



On voit ici un dispositif de conservation, en cours de manipulation pour déplacer un échantillon provenant de la mission Apollo 15 depuis son armoire de rangement sous azote vers un conteneur en acier inoxydable.

> les bords extérieurs de certains grains du sol, ce qui assombrit leurs surfaces avec le temps. Nous savons aujourd'hui que le rayonnement solaire, les grandes fluctuations de température et le bombardement constant par de minuscules micrométéorites contribuent tous à l'érosion spatiale.

DES ÉCHANTILLONS POUR L'AVENIR

La période actuelle de la science lunaire est passionnante: cette année, des échantillons préservés depuis leur collecte sur la Lune et faisant partie de ceux que la Nasa a intentionnellement mis de côté, dans l'attente de techniques d'analyse plus performantes que celles de l'ère *Apollo*, seront mis à disposition des chercheurs. En mars, neuf équipes de chercheurs ont ainsi été sélectionnées pour recevoir des échantillons d'*Apollo 15*, *16* et *17* non ouverts et scellés sous vide. Cette étape du programme ANGSA (*Apollo Next Generation Sample Analysis*) devrait conduire à de nouvelles connaissances sur la formation et l'évolution de notre satellite.

Si nous avons beaucoup appris des échantillons et des expériences de surface d'*Apollo*, nous avons aussi un grand besoin de nouveaux échantillons. Nous n'avons ainsi aucune roche issue de la face cachée de la Lune, de ses régions polaires ou encore de son intérieur profond. Deux types d'échantillons dont j'aimerais particulièrement disposer seraient de la glace d'un cratère polaire et des roches issues du bassin d'Aitken, sur la face cachée, qui recouvre le pôle Sud et constitue le plus grand cratère d'impact de la Lune. Son intérieur

pourrait contenir des matériaux provenant de la partie inférieure de la croûte lunaire et même de son manteau rocheux (la couche sous-jacente à la croûte). L'étude du bassin Aitken du pôle Sud nous aiderait à comprendre pourquoi de très grands bassins façonnent les surfaces et les intérieurs des corps planétaires. Disposer d'un échantillon de glace polaire lunaire nous renseignerait sur l'âge et l'origine de l'eau lunaire – ce qui pourrait aider à clarifier ceux de l'eau de la Terre.

De tels échantillons pourraient provenir tant de missions habitées que de missions robotisées: aucun consensus n'existe entre planétologues sur le caractère préférable de l'un ou l'autre type de mission. De nombreux experts soutiennent, à juste titre, que les missions robotisées sont moins coûteuses, plus sûres et peuvent durer plus longtemps que les missions humaines. Pour autant, les humains sont plus à même que les robots de prélever la plus grande variété possible de spécimens inhabituels, ce dont témoignent la diversité des origines géologiques de la composition et des âges des échantillons d'*Apollo*.

Le programme *Apollo* reste un accomplissement sans pareil. Alors que nous célébrons le 50^e anniversaire du «grand pas pour l'humanité» de Niels Armstrong, le premier astronaute sur la Lune, aucun humain n'a, depuis Harrison «Jack» Schmitt et feu Gene Cernan de la mission *Apollo 17* de décembre 1972, foulé un autre corps planétaire. En tant que chercheuse profondément inspirée par le programme *Apollo*, je travaille activement à créer un nouvel «élan *Apollo*» afin que nous puissions enfin revoir des humains explorer l'inconnu. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. J. Lock et al., **The origin of the Moon within a terrestrial synestia**, *JGR Planets*, vol. 123(4), pp. 910-951, 2018.

M. Laneuville, **La Lune, une histoire pleine de surprises**, *Pour la Science*, n° 466, pp. 26-35, août 2016.

R. Canup, **Forming a Moon with an Earth-like composition via a giant impact**, *Science*, vol. 338, pp. 1052-1055, 2012.

M. Čuk et al., **Tidal evolution of the Moon from a high-obliquity, high-angular-momentum Earth**, *Nature*, vol. 539, pp. 402-406, 2016.

L'ESSENTIEL

> La glace de mer réfléchit une part importante du rayonnement solaire qui arrive sur la Terre et contribue ainsi à la régulation de la température de la planète.

> Les propriétés de cette glace sont mal connues. Or ces données sont nécessaires pour la modéliser de façon réaliste.

> En 2017, lors d'une expédition dans l'océan Antarctique, les chercheurs ont réalisé des prélèvements de glace (dont la forme rappelle celle des crêpes) et ont mesuré ses propriétés mécaniques.

> Ils ont ensuite développé un modèle numérique de la glace de mer.

LES AUTEURS



**FLEURIANNE
BERTRAND**
professeure
à l'université
de Berlin



TIM RICKEN
professeur
à l'université
de Stuttgart

La pêche à la crêpe de glace

Lors d'une expédition dans l'océan Antarctique, des chercheurs sont partis « pêcher » des crêpes de glace. Leur objectif : mesurer leurs propriétés pour les intégrer de façon plus réaliste dans les modèles climatiques.

Ballotté par des vagues gigantesques (jusqu'à plus de 14 mètres) et des vents soufflant à plus de 100 kilomètres par heure, le brise-glace SA *Agulhas II* était mis à rude épreuve. Nous avons appareillé au Cap, en Afrique du Sud, le 28 juin 2017, et nous progressions alors avec une visibilité réduite vers notre destination : l'océan Antarctique. Si cette période correspond à la saison chaude et agréable dans l'hémisphère Nord, il en est tout autrement dans l'hémisphère Sud où les saisons sont inversées. Mais pourquoi partir vers l'Antarctique à une période aussi inhospitalière ? Parce que notre but était d'étudier la glace de mer, qui ne se forme que pendant la saison la plus froide.

Malgré le confort du navire presque neuf, la vie à bord était loin d'être facile. Les brise-glace, avec leur proue arrondie, subissent bien plus fortement que les autres bateaux les chocs qui se produisent quand, après avoir été soulevés par une vague, ils retombent lourdement sur l'eau (voir la photo page 68). Ce phénomène de *slamming*, très éprouvant pour l'organisme,

donne la sensation d'être en permanence sur des montagnes russes. Ainsi, une bonne part de l'équipe (environ 50 scientifiques et 44 membres d'équipage) a souffert du mal de mer et a laissé les plus résistants assumer la surcharge de travail. Pourtant, malgré la fatigue et le mauvais temps, nous avons gardé le moral, motivés par nos projets de recherche dans le cadre de cette expédition soutenue par la fondation nationale sud-africaine pour la recherche.

L'Antarctique, l'une des régions de la Terre les plus difficiles d'accès, en particulier durant cette saison, a fait l'objet de moins de travaux de recherche que les autres parties du globe. D'où l'intérêt de cette mission qui embarque des spécialistes de diverses disciplines : des biologistes étudiant le phytoplancton, des climatologues s'intéressant au cycle de l'azote, de l'ammoniac ou du dioxyde de carbone, des ornithologues répertoriant les espèces d'oiseaux, etc. Dans notre cas, nous nous intéressons à la glace de mer et à ses propriétés.

Cette glace se forme à partir de cristaux qui se constituent dans l'eau de mer et s'agglomèrent pour former des blocs. Puis, à force de >



L'océan Antarctique couvert de glace en crêpe pendant une rare accalmie. Cette glace en mer a un rôle important dans la dynamique climatique de la planète.

➤ chocs répétés, ces larges morceaux de glace se remodelent avec des bords plus épais, et prennent une forme quasi circulaire, de 30 centimètres à 3 mètres de diamètre, d'où leur nom de *pancakes* en anglais, de *blinis* en russe ou de crêpes de glace (voir la photo page 67 et ci-contre).

Cette glace de mer contribue à la cryosphère, la partie du globe qui est recouverte par de la neige ou de la glace. Ces régions réfléchissent vers l'espace plus de 70% du rayonnement solaire qu'elles reçoivent. Ce pouvoir réfléchissant, c'est-à-dire le rapport de l'énergie réfléchie à l'énergie lumineuse incidente est nommé l'albédo. Par comparaison, l'albédo de la mer est de seulement 10%, de 10 à 25% pour la végétation, de 10 à 20% pour la roche, etc. L'albédo moyen de la Terre, toutes surfaces confondues est de 30%. En renvoyant de façon efficace le rayonnement solaire, la cryosphère contribue à réguler la température de la planète. L'albédo influe aussi sur la météo, c'est-à-dire sur les variations à court terme des conditions atmosphériques: comme il influe sur l'ensoleillement reçu, il contribue au gradient thermique qui agit sur la circulation générale de l'atmosphère.

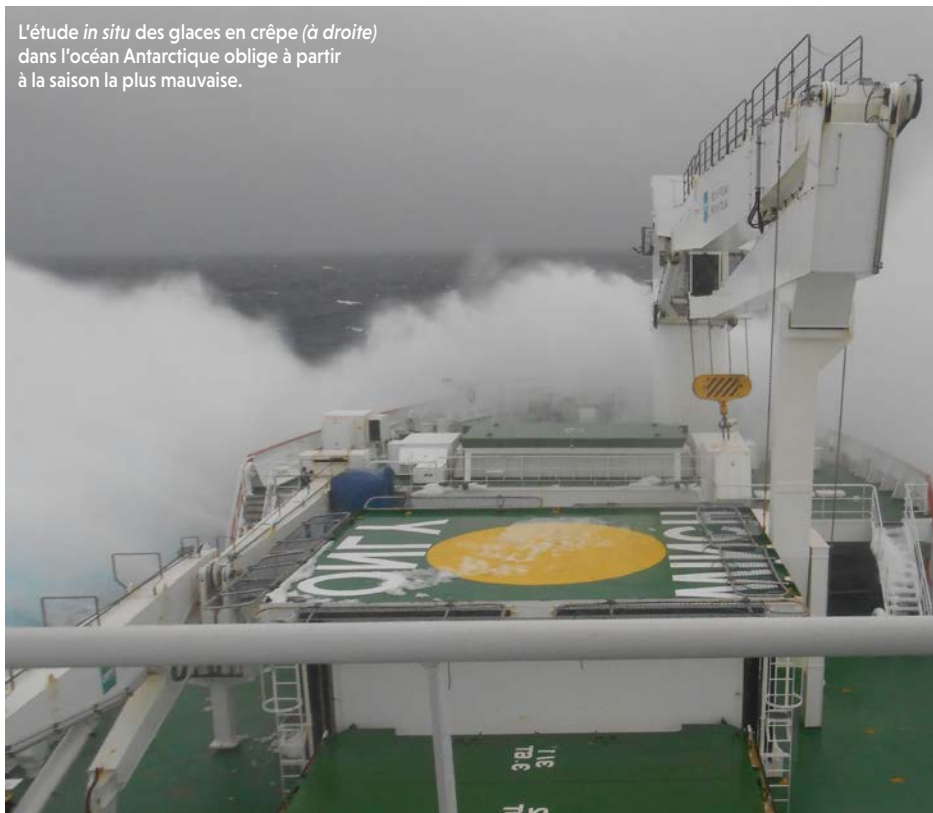
UN RÔLE IMPORTANT DANS LE CLIMAT ET LA MÉTÉO

Pour produire des prévisions météorologiques (à court terme) ou climatique (à long terme) les plus fiables possible, les modèles numériques doivent intégrer une description la plus précise possible de la cryosphère: quelles régions sont couvertes par de la neige et de la glace et à quelle période de l'année? La réponse est complexe car elle varie d'une région à une autre et présente une forte dépendance saisonnière. En moyenne, les surfaces englacées ou enneigées représentent, entre 40 et 85 millions de kilomètres carrés, soit entre 7 et 17% de la surface de la Terre.

Certaines de ces surfaces sont étudiées depuis longtemps, c'est le cas des glaciers. À partir des années 1950, les climatologues ont commencé à s'intéresser à la banquise arctique, aux calottes polaires (du Groenland et de l'Antarctique) et aux pergélisols (des sols gelés de façon permanente). L'étude de la glace de mer a commencé plus récemment, et les propriétés mécaniques de cette vaste couche de glace, très peu étudiée *in situ*, restent encore assez méconnues. Les données sont d'autant plus lacunaires que la glace n'est que rarement permanente et a une évolution saisonnière importante: l'Antarctique perd quasiment toute sa glace de mer pendant la belle saison (l'été austral, c'est-à-dire de décembre à février), tandis que l'Arctique voit sa superficie réduite de moitié entre l'été et l'hiver.

La glace de mer se forme à partir de février en Antarctique et fond dès le mois d'octobre.

L'étude *in situ* des glaces en crêpe (à droite) dans l'océan Antarctique oblige à partir à la saison la plus mauvaise.



À l'inverse, elle se forme à partir d'octobre en Arctique. Ainsi, on estime qu'il y a toujours au moins 19 millions de kilomètres carrés d'océans couverts par de la glace de mer, avec un pic à 27 millions de kilomètres carrés en novembre chaque année.

Cependant, dans le contexte du réchauffement climatique, ces valeurs moyennes évoluent à la baisse. On observe par exemple que, depuis 2015, l'extension maximale de la glace en Arctique a été environ 10% moins importante que la valeur moyenne calculée entre 1981 et 2010, soit près de 1,2 million de kilomètres carrés (environ deux fois la superficie de la France). De la même façon, avec environ 6 millions de kilomètres carrés, l'extension minimale (en septembre, à la fin de l'été) est 25% plus faible que ce qu'elle a été. On observe des tendances similaires en Antarctique (voir la figure page 71).

Il existe cependant une différence majeure entre l'océan Arctique et l'Antarctique, qui influe sur la formation de la glace de mer. Le premier est un océan quasi fermé, entouré de terres proches, tandis que le second est ouvert. Cela implique que les courants sont plus faibles pour l'Arctique que dans l'océan austral: la glace de mer s'agglomère plus facilement et les blocs formés se fixent les uns aux autres. La modélisation de son expansion est alors simplifiée. Par ailleurs, la proximité des côtes a facilité l'étude de la glace de mer arctique, qui a débuté dans les années 1950 et qui était aussi