

■ LES AUTEURS



Frank POSTBERG
est planétologue
aux universités
de Heidelberg
et de Stuttgart,
en Allemagne.



Gabriel TOBIE
est planétologue
au CNRS et travaille
au Laboratoire
de planétologie
et géodynamique
(CNRS-universités de Nantes
et d'Angers).



Thorsten DAMBECK,
docteur en
physique diplômé
de l'université
d'Osnabrück,
en Allemagne,
est écrivain de science spécialisé
en astronomie et planétologie.

Cité perdue existent aussi dans l'océan souterrain d'Encelade, une petite lune glacée de Saturne. Serait-il possible que la vie soit présente là-bas également ?

Bien sûr, la possibilité d'une vie extraterrestre est très alléchante pour les scientifiques, mais ces derniers se seraient de toute façon passionnés pour les cheminées hydrothermales, qu'elles leur fassent miroiter l'existence d'une vie extraterrestre ou non. Les données qui suggèrent une activité hydrothermale sur cette lune lointaine fournissent également des informations cruciales pour connaître la composition et la longévité de l'océan d'Encelade. Sans cette activité hydrothermale, ces secrets auraient de bonnes chances de rester enfouis à jamais sous la croûte gelée, comme cela risque d'être le cas avec d'autres lunes dotées d'océans – par exemple Europe, lune de Jupiter – pour lesquelles on ne dispose pas de preuves solides d'une activité hydrothermale.

Une chaleur interne difficile à expliquer

Plus fondamentalement, l'existence même des cheminées hydrothermales d'Encelade constitue une énigme irrésistible pour les chercheurs. Outre l'eau, l'ingrédient le plus important nécessaire à une activité hydrothermale est à l'évidence la chaleur, mais les entrailles brûlantes de cette lune glacée sont difficiles à expliquer.

Encelade a un diamètre d'environ 500 kilomètres ; c'est assez peu pour une lune, et beaucoup trop petit pour retenir la chaleur primordiale qu'a laissée sa formation. Une autre source de chaleur doit donc être à l'œuvre dans ses profondeurs. Découvrir comment Encelade produit sa chaleur interne et la maintient pourrait révolutionner notre compréhension des lunes glacées et de leur possibilité d'héberger des formes de vie.

On a commencé à soupçonner la présence d'un océan sur Encelade en 2005, environ un an après l'arrivée de *Cassini* dans le système saturnien. La sonde a alors observé un énorme panache de vapeur d'eau et de grains de glace s'élevant à plusieurs centaines de kilomètres dans l'espace, et originaire du terrain tectoniquement actif qui entoure le pôle sud de la lune.

Grâce à une série de survols de *Cassini*, les chercheurs ont montré que le panache

est formé par de multiples jets émanant de quatre fissures linéaires, tellement plus chaudes que leur environnement glacial qu'elles luisaient dans l'infrarouge. Les scientifiques de la mission ont nommé « rayures de tigre » ces fissures et ont déterminé que leurs jets étaient la source de l'immense anneau ténu de particules de glace (l'anneau E) qui ceint le système d'anneaux classique de Saturne. Cependant, la plupart des grains de glace émis dans les jets ont une vitesse insuffisante pour rejoindre cet anneau et retombent sur Encelade sous la forme d'une fine neige poudreuse. Sur la base des congères d'une centaine de mètres de haut qui recouvrent une bonne partie de son hémisphère sud, les chercheurs estiment qu'Encelade projette de l'eau dans l'espace depuis au moins dix millions d'années.

Initialement controversée, l'« hypothèse océanique » expliquant les jets d'Encelade a été confirmée par une longue série d'études de *Cassini* qui établissent irréfutablement la présence d'un océan global et souterrain. Plus récemment, une analyse du champ gravitationnel, de la topographie de surface et de la légère modulation de la rotation d'Encelade a permis à Ondřej Čadež, de l'université Charles, à Prague, et ses collaborateurs (dont l'un de nous, Gabriel Tobie) de préciser la taille et l'étendue de l'océan.

Ces travaux suggèrent que la croûte aurait une épaisseur avoisinant 35 kilomètres au niveau de l'équateur d'Encelade, mais ne dépassant pas 5 kilomètres aux alentours du pôle sud. Le fond de l'océan se trouverait 60 à 70 kilomètres environ sous la surface, ce qui signifie qu'Encelade contiendrait une quantité d'eau équivalente à un dixième de l'océan Indien. Et en utilisant les données recueillies par *Cassini* en 2009 et 2011, l'un de nous (Frank Postberg) a montré que son eau est alcaline et contient du chlorure de sodium (du sel de table) dans le panache éjecté. Cela signifie que l'océan est probablement posé sur le noyau rocheux d'Encelade et qu'il en lève les minéraux.

L'indice crucial pour affirmer la présence de cheminées hydrothermales a été obtenu par l'analyseur de poussière cosmique CDA (pour *cosmic dust analyzer*) de *Cassini* en 2004, avant même que la sonde n'atteigne Saturne et ne découvre le panache d'Encelade. Quand *Cassini* s'est approchée de Saturne, des

pluies inattendues de nanoparticules véloces ont frappé le CDA comme de la grenaille. Des années plus tard, après la découverte du panache, Frank Postberg a examiné la distribution en tailles et en fréquences des nanoparticules dans les données du CDA. Il a remarqué qu'aucune ne dépassait 20 nanomètres et que toutes étaient essentiellement composées de silice (SiO_2), principal composant du quartz et du sable de plage.

Des nanoparticules de silice dans les jets

En utilisant des simulations pour déterminer les trajectoires les plus probables décrites par les nanoparticules de silice, Hsiang-Wen Hsu, de l'université du Colorado à Boulder, a pressenti qu'elles provenaient des parties externes de l'anneau E de Saturne. Et comme nous savions que cet anneau est engendré par Encelade, la découverte suggérait fortement que les nanoparticules avaient pour origine la lune glacée. Leur composition s'est révélée être la preuve patente de l'activité hydrothermale d'Encelade.

De la silice pure éjectée d'Encelade, voilà qui était surprenant : la seule source plausible de ce composé se trouverait en profondeur sous la glace et l'océan, dans le noyau rocheux de la lune, où le silicium se trouve en général chimiquement lié à d'autres éléments tels que le fer et le magnésium. Il est concevable que le broyage par collision de ces minéraux (quand les cailloux s'entrechoquent violemment et se brisent en morceaux de plus en plus petits) puisse créer des nanoparticules de silice. Mais ces particules devraient présenter une fourchette de tailles beaucoup plus large que celle observée par *Cassini*.

Il ne restait qu'une seule autre explication naturelle : les nanoparticules ont pu se cristalliser à partir d'une solution sursaturée d'eau alcaline très chaude et riche en silice s'écoulant à travers des roches, c'est-à-dire sortant de cheminées hydrothermales très semblables à celles que l'on trouve sur Terre dans la Cité perdue.

Sur le site de la Cité perdue, ainsi que probablement sur le plancher océanique d'Encelade, l'eau très chaude (plus de 90-100 °C) absorbe de la silice en remontant à travers les roches silicatées. Lorsqu'elle débouche dans l'océan environnant et se refroidit, sa capacité à transporter les

ENCELADE (au centre), vue d'une distance de deux millions de kilomètres, est en orbite à l'intérieur de l'anneau E de Saturne. Cet anneau est formé par le panache glacé qui s'échappe de la lune.

minéraux absorbés diminue : il s'ensuit la formation de nanoparticules de silice. À ce stade, d'autres molécules pourraient s'attacher aux nanoparticules, ce qui les ferait grossir, les alourdirait et entraînerait ainsi à terme leur dépôt sur le fond – à moins que l'eau ne soit alcaline et pas trop salée. Cette relation entre la taille/longévité des nanoparticules et la température/chimie de leurs berceaux aqueux offre aux chercheurs une fenêtre sans précédent sur les conditions qui règnent dans l'océan d'Encelade.

À la suite de la détection initiale des nanoparticules par *Cassini*, une équipe dirigée par Yasuhito Sekine, de l'université de Tokyo, a effectué des expériences en laboratoire pour confirmer le mécanisme de formation des nanoparticules et révéler les conditions régnant dans les profondeurs d'Encelade. Ces chercheurs ont trouvé que de l'eau à une température supérieure ou égale à 90 °C, ainsi qu'une alcalinité supérieure à celle des océans terrestres assortie d'une salinité légèrement inférieure, seraient optimales pour que se forment de petites nanoparticules de silice de grande longévité.

D'après leurs expériences, l'alcalinité de l'océan d'Encelade doit être comprise

entre celle de l'eau de mer terrestre et celle des produits d'entretien ménager ammoniacaux. Si elle était plus alcaline que l'ammoniacale, la grande solubilité de la silice qui s'ensuivrait ne permettrait pas aux nanoparticules de se former. Et si l'eau était moins alcaline que l'eau de mer terrestre, il faudrait qu'elle soit extrêmement chaude pour que du dioxyde de silicium se dissolve en quantité suffisante et que se forment des nanoparticules de silice.

Un océan habitable ?

Mis bout à bout, les travaux de Frank Postberg, de Hsiang-Wen Hsu et de l'équipe de Yasuhito Sekine laissent penser que les riches écosystèmes de la Cité perdue et d'autres cheminées hydrothermales terrestres auraient des chances de survivre et prospérer si on les déménageait dans les profondeurs d'Encelade. En d'autres termes, l'océan de cette lointaine lune glacée semble potentiellement habitable.

Bien sûr, il se peut qu'Encelade soit aujourd'hui inhospitalière et que les nanoparticules de silice détectées par *Cassini* ne soient que les vestiges d'une activité hydrothermale ancienne ayant pris fin depuis longtemps. Mais les travaux de Yasuhito Sekine et d'autres collaborateurs suggèrent que tel n'est pas le cas.

En effet, dans les expériences de laboratoire et les modélisations numériques, les particules de silice fraîchement formées

