

Le climat quand le thermomètre n'existait pas

Clara Lambin

Master en sciences géographiques, orientation « global change »

Introduction

Le réchauffement climatique est aujourd'hui un sujet au cœur de l'actualité. Mais pour pouvoir affirmer que la Terre connaît une hausse des températures anormale due à l'Homme, il faut pouvoir comparer les données climatiques présentes avec celles du passé et établir leur évolution. L'étude des climats passés, la paléoclimatologie, permet de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans les variations naturelles du climat et ainsi de mieux discerner le rôle de l'Homme dans le changement climatique que nous connaissons actuellement. Puisque les instruments de mesure utilisés en météorologie n'ont été inventés que récemment à l'échelle humaine, la paléoclimatologie doit se baser sur des indicateurs de changement climatique trouvés dans la nature pour pouvoir établir l'évolution des climats passés. Il existe divers éléments qui enregistrent les variations du climat, tels que la glace, les sédiments, les arbres, les coraux, le pollen, etc., et qui sont aujourd'hui encore disponibles dans la nature. Chaque élément permet la reconstruction du climat selon des échelles de temps et à des degrés de précision différents. Dans ce rapport, deux méthodes seront développées plus en détail : la dendrochronologie et l'étude des carottes glaciaires.

Dendrochronologie

La première méthode ici abordée est la dendrochronologie, qui comprend aussi la dendroclimatologie. La dendrochronologie est l'étude et la datation des anneaux de croissance des arbres ; la dendroclimatologie vise à tirer des informations climatiques de ces anneaux. Lorsqu'on coupe un tronc d'arbre de manière transversale, on peut y observer une succession de cercles clairs et foncés concentriques. Ces cercles forment les anneaux de croissance de l'arbre, aussi appelés cernes, et sont produits chaque année par l'arbre. Les cercles clairs correspondent au bois de printemps et d'été alors que les cercles foncés correspondent au bois d'automne et d'hiver. Un cerne est composé d'un cercle clair suivi d'un cercle foncé. Il est donc possible de connaître l'âge de l'arbre en comptant le nombre de cernes qui composent son tronc. Plus on s'éloigne du cœur du tronc, plus les cernes sont jeunes. Leur épaisseur dépend des conditions climatiques auxquelles l'arbre a été soumis durant l'année à laquelle le cerne a été produit.

Pour reconstituer le climat grâce aux arbres, il faut dans un premier temps déterminer l'année à laquelle correspond chaque cerne, rôle de la *dendrochronologie*. Dans un arbre vivant, le cerne situé directement sous la couche d'écorce coïncide à l'année en cours. A partir de là, il est facile de dater chaque cerne du tronc en remontant les anneaux de croissance vers le centre. Les plus vieux chênes permettent ainsi de remonter le temps 200 ans en arrière, alors que beaucoup de séquoias géants de Californie sont âgés de plus de 2000 ans. Toujours en Californie, dans les White Mountains, on peut retrouver certains pins à crochets vieux de 4800 ans. Pour étudier l'âge d'un arbre, il n'est heureusement pas nécessaire de l'abattre. Il existe certains instruments comme la tarière de Pressler qui permettent de prélever de fines carottes de bois d'environ 1 cm de diamètre dans les troncs. Pour une datation optimale des cernes, il est préférable que l'échantillon passe par le cœur du tronc.

Comme vu précédemment, les arbres vivants permettent de remonter le temps sur plusieurs siècles, voire quelques milliers d'années. Mais la dendrochronologie ne s'applique pas qu'aux arbres vivants. En effet, il est également possible d'analyser du bois plus ancien, comme par exemple les poutres de construction historiques qui permettent ainsi de remonter le temps jusque 12 000 ans en arrière. Pour ce faire, il faut d'abord standardiser l'épaisseur des cernes

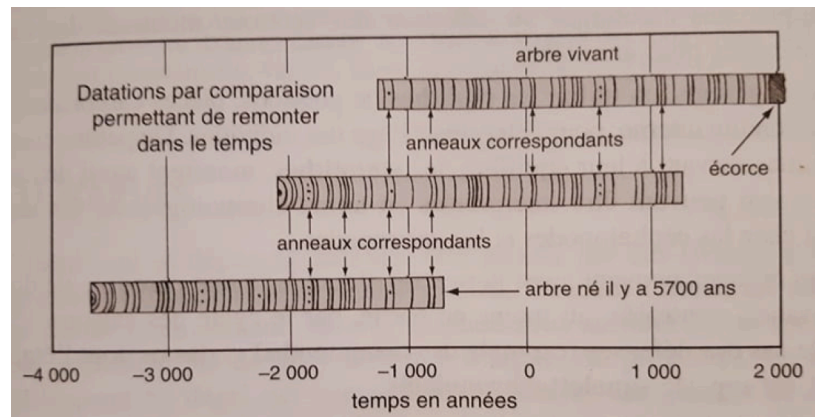


Figure 1 – Datation des échantillons de bois (Foucault, A., 2009)

des différents échantillons de bois. En effet, en supposant que les conditions climatiques restent identiques tout au long de sa vie, plus un arbre est vieux, moins les cernes qu'il produit sont épais. Standardiser l'épaisseur des cernes revient à calculer les dimensions théoriques qu'ils devraient avoir, si leur épaisseur n'avait pas été influencée par l'âge de l'arbre. Il existe pour cela diverses méthodes de calcul et formules.

Une fois les échantillons standardisés, on procède à leur synchronisation (Figure 1). À partir de l'arbre vivant dont l'année correspondant à chaque cerne est connue, on date les anneaux de croissance des échantillons plus anciens. Pour y arriver, on place l'échantillon de l'arbre vivant à côté d'un échantillon plus ancien qui, supposément, a vécu en même temps que le premier pendant un certain temps. Puisque que l'épaisseur des anneaux de croissance est fonction des conditions climatiques, on recherche les correspondances entre les cernes des deux échantillons. De ce fait, deux cernes correspondants ont été produits la même année par les deux arbres différents. Il est alors possible, par comparaison des carottes de bois, de dater la série complète d'échantillons. Il faut cependant faire attention à ce que ceux-ci soient de la même espèce d'arbre, car la croissance des cernes est différente selon les espèces et celles-ci réagissent différemment aux variations climatiques.

Lorsque l'entièreté des cernes de la série est datée, la prochaine étape consiste à tirer les informations climatiques qui en découlent. C'est le rôle de la *dendroclimatologie*. La croissance des arbres est principalement influencée par la température, les précipitations, l'humidité ambiante et l'ensoleillement. Si les conditions sont optimales, le cerne est à son épaisseur maximale. Si une des conditions n'est pas remplie à un niveau suffisant pour satisfaire pleinement la croissance de l'arbre, cette condition est appelée *facteur limitant* et fera diminuer l'épaisseur du cerne. Dans les forêts boréales, la température est le principal facteur limitant. Les variations d'épaisseur des cernes des arbres vivant dans ces régions sont donc surtout corrélées aux variations de température. S'il fait trop froid, ou trop chaud, le cerne sera plus fin que la normale, en fonction du seuil de tolérance à la température de l'espèce considérée. Aux abords de la Méditerranée, c'est l'eau qui est un facteur limitant, ce qui rend la croissance des arbres principalement dépendante aux variations des précipitations. Dans les climats tempérés, l'épaisseur des cernes est dépendante des deux facteurs en même temps, ce qui rend l'analyse climatique plus compliquée.

Prenons par exemple un arbre méditerranéen. Grâce aux données de précipitations récoltées aujourd'hui, on peut analyser comment un arbre vivant réagit aux variations de précipitations. Grâce à cela, on peut donc estimer la quantité de précipitations qu'il y a eue pendant une année déterminée sur base de l'épaisseur du cerne considéré. On peut ainsi retracer l'évolution des précipitations au cours du temps. On peut faire de même pour les forêts boréales concernant la température. Pour ce qui est des forêts tempérées, si le cerne n'est pas à son épaisseur optimale, cela peut aussi bien être dû à un refroidissement qu'à une sécheresse. Il

convient alors de comparer des séries de différentes espèces d'arbres ayant des seuils de tolérance différents en fonctions des facteurs pour affiner l'analyse.

Carottes glaciaires

La glace est un autre matériau capable d'enregistrer les variations du climat. La deuxième méthode de reconstruction paléoclimatique ici présentée est celle des carottes glaciaires. Celles-ci sont des échantillons de glace forés dans les glaciers et calottes polaires et permettent de reconstituer le climat sur des centaines de milliers d'années. Dans un premier temps, il convient d'expliquer brièvement la formation des glaciers. Nous verrons ensuite comment tirer des informations climatiques des carottes glaciaires.

Un glacier est formé par l'accumulation de couches de neige, qui se transforment peu à peu en glace au cours du temps. Une couche de neige fraîche qui se dépose à la surface d'un glacier est composée de gros flocons et l'air y circule facilement. Au fur et à mesure des années, de nouvelles couches de neige se déposent par-dessus. Écrasée par le poids de ces dernières, la couche de neige considérée se tasse et les flocons se transforment peu à peu en petits grains de glace entre lesquels l'air peut toujours circuler. La neige devient alors du névé, matériau intermédiaire entre la neige et la glace. Toujours sous le poids des couches supérieures, le névé fini par se transformer en glace. Les grains sont alors soudés entre eux et l'air ne peut plus librement y circuler : l'air y est piégé dans des bulles. Ces bulles sont alors isolées de l'atmosphère et conservent l'état que l'air avait au moment où elles ont été piégées.

Avant de se lancer dans l'analyse climatique des archives glaciaires, il convient de comprendre la notion d'isotope. Deux atomes sont des isotopes d'un même élément chimique lorsqu'ils contiennent le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons. Pour l'oxygène, on trouve dans la nature l'oxygène-16 (la forme la plus abondante avec 8 neutrons), l'oxygène-17 (9 neutrons) et l'oxygène-18 (10 neutrons). Ces isotopes ont les mêmes propriétés chimiques, mais pas les mêmes propriétés physiques, car ils n'ont pas la même masse atomique. Un isotope peut être stable (comme les trois isotopes de l'oxygène), ou radioactif (comme le carbone-14), c'est-à-dire qu'ils finissent par se désintégrer en une autre espèce chimique après un certain temps.

L'analyse de la proportion d'isotopes d'oxygène-16 et d'oxygène-18 présents dans les molécules de glace permet de connaître la température de l'air au moment où la couche s'est déposée sous forme de neige sur le glacier. Cela est dû à la différence de masse des deux isotopes. En effet, pour avoir des chutes de neige, il faut que l'eau s'évapore des océans pour créer des nuages. Or, les molécules d'eau qui contiennent de l'oxygène-18 sont plus lourdes que les molécules qui contiennent de l'oxygène-16. Elles s'évaporent donc moins facilement. De plus, le passage à l'état gazeux est influencé par la température : plus il fait chaud, plus l'évaporation est facile et inversement. Cela implique que, lorsque la température de l'atmosphère diminue, la quantité d'eau lourde qui arrive à s'évaporer diminue. Les nuages formés sont donc moins riches en oxygène-18 et la neige qui précipite sur le glacier contient moins d'oxygène-18 que la neige tombée lors d'une année plus chaude. Le même raisonnement peut être effectué en étudiant les proportions d'hydrogène et de deutérium (isotope stable de l'hydrogène contenant un proton et un neutron).

En datant les différentes couches de glace d'une carotte, on peut donc retracer l'évolution des températures. La plus grande carotte glaciaire, EPICA, longue de 3,2 km a été forée en Antarctique, sur le site du Dôme C et a permis de reconstituer le climat sur plus de 700 000 ans. Les méthodes de datations des carottes sont diverses. Elles impliquent le comptage direct des couches de glaces, à l'instar de la dendrochronologie, ou encore la datation grâce aux cendres volcaniques déposées sur la glace dont les dates de dépôt sont connues. On peut aussi dater la glace en comparant les résultats à d'autres enregistrements climatiques. Il existe également d'autres méthodes plus complexes, comme l'orbitochronologie ou l'étude des modifications des paramètres de l'orbite terrestre enregistrées dans la glace, qui ne seront pas développées ici.

L'analyse de la composition en gaz des bulles d'air permet, quant à elle, de connaître les concentrations en gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4), qui jouent un rôle dans l'évolution des températures. Les concentrations en pollens et en

poussières permettent de tirer des informations sur la végétation et l'occurrence des éruptions volcaniques. Il faut cependant tenir compte du fait que l'âge de l'air ne correspond pas à l'âge de la glace dans laquelle la bulle est piégée. En effet, comme expliqué ci-dessus, il faut un certain temps à la neige pour se transformer en glace. L'état de l'air piégé ne correspond donc pas à l'état de l'atmosphère au moment où la couche de neige s'est déposée. L'air des bulles est bien plus jeune que la glace qui les contient. On peut néanmoins dater l'air des bulles en connaissant le temps qu'il faut à la neige pour se transformer en glace. Le fait que la neige mette du temps à se transformer en glace fait en sorte que la résolution temporelle des carottes glaciaires est moins précise que celle de la dendrochronologie.

Aperçu d'autres méthodes

Les arbres et la glace ne sont pas les seules archives climatiques. L'étude des sédiments marins est la méthode paléoclimatique qui permet de remonter le plus loin dans le temps, sur plusieurs milliards d'années, mais avec une résolution temporelle moins bonne, car l'accumulation des sédiments et leur transformation en roche est un processus lent. Elle se base sur la quantité d'oxygène-18 présente dans les sédiments. À l'inverse de la glace, plus il fait froid, plus l'eau est riche en oxygène-18 car cet isotope s'évapore de moins facilement avec la diminution de température. Concernant les archives biologiques, l'étude des coraux permet entre autres de tirer des informations sur la température de surface de l'eau de mer grâce à l'analyse de la composition en oxygène-18 de leur squelette calcaire. Cette méthode permet de remonter le temps sur quelques siècles avec une précision temporelle annuelle, voire journalière dans certains cas. La palynologie est un autre exemple d'étude d'archives biologiques. Elle consiste à analyser les pollens tombés dans les sédiments de lacs, tourbières ou mers et permet de reconstituer la végétation passée, adaptée à un certain type de climat.

Conclusion

La reconstitution des climats passés est essentielle pour comprendre le climat présent et établir le rôle joué par l'Homme dans le réchauffement climatique actuel. Il existe dans la nature de nombreux éléments, organiques ou non, qui enregistrent les variations climatiques du passé et qui permettent ainsi de les reconstituer. Les arbres et la glace font partie de ces archives climatiques. Leurs méthodes de reconstruction climatiques associées, la dendrochronologie pour les premiers et l'étude des carottes glaciaires pour la seconde ont permis de retracer le climat sur des longues périodes et ainsi d'enrichir la connaissance sur l'évolution du climat pendant le Quaternaire. Ces méthodes présentent différents avantages et inconvénients. La dendrochronologie présente une bonne résolution temporelle et permet une datation précise des variations climatiques mais elle ne permet pas de remonter au-delà de 12 000 ans, alors que les carottes de glace polaire permettent de retracer le climat sur des centaines de milliers d'années, mais avec une résolution temporelle et datation moins précises. Ces deux méthodes ne sont pas les seules utilisées en paléoclimatologie, qui comprend également l'étude des sédiments marins, des pollens, des coraux, etc. La combinaison de ces méthodes permet d'avoir une bonne vue d'ensemble des climats que la Terre a connus et de mieux comprendre les mécanismes qui y sont en œuvre.

Pour en savoir plus

- Sur la dendrochronologie : <http://www.savoirs.essonne.fr/thematiques/le-patrimoine/archeologie/dendrochronologie-les-arbres-nous-parlent/>
- Sur les carottes glaciaires : <https://www.simplyscience.ch/archives-jeunes/articles/des-carottes-glaciaires-pour-sonder-le-climat-du-passe.html>
- Sur la carotte EPICA : https://www.actu-environnement.com/ae/news/projet_EPICA_antarctique_prix_descartes_UE_4706.php4
- Sur les archives climatiques en général : <https://books.openedition.org/septentrion/52810?lang=fr>