

éloignées de leur étoile. La plupart des planètes identifiées ces dernières années sont ce que l'on nomme des super-Terres, des planètes jusqu'à dix fois plus massives que la nôtre et de rayon compris *grosso modo* entre celui de la Terre (6 371 kilomètres) et celui de Neptune (24 622 kilomètres). Ces planètes sont très répandues autour d'autres étoiles, mais nous n'avons rien de tel dans le Système solaire.

Les plus grosses super-Terres sont probablement dotées d'atmosphères épaisses, ce qui en fait plutôt des « mini-Neptunes » que des versions agrandies de la Terre. Mais certaines parmi les plus petites, peut-être jusqu'à deux fois plus massives que la Terre, auraient des compositions riches en fer et en roches, voisines de celle de la Terre. L'eau liquide pourrait abonder à leur surface si elles sont en orbite dans la zone habitable de leur étoile.

Nous savons aujourd'hui qu'un certain nombre de super-Terres potentiellement rocheuses tournent autour d'étoiles « naines de type M » ou « naines de type K », astres plus petits et moins brillants que le Soleil, mais dont la longévité est bien supérieure. En partie en raison de la durée de vie de leurs étoiles, ces grosses planètes sont actuellement les meilleures candidates au titre de monde superhabitable, comme je l'ai montré dans de récents travaux avec John Armstrong, physicien à l'Université d'État de Weber, dans l'Utah.

La longévité de l'étoile, un avantage

Notre idée s'est construite autour de la grande longévité comme critère essentiel de la superhabilité. Une biosphère planétaire a en effet peu de chances de survivre à la mort de son étoile. Le Soleil, âgé de 4,6 milliards d'années, se trouve à peu près à la moitié de son espérance de vie de 10 milliards d'années. S'il avait été un peu plus petit, il aurait été une étoile naine de type K, à la durée de vie bien supérieure. Ces étoiles naines ont moins de combustible nucléaire que les étoiles plus massives, mais les réactions se déroulant en leur cœur ont un meilleur rendement : l'hydrogène est consommé plus lentement, ce qui accroît la longévité de l'astre. Nous avons catalogué de nombreuses naines de type K qui sont des milliards d'années plus âgées que le Soleil et qui brilleront encore des milliards d'années après la mort de ce dernier. Une

telle longévité augmente les chances que la vie apparaisse et toute biosphère disposerait ainsi de beaucoup plus de temps pour évoluer et se diversifier.

La lumière d'une naine de type K apparaîtrait plus rouge que celle du Soleil, car elle serait davantage décalée vers l'infrarouge. La photosynthèse resterait possible à la surface de la planète malgré cette plage spectrale décalée, mais la végétation serait probablement plus sombre que sur Terre, afin d'absorber le maximum de rayonnement stellaire.

Le cas des naines de type M n'est pas aussi favorable, alors qu'elles sont encore plus petites et économes que les naines de type K. Elles peuvent briller durant des centaines de milliards d'années, mais elles brillent si faiblement que leur zone habitable est très proche de l'étoile. Cela expose les planètes qui s'y trouvent à de puissantes éruptions stellaires et à d'autres effets indésirables. Avec une plus grande longévité que le Soleil et une zone habitable sans risque, les naines de type K offrent le compromis idéal pour la superhabilité.

Certaines de ces étoiles à longue durée de vie pourraient abriter des super-Terres rocheuses depuis plusieurs milliards d'années. Une biosphère pourrait avoir vu le jour dans ces systèmes planétaires bien avant la naissance du Soleil, prospérant et évoluant pendant des milliards d'années avant que la première biomolécule n'émerge de la soupe primordiale de la jeune Terre.

Je suis fasciné par la possibilité que l'activité de la biosphère modifie son environnement, renforçant peut-être au passage l'habitabilité de la planète, comme cela a été le cas sur Terre. Par exemple, il y a environ 2,4 milliards d'années, notre planète a connu la « Grande Oxydation », une période où d'importantes quantités d'oxygène ont commencé à s'accumuler dans l'atmosphère, probablement en raison du métabolisme des algues océaniques. Cela a conduit à l'apparition d'organismes plus gourmands en énergie, de plus grande taille, plus durables et plus actifs, et a constitué une étape cruciale vers l'émergence progressive de la vie hors des océans et la colonisation des continents.

Si les biosphères extraterrestres modifient aussi leur environnement, peut-être leurs planètes deviennent-elles plus habitables en vieillissant ?

Des planètes superhabiles

se trouvent peut-être déjà dans notre catalogue d'exoplanètes.

LES ATOUTS DES SUPER-TERRES POUR HÉBERGER LA VIE

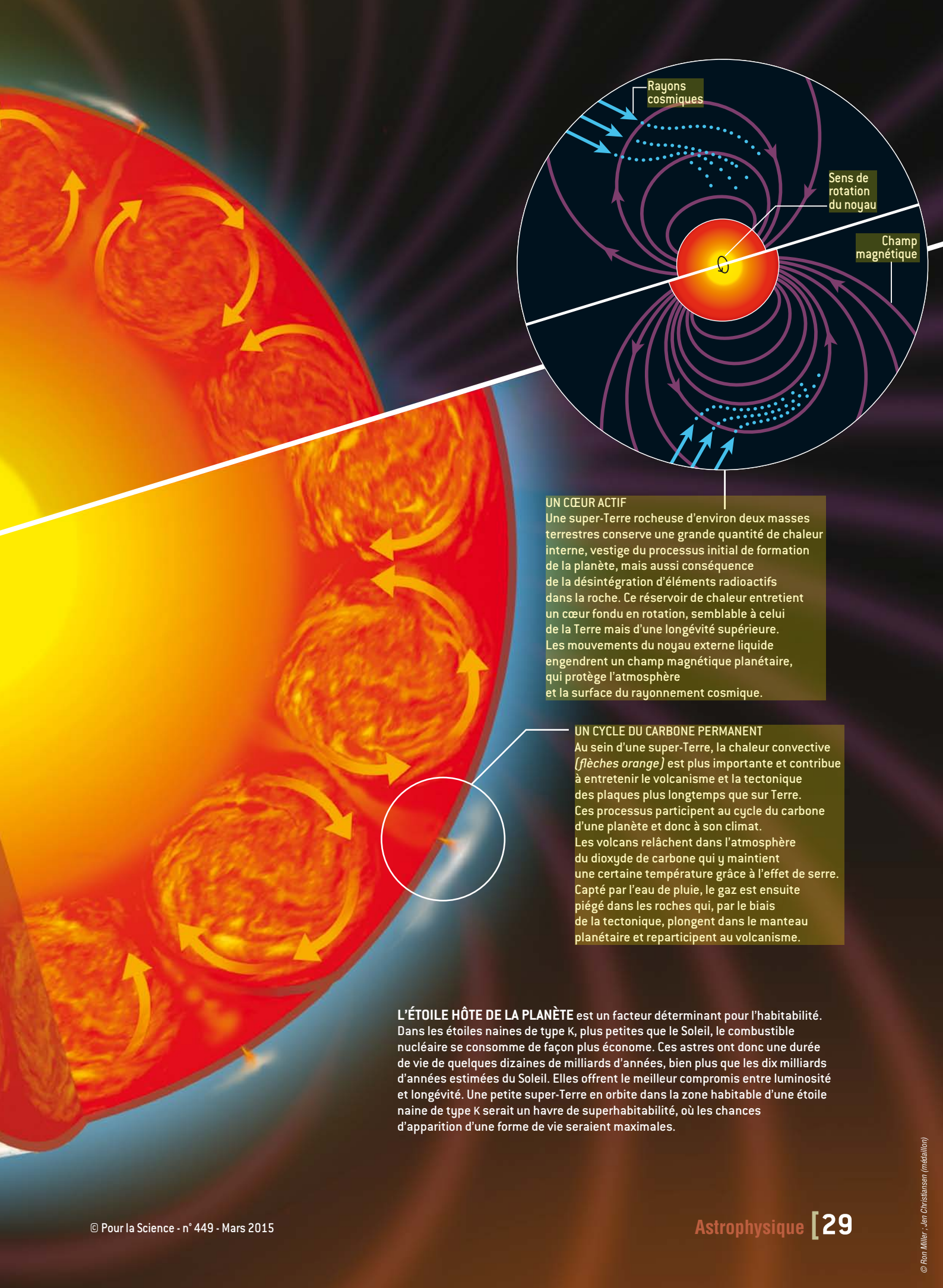
Les super-Terres sont des planètes plus grosses que la Terre et des candidates pour héberger la vie. Plus petites que les géantes gazeuses et jusqu'à dix fois plus massives que la Terre, elles sont potentiellement rocheuses. Les super-Terres d'environ deux masses terrestres sont des cibles prometteuses : leurs caractéristiques en feraient des mondes superhabitables, c'est-à-dire plus accueillants pour la vie que la Terre.

LA VIE SUR TERRE

La Terre se trouve dans la zone habitable autour du Soleil, une étoile stable d'âge moyen. Sa surface se partage entre un océan global et des continents où la vie s'est installée. La Terre est assez grosse pour retenir une atmosphère importante sans être trop dense. Essentiellement constituée de roches, notre planète renferme assez de chaleur interne pour entretenir un champ magnétique, véritable bouclier contre les rayons cosmiques, et une tectonique des plaques active, qui régule le climat.

LA VIE SUR UN MONDE SUPERHABITABLE

Une super-Terre rocheuse superhabitable, environ deux fois plus massive que la Terre, a une gravité plus forte à sa surface, ce qui se traduit par une atmosphère plus épaisse, plus d'érosion des reliefs et donc une topographie plus plate que sur Terre. Cette planète serait alors un « monde d'archipels » fait de mers peu profondes et constellées de chapelets d'îles. Une telle géographie serait avantageuse pour la vie, les archipels étant sur Terre parmi les endroits où la biodiversité est la plus importante et la plus variée.



UN CŒUR ACTIF

Une super-Terre rocheuse d'environ deux masses terrestres conserve une grande quantité de chaleur interne, vestige du processus initial de formation de la planète, mais aussi conséquence de la désintégration d'éléments radioactifs dans la roche. Ce réservoir de chaleur entretient un cœur fondu en rotation, semblable à celui de la Terre mais d'une longévité supérieure. Les mouvements du noyau externe liquide engendrent un champ magnétique planétaire, qui protège l'atmosphère et la surface du rayonnement cosmique.

UN CYCLE DU CARBONE PERMANENT

Au sein d'une super-Terre, la chaleur convective (*flèches orange*) est plus importante et contribue à entretenir le volcanisme et la tectonique des plaques plus longtemps que sur Terre. Ces processus participent au cycle du carbone d'une planète et donc à son climat. Les volcans relâchent dans l'atmosphère du dioxyde de carbone qui y maintient une certaine température grâce à l'effet de serre. Capté par l'eau de pluie, le gaz est ensuite piégé dans les roches qui, par le biais de la tectonique, plongent dans le manteau planétaire et reparticipent au volcanisme.

L'ÉTOILE HÔTE DE LA PLANÈTE est un facteur déterminant pour l'habitabilité. Dans les étoiles naines de type K, plus petites que le Soleil, le combustible nucléaire se consomme de façon plus économe. Ces astres ont donc une durée de vie de quelques dizaines de milliards d'années, bien plus que les dix milliards d'années estimées du Soleil. Elles offrent le meilleur compromis entre luminosité et longévité. Une petite super-Terre en orbite dans la zone habitable d'une étoile naine de type K serait un havre de superhabitabilité, où les chances d'apparition d'une forme de vie seraient maximales.