



Ce fragment de lave solidifiée, remonté de quelque 3000 mètres de profondeur près de Mayotte, est une *popping rock*, c'est-à-dire une roche susceptible d'éclater parce qu'elle contient des bulles de gaz volcanique restées à la pression du fond (ici de l'ordre de 300 bars).

BIBLIOGRAPHIE

S. Cesca *et al.*, **Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation**, *Nature Geoscience*, vol. 13(1), pp. 87-93, 2020

F. Paquet *et al.*, **The Mayotte seismo-volcanic crisis : characterizing a reactivated volcanic ridge from the upper slope to the abyssal plain using multibeam bathymetry and backscatter data**, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, décembre 2019 (<https://bit.ly/3dv9f5J>).

A. Lemoine *et al.*, **The 2018-2019 seismo-volcanic crisis east of Mayotte, Comoros Islands : Seismicity and ground deformation markers of an exceptional submarine eruption**, prépublication EarthArXiv, 28 février 2019 (<https://doi.org/10.31223/osf.io/d46xj>).

> sont très sensibles aux déformations de la fibre lors du passage des ondes sismiques. Leur analyse en temps réel permet d'obtenir des milliers de points de mesure de déformation tout le long de la fibre, qui peut faire des dizaines de kilomètres de long, ce qui fait du câble une sorte d'antenne sismique de milliers de sismomètres.

Un deuxième type de mesure optique, plus précis, se fait uniquement à l'extrémité de la fibre, le faisceau laser pointant sur la partie déformable d'un capteur et s'y réfléchissant : ce peut être la masse mobile d'un sismomètre, ou la membrane déformable d'un pressiomètre, appareil qui suit les mouvements verticaux du fond marin. L'interférence produite entre la réflexion sur cette cible mobile et la réflexion en bout de fibre produit un signal lumineux qui peut être traduit en mouvement du sol pour le sismomètre – donc en vibration –, ou en pression d'eau pour le pressiomètre – donc en profondeur. Parce qu'ils sont purement optiques, ces systèmes allient grande résolution et grande robustesse : leurs capteurs en mer ne peuvent pas avoir de panne électronique, l'interrogateur et toute la partie électronique étant à terre, à des dizaines de kilomètres des zones de mesure.

Où sera installé ce réseau de surveillance ?

A. L. : Nous prévoyons de l'installer sur la zone de l'essaim sismique principal, à une dizaine de kilomètres des côtes de Petite-Terre.

C'est de là que peuvent venir d'éventuels risques pour les Mahorais, de sorte qu'elle exige plus d'attention que le nouveau volcan, plus lointain.

Ce réseau pourrait-il être détruit par une nouvelle éruption ?

A. L. : Les stations installées près des panaches acoustiques seront en effet vulnérables. Les campagnes océanographiques nous ont cependant permis d'identifier les canyons et les coulées de lave récentes que le tracé du câble contourne. Seuls deux câbles secondaires équipés de fibres optiques, utilisées comme capteurs afin de mesurer les contraintes réparties le long du câble, traversent les zones en voie de déstabilisation, où pourraient se déclencher des glissements de terrain qui, s'ils se produisent, détruiront évidemment ces câbles secondaires...

Quand ce réseau de surveillance sera-t-il en place ?

A. L. : Notre projet de système d'observation câblé est soumis au Programme d'investissements d'avenir (PIA) de la France n°3. Il a été conçu avec toute la communauté scientifique nationale des géosciences et biologie marines et avec quatre grands instituts collaborant dans le cadre du Revosima. S'il est accepté, il débutera en 2021 pour une mise en place un à deux ans après. ■

Propos recueillis par François Savatier



TAMU

L'origine remaniée d'un volcan sous-marin

La mesure des anomalies magnétiques du massif Tamu, un ancien et immense volcan sous-marin du Pacifique nord, change la vision que l'on avait de sa nature et de la formation d'une bonne partie des fonds sous-marins.

L'ESSENTIEL

> Une nouvelle cartographie magnétique des fonds du Pacifique nord indique que le massif Tamu n'est pas un volcan bouclier, contrairement à ce que l'on pensait.

> Cet ancien et grand volcan s'est formé à un endroit

où des plaques tectoniques se sont mutuellement écartées.

> Des dizaines de structures volcaniques géantes se seraient formées sur les fonds océaniques de la même façon.

L'AUTEUR



WILLIAM W. SAGER
professeur de géophysique
à l'université de Houston,
au Texas, aux États-Unis

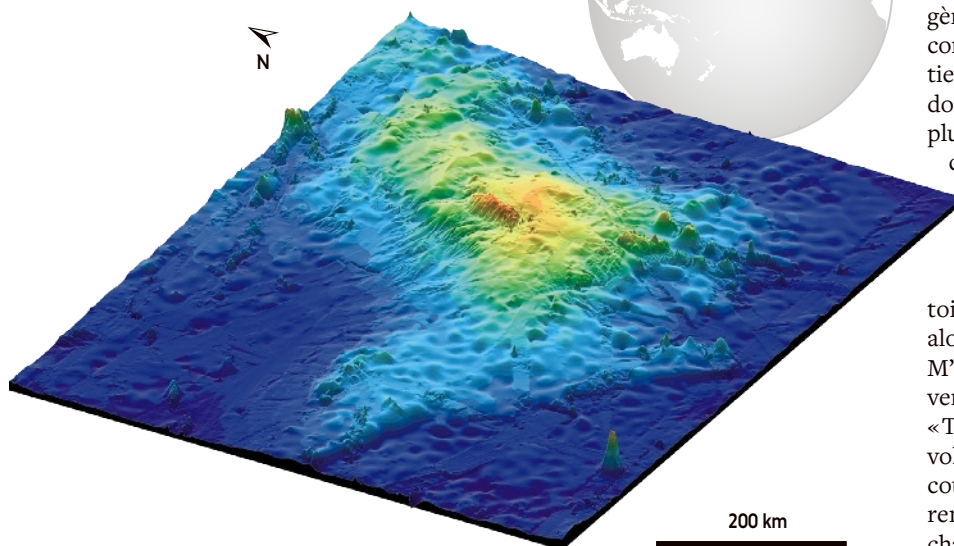
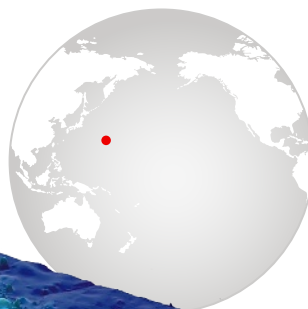
Le massif volcanique Tamu se trouve sous 2 000 mètres d'eau, à quelque 1 600 kilomètres à l'est du Japon dans le Pacifique nord. Les bandes colorées représentant la signature magnétique inhabituelle du volcan révèlent comment ce géant s'est formé (dans cette image, l'échelle verticale est multipliée par 25).

Malgré ses 83 mètres de long et ses 2000 tonnes, le *Falkor* roulait violemment au milieu de grandes vagues sombres. Notre navire de recherche se trouvait à la mi-octobre de 2015 dans le nord-ouest de l'océan Pacifique, quelque 1 600 kilomètres à l'est du Japon. Nous venions d'échapper à une tempête automnale venue de Sibérie, mais la mer était encore agitée. Assis dans le laboratoire installé sur le pont principal, je faisais de mon mieux pour empêcher mon café de souiller la carte des fonds marins étalée devant moi. Pour la énième fois, je contemplais cette carte montrant une série de bandes à peu près parallèles entourant un énorme et très ancien volcan sous-marin : le massif Tamu. Chacune de ces bandes indiquait l'aimantation – dans un sens ou dans le sens opposé – d'une partie du fond marin, mais le motif d'ensemble qu'elles formaient était pour moi une énigme. Il s'accordait mal avec les éruptions successives du Tamu telles que je les concevais...

Puis une autre vague frappa le *Falkor*, qui émit une sourde plainte... et je compris soudain ce qui m'échappait depuis vingt ans que j'étudiais ce grand édifice volcanique. Je suis à l'origine de son nom, que j'ai introduit dans les articles dans lesquels je lui ai donné son interprétation définitive, du moins censée l'être... Ce qui m'arriva sur le pont du *Falkor* relevait moins du «Eureka!» d'Archimède que de l'onomatopée «D'oh!» par laquelle Homer Simpson, personnage principal de la série d'animation *Les Simpson*, signale qu'il a encore commis une gaffe. Notre conception de la façon dont le Tamu s'est constitué était fautive!

Le massif Tamu est un volcan très particulier. Il mesure environ 430 kilomètres de large et 600 kilomètres de long, et couvre donc une surface comparable à la moitié de la France. Il est aussi plus de 50 fois plus volumineux que le plus

Le massif Tamu, à l'est du Japon, semble constituer un unique volcan sous-marin. Il couvre une superficie d'environ 553 000 kilomètres carrés, ce qui en fait le plus vaste volcan connu du Système solaire. Son sommet culmine à environ 1 980 mètres de profondeur et à 4 460 mètres au-dessus du fond de l'océan.



haut volcan terrestre – le Mauna Loa à Hawaï –, alors qu'il est essentiellement plat... Les pentes de la plupart des volcans sous-marins sont comprises entre 5 et 10 degrés, mais celles du Tamu n'excèdent guère 1 degré. Pour donner une idée, cela correspond à la pente d'un terrain de football entier couvert par une bâche tendue avec un bâton haut de 60 centimètres en son centre.

Le Tamu est le principal relief de l'un des plus vastes plateaux océaniques de la planète, le plateau Shatsky, qui culmine à environ 1 980 mètres sous la surface de la mer. Il s'est formé en plusieurs millions d'années d'éruption, il y a quelque 145 millions d'années. Comme la plupart des plateaux océaniques, il est constitué de basalte. Cela signifie que, lors de sa formation, de grands volumes de matière chaude se sont élevés au sein du manteau terrestre, les 2885 kilomètres d'épaisseur sous-jacents à la croûte terrestre. Ce basalte a partiellement fondu sous la lithosphère, c'est-à-dire la croûte terrestre et la partie supérieure du manteau, puis s'est frayé un chemin vers le haut avant de s'épancher sur le fond marin.

L'apparence du Tamu semble traduire directement ce processus, mais de nouvelles données, que j'ai recueillies depuis 2015, montrent que l'histoire est différente. Ces données impliquent que, jusqu'à présent, les géophysiciens ont mal compris comment se sont constitués des dizaines d'immenses volcans sous-marins, qui représentent au total 5 à 10% du plancher océanique. Le massif Tamu est en fait un volcan d'un type entièrement nouveau.

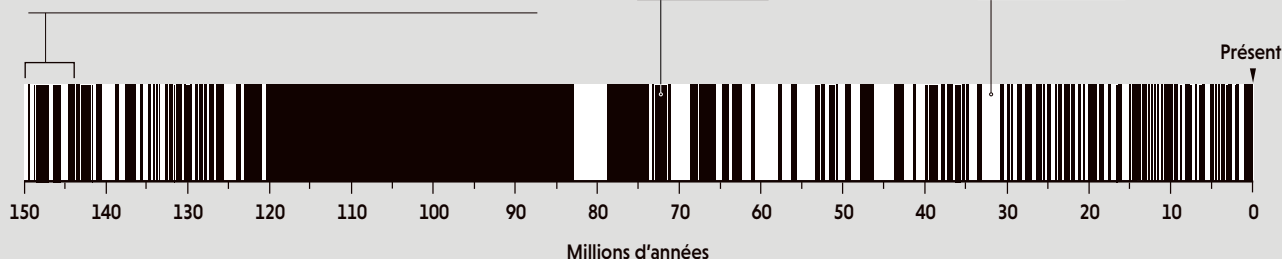
L'éruption d'un tel volcan pourrait acidifier l'océan au point d'éliminer une grande partie de la vie marine et libérerait de grandes quantités de gaz à effet de serre. De fait, il semble que les éruptions passées d'une structure volcanique comparable au Tamu, le plateau d'Ontong Java, dans le sud-ouest de l'océan Pacifique, puissent être associées à des périodes d'acidification et d'appauvrissement en oxygène intenses de l'océan. Et, même si l'idée de corriger notre vision de la formation d'une partie importante des fonds marins me stimule, je dois aussi admettre que le massif Tamu n'est plus le «plus grand volcan bouclier de la Terre» comme on le pensait.

NÉ D'UNE GRANDE ÉRUPTION? PAS SI SIMPLE!

J'ai publié mon premier article sur l'histoire magnétique du massif Tamu en 1993, alors que le volcan n'avait pas encore de nom. M'inspirant de l'acronyme anglais de mon université, *Texas A & M University*, je l'ai nommé «Tamu». Je concluais dans cet article que ce volcan avait dû se former en peu de temps au cours d'une grande éruption provoquée par la remontée d'un énorme panache de matière chaude à travers le manteau terrestre.

INVERSIONS MAGNÉTIQUES

L'aimantation des roches au fond de la mer a fourni des indices cruciaux sur la formation du massif Tamu. À intervalles irréguliers, le champ magnétique terrestre s'inverse, ce qui aimante les roches en cours de formation suivant des polarités opposées. Les épanchements qui se sont succédé lors de la naissance du massif Tamu, il y a environ 145 millions d'années, se traduisent sur le volcan et autour de lui par des bandes dont la polarité magnétique est alternée.



D'après ce que j'écrivais à l'époque, au fil d'une série d'éruptions massives, du basalte liquide s'était écoulé sur les pentes du volcan, ce qui a formé un vaste dôme légèrement bombé. Éruption après éruption, les couches se seraient accumulées, créant une sorte de gâteau stratifié, dont la couche la plus ancienne est au fond et la couche la plus jeune en haut. C'est ainsi que se sont formés tous les volcans boucliers de la Terre. D'autres chercheurs que moi ont développé une vision similaire de la formation du Tamu, du plateau d'Ontong Java et du plateau des Kerguelen, au sud de l'océan Indien, dans la région des îles françaises du même nom.

En 2013, après plusieurs missions visant à cartographier davantage le massif Tamu et à prélever des échantillons de ses basaltes, mes collègues et moi avons publié un article dans *Nature Geoscience* stipulant que ce volcan était un énorme volcan bouclier. Les médias déclarèrent bientôt que nous avions découvert le plus grand volcan bouclier du monde. Cette manchette m'a toujours gêné. J'ai bien essayé de faire comprendre aux journalistes que nous n'avions nullement découvert le massif Tamu (sa découverte date du début du ^{xx}e siècle) et qu'il existe dans l'océan des plateaux basaltiques plus vastes encore... Mais quelque chose d'autre me dérangeait : le motif magnétique que présentait le volcan correspondait mal à celui que devrait avoir un volcan bouclier stratifié.

Pour comprendre où est le problème, il importe d'abord de rappeler que la polarité du champ magnétique terrestre s'inverse à intervalles irréguliers (voir l'encadré ci-dessus), ce qui peut se produire lors de la formation d'un volcan quand celle-ci dure plusieurs millions

Le Tamu s'est formé dans une zone où trois plaques tectoniques s'affrontent

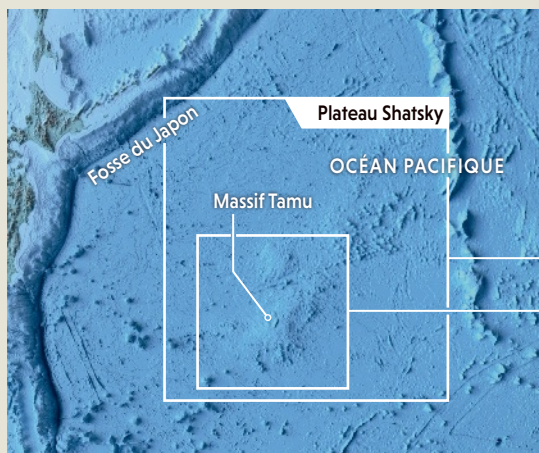
d'années. Ce phénomène crée des bandes de croûte océanique magnétisées de façon différente, selon le moment où elles se sont formées. Ainsi, si l'on pouvait regarder depuis l'espace le fond de l'océan Pacifique en portant des lunettes permettant de voir l'aimantation, on distinguerait de grandes bandes parallèles.

En revanche, sur les volcans boucliers, on s'attendrait à voir comme une large tache, puisque chaque épanchement, aimanté d'une certaine façon, recouvrirait celui qui l'a précédé et qui était aimanté d'une autre façon (voir l'encadré page 35). Ne portant pas de lunettes magiques visualisant l'aimantation, j'avais dû aller prélever des données en mer depuis le *Falkor*, où j'ai poussé mon «Eureka!» quand je me suis rendu compte que le massif Tamu était traversé par une large bande d'aimantation.

Le Tamu s'est formé sur un point triple, autrement dit une zone où trois plaques >

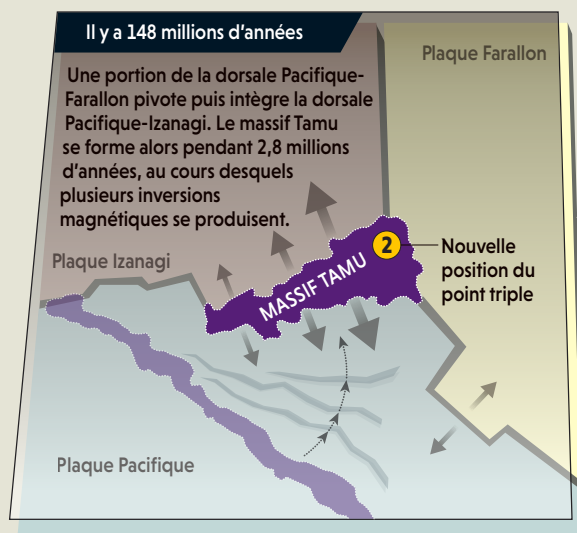
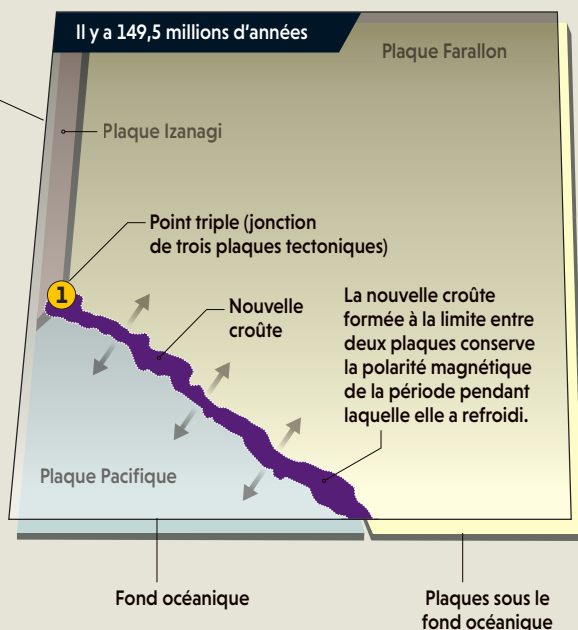
COMMENT LE MASSIF TAMU S'EST FORMÉ

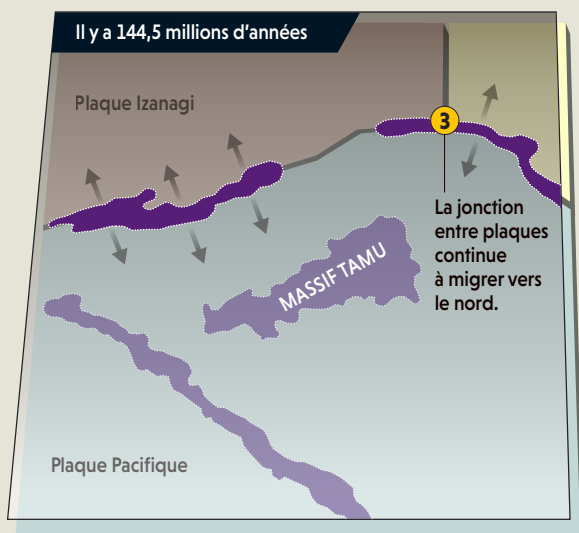
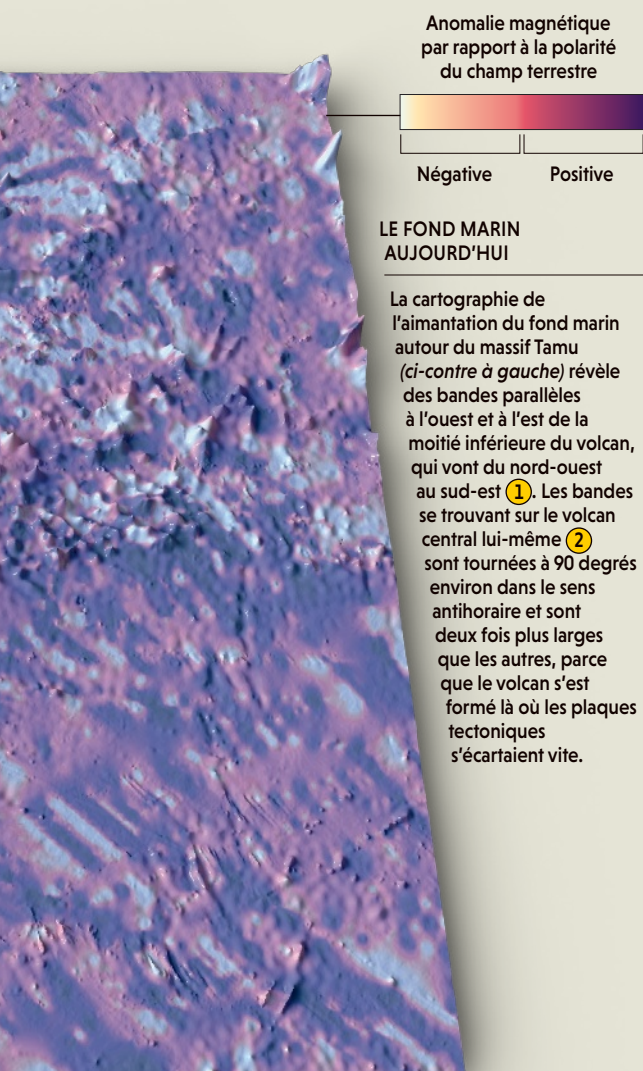
Des années durant, le consensus était que le Tamu est un volcan bouclier classique, mais le motif dessiné par l'aimantation de sa surface contredit cette idée. Il s'avère en fait que c'est plutôt la remontée verticale de magma, il y a des millions d'années, entre plaques tectoniques divergentes qui a fait du Tamu une structure feuilletée verticalement, comparable à un mille-feuille posé sur sa tranche.



L'HISTOIRE D'UN VOLCAN ZÉBRÉ

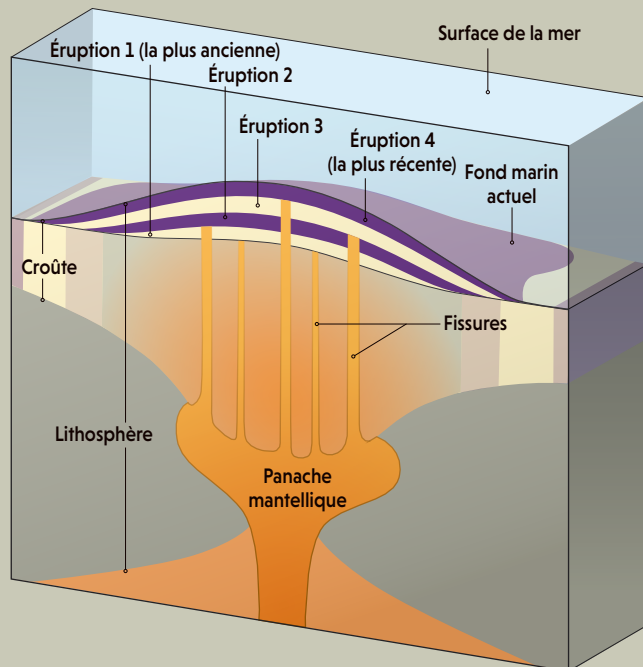
Il y a environ 149 millions d'années, trois plaques tectoniques se rejoignant en un point triple ① ont commencé à s'écarter près de la région qui allait devenir le massif Tamu. Les espaces entre plaques se sont remplis de basalte. Puis, il y a 148 millions d'années, alors que le massif Tamu se constituait, le point triple s'est déplacé vers le nord-est, de sorte qu'une partie de la zone séparant la plaque Pacifique de la plaque Farallon a pivoté dans le sens antihoraire pour intégrer la dorsale séparant les plaques Pacifique et Izanagi ②. Cela a fait tourner les bandes d'aimantation du massif Tamu. Il y a 144 millions d'années, après l'arrêt de l'éruption à l'origine du volcan, la jonction entre plaques s'est de nouveau déplacée, car la plaque Izanagi avait migré vers le nord-est ③. La large bande courant sur le volcan indique que le gros des éruptions s'est déroulé lors d'une seule période de polarité magnétique.





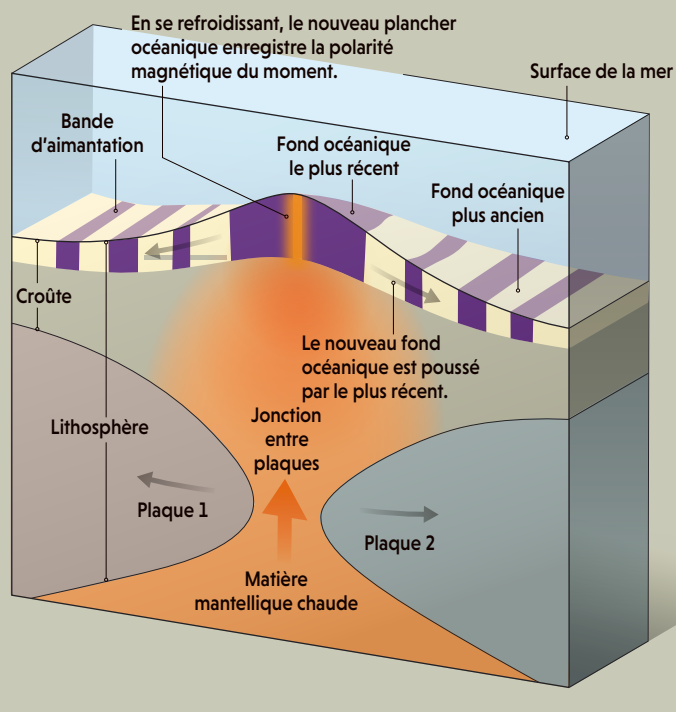
ANCIENNE EXPLICATION : LE GÂTEAU STRATIFIÉ

Un volcan bouclier, ce qu'était censé être le massif Tamu, se forme à l'image d'un gâteau stratifié. Du matériau chaud s'élève des profondeurs du manteau terrestre et, parvenu sous la lithosphère plus froide, fond partiellement, ce qui forme du magma. Une fissure verticale conduit le magma jusqu'en surface, d'où une éruption sur le fond océanique. Le processus se reproduit et ajoute ainsi, couche après couche, ce qui forme un édifice volcanique stratifié.



NOUVELLE EXPLICATION : LE MILLE-FEUILLE VERTICAL

Lorsque des plaques tectoniques divergent, la lithosphère se fend et une fissure s'ouvre le long des bords des plaques. Du magma chaud s'y infiltre puis se solidifie, ce qui forme une nouvelle bande de plancher océanique. Le processus se répète : une bande supplémentaire de plancher océanique se forme et, en se refroidissant, enregistre la polarité magnétique de l'époque. Avec le temps, ce mécanisme crée au fond de l'océan un motif magnétique zébré, qui fait penser à un mille-feuille posé sur sa tranche.



> tectoniques s'affrontent, formant trois grands secteurs qui s'ajustent pour se rejoindre en un même point. Lorsque deux plaques se sont écartées, une fissure s'est ouverte le long d'elles; du magma est alors venu la remplir et a donné du basalte en se solidifiant. Quand les deux plaques se sont de nouveau éloignées, le nouveau ruban formé s'est déchiré le long de son axe et s'est séparé en deux parties, tandis que du magma frais a rempli le nouveau vide ainsi créé.

UN VOLCAN MAGNÉTIQUEMENT ZÉBRÉ

Ce processus s'est répété par la suite, de sorte que le Tamu n'a pas été construit par empilement de couches successives aboutissant à une sorte de gâteau stratifié, mais d'une façon le faisant plutôt ressembler à un mille-feuille posé sur sa tranche: à peine formée, une fente se remplit de pâte ou de crème pâtissière, ce qui ajoute une feuille, puis le processus recommence. Comme la nature du remplissage change d'une feuille à l'autre, un motif zébré en résulte. L'alternance de bandes magnétiques positives et négatives observable sur le massif Tamu constitue un tel motif.

Deux problèmes troublent toutefois cette explication. Le premier est que les rayures changent d'orientation au sud-est du Tamu, en tournant à 90 degrés dans le sens antihoraire. Rétrospectivement, la raison de cette situation me semble assez évidente. Au cours de l'éruption qui a formé le massif Tamu, un morceau de la plaque située au nord-est s'est détaché et déplacé, entraînant une rotation de 90 degrés d'un segment situé près de la triple jonction (voir l'encadré page 34). Ce segment se trouve à l'endroit où le massif Tamu s'est formé. C'est au moment où j'ai compris que la structure se trouvant au sud du massif Tamu traduisait la propagation d'une anomalie magnétique que j'ai poussé mon «D'oh!».

Le deuxième problème est que, dans le modèle du mille-feuille, chaque nouvelle strie doit avoir la même hauteur que le reste du gâteau fendu, alors que le massif Tamu est plus élevé en son milieu. Je pense que cette structure s'est développée parce que la fusion au centre de l'édifice s'est accrue pour un temps, ce qui a formé une croûte plus épaisse.

UNE NOUVELLE VISION DE SA FORMATION

Afin de convaincre les autres chercheurs de la justesse de notre analyse, mes collègues et moi avons recueilli des données magnétiques sur les fonds marins ainsi que des carottes de forage dans les basaltes de la région. Notre nouvelle vision de la formation du Tamu change celle de la formation des grands plateaux océaniques. La cartographie

magnétique de plusieurs autres plateaux implique en effet que beaucoup se sont formés de façon similaire. Les plateaux apparus là où divergent des plaques constituent une nouvelle classe de volcans, et l'hypothèse largement admise selon laquelle les plateaux océaniques seraient de grands volcans boucliers créés par des successions de coulées doit être abandonnée.

Pourquoi nous sommes-nous trompés à ce point dans le passé? Et qu'est-ce que cela change si le massif Tamu n'est pas un volcan bouclier? Nous nous sommes trompés parce que les volcans sous-marins sont dissimulés sous des milliers de mètres d'eau, de sorte que nous avons tenté de les décrire à partir de données fragmentaires. C'est un peu comme si l'on essayait de restituer un dinosaure à partir d'une dent et un os d'orteil seulement. Cela



Le massif Tamu n'est pas un volcan bouclier. Nous nous sommes trompés



conduit à essayer de relier ces deux éléments au sein d'un même dessin en s'inspirant de ce que l'on sait des autres dinosaures. Si les hypothèses adoptées pour mener ces comparaisons sont fausses, le résultat de la restitution sera faux.

L'hypothèse que nous avons adoptée était que le Tamu était un volcan bouclier, ce qui nous a conduits à conclure qu'il s'était formé comme les autres édifices de ce type, mais l'hypothèse était fautive. Nous avons découvert une nouvelle famille de montagnes volcaniques, et une nouvelle explication de la façon dont certaines structures géantes se sont édifiées – des structures qui se comptent par dizaines sous la mer.

Les scientifiques cherchent à savoir comment les phénomènes se produisent. Cet objectif peut nous amener à remettre en cause de précédentes interprétations. Notre nouvelle compréhension du massif Tamu me donne l'impression d'avoir enfin compris comment toute une classe de volcans se forme. Ce résultat se prête moins que le précédent à des manchettes dans les médias, mais il me rend bien plus heureux. ■

BIBLIOGRAPHIE

W. W. Sager et al., **Oceanic plateau formation by seafloor spreading implied by Tamu Massif magnetic anomalies**, *Nature Geoscience*, vol. 12, pp. 661-666, 2019.

W. W. Sager et al., **An immense shield volcano within the Shatsky Rise oceanic plateau, Northwest Pacific Ocean**, *Nature Geoscience*, vol. 6, pp. 976-981, 2013.

DURÉE LIBRE

FORMULE INTÉGRALE

8,20 €
PAR MOIS

43 %
de réduction *

Partie réservée au service abonnement Ne rien inscrire