



du ciel

Debout sur la grève, les yeux rivés sur les vagues qui déferlent de l'horizon, il est facile de s'imaginer que l'océan a toujours été là, éternel. Nos lointains ancêtres le pensaient certainement : dans de nombreux mythes de la création, un abîme océanique existait avant l'émergence de la Terre et de la lumière. Aujourd'hui, nous savons que les océans de notre planète n'ont pas toujours été présents. L'eau des mers, celle de toutes les gouttes de pluie, de votre corps et de toutes les gorgées de votre tasse de café sont les restes d'événements anciens, qui ont vu les océans littéralement tomber du ciel.

D'où provient l'eau du Système solaire ? La question nous renvoie au nuage primordial géant, composé de gaz et de poussière, qui s'est effondré pour former le Soleil et les planètes il y a plus de 4,5 milliards d'années. Ce nuage était riche en hydrogène et en oxygène, respectivement premier et troisième éléments les plus abondants de l'Univers (le deuxième est l'hélium, chimiquement inerte). L'essentiel du gaz a été absorbé par le Soleil et les planètes gazeuses géantes formées avant les planètes rocheuses. Une partie de l'oxygène encore libre s'est liée avec d'autres atomes, tels que le carbone et le magnésium, puis le reste s'est associé à l'hydrogène pour produire une masse d'eau (H_2O) plusieurs fois supérieure à celle des roches dans le Système solaire.

Et pourtant, les planètes les plus proches du Soleil – Mercure, Vénus, la Terre et Mars – sont principalement rocheuses et pauvres en eau. Cela résulte des conditions de leur naissance. Le nuage qui allait devenir le Système solaire s'est d'abord effondré en formant un disque tourbillonnant, où toutes les planètes se sont constituées. La formation de planètes rocheuses a été un processus progressif. Les petits objets du disque sont entrés en collision et se sont agrégés, formant petit à petit des objets plus gros : les grains microscopiques sont devenus des gravillons, puis des rochers qui ont donné des briques planétaires de taille kilométrique nommées planétésimaux. Beaucoup des planétésimaux résiduels de la formation planétaire sont devenus les objets que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de comètes et astéroïdes.

Et l'eau dans tout ça ? Dans les régions internes du disque, proches du Soleil, l'intense échauffement du gaz par friction et l'ensoleillement plus important ont

probablement fait évaporer l'hydrogène et les autres éléments légers vers les régions externes du Système solaire, ne laissant aux planètes en formation dans cette région que des matériaux relativement secs.

Tandis que des corps rocheux sans eau se développaient à proximité du Soleil, un peu plus loin, dans la région de l'actuelle ceinture d'astéroïdes et de Jupiter, les températures du disque étaient suffisamment basses pour que l'eau et d'autres éléments volatils forment de la glace. Les astronomes nomment « ligne de neige » (ou de glace, ou de gel) la zone de transition.

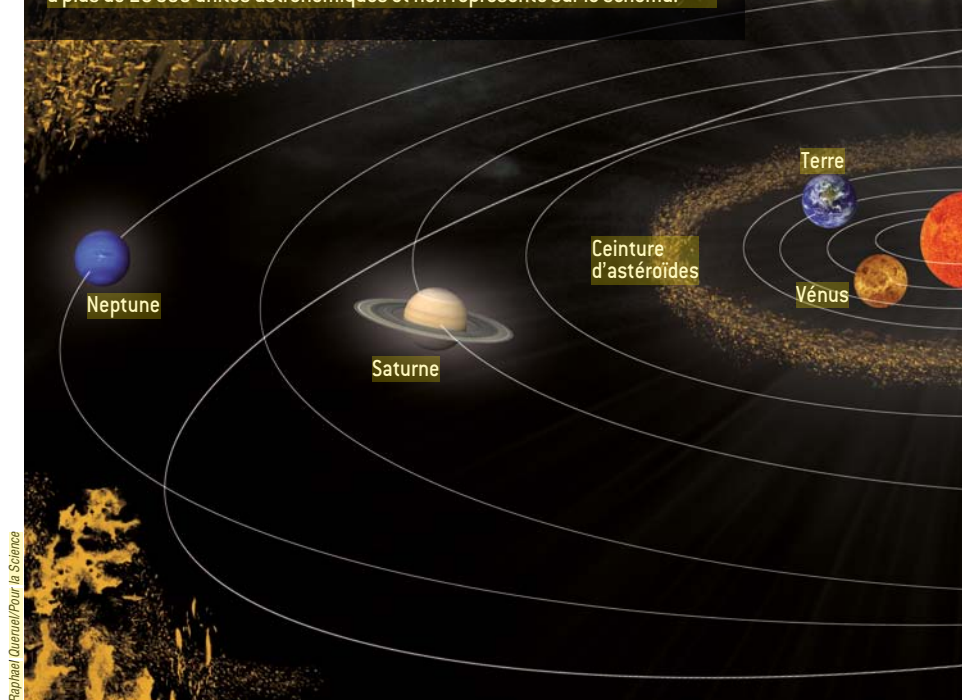
Récemment, les astronomes ont observé des lignes de neige et des collisions de planétésimaux autour d'étoiles dont le disque est en pleine formation planétaire. Nous voyons ailleurs les processus primordiaux qui se sont certainement déroulés dans le Système solaire. Si le mécanisme semble universel, de nombreux aspects de la formation de l'océan terrestre restent à comprendre et font l'objet de recherches actives. En particulier, si l'eau a été transportée

■ LES AUTEURS

David JEWITT est membre de l'Académie américaine des sciences et professeur à l'université de Californie à Los Angeles (UCLA).

Edward YOUNG est professeur de géochimie et cosmochimie, et membre de l'Institut des planètes et exoplanètes à l'université de Californie à Los Angeles.

LE SYSTÈME SOLAIRE (non représenté à l'échelle) contient plusieurs réservoirs de planétésimaux. La ceinture principale d'astéroïdes est située à une distance du Soleil comprise entre 1,7 et 4,5 unités astronomiques (l'unité astronomique est la distance moyenne Terre-Soleil, soit environ 150 millions de kilomètres). Il existe deux réservoirs de comètes : la ceinture de Kuiper, distante de 30 à 55 unités astronomiques, et le nuage d'Oort, à plus de 20 000 unités astronomiques et non représenté sur le schéma.



Raphaël Querrel/Pour la Science

jusqu'à notre planète initialement sèche, d'où vient-elle exactement et quand est-elle arrivée ?

Le consensus veut que l'essentiel de l'eau de la Terre provienne de la région située au-delà de la ligne de neige. Les astéroïdes et les comètes sont les candidats les plus évidents. Ils auraient été catapultés vers la partie interne du Système solaire dans les derniers soubresauts de la formation planétaire. Ils auraient apporté l'eau sur Terre lors de bombardements successifs de la planète. De nouvelles mesures permettent d'affiner ce scénario, mais elles soulèvent aussi des interrogations et pourraient pointer vers un mécanisme bien différent.

Vue de l'espace, la planète Terre mériterait plutôt de s'appeler la « planète Océan ». L'eau recouvre plus des deux tiers de la surface et les organismes vivants en sont généralement tout aussi riches. Les océans, d'une profondeur moyenne de 4 kilomètres, contiennent assez d'eau pour remplir une sphère de plus de 1 300 kilomètres de diamètre. Et pourtant, beaucoup de gens sont

étonnés d'apprendre que toute cette eau ne représente que 0,02 % de la masse de la Terre. Dit autrement, si notre planète avait la masse d'un Boeing 777, soit 300 tonnes, toute l'eau des océans ne représenterait qu'un passager. L'eau douce contenue dans les calottes glaciaires des pôles, les nuages, les rivières, les lacs, le sol et l'ensemble des organismes vivants ne représente qu'une minuscule fraction de ce total.

De l'eau dans le manteau et le noyau

Davantage d'eau serait profondément enfouie sous nos pieds, dans le manteau rocheux de la planète, qui s'étend sur une épaisseur de plus de 3 000 kilomètres sous la croûte. L'eau ne s'y trouve cependant pas sous forme liquide. Elle fait partie intégrante de la structure moléculaire des roches et minéraux « hydratés », qui ont été entraînés sous la croûte par les processus tectoniques. Une certaine quantité de cette humidité piégée dans la roche

peut s'échapper du manteau et refaire surface par l'intermédiaire des volcans, mais la majeure partie reste enfouie. Plus en profondeur encore se trouve l'imposant noyau planétaire composé de fer et de nickel. Représentant à lui seul environ 30 % de la masse de la Terre, il contient potentiellement encore plus d'eau que le manteau, sous forme d'hydrogène qui se lierait avec de l'oxygène si la chaleur et la pression n'étaient pas aussi importantes.

Personne ne sait quelle quantité exacte d'eau contient l'intérieur de la planète. Cette incertitude résulte du manque d'échantillons de ces régions, ainsi que d'une piètre compréhension de l'efficacité du transport d'eau depuis et vers la surface. On peut raisonnablement estimer que le manteau à lui seul contient au moins autant d'eau que les océans, doublant de fait l'inventaire aquatique total de la Terre. Mais même ainsi, en ajoutant cette eau à celle de la surface, on atteint 0,04 % de la masse de la planète : deux passagers d'un Boeing 777 à pleine charge. Néanmoins, la question reste

