

PALÉOCLIMATOLOGIE. — *Essai sur le rôle de la zone tropicale dans les changements climatiques; l'exemple africain* (1). Note (*) de M. Jean Maley, présentée par M. Théodore Monod.

Vers la fin du Pléistocène, entre 24 000 et 22 500 ans, l'énergie solaire reçue par le Globe commence à augmenter. Le réchauffement ainsi produit se manifeste dès ce moment aux basses latitudes créant un fort gradient thermique entre les pôles et l'équateur, entraînant des échanges méridiens intenses. Ainsi, l'air humide tropical a pu favoriser la croissance rapide des inlandsis.

Vers la fin du Pléistocène supérieur deux phases lacustres différentes sont mises en évidence au Sahara central et méridional par la stratigraphie, les datations absolues et la paléoécologie. La première phase est assez bien individualisée dans le bassin du Tchad (2), elle débute un peu avant 30 000 ans B.P. et se termine vers 25 000 ans. Cette phase est aussi présente en Afar (3). La seconde phase, datée de 24 000 ± 1 000 à 20 000 ± 1 000 ans a été reconnue à travers le Sahara (Mauritanie, Sahara algérien, Ténéré, Tchad, Nubie et Afar); durant cette période le Nil saharien atteint ses plus hauts niveaux pour le Quaternaire récent. Une phase sédimentaire de même âge existe au sud du Cameroun (6° 30' N) ainsi qu'au lac Nakuru dans l'Est Africain.

L'analyse pollinique de plusieurs sédiments du centre du Tchad (vers 15° N) appartenant à ces deux phases permet de préciser les conditions écologiques de leur dépôt. Les sédiments actuels et holocènes du Tchad comportent en très grande majorité des pollens de taxons tropicaux et en pourcentages très faibles des pollens de taxons vivant au Sahara central et septentrional (élément saharo-sindien). Par contre, les sédiments de la première phase comportent en grande majorité des pollens de taxons appartenant à l'élément saharo-sindien ainsi que de nombreux pollens de Cupressaceae, famille ayant actuellement une grande extension en zone méditerranéenne. Ceci pourrait s'interpréter par un climat nettement plus frais que l'actuel et de type méditerranéen, au moins pour le Sahara septentrional. Les sédiments de la seconde phase comportent les mêmes types polliniques, mais le fait essentiel est l'apparition de pollens de plantes tropicales. On peut donc provisoirement conclure que cette phase voit la réapparition des conditions tropicales au Tchad, dans un environnement toujours frais et avec encore des pluies hivernales sur le Sahara septentrional. Cette hypothèse est renforcée par la réapparition de diatomées tropicales au cours de cette même phase dans l'Afar (3).

Aussitôt après, dans le bassin du Tchad et probablement dans la majeure partie du Sahara, intervient une importante période aride. L'aridité est alors générale en zone tropicale et dans une moindre mesure en zone méditerranéenne. En Afrique elle se termine entre 12 000 et 13 000 ans. Cependant cette aridité n'est effective qu'en plaine. En altitude, aussi bien en zone tropicale (Tibesti, Hoggar, nord-ouest de l'Éthiopie, Mont Kenya, Ruwenzori, Kilimanjaro, etc.) qu'en zone méditerranéenne (4), il est possible de trouver des dépôts glaciaires ou lacustres ou fluviaux.

En Europe comme en Amérique du Nord, l'avancée glaciaire maximale s'est située entre 18 000 et 20 000 ans; ensuite jusqu'à vers 15 000 ans les inlandsis restèrent en équilibre et conservèrent à peu près le même volume de glace. Dans les plaines russes une nouvelle

29 OCT. 1976

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

no 8 HOK M géol

avancée des glaciers (Glaciation récente de Valdai) s'est faite à partir de 24 000 ans. En 4 000 ans la glaciation était à son maximum pour décroître ensuite et disparaître complètement vers 10 000 ans. Le développement des glaciers dans les Alpes s'est fait aussi suivant le même schéma chronologique.

La majorité des auteurs admet que la variation de la radiation solaire reçue par le Globe est la cause principale des changements climatiques. Cette variation semble causée en premier lieu par les facteurs astronomiques. Lorsqu'on examine les courbes de sa variation aux principales latitudes, on constate que les extensions glaciaires ne correspondent pas toujours avec les périodes de baisse relative de cette radiation. Par exemple la dernière grande extension glaciaire débute il y a $24\,000 \pm 1\,000$ ans (datation ^{14}C); la diminution de la baisse de la radiation solaire puis le début de son augmentation à toutes les latitudes de l'hémisphère Nord se situe entre 24 000 et 22 500 ans (datations astronomiques). Malgré l'absence de repères chronologiques communs, il est probable que les deux phénomènes sont liés. En effet, il apparaît bien que le facteur limitant les extensions glaciaires n'est pas la température de l'air. Par exemple depuis 40 000 ans (domaine du ^{14}C), les périodes de fortes extensions glaciaires semblent plutôt correspondre à des périodes de réchauffement (par exemple celle centrée vers 36 000 ans), qu'à des périodes de refroidissement. On doit en conclure que c'est l'absence ou la faible disponibilité d'air humide qui bloquait le développement des inlandsis et des glaciers. En effet on peut penser qu'une baisse de la radiation solaire entraînerait celle des températures, mais aussi un ralentissement de la circulation atmosphérique d'où une diminution des précipitations. Tout change à partir de $24\,000 \pm 1\,000$ ans : la tendance au réchauffement à toutes les latitudes crée un gradient thermique entre les pôles et les tropiques qui va aller en s'amplifiant, provoquant une accélération des échanges méridiens (chaleur latente et chaleur sensible). Les différents faits exposés ici peuvent s'expliquer en suivant le schéma de circulation présenté par H. H. Lamb ⁽⁵⁾ montrant qu'au début d'une glaciation la croissance rapide des inlandsis est due à une arrivée massive d'air tropical.

Par contre, après un interglaciaire tempéré, une période de baisse de la radiation solaire, entraîne, du fait en particulier du volant thermique des océans, un refroidissement beaucoup plus marqué des latitudes élevées, particulièrement des zones continentales, que des basses latitudes. Un nouveau gradient thermique s'installerait et suivant le même schéma que précédemment provoquerait un apport d'air humide d'origine tropicale. Puis inéluctablement, le gradient thermique diminuant par une certaine égalisation des températures, la circulation atmosphérique ralentirait et les inlandsis, n'étant presque plus alimentés, régresseraient. Le récent « Petit Age Glaciaire » est un bon exemple de ce début de glaciation. Il faut remarquer que le lac Tchad atteignit alors un très haut niveau ⁽⁶⁾.

La réapparition de conditions tropicales à partir de $24\,000 \pm 1\,000$ ans dans la partie méridionale du Sahara indique donc une réactivation de la mousson liée au déplacement du Front Intertropical (FIT). L'analyse pollinique d'une tourbe de la région d'Abidjan (Côte-d'Ivoire) datée de $23\,000 \pm 1\,000$ ans ⁽⁷⁾ a fourni un spectre qui écarte la présence de la forêt dense dans ce secteur. Ceci pourrait s'expliquer par un fort gradient thermique pôle Nord-équateur durant l'hiver boréal. R. E. Newell ⁽⁸⁾ a montré que plus le gradient thermique est grand moins la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) remonte vers le Nord. On peut donc penser que le FIT demeurerait plusieurs mois en hiver à une latitude très basse, entraînant ainsi une descente prolongée des alizés continentaux froids jusqu'à

ces latitudes, puisqu'actuellement ils ne s'y manifestent que faiblement et durant au maximum un mois. On peut penser qu'alors c'est leur action prolongée ainsi que celle des températures plus basses qui auraient détruit la majeure partie de la forêt dense. Ensuite la remontée du FIT vers le Nord pouvait avoir lieu du printemps à l'automne. Une partie de l'air humide de la mousson pouvait être repris par la circulation atmosphérique des moyennes et hautes latitudes et servir à la croissance des glaciers et des inlandsis.

Cette phase climatique si particulière (ou d'autres comparables à des périodes plus anciennes) pourrait avoir favorisé la dispersion simultanée à travers l'Afrique des flores sèches⁽⁹⁾ et des flores montagnardes de moyenne altitude.

Ensuite pour la seconde phase ($20\,000 \pm 1\,000$ à $13\,000 \pm 1\,000$ ans), on doit imaginer une circulation atmosphérique assez différente de l'actuelle, causée par un gradient thermique très important dans l'hémisphère Nord. Pour la période de glaciation maximale, Newell⁽⁸⁾ donne un gradient de 40°C à 700 mb, avec la ZCIT demeurant toute l'année dans l'hémisphère Sud (moyenné globale). Du fait de la stabilité des inlandsis jusque vers 15 000 ans, leur albédo élevé (de 0,7 à 0,9) devait maintenir des températures très basses. Par contre dans la zone tropicale et aux latitudes moyennes, les diverses courbes de température publiées pour les zones continentales, montrent une élévation rapide de la température. Tout ceci implique une circulation atmosphérique très rapide avec des échanges méridiens intenses.

Tout un ensemble de faits nous montre qu'alors l'action désertifiante des alizés continentaux pouvait s'étendre en Afrique jusqu'au sud de l'équateur, entraînant le démantèlement de la forêt dense. A cette époque le fleuve Congo avait presque complètement cessé de couler⁽¹⁰⁾, ce qui implique une disparition de presque toute la forêt actuelle du Zaïre.

Des études phytogéographiques précises⁽¹¹⁾ ont montré qu'à une époque éloignée, la forêt ne subsistait que sur quelques « bastions » isolés. On peut penser que ces bastions datent de cette époque aride et que la forêt n'a pu s'y maintenir que grâce à leur situation géographique à l'abri de ces alizés, comme sur certains massifs montagneux, par exemple le secteur camerouno-gabonais. D'autre part, à cette époque, une augmentation importante de la pluviosité a été constatée par 20°S et aussi de 100 % par environ 29°S ⁽¹²⁾. Tout ceci ferait penser à un déplacement de la zone tropicale vers le Sud. Un schéma voisin de circulation atmosphérique pourrait aussi être appliqué à l'Amérique du Sud car des faits assez semblables y ont été observés pour la forêt amazonienne [(13), (11)].

L'air humide qui se formait dans les ascendances de la ZCIT devait être forcé de gagner les latitudes moyennes et hautes en circulant en altitude en suivant peut-être des couloirs privilégiés. Il faut donc concevoir une accélération des cellules de Hadley, avec au niveau du sol un puissant alizé froid de secteur nord qui modelait des ergs jusque vers 10°N , soit 6° plus au sud qu'actuellement, et en altitude un air humide et relativement plus chaud qui provoquait des précipitations sur les montagnes des zones tropicale et méditerranéenne. L'aridité en plaine était donc une conséquence de la circulation atmosphérique.

Actuellement ce type de circulation en altitude existe épisodiquement sur le Sahara. Des « gouttes » d'air froid y descendent le long de thalwegs creusés dans l'anticyclone saharien et sont recouverts ensuite par de l'air humide tropical. Cette situation conduit à des perturbations qui se manifestent par des bandes nuageuses diagonales joignant

la ZCIT avec les systèmes nuageux des zones extratropicales, comme par exemple le 21 septembre 1969 entre Dakar et Leningrad ⁽¹⁴⁾. Ce phénomène est très général sur l'ensemble du Globe, comme le montrent les photographies prises par satellites ⁽¹⁴⁾.

(*) Séance du 31 mai 1976.

(1) Remarques et encouragements de M. le Pr H. H. Lamb (*in litt.* 7-4-76).

(2) M. SERVANT, *Séquences continentales et variations climatiques : Évolution du bassin au Tchad au Cénozoïque supérieur* (Thèse, Paris, 1973).

(3) F. GASSE, *L'évolution des lacs de l'Afar central (Éthiopie et TFAI) du Plio-Pléistocène à l'Actuel* (Thèse, Paris, 1975).

(4) B. MESSERLI, *Geographica Helv.*, 22, (3), 1967, p. 105-228.

(5) H. H. LAMB et A. WOODROFFE, *Quatern. Res.*, 1, 1970, p. 29-58.

(6) J. MALEY, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 14, (3), 1973, p. 193-227.

(7) P. ASSEMIEN, L. MARTIN, J. FILLERON et J. TASTET, *Bull. Ass. sénég. ét. Quat. ouest afr.*, 25, 1970, p. 65-78.

(8) R. E. NEWELL, *Nature*, 245, 1973, p. 91-92.

(9) Th. MONOD, *Mitt. Bot. Staatssamml. München.*, 1971, p. 375-423.

(10) J. DE PLOEY, *Palaeoecology of Africa*, 4, 1969, p. 65-68.

(11) A. AUBREVILLE, *Adansonia*, 2, (1), 1962, p. 16-84.

(12) E. M. VAN ZINDEREN BAKKER et K. BUTZER, *Soil Sc.*, 116, (3), 1973, p. 236-348.

(13) Th. VAN DER HAMMEN, *Geologie en Mijnbouw*, 51, (6), 1972, p. 641-643.

(14) H. FLOHN, *Bonner Meteo. Abhand.*, 1971, 15, 55 p.

Laboratoire de Palynologie du C.N.R.S., E.R. 25,
Université des Sciences et Techniques du Languedoc,
34060 Montpellier.

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer,
Centre de N'Djaména,
Tchad.