



Pourquoi la paléoclimatologie ?

Avant-propos

Il existe certes bon nombre de livres sur les climats anciens, traitant à la fois de leur reconstruction à partir de données indirectes et de leur simulation à partir de modèles de complexité diverse. La plupart d'entre eux sont toutefois rédigés en langue anglaise (par exemple, [1]). Malgré l'existence de plusieurs monographies sur le climat rédigées en langue française [3,7,8,10,12–14,17–21,23,28,29], il nous a semblé intéressant de produire une synthèse en français des résultats récents obtenus grâce aux archives du climat de la Terre, riches d'enseignement sur le fonctionnement du système climatique et d'informations sur l'impact des changements de climat sur l'environnement. Estimant le temps opportun, nous avons opté délibérément pour une revue écrite en termes simples, accessible à toute personne ayant une formation scientifique élémentaire. Pour ce faire, un nombre restreint de thèmes a été sélectionné parmi les recherches originales traitées en Europe francophone. Elle ne se veut donc en aucune manière une revue extensive du sujet, ni une sélection des seules meilleures recherches des équipes francophones. Il est certain que d'autres sujets auraient pu être sélectionnés et le choix présent ne reflète dès lors que celui des éditeurs.

Au cours des dernières décennies, la paléoclimatologie a acquis ses lettres de noblesse. Actuellement, elle est devenue indispensable pour appréhender le fonctionnement du système climatique et valider les modèles qui servent à établir des projections pour le futur. Grâce à l'étude des climats du passé, une banque de données, qui comporte une diversité de changements climatiques bien supérieure à celle qui caractérise les derniers siècles, a pu être créée. Cette diversité permet de tester les modèles climatiques dans des situations largement différentes de celles que nous avons

connues au cours des 150 dernières années et donc vraisemblablement plus proches de celles qui nous attendent dans le futur si on s'en réfère aux conclusions du Groupe intergouvernemental pour l'étude du climat (voir par exemple les deux numéros thématiques publiés dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, (dans la série *Science de la Terre et des planètes*, puis *Geoscience*), intitulés Énergies et Climat [30] et *L'effet de serre* [25]).

Après un premier article, de E. Bard [2], qui illustre bien les débuts de la recherche sur la reconstruction des climats anciens du XIX^e et du XX^e siècles, la succession des articles sera plus ou moins celle de l'évolution du climat de la Terre, de son origine à nos jours. Ainsi, Ramstein et al. [26] aborde les climats au pré-Quaternaire. Nous sommes, depuis près de 3 Ma, entrés dans la glaciation du Quaternaire. Auparavant, le climat était la plupart du temps relativement chaud. De temps en temps, toutefois, ce climat plongeait dans une période glaciaire similaire au Quaternaire, voire plus froide. Plusieurs épisodes ont été reconnus il y a 750 à 580 Ma, conduisant à une situation où la Terre était alors presque totalement couverte de glaces. Comment, et où, la vie a-t-elle bien pu se réfugier pour se poursuivre après ? Raynaud et Lorius [27] nous font ensuite découvrir le monde des cycles glaciaires–interglaciaires du Quaternaire, grâce aux archives préservées dans les glaces polaires. Ces archives illustrent bien la différence majeure qui existe entre un monde glaciaire et le monde interglaciaire dans lequel nous vivons. La dernière phase glaciaire date de 21 000 ans. À cette époque, nous avons cinquante millions de kilomètres cubes de glaces de plus qu'aujourd'hui gelées sur les continents, et le niveau moyen de la mer était 120 m en dessous de son niveau actuel. La température annuelle de l'air, à la surface de la Terre, était globalement inférieure de 5 à 6 °C par rapport à l'ac-

tuelle, avec une concentration en CO₂ de 200 ppmv (partie par million en volume), de 30 % plus faible qu'en période de climat naturellement chaud, comme par exemple dans toute la période historique qui a précédé le début de l'ère industrielle. Le texte suivant, par Duplessy [9], explique comment, à partir des carottes dans les sédiments marins, on peut estimer la température et la salinité de l'eau, afin de reconstituer la circulation océanique du passé. La contribution de Guiot et Cheddadi [11] sur les écosystèmes terrestres explique alors le rôle des pollens fossiles trouvés dans les sédiments continentaux, essentiellement les anciens lacs et les tourbières. Cela permet de spécifier quel type de végétations existait à une époque déterminée. Malgré les hiatus, relativement fréquents, ces reconstructions nous permettent de disposer d'une haute résolution, allant jusqu'à l'échelle d'une année. La variation du niveau des mers, présentée par Lambeck [16], peut être reconstituée grâce aux terrasses marines qui indiquent le niveau des océans à différentes époques de l'histoire de la Terre. Ces changements de niveau ont des conséquences dramatiques sur les étendues de terre et sur la vie des écosystèmes. Lors du dernier maximum glaciaire avec un niveau moyen de la mer 120 m plus bas qu'à présent, la Grande-Bretagne était reliée à l'Europe et le détroit de Béring était à sec. Tout cela a permis des migrations des espèces, y compris la colonisation du continent américain par les humains.

L'évolution des gaz à effet de serre, en particulier du CO₂, explique pour partie les variations des climats anciens. Il nous faut donc comprendre comment la concentration atmosphérique en CO₂ est susceptible de varier pour des causes purement naturelles. C'est l'objet de l'article sur les cycles biogéochimiques que nous présentent Marchal et Chappellaz [22]. On s'aperçoit vite que le cycle du carbone est lié à celui des nutriments, le phosphore et l'azote. Aussi faut-il étudier tous ces cycles pour pouvoir appréhender ceux du carbone ou du méthane.

Il existe une explication astronomique aux variations du climat liées aux cycles glaciaires-interglaciaires. Cette explication, donnée par Berger et Loutre [4], est basée sur le fait que la distribution en latitudes et selon les saisons de l'énergie qui nous vient du Soleil varie dans le temps en fonction de trois paramètres astronomiques. Ceux-ci sont liés à la forme de l'orbite de la Terre, à l'inclinaison de son axe de rotation et à la distance Terre-Soleil au moment d'une sai-

son particulière. Les simulations faites à partir de modèles climatiques permettant de couvrir le dernier million d'années ont souligné toute l'importance de ces variations astronomiques et de celles des gaz à effet de serre. Ces modèles de complexité réduite sont, en fait, complémentaires des modèles tridimensionnels de circulation générale utilisés pour faire des photographies instantanées du climat. C'est ce qu'explique Braconnot [6] pour le dernier maximum glaciaire et l'optimum climatique de l'Holocène.

Mais le monde glaciaire nous montre, en plus, des changements abrupts spectaculaires. Il s'agit d'une découverte importante, car elle indique clairement que le climat peut parfois varier de manière dramatique en seulement quelques centaines d'années, comme en discutent Labeyrie et al. [15]. Ces changements abrupts sont liés à la dynamique des calottes polaires. Leur fonte, comme le montre Paillard [24], tend à ralentir la circulation océanique qui contribue à amener l'énergie nécessaire dont les hautes latitudes de l'hémisphère nord ont besoin pour assurer des conditions tempérées similaires à celles que nous observons actuellement.

Pour terminer, Bertrand [5] se penche sur le climat du dernier millénaire, au cours duquel il semblerait bien qu'à une période chaude, au Moyen Âge ait succédé un petit âge glaciaire qui s'est terminé fin du XIX^e siècle pour faire alors place au réchauffement global que nous connaissons actuellement. Mais quelles peuvent être les causes de ces variations climatiques si proches de nous ?

Cette synthèse permet de découvrir la trame suivie dans cette publication pour illustrer les apports de la paléoclimatologie à notre connaissance de quelques-unes des variations que le climat de la Terre a subies depuis son origine jusqu'à nos jours. Pour une revue plus exhaustive des changements climatiques et de leurs causes, le lecteur intéressé devra se référer à la littérature plus spécialisée que les auteurs de ce numéro spécial ont indiquée dans leur liste de références, ainsi qu'à la liste ci-après.

André Berger

Jean-Claude Duplessy

Adresse e-mail : berger@astr.ucl.ac.be (A. Berger)

Références

- [1] K.D. Alverson, R.S. Bradley, Th.F. Pedersen, Paleoclimate, Global Change and the Future, in : The IGBP Series, Springer, Berlin, 2003, 221 p.
- [2] E. Bard, Effet de serre et glaciations, une perspective historique, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [3] A. Berger, Le climat de la terre, un passé pour quel avenir ?, de Boeck Université, Bruxelles, 1992.
- [4] A. Berger, M.-F. Loutre, Théorie astronomique des paléoclimats, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [5] C. Bertrand, Les derniers 1000 ans, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [6] P. Braconnot, Modéliser le dernier maximum glaciaire et l'Holocène moyen, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [7] J.-C. Duplessy, Quand l'océan se fâche, Éditions Odile Jacob, Paris, 1996.
- [8] J.-C. Duplessy, P. Morel, Gros temps sur ma Planète, Éditions Odile Jacob, Paris, 1990.
- [9] J.-C. Duplessy, La circulation globale de l'océan et ses variations dans le passé, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [10] J.-L. Fellous, Avis de tempêtes, Éditions Odile Jacob, Paris, 2003.
- [11] J. Guiot, R. Cheddadi, Variabilité des écosystèmes terrestres et du climat sur un cycle glaciaire-interglaciaire, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [12] J.-M. Jancovici, L'avenir climatique, Collection Sciences Ouvertes, Éditions du Seuil, Paris, 2002.
- [13] R. Kandel, Les eaux du Ciel, Sciences Hachettes Littératures, 1998.
- [14] S. Joussaume, Climat d'hier à demain, Sciences au Présent, CNRS Editions–CEA, Paris, 1993.
- [15] L. Labeyrie, J. Jouzel, C. Levi, Changements abrupts dans un monde glaciaire, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [16] K. Lambeck, Sea-level change through the last glacial cycle: geophysical, glaciological and palaeogeographic consequences, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [17] G. Lambert, La terre chauffe-t-elle ?, EDP Sciences, Les Ulis, 2001.
- [18] G. Lambert, L'air de notre temps, Éditions du Seuil, Paris, 1995.
- [19] H. Le Treut, J.-M. Jancovici, L'effet de serre, Dominos Flammarion, 2001.
- [20] C. Lorius, Glaces de l'Antarctique, Éditions Odile Jacob, Paris, 1991.
- [21] C. Lorius, R. Genthon, L'Antarctique, Dominos Flammarion, 1996.
- [22] O. Marchal, J. Chappellaz, Sur les variations pré-industrielles du CO₂ et CH₄ atmosphériques – On pre-industrial variations of atmospheric CO₂ and CH₄, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [23] J.-F. Minster, Les Océans, Dominos Flammarion, 1994.
- [24] M. Paillard, Modéliser les événements rapides au sein du système climatique, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [25] M. Petit (Ed.), Effet de serre, impacts et solutions : quelle crédibilité ?, C. R. Geoscience 335 (2003) 497–658.
- [26] G. Ramstein, Y. Donnadieu, Y. Goddérès, Les glaciations du Protérozoïque, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [27] D. Raynaud, C. Lorius, Climat et atmosphère : la mémoire des glaces, C. R. Geoscience 336 (2004).
- [28] R. Sadourny, Le Climat de la terre, Dominos Flammarion, 1994.
- [29] B. Tissot, Halte au changement climatique, Éditions Odile Jacob, Paris, 2003.
- [30] B. Tissot, C. Lorius (Eds.), Énergies et Climats, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa 333 (2001) 757–843.