

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



Conor L. Myhrvold

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.



Conor L. Myhrvold

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

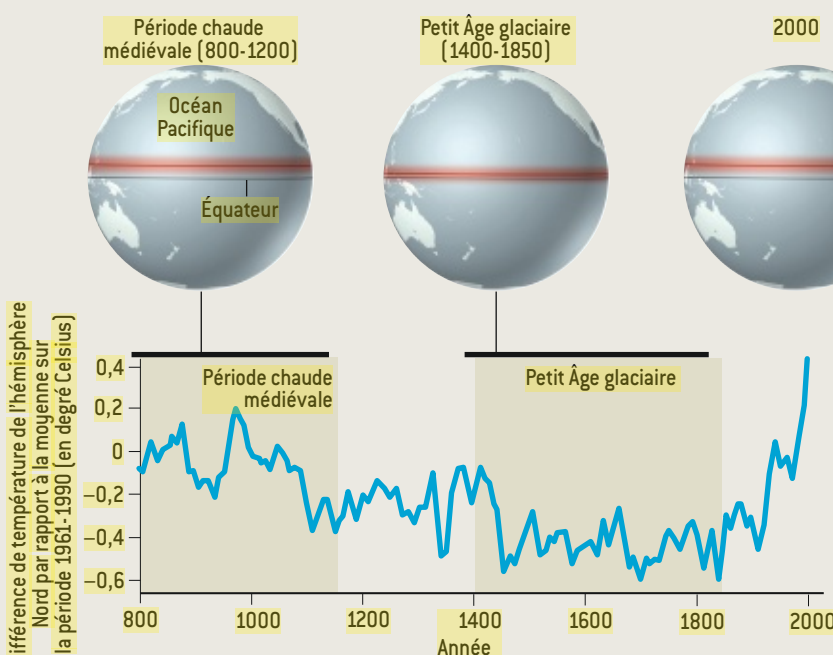
Cette sensibilité ne présage rien de bon. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit qu'en 2050, essentiellement en raison des émissions automobiles et industrielles, la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère sera deux fois plus élevée qu'à l'ère préindustrielle ; 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).

QUAND LA TEMPÉRATURE MONTE, LA BANDE DE PRÉCIPITATIONS FAIT DE MÊME

La zone de convergence intertropicale (*en rouge*), qui encercle la Terre, résulte de la rencontre de masses d'air opposées, portées par les alizés, qui créent une zone de basse pression au-dessus des eaux équatoriales chauffées par le Soleil. L'eau s'évapore, s'élève et se transforme en pluie, pour la majeure partie. La basse pression produit aussi d'énormes cellules de hautes pressions adjacentes qui font circuler la chaleur atmosphérique vers de plus hautes latitudes et déplace ainsi le système météorologique.

Pendant la période chaude médiévale (*à gauche*), les températures élevées de l'hémisphère Nord ont fait bouger la bande de précipitations vers le Nord. Au cours du Petit Âge glaciaire, des températures plus fraîches l'ont fait redescendre vers le Sud. Aujourd'hui, elle s'est déplacée vers le Nord comme jamais elle ne l'a fait depuis 1 200 ans. La hausse prévisible de la concentration des gaz à effet de serre pourrait lui faire franchir cinq degrés de latitude supplémentaires d'ici 2100.



Conséquences

Si la bande de précipitations devait se déplacer de cinq degrés supplémentaires vers le Nord, elle laisserait des centaines de millions de personnes vivant près de l'équateur aux prises avec un climat aride. En Équateur, en Colombie, dans le Nord de l'Indonésie, en Thaïlande, etc., l'agriculture vivrière, les cultures du café et de la banane ainsi que la biodiversité tropicale seraient menacées. Des endroits tels que l'île de Guam et le Salvador se retrouveraient pour la première fois dans la zone d'influence de la bande de précipitations et seraient beaucoup plus arrosés.

BIBLIOGRAPHIE

A. de Sherbinin *et al.*, Les victimes du changement climatique, *Pour la Science*, n° 403, mai 2011.

J. Field *et al.*, Paleoclimates and the emergence of fortifications in the tropical Pacific islands, *Journal of Anthropological Archaeology*, vol. 29, n° 1, 2010.

J. Sachs *et al.*, Southward movement of the Pacific intertropical convergence zone AD 1400-1850, *Nature Geoscience*, vol. 2, n° 7, pp. 519-525, 2009.

M. Mann *et al.*, Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia, *PNAS*, vol. 105, n° 36, pp. 13252-13257, 2008.

G. Haug *et al.*, Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene, *Science*, vol. 293, n° 5533, pp. 1304-1307, 2001.

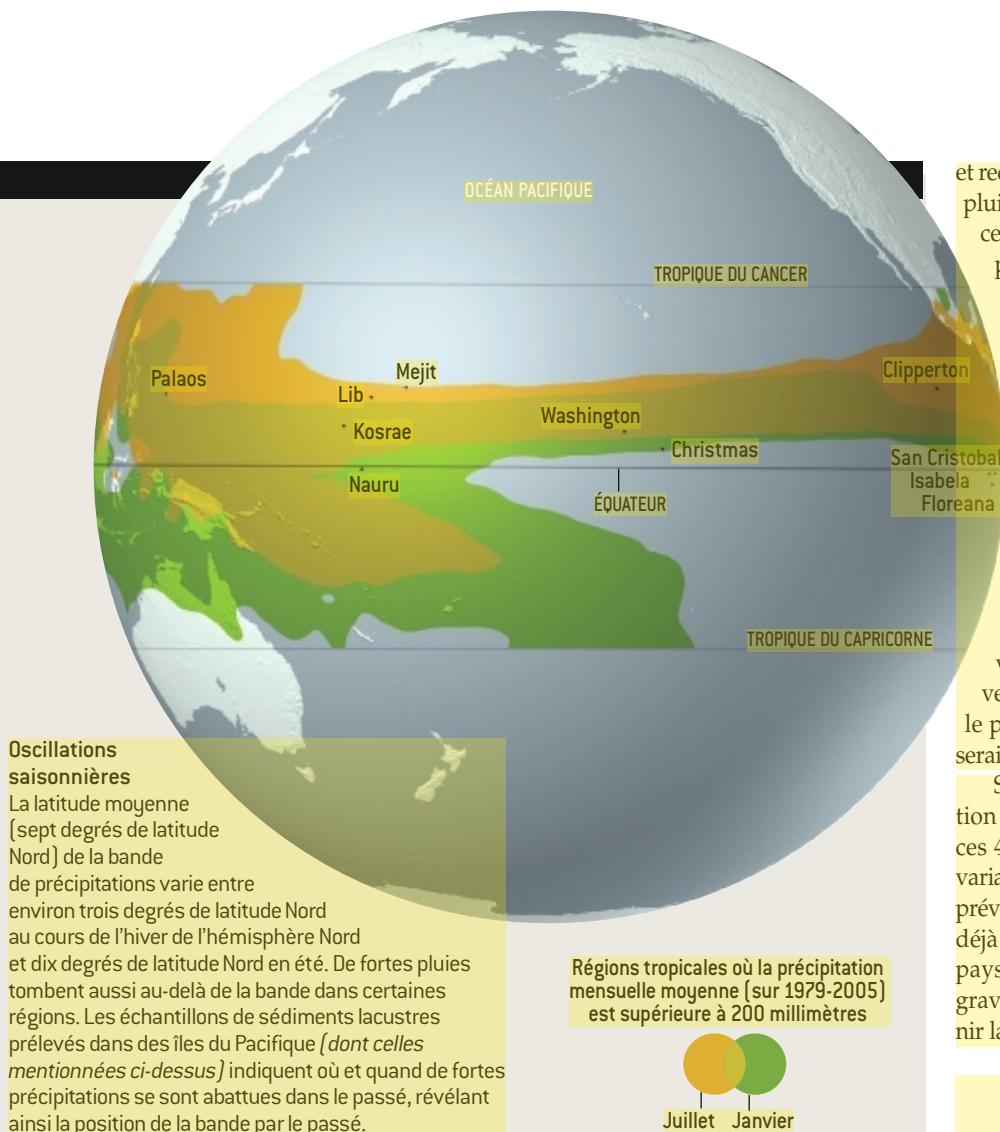
Ces changements potentiels sont étayés par nos découvertes dans les îles du Pacifique. L'île Washington, à cinq degrés de latitude Nord, reçoit ainsi aujourd'hui trois mètres de précipitations annuelles, contre moins d'un mètre il y a 400 ans, alors que l'évaporation était plus importante. À l'opposé, la région montagneuse de l'île San Cristobal, à un degré de latitude Sud, dans l'archipel désertique des Galápagos, était beaucoup plus arrosée durant le Petit Âge glaciaire.

Les archéologues collectent aussi d'utiles informations. Ils ont découvert que, sur des îles d'Indonésie ou du Pacifique Sud, l'accélération des constructions de fortifications coïncidait avec le dernier grand déplacement de la zone de convergence intertropicale, lors du Petit Âge glaciaire. Alors que cette zone glissait vers le Sud, les îles du Nord devenaient arides, obligeant sans doute leurs habitants à fuir vers des îles plus méridionales : les populations autochtones ont alors construit des fortifications pour se protéger de ces intrusions.

Aujourd'hui, les techniques de dessalement de l'eau de mer et les transports diminuent la dépendance vis-à-vis des pluies. Mais une remontée de la bande pluviale de cinq degrés menacerait des centaines de millions de personnes qui vivent à proximité de l'équateur et dépendent de l'agriculture vivrière, sans parler des risques pour la biodiversité tropicale. La plupart des pays de cette zone sont en développement et pourraient connaître une forte croissance démographique au cours de ce siècle. Ils risquent de ne pas avoir les ressources nécessaires pour y faire face.

Changements de régimes

Les déficits pluviométriques d'un côté, les inondations de l'autre, réduiraient en quelques décennies, voire moins, les rendements agricoles et conduiraient à des pénuries alimentaires localisées, à l'instabilité politique et à des déplacements de populations. Des régions situées pour la première fois dans



la zone de convergence intertropicale (entre 10 et 15 degrés de latitude Nord), comme le Salvador et les environs de Manille, au Nord des Philippines, connaîtraient une augmentation des précipitations annuelles. À l'inverse, des régions désormais hors de la zone d'influence de la bande de précipitations (entre trois et huit degrés de latitude Nord) deviendraient plus arides. La puissance des moussons asiatiques et indiennes compenserait-elle par endroits cet effet de sécheresse ? Les scientifiques en débattent.

Les régions humides que sont le Nord de l'Indonésie, la Malaisie, les Philippines, la Micronésie, la Thaïlande et le Cambodge seraient privées d'une grande partie des pluies qu'elles reçoivent de nos jours sous l'influence de la zone de convergence intertropicale. Les variétés agricoles adaptées aux actuelles conditions météorologiques ne seraient plus acclimatées. Par exemple, les plantations de café exigent beaucoup d'eau en début de croissance, et un total de plus de 1,8 mètre pour parvenir à maturité.

En Amérique centrale, l'Équateur et la Colombie seraient, laissés en marge de la zone de convergence intertropicale, victimes de la sécheresse. On pourrait penser que l'urbanisation continue de la Colombie l'aidera à faire face à la situation, son économie ne dépendant plus autant de l'agriculture. Or ce pays est le troisième plus gros producteur de café et, comme en Indonésie, de moindres précipitations affecteraient à terme les rendements. La plupart des régions productrices de café situées à des latitudes inférieures à huit degrés de latitude Nord pourraient bien être concernées dans la seconde moitié du XXI^e siècle. Les zones de production situées au Sud ou le long des côtes sont les plus menacées, car plus éloignées de la bande de précipitations.

L'horizon est également assez sombre pour l'industrie de la banane en Équateur. Des températures élevées conjuguées à des précipitations annuelles de 2 à 2,5 mètres sont nécessaires pour obtenir un fruit savoureux. Or l'Équateur se situe déjà bien au Sud de la zone de convergence intertropicale

et reçoit tout juste la quantité minimale de pluie nécessaire à cette culture. Un déplacement de la bande pluviale réduirait les précipitations à un mètre par an, ou moins, d'ici 2100 et mettrait un terme à l'industrie de la banane dans ce pays. Une chute drastique des rendements pourrait d'ailleurs survenir plus rapidement que prévu. Début 2010, environ la moitié des plantations des Philippines ont donné des bananes de trop petit calibre, non commercialisables, à cause d'une saison anormalement sèche.

L'agriculture vivrière serait touchée dans toutes les régions que nous venons de mentionner. L'exode rural vers les centres urbains ne résoudra pas le problème et une pénurie alimentaire serait catastrophique.

Si la bande pluvieuse poursuit sa migration vers le Nord au même rythme que ces 400 dernières années, d'importantes variations pluviométriques sont également prévisibles aux États-Unis, si elles n'ont pas déjà commencé. Ainsi, le Sud-Ouest du pays subit depuis plusieurs années une grave sécheresse qui pourrait bien devenir la nouvelle norme au XXI^e siècle.

Des modèles plus appropriés

Un tel mouvement risque-t-il d'affecter la fréquence des ouragans et des moussons ou d'en modifier l'intensité ? Les scientifiques n'ont pas encore tranché. De même, d'éventuelles conséquences sur El Niño et La Niña restent à évaluer.

Il reste beaucoup à faire avant de tirer avec certitude le signal d'alarme. Les modèles numériques du climat n'ont pas encore reproduit avec précision les schémas pluviométriques actuels ou passés pour la région tropicale. Si les simulateurs réussissent à utiliser les données fournies par les carottes de sédiments et d'autres sources pour produire des schémas plus proches de ceux que l'on connaît déjà, le monde pourra se fier davantage à leurs prévisions pour les précipitations futures.

Quant à nous, nous allons poursuivre notre étude des sédiments en provenance d'îles situées dans la zone de convergence intertropicale, ainsi qu'au Nord et au Sud de celle-ci, afin de définir avec plus de précision sa position au cours du dernier millénaire, et de prévoir où elle se situera dans les décennies à venir.