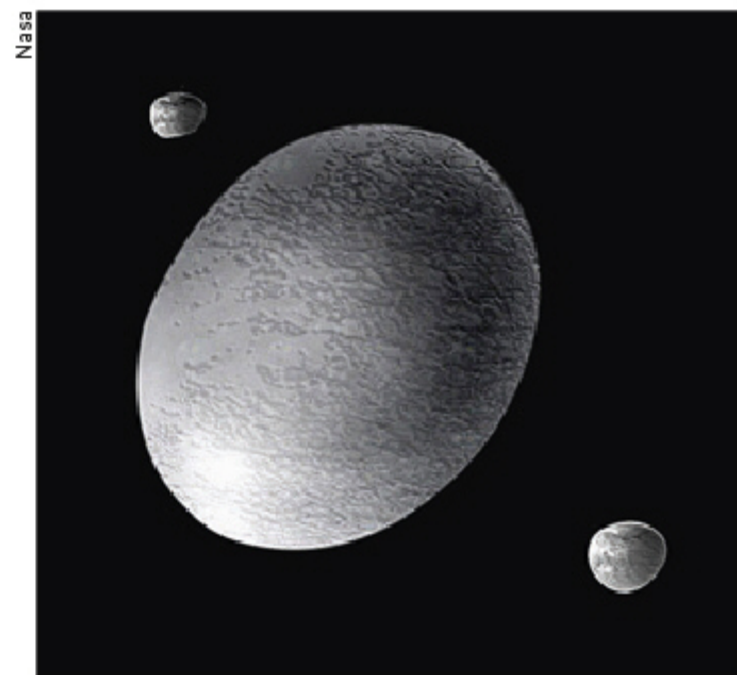
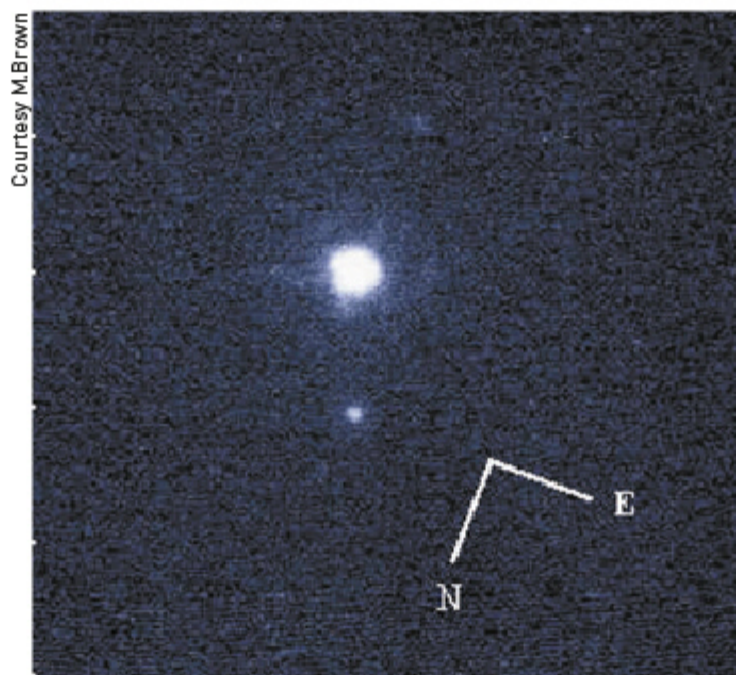
**L**ES mondes glacés du Système solaire n'ont pas échappé aux cataclysmes. Au-delà de Neptune, à plus de 4 milliards de kilomètres du Soleil, dans une région considérée aujourd'hui comme calme, l'Américain Mike Brown a découvert le vestige d'une collision titanesque. Celle qui a donné au planétoïde 2003 EL61 [baptisé depuis Hauméa] son aspect de ballon de rugby (2000 km dans sa longueur).

#### → COMÈTE EN PUISSANCE

La ceinture de Kuiper recèle quantité de petits corps glacés et de plutoïdes, dont certains, comme Hauméa, possèdent des satellites (ici, vu par le télescope Keck et dessiné). Tous ces corps sont des noyaux cométaires.

L'impact aurait eu lieu voici 4,5 milliards d'années, à une époque où la Terre et les autres planètes étaient encore en train de se former par collisions successives entre petits objets. Selon Mike Brown, 2003 EL61 était alors sphérique. Il ressemblait à Pluton, non seulement par sa taille (autour

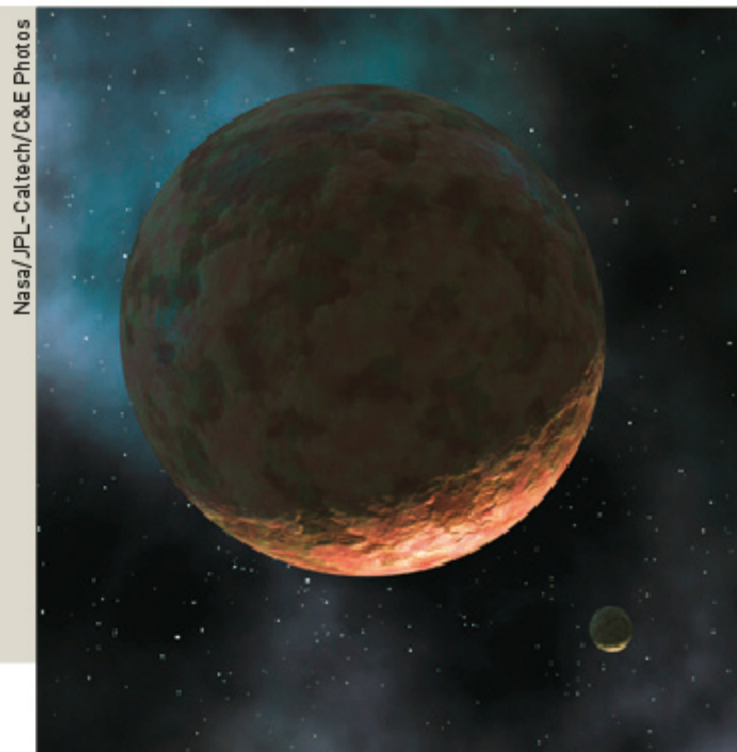
de 2 300 km de diamètre), mais aussi par sa composition : un noyau rocheux enrobé d'une épaisse gangue de glace. Autour de lui, le nombre d'objets était 100 fois plus élevé qu'aujourd'hui. Et ce qui devait arriver arriva : un autre planétoïde, de masse imposante, peut-être de 400 km de diamètre, l'a percuté à 3 km/s. La rencontre, fracassante, aurait éparpillé dans l'espace une myriade de débris. La plupart d'entre eux auraient tout simplement été expulsés du Système solaire. Toutefois, "quelques-uns de ces fragments tournent encore autour du Soleil, sur des orbites voisines de celle de 2003 EL61", annonce Mike Brown. C'est grâce à eux que l'astronome du Caltech (Californie) a pu reconstituer le scénario catastrophe. Ils ont pour nom des matricules provisoires<sup>(1)</sup>, qui trahissent leur découverte récente : 2002 TX300, 1995 SM55, 1996 TO66, 2005RR43, 2003 OP32... Et tous partagent deux caractéristiques communes : "Une surface composée majoritairement de glace et des paramètres orbitaux qui semblent simi-



### SEDNA

Identifié le 14 novembre 2003, Sedna n'a aucune des caractéristiques orbitales des objets transneptuniens connus. D'un diamètre compris entre 1 200 et 2 400 km,

il circule sur une orbite très elliptique : sa distance au Soleil oscille entre 76 et 950 UA. Puisque 1 UA représente la distance Terre-Soleil, soit 150 millions de kilomètres, l'éloignement maximal de Sedna est de... 140 milliards de kilomètres ! Cette distance, qu'un rayon de lumière mettrait plus de 130 heures à parcourir, fait dire à certains que Sedna est un objet du nuage de Oort, cette lointaine "nébuleuse" sphérique remplie de corps glacés, ultime frontière du Système solaire.



lares”, précise Mike Brown. De là à penser qu’ils sont issus du même événement, il n’y a qu’un pas.

Pour le franchir, Mike Brown avance d’autres arguments liés à 2003 EL61 : “Sa densité de  $2,6 \text{ g/cm}^3$  est proche de celle de la roche. Cet objet fascinant est donc principalement rocheux.” Un véritable “cas à part” parmi la foule de petits mondes mi-roche mi-glace qui peuplent cette région lointaine ! En fait, la collision aurait “désbillé” le planétoïde de son manteau glacé. Selon l’astronome, les petits corps identifiés sur des orbites voisines de 2003 EL61, presque exclusivement composés de glace, constitueraient les vestiges de cette enveloppe. De même, les deux satellites du planétoïde, découverts également par Mike Brown, apparaissent totalement glacés. Eux aussi seraient nés de l’impact — à l’instar de la Lune formée à partir des fragments du manteau terrestre expulsés lors d’une collision de notre planète avec un bolide de la taille de Mars. Enfin, la période de rotation

et la forme de 2003 EL61, déduite d’observations photométriques, plaident en faveur d’un choc majeur : “Il tourne sur lui-même en seulement 4 heures, explique Mike Brown. Cette vitesse exceptionnelle l’a ensuite progressivement déformé, pour l’allonger comme un ballon de rugby.” Or, seul un impact violent a pu donner à 2003 EL61 une telle vitesse de rotation, qu’il n’aurait sinon jamais atteinte par lui-même.

À présent, la ceinture de Kuiper est une région paisible. “Par rapport à l’époque de la collision, elle a perdu 90 % de sa masse totale”, indique Patrick Michel, spécialiste des impacts à l’observatoire de la Côte d’Azur. Tout cela parce que les planètes géantes Jupiter et Saturne, en changeant sensiblement leur orbite voici 4 milliards d’années, ont repoussé Uranus et Neptune vers la ceinture. Celles-ci ont alors chassé la plupart des corps qui s’y trouvaient. L’enjeu de la découverte de Mike Brown concerne la connaissance de ces temps anciens,

+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Astéroïdes : le monde extraordinaire des petites planètes, avec Patrick Michel

comme le note Patrick Michel : “La matière de la ceinture de Kuiper était-elle dispersée en une myriade de petits corps ou, au contraire, concentrée en quelques gros objets ? Le scénario de collision de 2003 EL61 tend à montrer que la deuxième solution serait la bonne.”

La confirmation proviendrait de la découverte d’autres planétoïdes et de leur cortège de débris. “Si c’est le cas, cela voudrait dire qu’aux tout débuts du Système solaire, un processus d’accrétion efficace a donné naissance à de gros objets dans la ceinture de Kuiper”, poursuit le chercheur. Un petit chamboulement dans le scénario de formation de notre système planétaire.

Philippe Henarejos [ mai 2007 ]

(1) Formés de l’année de découverte, suivie d’une lettre pour la quinzaine du mois de découverte et d’une indiquant l’ordre de découverte dans cette quinzaine, et éventuellement d’un nombre si les découvertes s’accumulent.

A. Fujii/C&E Photos



## CORPS EN PERDITION

La comète McNaught (vue de l’observatoire du Chiro, en Australie, en 2006) était probablement un corps de la ceinture de Kuiper qui a été catapulté vers le Soleil. Sa trajectoire pourrait l’amener à quitter le Système solaire.

ENTRE MARS ET JUPITER existe une ceinture remplie de corps glacés, les astéroïdes, qui auraient dû former une planète. Restés inchangés depuis la naissance du Système solaire, on les visite pour percer le mystère des origines.

# ASTÉROÏDES

## TÉMOINS PROCHES DU LOINTAIN PASSÉ

### Échantillons

EN ce début juin 2010, un bolide un peu spécial fonçait vers la Terre à plus de 16000 km/h. Son nom : Hayabusa (faucon pèlerin, en japonais). Ce n'est pas un astéroïde, mais une sonde de la Jaxa<sup>(1)</sup> partie à la rencontre d'un astéroïde potentiellement dangereux, le géocroiseur Itokawa<sup>(2)</sup>.



Jaxa/Isas/C&E Photos

Le vaisseau revenait après plus de 7 ans de voyage et 4,5 milliards de kilomètres parcourus. Avec, dans ses bagages, quelques poussières arrachées à l'astéroïde auquel il a tenu compagnie de septembre 2005 à avril 2007. Ce trésor scientifique se trouvait à bord d'une capsule de 20 kg, dont Hayabusa s'est délestée le 13 juin, à 60 000 km de la Terre. Trois heures plus tard, alors que la sonde se consumait dans notre atmosphère, la capsule elle aussi est entrée dans l'atmosphère dans le sens de rotation de la Terre avec une inclinaison de 12°. Protégée de l'échauffement par un bouclier thermique, elle a été freinée jusqu'à l'ouverture de son parachute et s'est posée en douceur dans la région désertique de Woomera, en Australie méridionale. La mission, lancée le 9 mai 2003, était initialement conçue pour durer 4 ans, dont

#### ← CAILLOUX

La sonde Hayabusa a effectué des photos détaillées de la surface de l'astéroïde Itokawa : des régions parsemées de rochers massifs (ci-contre) alternent avec d'autres, plus lisses.

6 mois auprès de l'astéroïde Itokawa, à près de 350 millions de kilomètres de la Terre. Son but ? Étudier sous toutes ses coutures le géocroiseur, mais surtout égratigner sa surface afin d'en prélever quelques grammes et les rapporter sur Terre. Cela, c'était sur le papier. Mais une succession d'avaries ont fait manquer à la sonde la fenêtre de retour de décembre 2005. "Quand on a raté une opportunité d'aiguillage, il faut attendre une autre configuration favorable des orbites", note Patrick Michel, de l'observatoire de la Côte d'Azur, qui a suivi la mission de près. Pour des questions de mécanique céleste, Hayabusa a donc finalement fait ses adieux à Itokawa en avril 2007, pour ne rejoindre la Terre qu'en juin 2010... avec trois ans de retard.

Mais l'affaire n'est pas pour autant dans le sac. Car la récolte des échantillons s'est déroulée de manière chaotique. Hayabusa devait en effet frôler la surface de l'astéroïde, tout en lançant un petit boulet pour érafler le sol et en éjecter quelques fragments. Les débris produits devaient être collectés par une sorte d'entonnoir, puis guidés vers la capsule de retour. Or, rien n'indiquait qu'un projectile ait été tiré : la communication avec la sonde a été perdue lors de la première approche et le tir n'a pas fonctionné lors de la seconde. Enfin, faute de temps, il n'a pas été possible de faire un dernier essai pour lever ces doutes.

Pour autant, les chercheurs n'ont pas sombré dans le pessimisme. Car paradoxalement, l'un de ces dysfonctionnements a

### PROCHAINE VISITE

La sonde américaine Dawn voyage vers la Ceinture d'astéroïdes depuis le 27 septembre 2007. Son objectif :

survoler le gros astéroïde Vesta (530 km de diamètre) en 2011, puis le plutoïde Cérès (950 km) en 2015. Une double visite, représentant 4,8 milliards de kilomètres à parcourir, rendue possible grâce à la propulsion ionique. De ces deux astres, Dawn déterminera la composition minérale, l'histoire tectonique, la topographie, la masse et le champ de gravité. Ces données, indispensables pour compléter les modèles de formation du Système solaire, s'ajouteront à celles collectées dans la ceinture de Kuiper par New Horizons (voir p.88).



Jaxa/Isas/C&E Photos

### HARICOT DE L'ESPACE

Avec plus de 1 500 clichés, l'astéroïde Itokawa a été photographié sous toutes les coutures. Sa forme suggère qu'il résulterait de l'agglomération de deux fragments.

permis de récolter un peu de poussière. Au lieu de ne faire qu'effleurer l'astéroïde, la sonde s'y est posée pendant 30 minutes lors de sa première tentative d'approche. "Notre espoir est que, lorsque la sonde a touché la surface de l'astéroïde, de la poussière ait été soulevée et soit entrée dans le collecteur, dont la trappe était ouverte", confiait Patrick Michel avant le retour des échantillons. En effet, la gravité sur Itokawa est si faible (un cent-millième de celle de la Terre) qu'"éternuer à sa surface suffirait à échapper à son attraction", précisait-il. Le satellite lui-même a donc fait le travail de l'impacteur. Reste qu'il n'y avait pas de

#### ↓ VESTA

Avec ses 530 km de diamètre, il est le deuxième plus gros astéroïde de la Ceinture principale. Grâce aux clichés de Hubble (1996), on a pu reconstituer son profil (les couleurs indiquent les altitudes).

caméra pour filmer la capture d'un échantillon, et qu'aucun système de détection ne permettait de savoir si la capsule contenait quelque chose, ni en quelle quantité.

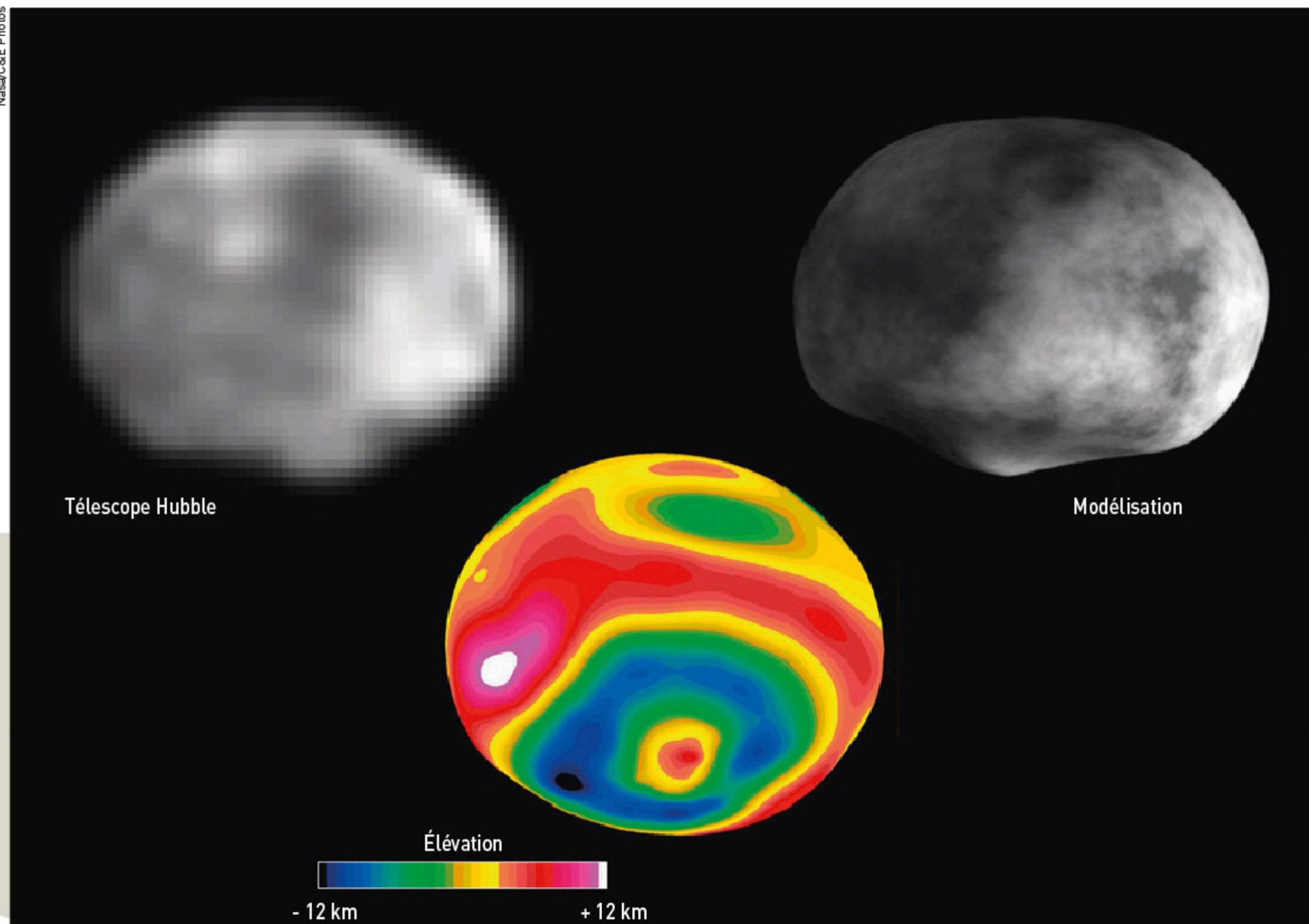
C'est pourquoi, le 13 juin, quatre télescopes se sont braqués dans la direction de la capsule pour détecter son entrée dans l'atmosphère. À mesure de son approche, le signal VHF de sa balise émettrice est devenue perceptible pour les quatre récepteurs radio mobilisés au sol, qui ont pris le relais des télescopes pour déterminer le point de chute de l'objet.

Récupérée par hélicoptère, la capsule a été immédiatement mise en container et expédiée vers le Japon par avion. Destination : un laboratoire flambant neuf de la Jaxa à Sagamihara, dans l'agglomération de Tokyo. C'est là qu'après mille précautions, la capsule a été ouverte, mais le suspense demeure [en septembre 2010, NDLR]. "S'il

y a de 'gros' fragments, on sera vite fixé. Mais il est probable qu'il y ait plutôt des grains très fins, dont la détection et l'analyse prendront des mois", explique Paul Abell, du Planetary Science Institute, membre de l'équipe de récupération de la capsule. L'éventuel échantillon sera étudié par des chercheurs japonais, américains et austro-aliens pendant un an, avant de faire l'objet d'un appel d'offres à destination du reste de la communauté scientifique. Une partie sera conservée pour de futures analyses. Ce que l'on pourrait en tirer ? "Des indices sur les mécanismes d'évolution du Système solaire, ainsi que la corrélation entre le matériel récolté et les mesures effectuées depuis la Terre", explique Junichiro Kawaguchi, responsable de la mission à la Jaxa.

En cas de réussite, Hayabusa sera la première mission à rapporter un échantillon prélevé à la surface <sup>(3)</sup> d'un astre autre

Nasa/C&E Photos



GASPRA



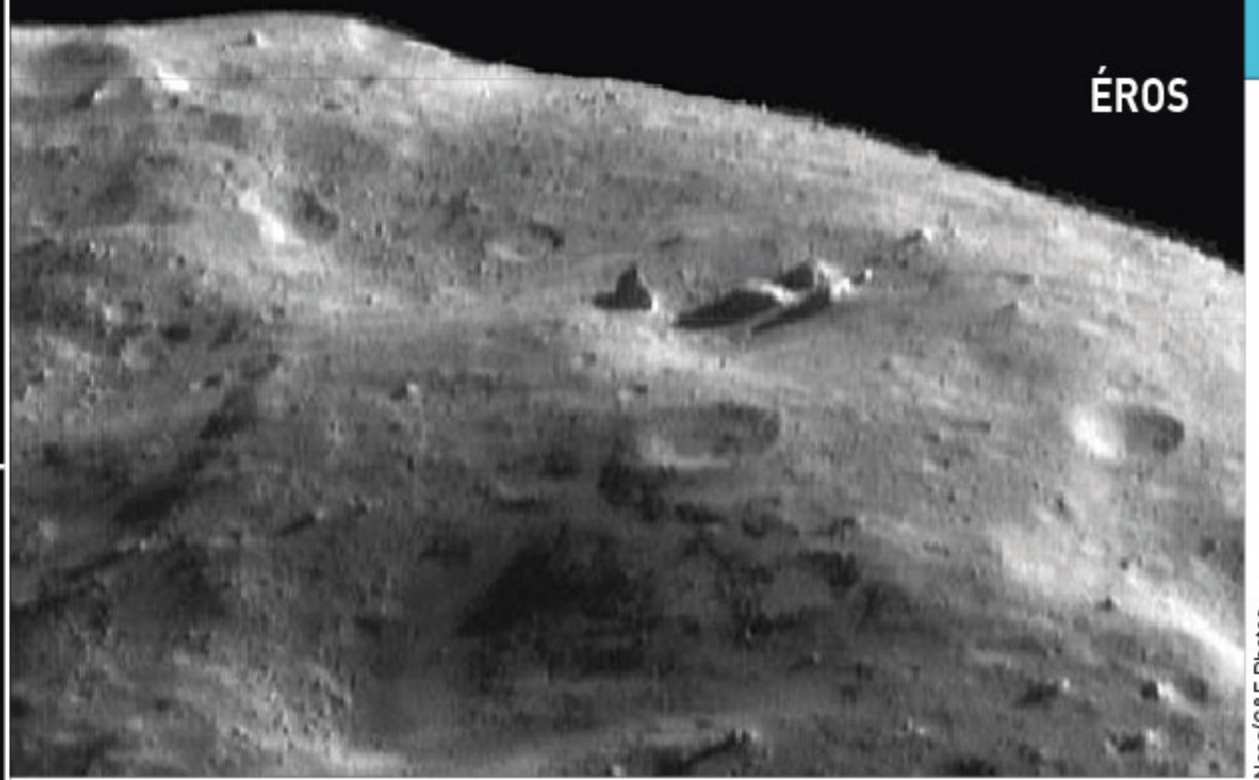
IDA



MATHILDE



ÉROS



STEINS



## ↑ ASTÉROÏDES VISITÉS

Gaspra et Ida ont été survolés en 1991 et 1993 par Galileo. Mathilde et Éros l'ont été en 1997 et 2001 par la sonde Near, qui s'est posée sur Éros. Itokawa a reçu Hayabusa en 2005. Enfin, le vaisseau Rosetta a survolé Steins en 2008.

que la Lune. Mais sans attendre, on peut déjà affirmer que le périple du "faucon pèlerin" est un succès. Ses caméras et ses spectromètres ont donné une image précise de ce que sont réellement les "tas de gravats" du genre d'Itokawa. *"Et il ne faut pas oublier qu'Hayabusa était avant tout un démonstrateur technologique",*

insiste Junichiro Kawaguchi. Étaient notamment à l'essai un nouveau type de moteur ionique, un système de guidage autonome, le prélèvement d'échantillons dans un environnement de faible gravité, une capsule d'entrée dans l'atmosphère... des techniques dont les autres missions de retour d'échantillon actuellement à l'étude tireront profit. Évoquant la capsule de Genesis, qui s'est écrasée dans le désert de l'Utah le 8 septembre 2004, faute d'ouverture de ses parachutes, l'astrophysicienne Antonella Barucci confirme : *"Si la capsule entre dans l'atmosphère sans*

*se détruire, ce sera d'ores et déjà un grand succès."* Et la présence d'un échantillon serait, dès lors, la cerise sur le gâteau.

**Véronique Étienne** [ juin 2010 ]

(1) La Jaxa est l'agence spatiale japonaise.

(2) Baptisé d'après Hideo Itokawa, l'un des pères du programme spatial japonais.

(3) Et non dans le milieu interplanétaire comme les missions Stardust (qui a récolté des poussières de la comète Wild 2, avant de larguer la capsule les contenant en janvier 2006) et Genesis (revenue en 2004 avec des particules de vent solaire).

+  À écouter sur [www.cieletespaceradio.fr/HS15.624](http://www.cieletespaceradio.fr/HS15.624)

Hayabusa : pour une poignée de poussières, avec Patrick Michel

## DINOSAURES

Soixante-cinq millions d'années après l'impact

sur Terre du fameux astéroïde qui aurait entraîné la disparition des dinosaures, une équipe américano-tchèque aurait retrouvé l'origine de ce bolide. Selon ces astronomes, ce rocher serait né d'une collision survenue 100 millions d'années auparavant, dans la Ceinture d'astéroïdes, entre un objet de 170 km de diamètre et un autre

de 60 km. Parmi la multitude de fragments produits, l'un se serait abattu sur notre planète. Les autres fragments seraient des petits corps baptisés Baptistina, famille d'objets de la Ceinture ayant tous la même orbite et la même nature carbonée. C'est en reconstituant par ordinateur les mouvements de chacun de ces rochers célestes, que les chercheurs sont remontés dans le temps jusqu'au choc qui s'est produit voici 165 millions d'années.

# FILS des PLANÈTES



**À CHAQUE ASTRE VISITÉ,  
NOUS AVONS ÉTÉ  
ÉMERVEILLÉS  
MAIS NOUS NOUS SOMMES  
SENTIS CHEZ NOUS,  
COMME SI NOUS ALLIONS  
EN VISITE CHEZ  
UN PARENT ÉLOIGNÉ**

**N**OUS sommes allés sur la Lune, nous irons bientôt sur Mars. Nous avons visité par sondes interposées presque tous les recoins du Système solaire : planètes et lunes glacées, brûlées, volcaniques, océaniques, gazeuses, géantes, isolées, accompagnées, en morceaux... En attendant de découvrir des havres de vie ! À chaque escale, nous avons été surpris, émerveillés, mais nous nous sommes sentis chez nous, comme si nous allions en visite chez un parent éloigné. *"Nous sommes une plante du ciel, non de la Terre."* C'est ainsi que le philosophe Platon, dans son dialogue consacré à l'astronomie, *Timée*, parle des hommes, les Terriens ! Et le ciel, pour les Grecs du IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, c'est avant tout les planètes. Pourquoi une telle parenté avec des astres qui "errent" sur fond de voûte étoilée ? La réponse est à la fois politique et philosophique. La décadence de la civilisation du siècle de Périclès, les guerres incessantes et les régimes tyranniques conduisent les citoyens à renoncer à une cité idéale où l'on pourrait vivre heureux. Les penseurs veulent alors préserver l'âme humaine de cette vie terrestre corrompue, vouée à la mort et à l'oubli. Ce sera la perfection des mouvements planétaires, démontrée dès cette époque par les astronomes, qui devient alors la véritable source de l'esprit humain. Ainsi déclaré fils des planètes, l'homme acquiert une âme spirituelle harmonieuse, parfaite, immortelle et rationnelle. C'est des astres que nous venons,

c'est dans les astres que nous retournerons après la mort. L'annonce de cette parenté glorieuse va conduire l'humanité à lever les yeux vers un ciel devenu miroir et territoire à explorer pour mieux sonder notre nature intime. Dans cette introspection cosmique, la science astronomique jouera le premier rôle. Les bouleversements ne manqueront pas, mais le lien va rester, jusqu'à aujourd'hui, indéfectible.

C'est d'abord la vision géocentrique du système, fixé par Ptolémée au II<sup>e</sup> siècle de notre ère, qui sera le guide pendant plus de mille ans. Au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, Copernic élabore un système héliocentrique tout aussi parfait et rationnel. La Terre devient ainsi un astre banal tournant en compagnie des autres planètes autour du Soleil. Galilée, au début du XVII<sup>e</sup> siècle, va conduire la révolution à son terme en observant les montagnes de la Lune, les phases de Vénus et les satellites de Jupiter.

Depuis, les découvertes se sont accumulées : Neptune, Uranus, Pluton, les innombrables satellites, la ceinture d'astéroïdes, la ceinture de Kuiper, le nuage de Oort... L'exploration est devenue directe, la parenté révélée par Platon est aujourd'hui une certitude. Mais que reste-t-il de la perfection promise par le philosophe ? Elle est plus dans la volonté de poursuivre l'exploration que dans la contemplation immobile : il semble bien que le miroir soit devenu une quête infinie.

**Jean-François Robredo**

Jean-François Robredo  
**LE SENS  
DEL'UNIVERS**  
Essai sur Jacques  
Merleau-Ponty

**Jean-François Robredo** est philosophe et historien des sciences. Il vient de publier l'ouvrage *Le sens de l'Univers. Essai sur Jacques Merleau-Ponty*

(éditions PUF), sur les relations entre la cosmologie moderne et la réflexion philosophique.

# LES RENCONTRES du ciel & de l'espace

Le rendez-vous astronomique de l'année

Le 11 novembre

Journée spéciale Explora

Visitez les expositions  
"Le grand récit de l'Univers",  
"Objectifs Terre :  
la révolution des satellites",  
"Science et science-fiction"  
en compagnie de chercheurs  
et de scientifiques.

Du 12 au 14 novembre

3 jours de conférences,  
de rencontres,  
de débats, de forum

Toute l'actualité scientifique  
du domaine, sur la pratique amateur,  
les techniques et outils, le loisir,  
les destinations...

Exposition de matériel,  
braderie, stands

Réservation et billetterie ouvertes  
Programme, renseignements :

[www.afanet.fr](http://www.afanet.fr)

Les Rencontres !!  
du 11 au 14  
novembre 2010

PENSER À  
RÉSERVER

Cité des sciences et de l'industrie **PARIS**

Une production de l'Association française d'astronomie, de Ciel & Espace, d'ASTRIUM et d'Universcience



CIEL & ESPACE



MAIRIE DE PARIS





# CELESTRON®

Le tube optique EdgeHD Celestron est le tube Schmidt Cassegrain aplanétique !

Le tube optique EdgeHD de Celestron est une configuration Schmidt Cassegrain avec correcteur-aplanisseur de champ intégré ! Cette nouvelle combinaison optique Schmidt Cassegrain Edge HD est considérée comme un vrai astrographe pour les nouvelles générations de caméras CCD et les reflex numériques "grand format". Les images révélées en observations visuelles avec cette nouvelle gamme EdgeHD sont également impressionnantes par la netteté jusqu'au bord du champ des oculaires exempt d'aberrations.

La gamme se décline sous quatre versions 8", 9 1/4", 11" et 14".

Fonction Fastar : tous les tubes optiques EdgeHD sont compatibles Fastar pour réaliser des images du ciel profond plus rapidement avec un rapport à f/2 (accessoires optionnels).



# MEDAS INSTRUMENTS

57 Av. Paul Doumer • 03200 VICHY  
Tél. 04 70 30 19 30

En vente Opticiens et Maisons spécialisées  
Liste des revendeurs sur [www.medas.fr](http://www.medas.fr)

# EDGEHD OPTICS

