

Apprendre des climats tropicaux passés



© IRD/P. Ginot

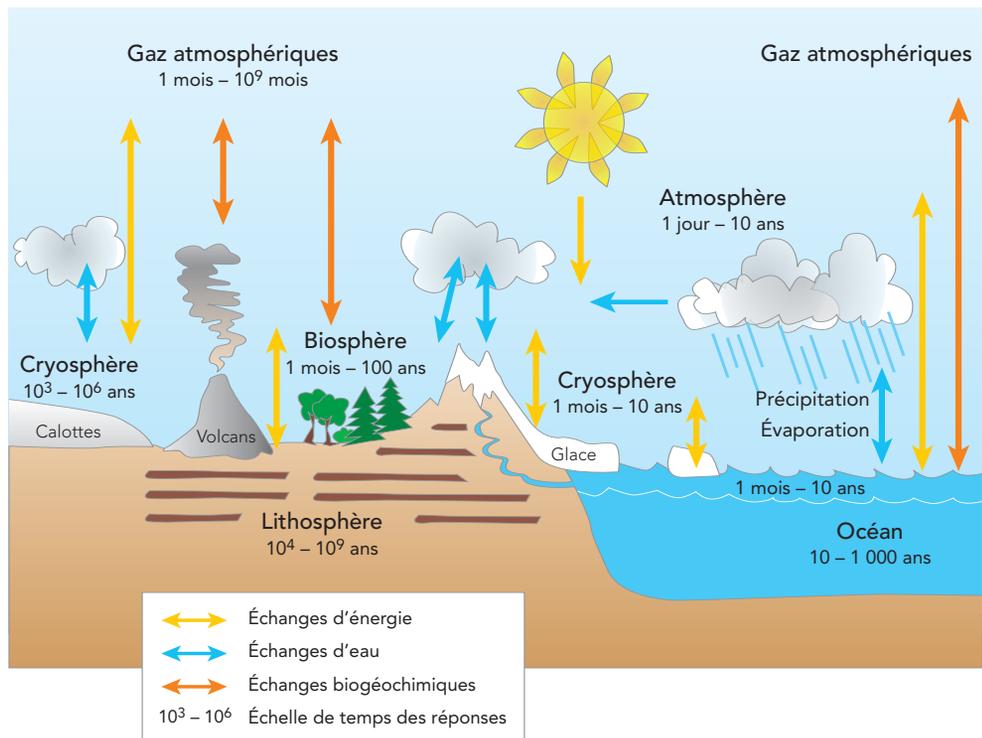
Camp de forage
sur le sommet
du San Valentin (3 900 m),
Chili.

Le carottage des glaciers
andins donne accès
à plus de 20 000 ans
d'archives climatiques.

Connaître l'évolution des climats passés est indispensable pour comprendre le climat actuel. En donnant une image de la variabilité naturelle du climat, la paléoclimatologie met en perspective les variations observées aujourd'hui. Elle permet aussi de mieux comprendre la machine climatique, en particulier les dynamiques propres aux climats tropicaux. Le **cycle de l'eau** y est en effet différent de celui des latitudes tempérées, avec une évapotranspiration beaucoup plus importante et la présence de **convections** tropicales jouant un rôle majeur sur le bilan d'eau et d'énergie terrestre. L'étude de la variabilité du climat sur le temps long permet aussi une meilleure connaissance des modes de variabilité climatique, saisonniers ou interannuels, comme les moussons ou le phénomène El Nino, qui ont un fort impact sur la zone intertropicale.

Cette étude des climats passés s'appuie sur les nombreuses traces laissées à la surface de la terre : les carottes glaciaires, les sédiments marins ou lacustres, les stalactites et stalagmites des grottes, les coraux, etc., qui sont autant d'archives naturelles du climat. Leur analyse physique, chimique et biologique permet de reconstruire et de quantifier les changements climatiques passés, pourvu qu'une datation fiable de ces archives soit possible.

Figure 1.
 Les principales composantes du système climatique et leurs temps de réponse.
 Les nombreuses interactions entre atmosphère, océans, biosphère, etc. jouent un rôle déterminant dans l'évolution du climat et se produisent à des échelles de temps allant du jour aux dizaines de milliers d'années. La paléoclimatologie permet en particulier d'étudier les interactions lentes.
 Source : JOUSSAUME, 1999.



Les secrets des glaces tropicales

Depuis une cinquantaine d'années, les glaces du Groenland et de l'Antarctique permettent de reconstruire les variations climatiques et environnementales au cours des derniers cycles climatiques glaciaires et interglaciaires. La richesse des résultats obtenus à partir des glaces polaires a ensuite incité plusieurs équipes internationales de recherche à extraire des carottes glaciaires dans d'autres régions froides du monde.

Les glaciers tropicaux et subtropicaux de la cordillère des Andes (Sajama et Illimani en Bolivie, Chimborazo en Équateur, Coropuna au Pérou, San Valentin au Chili) ont commencé à être étudiés par l'IRD et ses partenaires au cours des années 1990. Les carottages de glaces andines ont donné des informations sur l'évolution du climat tropical de l'hémisphère sud sur des périodes remontant jusqu'à 25 000 ans pour les glaces les plus anciennes. Ils permettent également de mieux comprendre des phénomènes climatiques régionaux, comme par exemple le système de la mousson sud-américaine.



La découverte d'un Petit Âge glaciaire en Amérique du Sud

En enregistrant les variations pluviométriques passées, les glaces andines livrent donc aujourd'hui des informations précieuses. Leur étude, couplée à l'observation des avancées et reculs des glaciers dans le passé, a par exemple récemment prouvé l'existence d'un Petit Âge glaciaire dans les Andes. Bien que moins marqué qu'en Europe, ce phénomène s'est traduit entre la moitié du XV^e et la fin du XVIII^e siècle par une période plus froide et humide qu'aujourd'hui.

L'interprétation des analyses des carottes glaciaires andines n'a pas été aisée. Un des traceurs classiquement utilisés pour récupérer des informations est la **composition isotopique** de l'eau, reflétant ses différentes formes ($H_2^{16}O$, $H_2^{18}O$, HDO). Les isotopes de la glace polaire apportent une information sur les températures. Mais il en est autrement sous les tropiques, où le cycle de l'eau atmosphérique est beaucoup plus complexe. D'importantes recherches ont permis de montrer que la composition des glaces andines est principalement contrôlée à l'échelle régionale par les précipitations (encadré 1).

L'équipe du laboratoire GreatIce au travail sur les glaciers du volcan Antisana (5 700 m) en Équateur.

Les expéditions de carottage sur les glaciers tropicaux sont menées dans des conditions difficiles, en raison de l'altitude élevée et des vents intenses.

Encadré 1

Les glaces tropicales informent plus sur les précipitations que sur les températures

Les glaces andines sont d'excellentes archives du climat tropical. Mais l'interprétation des informations livrées par les carottes reste matière à discussion dans la communauté scientifique.

Des chercheurs de l'unité Hydrosociences Montpellier ont montré que ces glaces donnent surtout des informations sur les variations de précipitations, et non sur celles des températures, comme c'est le cas en climat tempéré.

La composition isotopique des glaces tropicales apporte des renseignements précieux pour quantifier la variabilité climatique passée.

Mais l'interprétation de ce marqueur géochimique est plus difficile qu'aux pôles, à cause de la complexité des processus de convection atmosphérique responsables de la majeure partie des pluies.

Dans les régions polaires, la répartition des isotopes de l'eau entre les différents réservoirs (vapeur d'eau, condensat, pluie) dépend de la température, car c'est cette dernière qui contrôle les quantités de pluie formées.

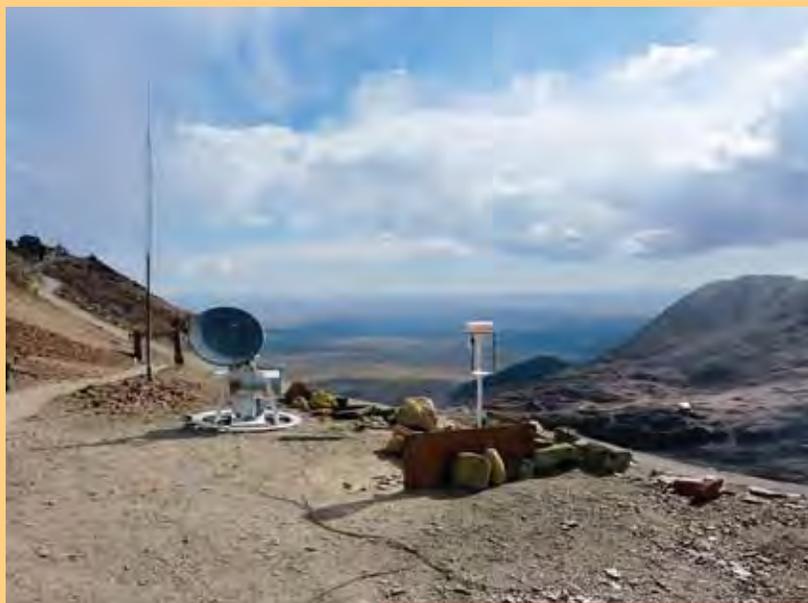
Mais cette corrélation n'est plus valable en climat tropical. Pour comprendre cette différence dans les processus, des chercheurs du laboratoire

Hydrosociences Montpellier ont calibré le signal isotopique à partir des précipitations actuelles. Ils ont mis en place un réseau de collecte des précipitations en Bolivie, au Pérou et en Équateur, au plus près des sites de carottage.

L'analyse des échantillons de pluie, couplée aux résultats de la modélisation climatique de l'Amérique du Sud tropicale, montre que leur composition isotopique est principalement contrôlée par la quantité de pluie qu'une masse d'air a perdue le long de sa trajectoire, depuis sa formation au-dessus de l'océan. À l'échelle interannuelle, les glaciers andins enregistreraient donc davantage l'histoire des variations d'humidité régionales que les variations de température.

Ces résultats ont montré que certaines régions d'Amazonie étaient plus humides au cours du dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans, et qu'une modification globale de température joue ainsi un rôle déterminant sur le régime des pluies dans cette région.

© IRD/F. Vimeux



Prélèvement de pluie pour la mesure des isotopes de l'eau à Chacaltaya (5 240 m), Bolivie.

Sédiments, coraux et autres archives climatiques

Les carottes glaciaires ne sont pas les seules archives climatiques exploitées pour étudier les climats du passé. Au-delà des régions polaires et des glaciers d'altitude, les sédiments lacustres et marins, les coraux ou les spéléothèmes (stalactites et stalagmites) sont également des marqueurs environnementaux intéressants pour reconstituer les climats passés.

© IRD/J.-L. Guyot

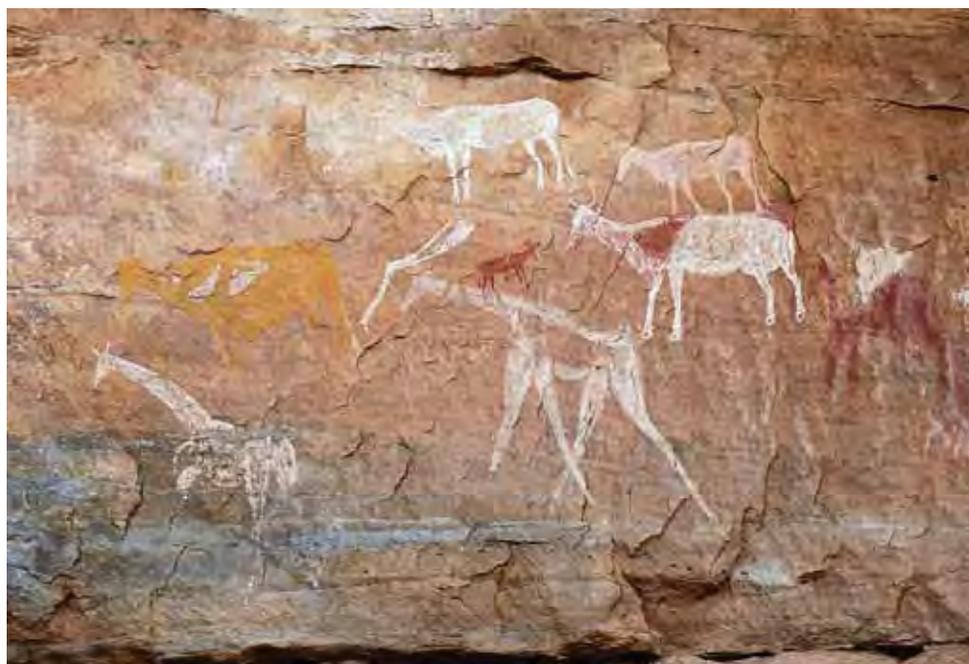


Des marqueurs environnementaux qui font parler le passé

Les concrétions carbonatées (stalactites, coraux) sont particulièrement utiles dans les reconstructions des variations de précipitations, de température et du niveau marin. Leur taux de croissance, les rapports isotopiques de l'oxygène et du carbone, la présence d'éléments traces (magnésium, calcium, strontium...), appuyés par les méthodes de datation, ont été largement utilisés pour étudier les changements dans le système de la

Caverne de Sao Bernardo au Brésil.

Les stalagmites (spéléothèmes) sont de bons traceurs de la variabilité passée des précipitations en Amérique du Sud.



© IRD/C. Leduc

Site préhistorique du Tadrat Akakus, Sahara libyen. Ces peintures rupestres sont les témoins d'un climat ancien moins aride que l'actuel.

Encadré 2

Une remontée exceptionnelle du niveau des mers dévoilée par les coraux du Pacifique

Grâce à des carottes prélevées sur des récifs coralliens au large de Tahiti, les chercheurs de l'unité Cerege et leurs partenaires ont reconstitué un des événements majeurs de la dernière déglaciation : une remontée exceptionnelle du niveau de la mer, associée à une débâcle glaciaire.

Depuis la fin de la dernière ère glaciaire, il y a 21 000 ans, notre planète a vu les océans s'élever de 120 m, pour atteindre le niveau actuel. Cette remontée n'a pas été constante, mais au contraire ponctuée d'accélération rapides, associées à des débâcles massives des calottes de glace. La plus importante de ces accélérations, que les paléoclimatologues nomment « Melt-Water Pulse 1A », est restée méconnue jusqu'à ce que l'équipe du Cerege, en collaboration avec les universités d'Oxford et de Tokyo, analyse des carottes récifales prélevées sur le pourtour de l'île de Tahiti, lors de l'expédition internationale IODP 310 « Tahiti Sea Level » en 2005.

Leurs travaux ont permis de décrire la chronologie, l'amplitude et la durée de cet événement. L'accélération de la montée du niveau marin a débuté il y a précisément 14 650 ans et coïncide avec le début de la période chaude, dite du « Bølling », qui marqua la fin de l'ère glaciaire. La hausse moyenne des mers aurait alors été de 14 m, en moins de 350 ans.

De plus, contrairement à l'hypothèse admise jusqu'ici, la calotte antarctique aurait contribué – pour moitié – à cette élévation. Cet apport massif d'eau douce a fortement perturbé la circulation océanique mondiale, se répercutant sur le climat global.

Ces résultats sont également très importants au regard de l'élévation actuelle et future des océans.

En effet, ils mettent en avant le comportement dynamique des calottes polaires en réponse à une augmentation de température, phénomène encore mal pris en compte dans les prévisions du Giec à l'horizon 2100.

Étude des coraux
(massif de *Diploastrea*)
aux îles Fidji.

La carotte extraite sera étudiée pour préciser l'histoire climatique du Pacifique sud.



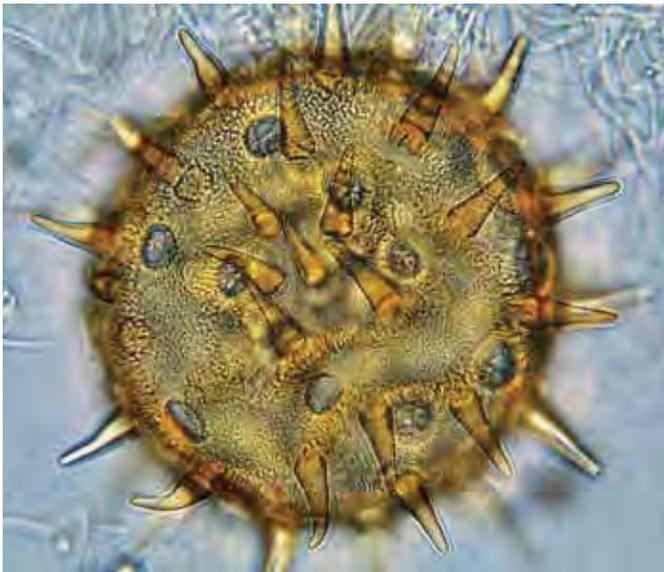
© IRD/J. Orempiller

mousson mondiale à différentes échelles de temps. Les sédiments enregistrent, eux, plusieurs types d'informations liées à l'origine, à la quantité et à l'état de préservation des éléments minéraux et organiques du sol. Les organismes caractérisés par des cycles de vie très courts, comme les diatomées et certaines algues, sont des bons marqueurs des changements des conditions physiques et chimiques du milieu. Le degré de préservation des éléments organiques et leur minéralisation renseignent aussi sur la température, le degré d'acidité ou l'oxygénation du milieu de dépôt. Par exemple, l'analyse de grains de pollen, collectés dans les sédiments du lac Tchad, a permis aux chercheurs de reconstituer la végétation et les précipitations qui régnaient dans la région il y a 6 000 ans, au cours de l'Holocène moyen. Ces résultats sont particulièrement intéressants car, à cette période, le Sahara est devenu peu à peu le désert que nous connaissons aujourd'hui. Ils permettent d'établir des modèles utiles à la compréhension des changements actuels dans un contexte climatique similaire, caractérisé par un réchauffement.

La reconstruction des paléoclimats andins

En Amérique du Sud, la collecte des indices dans les différentes archives paléoclimatiques a permis de reconstruire l'évolution des précipitations sur le continent. L'analyse des grains de pollen fossiles et des sédiments lacustres a en particulier donné une image du climat il y a 6 000 ans. Beaucoup plus sec qu'aujourd'hui, il a provoqué une réduction importante de la superficie de la forêt amazonienne. En parallèle, la découverte de couches de micro-charbons de bois, indicateurs d'incendies anciens, dans les sédiments lacustres et les sols, a prouvé l'exceptionnelle baisse d'humidité dans l'atmosphère à cette époque. Ces interprétations sont aussi confirmées par la tendance des valeurs de l'isotope de l'oxygène, qui indique une baisse des précipitations. Cette phase sèche s'explique, d'après des simulations paléoclimatiques, par une hausse de la température atmosphérique et un réchauffement des océans tropicaux, en réponse à une augmentation du rayonnement solaire reçu en surface. Cette augmentation graduelle de l'insolation aux latitudes tropicales sud depuis 10 000 ans est à l'origine d'un affaiblissement de la mousson sud-américaine et explique également le recul lent et progressif des glaciers andins durant cette période. Ces informations ont en particulier permis de montrer le caractère exceptionnel de la fonte des glaciers d'altitude en Amérique du Sud depuis le début de l'ère industrielle. La rapidité actuelle de la fonte depuis 1820 ne s'explique ainsi pas par les variations d'insolation, mais par d'autres mécanismes liés à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

© IRD/A.-M. Sémah



Grain de pollen d'*Hibiscus tiliaceus* (Malvaceae) au microscope optique. Les grains de pollen peuvent être de précieux indicateurs pour l'étude du climat.

Vimeux Françoise, Sifeddine Abdelfettah. (2015).

Apprendre des climats tropicaux passés.

In : Reinert M., Janicot Serge (ed.), Aubertin Catherine (ed.), Bernoux Martial (ed.), Dounias Edmond (ed.), Guégan Jean-François (ed.), Lebel Thierry (ed.), Mazurek Hubert (ed.), Sultan Benjamin (ed.), Sokona Y. (pref.), Moatti Jean-Paul (pref.).

Changement climatique : quels défis pour le Sud ?.

Marseille : IRD, 25-31. ISBN 978-2-7099-2168-8