

# POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION  
DÈS MAINTENANT !**



N° 514 (août 20)  
réf. PL514



N° 513 (juill. 20)  
réf. PL513



N° 512 (juin 20)  
réf. PL512



N° 511 (mai 20)  
réf. PL511



N° 510 (avril 20)  
réf. PL510



N° 509 (mars 20)  
réf. PL509



N° 508 (fév. 20)  
réf. PL508



N° 507 (jan 20)  
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)  
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)  
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)  
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)  
réf. PL503

À retourner accompagné de votre règlement à :

Next2C – Service abonnements Pour la Science – 26 BD Président Wilson CS 40032 – 67085 Strasbourg CEDEX – email : [pourlascience@abopress.fr](mailto:pourlascience@abopress.fr)



**OUI, je commande des numéros de Pour la Science, au tarif unitaire de 9,90 €.**

**1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES** à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1<sup>re</sup> réf. \_\_\_\_\_ 01 x 9,90 € = 9,90 €  
 2<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 9,90 € = \_\_\_\_\_ €  
 3<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 9,90 € = \_\_\_\_\_ €  
 4<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 9,90 € = \_\_\_\_\_ €  
 5<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 9,90 € = \_\_\_\_\_ €  
 6<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 9,90 € = \_\_\_\_\_ €

**TOTAL À RÉGLER** \_\_\_\_\_ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques. Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse [protection-donnees@pourlascience.fr](mailto:protection-donnees@pourlascience.fr).

**2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES**

☐ M. ☐ Mme

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Téléphone \_\_\_\_\_

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

**3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT**

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° \_\_\_\_\_

Date d'expiration \_\_\_\_\_

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) \_\_\_\_\_

**Signature obligatoire :**



**RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR  
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR**

## L'AUTEUR



**HERVÉ LE GUYADER**  
professeur émérite de biologie  
évolutive à Sorbonne Université,  
à Paris

# L'EAU, MOTEUR DE L'ÉVOLUTION

**Pas de vie sans eau, certes, mais pas d'eau sans vie et pas de Terre active sans eau... Biosphère, hydrosphère et lithosphère sont bien plus intriquées qu'on ne le pensait.**

**Q**ue l'eau soit indispensable à la vie est une évidence depuis longtemps. De tous les organismes vivants connus, il n'en est pas un qui n'en contienne pas. Même les tardigrades, de minuscules animaux capables de rester plusieurs dizaines d'années en dessiccation complète, conservent 3% de leur eau. Depuis longtemps, il ne fait aucun doute que seule une planète présentant à sa surface de l'eau liquide a pu héberger une telle vie organique. En revanche, ce n'est que grâce à des travaux récents de géologues et géophysiciens que l'on a pu se convaincre de l'existence d'une interdépendance bien plus forte de l'eau, la Terre et la vie – et même de son évolution.

## LA LEÇON DE MARS

Ce n'est pas tout d'avoir de l'eau, il faut la retenir. Les différentes missions sur Mars ont révélé qu'à une lointaine époque, il y a 4 milliards d'années, cet

astre était aussi une planète bleue. On y a trouvé du sable, des roches oxydées, des roches agglomérées dans le lit d'une ancienne rivière... De l'eau coulait sur Mars. Vraisemblablement, pendant plusieurs millions d'années, un océan a couvert 20% de sa surface dans l'hémisphère nord. Puis les rivières se sont tarées, les mers évaporées. La température a chuté.

En fait, la Terre et Mars étaient deux planètes jumelles dont les dynamiques ont divergé rapidement. Comme la Terre, Mars a eu un cœur en fusion: on a trouvé d'anciennes roches qui ont enregistré une de ses manifestations – un puissant champ magnétique. Mais Mars était condamnée par sa petite taille – deux fois plus petite et dix fois moins massive que la Terre. Son noyau s'est vite refroidi, ce dont témoigne le fort déclin du champ magnétique enregistré dans des roches remontant à 500 millions d'années après la formation de la planète.

Privée de son champ magnétique protecteur, l'atmosphère martienne s'est évaporée dans l'espace, arrachée par le

L'eau occupe 71 % de la surface terrestre. Au total (en surface, à l'intérieur et dans l'atmosphère), la Terre compte environ 1 386 millions de kilomètres cubes d'eau.



### Terre

Diamètre équatorial: 12 756 km  
Distance au Soleil: environ  
150 millions de km  
Période de révolution: 365,26 jours



### Mars

Diamètre équatorial : 6 792 km  
Distance au Soleil : environ  
227 millions de km  
Période de révolution : 686,98 jours

## EN CHIFFRES

# 98 %

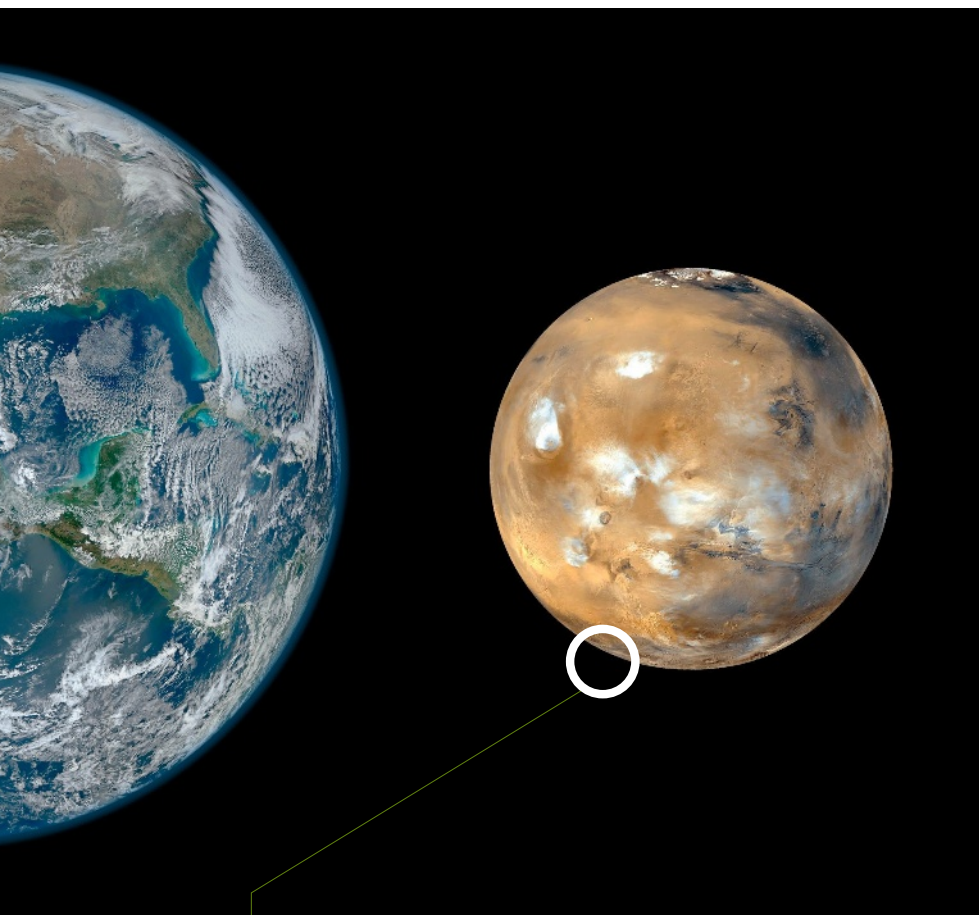
Le corps humain est composé de 65 % d'eau : un homme de 70 kilogrammes contient 45 litres d'eau. Mais chez la plupart des méduses, la proportion d'eau monte à 98 %. De tels animaux peuvent être vus comme de l'eau structurée par quelques molécules organiques.

# 1 338 millions

Le volume des mers et océans est d'environ 1 338 millions de kilomètres cubes d'eau, soit l'équivalent de quelque 535 200 piscines olympiques.

# 24

La glace VII remontée dans une inclusion de diamant provenant de 600 kilomètres de profondeur est restée à une pression de 24 gigapascals ( $2,4 \times 10^5$  bars). À titre comparatif, la pression dans la fosse des Mariannes, à 10 kilomètres de profondeur dans l'océan Pacifique, est de 100 mégapascals (1 000 bars), et de 380 gigapascals ( $3,8 \times 10^5$  bars) au centre de la Terre.



On estime que dans sa jeunesse, il y a environ 4 milliards d'années, Mars comportait au moins 20 millions de kilomètres cubes d'eau. La planète aurait perdu 87 % de son eau dans l'espace.

vent solaire à haute énergie. La Terre a failli subir le même sort. En effet, dans la haute atmosphère, les molécules de dihydrogène se séparent en deux atomes d'hydrogène sous l'effet du vent solaire. Ces derniers, très légers, sont rendus si rapides par l'agitation thermique que l'attraction terrestre ne peut les retenir et ils s'échappent dans l'espace.

### GARDER SON EAU

On estime que cet effet, nommé «échappement de Jeans», est responsable d'environ 10 à 40 % de la fuite actuelle d'hydrogène de la Terre. Aujourd'hui, cette fuite reste faible, car le principal gaz porteur d'hydrogène, la

vapeur d'eau, se condense dans la basse atmosphère et retombe sous forme de précipitations.

Mais à la suite de l'oxygénation massive de l'atmosphère, il y a entre 2,4 et 2,2 milliards d'années, attribuée en partie à l'émergence d'organismes photosynthétiques (des cyanobactéries), c'est du dihydrogène, plus léger, qui a été produit en quantité : le dioxygène de l'air a massivement oxydé le fer des roches basaltiques, et l'eau et le dioxyde de carbone ont réagi avec l'oxyde ferreux ainsi formé. Cette réaction a cassé les molécules d'eau et, tandis que l'oxygène était capté dans des carbonates (de sodium, potassium, calcium...), du dihydrogène s'est libéré et aurait dû quitter l'atmosphère terrestre. Des géologues ont calculé qu'un tel processus aurait épuisé l'eau terrestre en un milliard d'années. Mais rien de tel n'est arrivé, car les organismes photosynthétiques remettaient dans l'atmosphère de l'oxygène qui, en se combinant à l'hydrogène libre, a reformé des molécules d'eau.

Ainsi, si la présence d'eau liquide sur la planète Terre a rendu possible l'apparition de la vie, ce sont bel et bien des organismes photosynthétiques qui ont permis la conservation des océans et annihilé un funeste destin martien. Ce mécanisme s'est même probablement mis en place très tôt dans l'histoire terrestre, car des stromatolithes – des roches calcaires que construisent les cyanobactéries – attestent de la présence de

&gt;



Hervé Le Guyader  
a récemment publié :  
**Biodiversité, le pari  
de l'espoir,**  
(Le Pommier, 2020).

> ces organismes il y a au moins 3,5 milliards d'années, c'est-à-dire peu après le refroidissement du globe et la fin du grand bombardement tardif d'astéroïdes.

### DE L'EAU DANS UN DIAMANT

Pas de vie sans eau et pas d'eau pérenne sans vie, donc. Mais ce n'est pas tout, car on s'aperçoit que l'eau est aussi indispensable à l'activité de la Terre. La tectonique des plaques semble être une originalité de la dynamique terrestre. Entraînés par des courants de convection du manteau, la croûte lithosphérique et les continents se déplacent de quelques centimètres par an, ce qui est considérable à l'échelle des temps géologiques. Depuis cette découverte il y a un demi-siècle, les géologues ont reconstitué l'histoire de cette dérive des continents qui a continuellement modelé la surface terrestre. Par exemple, après la fragmentation du continent du Gondwana, à partir du Jurassique supérieur (il y a entre 161 et 145 millions d'années), l'Inde a migré et, entrant en collision avec l'Asie il y a 45 millions d'années, a provoqué la surrection de l'Himalaya.

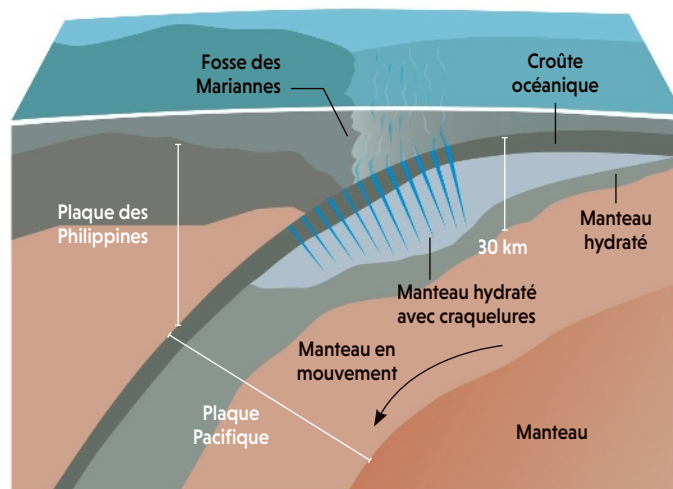
Or, dès 1990, en comparant Vénus et la Terre, deux géologues de l'université de Newcastle, au Royaume-Uni, Z. U. Mian et D. C. Tozer, ont avancé que, sans eau, il n'y aurait pas de tectonique des plaques, car celle-ci, en hydratant les roches, lubrifie les plaques lithosphériques, qui peuvent alors coulisser. De nombreuses études de mécanique et de rhéologie se sont ensuivies. Toutes ont appuyé cette première conclusion.

Si les plaques lithosphériques sont hydratées, une importante masse d'eau doit être entraînée dans le manteau. Quelle quantité? Suivant quel cycle? Car une partie de cette eau revient à la surface lors des éruptions volcaniques. En 2012, Marc Hirschmann et David Kohlstedt, de l'université du Minnesota, ont avancé une première estimation. Ils ont calculé que le manteau terrestre contiendrait au moins 2,5 fois la masse d'eau des mers et océans.

Par ailleurs, deux études parues en 2018 donnent un nouvel éclairage. L'équipe réunie par Oliver Tschauner, de l'université du Nevada, a décelé, dans un diamant, de l'eau sous une forme cristalline particulière, la glace VII. Or cette dernière n'apparaît que sous une formidable pression. D'après les caractéristiques spectroscopiques de l'inclusion de glace VII et du diamant, il s'agirait des restes d'un fluide aqueux qui aurait été piégé sous forme liquide dans le diamant

## PAS DE TECTONIQUE SANS EAU

**L**ors de la subduction de la plaque Pacifique sous la plaque des Philippines au niveau de la fosse des Mariannes, l'eau migre par les craquelures et réagit avec les minéraux du manteau pour former des régions hydratées qui sont entraînées dans les profondeurs de la Terre. La plaque Pacifique contient ainsi bien plus d'eau qu'on ne le pensait.



durant sa croissance, à une profondeur de plus de 600 kilomètres, puis aurait cristallisé au cours de la remontée du diamant. Cette inclusion prouve donc la présence d'eau à la limite du manteau supérieur et du manteau inférieur, une région si proche du noyau qu'on ne pensait pas y déceler d'eau.

Parallèlement, l'équipe de Chen Cai, de l'université Washington à Saint-Louis, aux États-Unis, a réussi à mesurer la quantité d'eau entraînée dans le manteau au niveau de la zone de subduction de la fosse des Mariannes, près de l'île de Guam, à l'ouest de l'océan Pacifique: le flux est trois fois supérieur à celui antérieurement estimé – un argument de poids en faveur d'un rôle clé de l'eau dans la tectonique des plaques.

Ainsi, l'eau, nécessaire à la vie, l'est aussi pour la dérive des continents. Or cette dynamique autorise un perpétuel changement des conditions physicochimiques de la Terre propice à l'évolution biologique: des continents se sont divisés, d'autres se sont rapprochés, de nouveaux courants océaniques sont apparus à mesure que le Gondwana se scindait. Tous ces éléments ont créé une diversité d'environnements qui a favorisé la diversité du vivant. Et ce fragile équilibre se poursuit... tant que le Soleil ne brille pas encore trop. ■

### BIBLIOGRAPHIE

C. Cai et al., **Water input into the Mariana subduction zone estimated from ocean-bottom seismic data**, *Nature*, vol. 563, pp. 389-392, 2018.

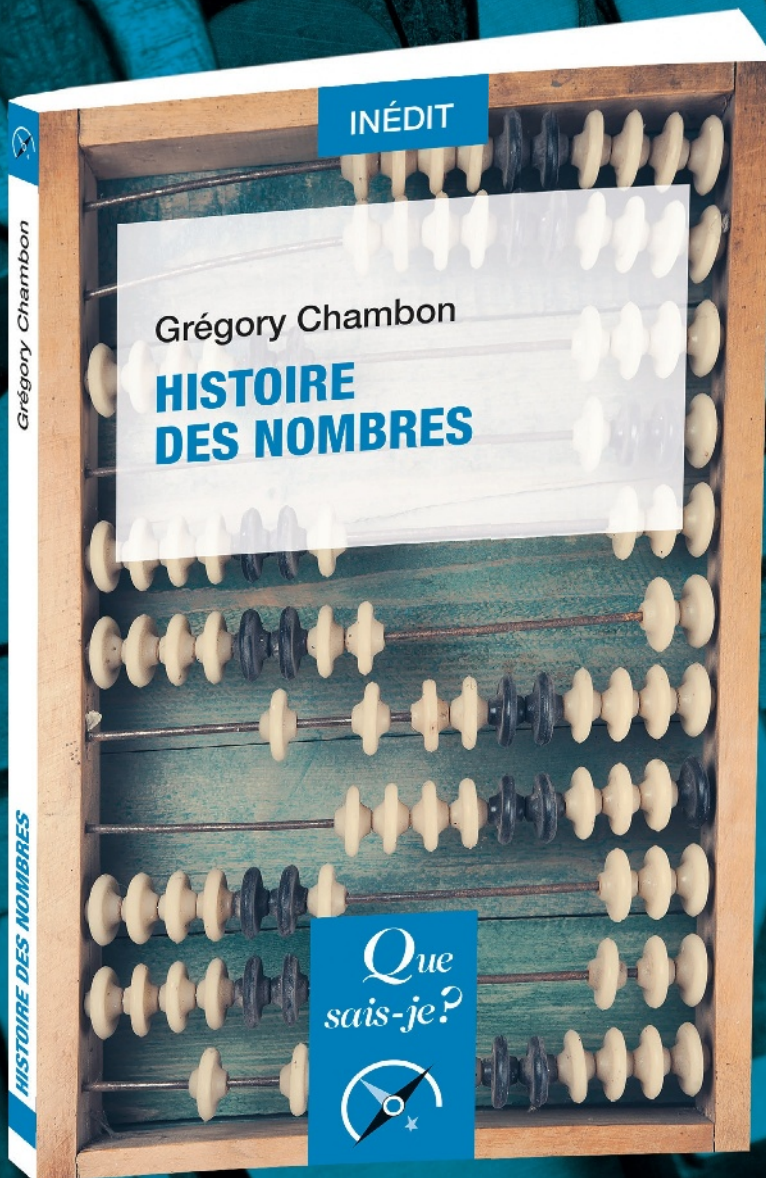
O. Tschauner et al., **Ice-VII inclusions in diamonds: Evidence for aqueous fluid in Earth's deep mantle**, *Science*, vol. 359, pp. 1136-1139, 2018.

M. Hirschmann et D. Kohlstedt, **Water in Earth's mantle**, *Physics Today*, vol. 65(3), pp. 40-45, 2012.

D. Catling et K. Zahnle, **Comment les planètes perdent leur atmosphère**, *Pour la Science*, n° 383, pp. 32-39, septembre 2009.

Z. U. Mian & D. C. Tozer, **No water, no plate tectonics: Convective heat transfer and the planetary surfaces of Venus and Earth**, *Terra Nova*, vol. 2, pp. 455-459, 1990.

# DRÔLES DE NUMÉROS !



EN LIBRAIRIE

*Que  
sais-je?*

Suivez-nous  
sur les réseaux sociaux



quesaisje.com