

LES AUTEURS



Julian SACHS, océanographe, est maître de conférences à l'Université de Washington, à Seattle (États-Unis). Conor MYHRVOLD, étudiant en géosciences à l'Université de Princeton, a été l'assistant et le photographe de Julian Sachs lors de ses récentes expéditions.

des gaz à effet de serre avec la position de la zone de convergence intertropicale au cours des siècles, on pourrait en déduire l'impact probable au XXI^e siècle de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre sur les précipitations tropicales.

De nombreux indices permettent d'évaluer la température globale au cours du dernier millénaire. Deux périodes se distinguent : vers l'an 800, les températures étaient globalement similaires à celles de la fin du XIX^e siècle, puis elles ont augmenté de 800 à 1200, atteignant des niveaux équivalents à ceux du XX^e siècle. Elles se sont progressivement stabilisées, puis ont chuté pendant le Petit Âge glaciaire (de 1400 à 1850). Ces deux dernières décennies, l'activité solaire est restée stable, alors que les températures et la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone – le gaz à effet de serre le plus abondamment émis par l'homme – atteignaient tous deux des niveaux jamais égalés en 1 200 ans.

Quand nous avons commencé nos travaux, le climat tropical passé était peu connu. Si les sédiments marins fournissent de précieuses données climatiques couvrant plusieurs milliers d'années, ils s'accumulent trop lentement pour avoir enregistré assez d'informations sur le der-

nier millénaire. De même, de nombreux coraux fabriquent lors de leur croissance des bandes annuelles, à la manière des cernes d'arbres, mais leur vie dépasse rarement 300 ans. On manque donc de données allant de 300 à 1 000 ans dans le passé.

Cartographier les précipitations passées permettrait de combler les lacunes sur la position de la zone de convergence intertropicale au cours du dernier millénaire. Les lacs et les étangs fermés des petites îles parsemant le Pacifique sont à même de raconter cette histoire.

Le passé au fond des lacs

Lors des six dernières années, nous avons collecté des dizaines de carottes de sédiments au fond des lacs d'îles lointaines situées dans l'océan Pacifique, à des latitudes voisines de celle de la ceinture pluviale. Il est possible de définir la position de la zone de convergence intertropicale sur une durée donnée en localisant les zones ayant subi de fortes précipitations au cours de cette période : des variations pluviométriques simultanées aux mêmes latitudes, vers le Nord ou le Sud, signalent un déplacement général de la bande de précipitations au niveau de l'océan.

Prélever des échantillons sur le terrain est une aventure pleine de péripéties, de problèmes de matériel, où la barrière de la langue s'ajoute à la difficulté d'accéder à certains endroits. Par exemple, lorsque nous sommes arrivés à Majuro, capitale de l'archipel des îles Marshall, la compagnie aérienne locale, *Air Marshall Islands* – que les habitants appellent tendrement *Air Maybe* (« Air Peut-être ») – avait deux avions en panne sur une flotte composée de... deux appareils.

Pour prélever une carotte de sédiments, on enfonce, on pousse et on visse un long tube creux dans les dépôts accumulés au fond d'un lac. À peu près tous les sites sur lesquels nous avons effectué des carottages ont une séquence sédimentaire particulière. On peut tomber sur des couches rouge vif de plusieurs mètres d'épaisseur : de consistance gélatineuse, elles sont constituées de cyanobactéries, comme dans le lac de l'île Washington (îles de la Ligne). On trouve aussi des boues brunâtres, riches en sulfure d'hydrogène (qui sent mauvais!), contenant des fragments de feuilles de palétuvier, ou encore des couches de coquilles de mollusques bivalves, comme dans les îles Palaos.

Les algues, des pluviomètres biologiques

Les algues tirent tout leur hydrogène de l'eau dans laquelle elles vivent. La mesure de la concentration des deux isotopes stables de l'hydrogène – protium (H) et deutérium (D) – dans les lipides des algues présentes dans les sédiments lacustres renseigne sur leur environnement passé, et notamment sur la quantité de pluie tombée au cours de leur vie.

Chez de nombreuses algues, le rapport isotopique D/H est proportionnel au rapport D/H de l'eau, qui reflète l'importance des précipitations par rapport à l'évaporation du lac. Dans la zone d'influence de la bande de précipitations, où les pluies sont fréquentes et abondantes, le rapport D/H de l'eau des lacs ou de la mer est faible. Hors de cette zone, l'évaporation peut être supérieure aux précipitations, ce qui correspond à un rap-

port D/H élevé (H_2O , plus léger que D_2O , s'évapore plus facilement). Ainsi, en mesurant les rapports D/H des lipides des algues extraites des sédiments, on évalue les précipitations au cours des siècles passés.

Les algues ajustent également le rapport D/H dans leurs lipides en fonction de la salinité du milieu. Les conditions particulières de l'île Christmas ont fait office d'expérience naturelle. Cette île abrite un certain nombre de retenues d'eau dont la température, le niveau d'ensoleillement, les substances nutritives et le rapport D/H sont identiques ; seuls leurs niveaux de salinité diffèrent. La relation entre salinité et rapport isotopique a ainsi pu être étalonnée. Nous avons découvert que le rapport D/H des lipides produits par les cyanobactéries croît linéairement avec la salinité.

Étant donné que la salinité des retenues d'eau saumâtre diminue quand les précipitations sont abondantes et augmente quand il fait sec, l'effet de la salinité sur le rapport D/H des lipides agit dans le même sens que le volume des précipitations évoqué plus haut. Le rapport D/H des lipides des algues constitue donc un indicateur sensible des changements hydrologiques.

À eux seuls, ces résultats ne valent pas grand-chose s'ils ne sont pas accompagnés de dates. L'âge d'un sédiment est déterminé par deux isotopes radioactifs, le carbone 14 et le plomb 210, dont la demi-vie est, respectivement, de 5 730 et 22,3 ans. En comparant les rapports isotopiques de l'hydrogène à différentes dates, les auteurs ont pu reconstituer les variations pluviométriques sur les 1 200 dernières années.

Les pieds dans la vase, ou depuis un canot sur des eaux peu profondes, nous avons testé la profondeur des sédiments et la présence d'obstacles en enfonçant une longue tige. Si l'on butte sur de la roche, du corail, du sable ou des racines, le carottage ne peut avoir lieu.

L'épaisseur des dépôts étant très variable, on ignore jusqu'à quelle profondeur on doit sonder. En général, un mètre de sédiments équivaut à plusieurs centaines d'années. À titre d'exemple, un carottage de neuf mètres sur l'île Washington a permis de collecter 3200 ans d'archives sédimentaires. Si possible, on essaie d'atteindre le soubassement rocheux. Les dépôts de sable, de corail ou de roche volcanique indiquent l'époque où le lac a commencé à accumuler des sédiments : on obtient alors un historique du climat le plus complet possible.

Afin de reconstituer l'histoire des précipitations, nous avons aussi mesuré les caractéristiques de l'écosystème actuel : on peut ainsi savoir ce que le même type de mesures dans un environnement antérieur révèle du climat de l'époque. On prélève donc des échantillons d'eau à différentes profondeurs pour en déterminer la composition chimique, le rapport isotopique de l'hydrogène, et pour caractériser les populations d'algues et de micro-organismes. À l'aide de filtres fins en fibres de verre, du phytoplancton, du zooplancton et des microbes sont capturés et conservés immédiatement dans de la glace pour analyser ultérieurement leur composition lipidique. Des échantillons de végétation sont également collectés à proximité pour mesurer leur teneur en lipides.

Une fois les échantillons prélevés au fond du lac, il fallait les acheminer au laboratoire sans les abîmer. Pour que les différentes couches de sédiments ne se mélangent pas, nous avons découpé sur place, avec précaution, la partie supérieure de la carotte de sédiments, particulièrement meuble, en sections d'un centimètre d'épaisseur emballées dans des sacs en plastique étiquetés. Puis nous avons entamé le voyage du retour vers notre laboratoire à Seattle, accompagnés de glacières remplies de sédiments et d'échantillons d'eau, et de grands cartons contenant les segments de carottes ne nécessitant pas d'emballage particulier.

En mesurant les deux isotopes stables de l'hydrogène dans les lipides des algues conservées au sein des couches sédimentaires successives, et en datant les échantillons, nous avons pu estimer la



1. UNE CAROTTE DE SÉDIMENTS extraite du fond d'un lac sur l'île Lib. Elle contient des algues, riches d'enseignements sur l'histoire des précipitations.



2. LES ARBRES SE SONT RÉVÉLÉS PRATIQUES pour maintenir verticales les carottes de sédiments. Les scientifiques coupaient de minces tranches dans le haut de la carotte, là où les sédiments sont très meubles, pour les emballer et les envoyer au laboratoire.

quantité de pluie tombée à l'époque où vivait cette flore (voir l'encadré page 64).

D'année en année, la carte a été complétée, d'où une localisation de plus en plus précise de la zone de convergence intertropicale à travers le temps. D'autres données, qui nécessiteront encore quelques mois de travail, viendront enrichir ces résultats, dont celles obtenues lors de notre dernière expédition dans la région de Kosrae en Micronésie.

Les données déjà acquises, ajoutées aux résultats d'autres équipes, indiquent que de petites variations de la température atmosphérique se sont accompagnées de profonds bouleversements pluviométriques pendant le Petit Âge glaciaire. Des régions auparavant humides, telles que les îles Palaos, se sont asséchées, alors que la pluie était devenue abondante sur les îles Galápagos et sur d'autres contrées auparavant arides. Ainsi, quand l'énergie solaire incidente sur le haut de l'atmosphère a diminué de seulement 0,2 pour cent pendant une centaine d'années, la zone de convergence intertropicale s'est déplacée de 500 kilomètres vers le Sud, en direction de l'équateur.

Une sensibilité plutôt inquiétante

Cette sensibilité ne présage rien de bon. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit qu'en 2050, essentiellement en raison des émissions automobiles et industrielles, la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère sera deux fois plus élevée qu'à l'ère préindustrielle ; et qu'elle aura triplé d'ici 2100, provoquant un accroissement de la température atmosphérique deux à trois fois supérieur à celui survenu à la fin du Petit Âge glaciaire, uniquement dû à une plus grande activité solaire.

Lors du Petit Âge glaciaire, la ligne médiane de la bande nuageuse tropicale restait au Sud de la limite de cinq degrés de latitude Nord. Elle a aujourd'hui migré vers le Nord et oscille entre trois et dix degrés de latitude Nord. Les récentes augmentations de la concentration des gaz à effet de serre risquent de faire remonter la bande de cinq degrés supplémentaires, soit 550 kilomètres, d'ici 2100. Cette nouvelle position, entre 8 et 15 degrés de latitude Nord, modifierait notablement l'intensité des précipitations dans de nombreuses régions (voir l'encadré page 66).