



*Séance solennelle de l'Académie des sciences / 21 juin 2011
Réception des nouveaux Membres sous la coupole de l'Institut de France*

Évolution du climat et de l'océan

Édouard Bard

Les conditions hospitalières que nous connaissons sur Terre dépendent d'une combinaison fortuite de plusieurs paramètres qui conditionnent l'état physique de l'eau sur notre planète : la distance Terre-Soleil, le rôle stabilisateur de la Lune et la composition chimique de notre atmosphère. En plus de cette dernière, le système climatique comprend d'autres compartiments très divers comme l'océan, les glaces marines et continentales, la biosphère et les sols. Le climat est aussi couplé à plusieurs grands cycles planétaires comme ceux de l'eau, du carbone ou de l'azote.

La complexité du système climatique vient du fait que tous ses compartiments sont en perpétuelle évolution. Les échanges d'énergie et de matière sont déstabilisés en permanence par de nombreux facteurs, notamment des variations cycliques - alternances diurne et saisonnière, cycles astronomiques de l'insolation... - ou des phénomènes irréguliers comme les éruptions volcaniques.

Comme on le voit, la climatologie est un domaine extrêmement large faisant appel à de nombreuses sciences fondamentales comme la physique, la chimie et la biologie. C'est aussi une discipline historique car un événement climatique doit toujours être analysé dans son contexte temporel et spatial.

Dans cette brève allocution, je veux simplement vous dire mon enthousiasme et mon émerveillement devant la diversité de nos recherches. Certains collègues regardent la machine climatique depuis l'espace avec des satellites, d'autres la mettent en équations permettant de

se projeter dans le futur grâce aux supercalculateurs.

Les variations du climat font intervenir des mécanismes et compartiments aux constantes de temps très différentes. Aussi est-il crucial d'avoir une perspective à long terme pour étudier les effets cumulés des forçages d'origines astronomiques et géologiques. Le climatologue se change donc en véritable archéologue. Nous recherchons les traces des variations climatiques du passé dans des archives comme les sédiments océaniques, les coraux, les stalagmites, les sédiments lacustres et les glaces polaires. Je vous laisse imaginer la diversité des expéditions que nous devons organiser pour les collecter.

L'archéologue du climat doit aussi utiliser des machines pour remonter le temps et analyser les traces fossiles des variations climatiques datant de quelques siècles à plusieurs millions d'années. Nos chronomètres et thermomètres les plus précis font appel à des techniques de chimie analytique.

Mon laboratoire d'Aix-en-Provence est donc encombré de spectromètres de masse, d'accélérateurs de particules, de scanners et de chromatographes divers. Cette batterie de sondes chimiques nous permet de mesurer le temps à l'aide d'isotopes radioactifs comme le carbone 14, l'uranium 234 et le thorium 230. Nous reconstituons les températures et d'autres paramètres environnementaux à partir de l'abondance de certaines molécules et de nombreux éléments de la classification périodique, ainsi que les compositions isotopiques de ces marqueurs chimiques.

Les traces paléoclimatiques étant fragiles et ténues, l'archéologue du climat est souvent obligé de croiser les informations de plusieurs indicateurs indépendants. La paléoclimatologie est donc une science de la redondance - redondance des archives, des géochronomètres et des paléothermomètres. Plusieurs de nos découvertes découlent justement de la confrontation de résultats obtenus par différentes méthodes. Je citerai la comparaison des thermomètres isotopiques, moléculaires et élémentaires, la confrontation des échelles de temps calculées par le radiocarbone et les séries de l'uranium ou encore l'analyse conjointe de plusieurs cosmonucléides dont les abondances sur Terre sont modulées par l'activité solaire.

L'archéologue du climat a la chance de pouvoir choisir ses périodes d'étude en sélectionnant et en réglant ses machines à remonter le temps. L'intérêt est d'alterner entre les

environnements anciens et actuels afin de les comparer et de calibrer les outils utilisés pour les reconstitutions. Un même isotope comme le carbone 14 m'a donc servi à comprendre le cycle du carbone en étudiant le devenir actuel des molécules de CO₂ d'origines naturelle et anthropique, ainsi qu'en reconstituant, pour des périodes anciennes, les échanges de CO₂ entre l'atmosphère et l'océan, ainsi que sa diffusion dans les masses d'eaux profondes.

La précision des indices climatiques s'est considérablement améliorée au cours des dernières décennies, et le paléoclimatologue peut mettre en évidence des changements extrêmement rapides. C'est le cas des variations glaciaires brusques, comme en témoignent nos reconstitutions de la température et du niveau des mers. Elles nous enseignent notamment que les taux d'évolution ont atteint localement plusieurs degrés par siècle pour la température et plusieurs mètres par siècle pour le niveau marin global.

Ces évolutions naturelles ne doivent pas conduire à minimiser les évolutions récentes ou prévues pour le prochain siècle. Elles témoignent, au contraire, de la sensibilité du climat de la Terre aux forçages externes, qu'ils soient d'origines astronomiques, géologiques ou anthropiques.

Le paléoclimatologue a pleinement conscience de la complexité d'un système constamment perturbé par des effets qui se superposent dans le temps et dans l'espace. L'évolution du niveau marin est emblématique car les observations sur un trait de côte particulier sont liées à la superposition d'effets géologiques, océanographiques et climatiques.

La mémoire de notre planète peut même se lire dans ces évolutions locales car toutes les côtes sont, encore aujourd'hui, affectées par d'amples déformations liées à la disparition des calottes de glace qui recouvraient une partie de l'hémisphère nord, il y a 21 000 ans. Il est même nécessaire de quantifier cette mémoire glaciaire pour corriger les données des satellites qui tournent en ce moment au dessus de nos têtes, mesurant l'évolution actuelle du niveau marin ou des masses d'eau stockées dans les océans, les glaciers, les calottes polaires, et les aquifères continentaux.

Comprendre le système climatique est donc une tâche difficile et nous avons encore beaucoup de progrès à faire. Ceci nous oblige à faire preuve de modestie et de pédagogie de la complexité lorsque nous parlons de nos résultats. Je ferai de mon mieux pour suivre cette

quête tout en restant ouvert à l'inconnu.

Je vous remercie de me faire l'honneur de m'accueillir parmi vous.