
Le cadre chronologique des phases pluviales et glaciaires de l'Afrique

Partie II

H. Faure

L'histoire des derniers millions d'années de notre globe a été marquée par des alternances répétées de profondes modifications de climat. Le phénomène le plus marquant, bien connu depuis plus d'un siècle, est certainement l'extraordinaire avancée et le recul des glaciers des hautes latitudes et altitudes. Ce phénomène traduit des refroidissements importants ayant une profonde influence sur l'environnement et la vie des hominidés. En Afrique, la manifestation la plus spectaculaire des variations climatiques quaternaires est marquée par l'extension des domaines lacustres dans les zones actuellement arides et le développement de grandes étendues dunaires en direction de régions qui connaissent maintenant un climat plus humide.

Depuis une dizaine d'années, la chronologie de ces événements climatiques a considérablement progressé grâce, pour les trente mille dernières années, à l'utilisation méthodique des mesures radiochronologiques au carbone 14. Pour les derniers millions d'années, la chronologie des inversions magnétiques, appuyée sur des mesures radiométriques par la méthode argon-potassium Ar/K, autorise des corrélations à distance avec les autres régions où ces méthodes sont également utilisées, et notamment avec le domaine océanique.

Avant que ces méthodes de corrélations chronologiques aient été employées, la stratigraphie du Quaternaire était principalement appuyée sur la succession des événements climatiques, considérée comme un cadre chronologique. Les corrélations de régions à régions étaient faites en parallélisant les époques successives de climats semblables. Ainsi on avait

proposé assez arbitrairement une correspondance entre les périodes glaciaires européennes et les phases pluviales africaines. Cette vision connaissait des oppositions proposées par plusieurs auteurs (Tricart-1956, Balout-1952, etc.).

La réponse apportée à cette question de corrélation se révèle beaucoup plus complexe dans la réalité et commence seulement à être entrevue grâce à une meilleure connaissance des mécanismes de la climatologie globale d'une part et à la chronologie climatique détaillée des derniers milliers d'années, d'autre part.

Magnétostratigraphie et chronologie radiométrique:

En plus des remarques faites plus haut par Rushdi Said, il faut noter qu'une confusion fréquente a été faite entre les unités lithostratigraphiques, biostratigraphiques et chronostratigraphiques, si bien que le manque de rigueur dans les définitions entraîne une nomenclature souvent difficilement utilisable dans un cadre chronologique qui s'affine.

Par ailleurs certains éléments du champ magnétique comme l'inclinaison ou l'intensité semblent en relation très étroite avec des éléments du climat (fig. 1 et fig. 2).

Glaciations quaternaires et chronologie

Durant le Quaternaire, il est probable qu'au moins une douzaine de refroidissements importants ont été enregistrés dans les dépôts continus accumulés au fond des océans (voir fig. 2). Environ huit seulement ont été reconnus dans les dépôts continentaux de l'Europe du Nord. Les terrasses fluviatiles et les dépôts glaciaires de la région alpine sont eux rattachés à quatre (ou six) glaciations classiques: Günz, Mindel, Riss, Würm (et Donau, Biber) pouvant comprendre chacune un nombre de « stades ».

Le caractère discontinu des témoins continentaux rend ainsi difficiles et souvent illusoire les corrélations entre les périodes glaciaires de régions éloignées lorsqu'elles ne sont pas situées avec certitude par rapport à une échelle magnétochronologique ou radiométrique. En effet, la chronologie classique des glaciations alpines n'est pas située avec précision dans le temps. Les termes Günz, Mindel, Riss, Würm, Biber ont été utilisés dans des régions variées pour des formations non synchrones. Ainsi la chronologie (Ar/K.) des roches volcaniques intercalées dans les terrasses du Rhin attribuerait aux formations appelées « Mindel I et II » un âge 0,3 et 0,26 M.A., et aux terrasses dénommées « Günz I et II » un âge de 0,420-0,34 M.A. Mais le même terme de « Günz » est parfois appliqué à la période froide qui précède le Cromérien et, qui aurait donc un âge de 0,9 à 1,3 M.A. coïncidant avec la période froide précédant l'événement de Jaramillo dans les carottes sous marines. Dans cette dernière interprétation, le « Donau », période froide précédente, devrait comprendre l'événement de Gilsa, et être l'équivalent de l'Eburonien.

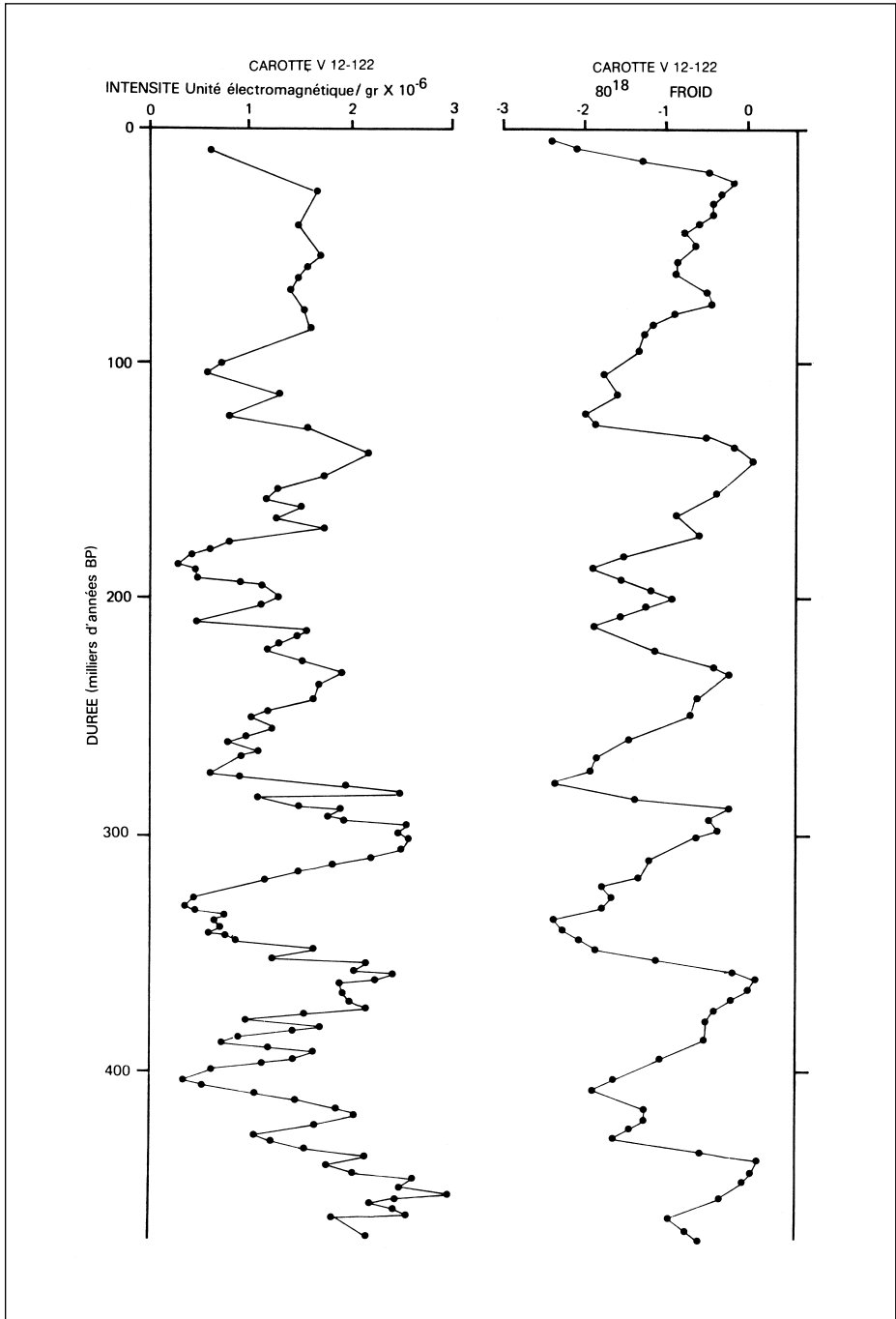


Fig. 1: Courbes montrant les analogies entre les rapports isotopiques de l'oxygène (ou les variations de températures) et l'intensité du champ magnétique terrestre, dans une carotte sous-marine, pour les 450000 dernières années. D'après WOLLIN, ERICSON et WOLLIN (1974).

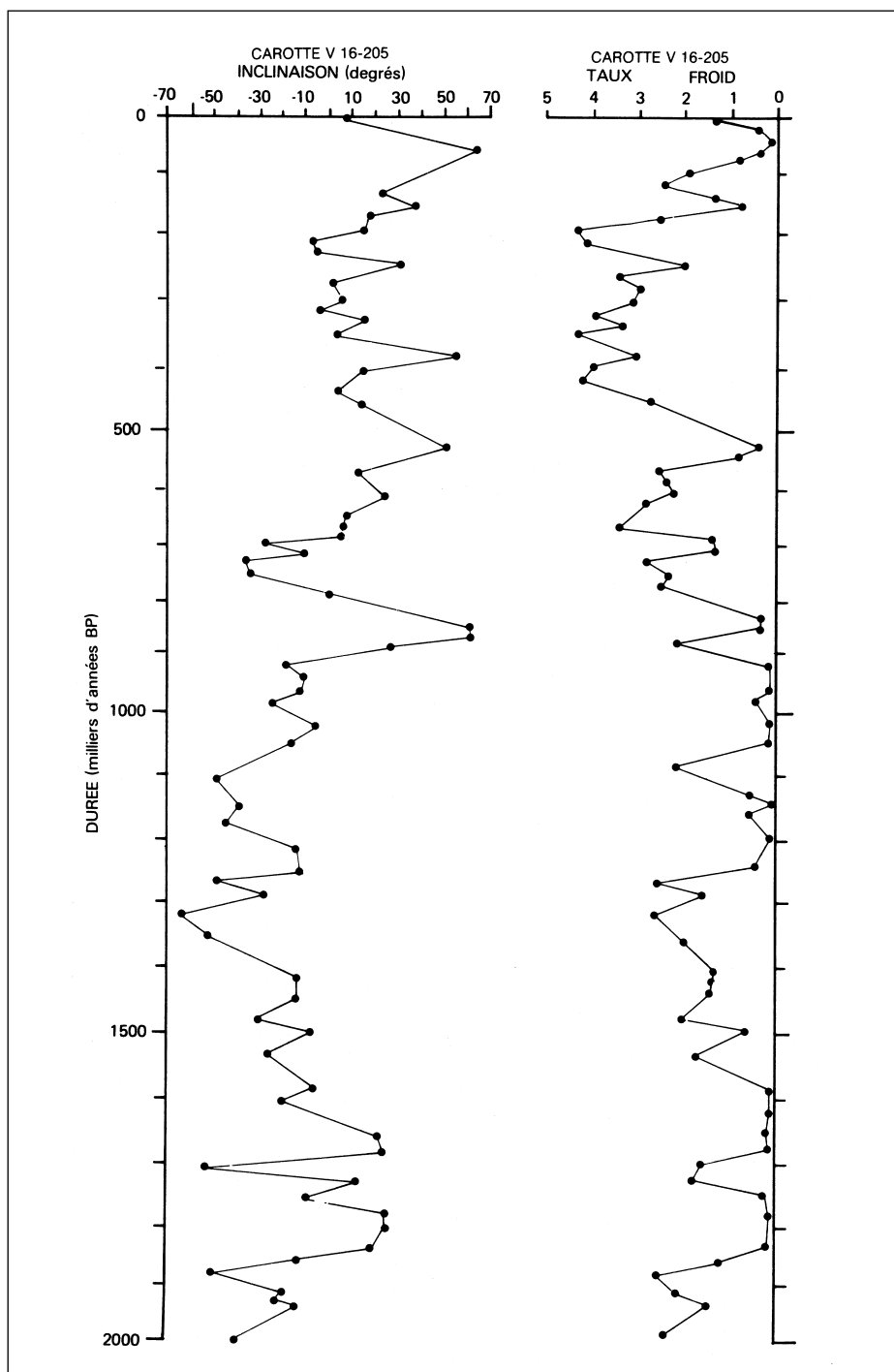


Fig. 2 : Courbes montrant les analogies entre les températures indiquées par les microfaunes et l'inclinaison magnétique, pour les deux derniers millions d'années. D'après WOLLIN et al. (1974).

On comprend, sur cet exemple, le danger qu'il y a à étendre, d'une région à une autre, une chronologie fondée sur une succession climatique continentale: en remontant dans le temps, suivant le nombre d'événements froids repérés et suivant la nomenclature qui leur est arbitrairement attribuée, les divergences rendent incertaine la corrélation des témoins de glaciations alpines avec les refroidissements successifs mesurés dans les carottes océaniques.

Un enregistrement complet et continu de tous les phénomènes climatiques d'une part, et des repères magnétostratigraphiques et radiométriques d'autre part, est indispensable pour caler, même approximativement, une échelle stratigraphique et permettre une comparaison valable entre deux régions.

L'inversion magnétique Matuyama-Brunhes (0,69 M.A.) a été repérée dans l'étage Cromérien défini par la palynologie, et l'événement de Gilsa (1,79 M.A.) dans l'Eburonien (Van Montfrans, 1971).

Transgressions quaternaires et chronologie

Chaque glaciation provoque une régression glacio-custatique de la mer qui peut être de l'ordre d'une centaine de mètres. Les transgressions marines provoquées par la fusion des glaces permettent donc dans les zones littorales de relier la chronologie climatostratigraphique à la chronologie des cycles marins.

Dans les régions où les formations marines sont coralliennes (Barbades, Bermudes, Nouvelle-Guinée, mer Rouge), la datation par les méthodes du déséquilibre de l'uranium appliquées à l'aragonite des coraux a permis de préciser l'âge des transgressions marines des derniers interglaciaires (200000, 120000, 105000, 85000 ans B.P. environ). Avec la marge d'erreur physique des différentes méthodes radiochronologiques, on constate que ces hauts niveaux marins correspondent assez bien avec les phases de températures plus élevées indiquées par les microfaunes marines, les pollens et par les isotopes de l'oxygène.

Mécanisme de la climatologie globale

Le climat ne constitue pas un moyen de corrélation chronologique simple. La complexité des facteurs en jeu, à un instant donné (ou à une époque d'une durée de quelques siècles ou de quelques millénaires), interdit d'utiliser les données non suffisamment bien datées comme critère stratigraphique ou chronologique.

Les faits qui conduisent à ces constatations sont de deux ordres:

— La connaissance de l'évolution climatique globale à l'échelle de quelques décennies (ou de quelques siècles, en tenant compte de données historiques) prouve la grande complexité du problème à l'échelle du globe. Il faut connaître l'évolution de tous les facteurs: « constante » solaire, circulation océanique,

situation des fronts polaires, répartition des températures, pluies (non seulement leur moyenne, mais aussi leur variabilité).

— La connaissance, grâce aux mesures radiométriques, des variations de certains facteurs climatiques depuis environ 25000 ans (fin du Pléistocène et Holocène), nous montre d'une part la rapidité de changements importants pour lesquels de bons documents existent et, d'autre part, la complexité des corrélations à l'échelle du globe. L'échelle des temps prise en considération prend alors un rôle majeur.

Le «*système climatique*», tel qu'il est défini par la National Academy of Sciences, Washington (1975), est constitué par les propriétés et les processus qui sont responsables du climat et de ses variations (propriétés thermiques: température de l'air, de l'eau, de la glace, des terres; propriétés cinématiques: du vent, des courants océaniques, des déplacements de la glace, etc.; propriétés aqueuses: humidité de l'air, nuages, eau libre ou souterraine, glace, etc.; propriétés statiques, telles la pression, la densité de l'atmosphère et des océans, la salinité, etc., ainsi que les limites géométriques et les constantes du système). Toutes les variables du système sont interconnectées par les processus physiques qui s'y produisent: précipitation, évaporation, radiation, transfert, convection, turbulence.

Les composants physiques du système climatique sont: l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère. Les processus physiques responsables du climat peuvent être exprimés quantitativement par les équations dynamiques du mouvement, l'équation de l'énergie thermodynamique et l'équation de continuité de masse et d'eau.

Les variations climatiques seront d'autant plus complexes que des interactions nombreuses peuvent exister entre les éléments du système climatique. Les causes des changements climatiques sont donc nombreuses et variées, en particulier en fonction de l'échelle de temps à laquelle on s'adresse et des mécanismes d'interactions («*feed back*»). Le rôle des océans est important dans les changements climatiques à travers les processus à l'interface air-eau, qui gouvernent les échanges de chaleur, d'humidité et d'énergie.

Ces considérations préliminaires prouvent que l'étape de la climatostratigraphie du Quaternaire a été une approximation nécessaire, mais fait place progressivement à la recherche de la compréhension des mécanismes pour des situations bien déterminées à différentes échelles de temps. Pour cette raison, nous examinerons plusieurs exemples de résultats récents portant sur l'Actuel, puis sur l'Holocène, le Pléistocène et le Plio-pléistocène.

Climatologie actuelle et récente en Afrique

En Afrique, le rythme annuel de l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide dans la zone intertropicale est liée au déplacement de la zone de convergence intertropicale (CIT).

Comme J. Maley (1973) et L. Dorize (1974) l'ont récemment résumé, la C.I.T. représente le lieu d'affrontement de la « mousson » (air humide originaire des régions équatoriales ou alizé maritime de l'hémisphère austral) et de l'« harmattan » (air sec saharien). La C.I.T. orientée approximativement W-E se déplace du S. au N. pendant le printemps et les deux premiers mois d'été, du N. au S. ensuite. Ce balancement saisonnier se fait entre le 4° N. 20-23° N. La surface de discontinuité entre l'air humide et l'air sec s'élève lentement du nord au sud. La couche humide de la mousson ne constitue en été qu'un coin froid très mince vers le nord et n'apporte que de faibles précipitations. Il faut en effet que l'air humide présente une épaisseur de 1 200 à 1 500 m pour que des précipitations notables se manifestent, conditions qui ne se trouvent réalisées qu'à 200 ou 300 km au sud du tracé de la C.I.T. (L. Dorize, 1974). La position de la C.I.T. subit des variations très importantes non seulement à l'échelle de la saison mais aussi à l'échelle diurne en fonction du champ de pression de l'ensemble de l'Afrique et de l'océan Atlantique. Comme l'a montré P. Pedelaborde (1970), la poussée originaire de l'Atlantique Sud, liée à l'activité du front polaire austral, représente le moteur essentiel repoussant la zone de convergence vers le Nord. Le retrait de la C.I.T. vers le Sud (en septembre) serait ensuite dû à la fois à l'affaiblissement de l'anticyclone S-Atlantique et à l'influence de l'hémisphère boréal. Les rares interventions de l'air boréal desséché après son transit saharien ne provoquant que quelques pluies sur les massifs montagneux sahariens. En revanche, l'air austral, après son trajet océanique, apporte une humidité potentielle.

La crise climatique actuelle de la zone sahélienne est ainsi consécutive au fait que la C.I.T. s'est cantonnée 3 à 4° plus au sud que sa position moyenne ; alors qu'au cours de la décennie humide (1950-1959) le Sahara s'est rétréci : la phase humide a coïncidé, comme l'a montré J. Maley (1973), avec un fléchissement des températures maximales sur les marges méridionales.

Or la vigueur des fronts polaires et leur extension vers l'équateur sont d'autant plus grandes que l'air polaire est plus froid. Ceci conduit Maley (1973) à distinguer deux mécanismes. Celui des périodes glaciaires et celui mis en évidence pour l'époque actuelle. Dans le premier cas, la surface des inlandsis de l'hémisphère Nord connaissait une grande extension, alors que l'inlandsis antarctique aurait peu varié. Le front polaire Nord avait alors une action prépondérante et repoussait en été la mousson loin vers le Sud. L'aridification était alors en phase avec les avancées glaciaires. Lors du réchauffement holocène, avant 5 000-4 000 ans B.P., le centre d'action polaire s'affaiblit. Durant l'été boréal, le recul du front polaire (F.P.) Nord favorisait l'extension de la mousson au nord de l'équateur pendant que le F.P. Sud poussait vigoureusement les anticyclones subtropicaux vers l'équateur. Durant l'hiver boréal, le front polaire pouvait encore étendre son action sur le Sahara et y provoquer des pluies. L'addition de ces pluies d'hiver et d'été expliquerait le climat humide qui a régné sur le Sahara méridional, et le rétrécissement du désert durant la première moitié de l'Holocène.

Depuis 5 000 ans, le retrait de l'inlandsis arctique a diminué la force du front polaire Nord, en même temps que le centre d'action antarctique a

diminué aussi de vigueur. La poussée de la mousson et l'influence de l'air polaire boréal sur le Sahara diminuant ensemble expliquerait ainsi l'aridification progressive du Sahara.

Ces mécanismes météorologiques peuvent aider à la compréhension des changements climatiques de l'Afrique au cours du Quaternaire.

Chronologie et climats depuis 25000 ans

Les 25000 dernières années du Quaternaire (fin du Pléistocène et Holocène) donnent un exemple récent et maintenant bien documenté d'une très vaste extension glaciaire et de son recul jusqu'à la période inter-glaciaire actuelle. Durant la même période, les régions intertropicales ont subi une aridité extrême, suivie d'une phase humide et d'une nouvelle aridification. Il s'agit de la seule fluctuation climatique qui peut être étudiée à une échelle de temps de quelques siècles ou de quelques millénaires, permettant une comparaison des éléments du système climatique et de ses variations pour de nombreuses régions du globe situées à presque toutes les latitudes. De plus pour cette période, les indications fournies par les pollens, les diatomées et les faunes, identiques aux espèces actuelles, permettent de quantifier précisément l'ampleur des variations du milieu géographique. En outre, le niveau moyen des mers est assez bien connu pour donner, à chaque instant, une idée du volume général des glaces et des rapports isotopiques de l'oxygène dans les principaux réservoirs (océans, glaces). (Voir Morner 1975.)

En Afrique saharienne, depuis les premières synthèses appuyées sur les datations au carbone 14 (Butzer 1961, Monod 1963, Faure 1967, 1969), les travaux les plus récents sur lesquels on peut appuyer une chronologie détaillée des variations climatiques sont ceux de M. Servant et S. Servant au Tchad et au Niger, et de F. Gasse en Afar. Dans l'Est africain, les travaux des équipes de van Zinderen Bakker et de Livingstone, de Richardson, de Williams, de Wickens, etc. Ils peuvent être comparés aux résultats de nombreuses synthèses présentées pour les régions de hautes latitudes, notamment celles de Velitchko, de Dreimanis, etc. Le domaine de l'océan Atlantique est, de son côté, connu dans son ensemble par les travaux du groupe CLIMAP¹ et de McIntyre, et l'hémisphère Sud par des publications de van der Hammen, de Williams, de Bowler *et al.*

Pour replacer l'histoire de l'évolution du climat de l'Afrique dans son cadre global depuis 25000 ans, on peut y distinguer plusieurs étapes chronologiques.

25000-18000 ans B.P.

Hautes latitudes

La période de temps comprise entre 25000 et 18000 ans B.P. correspond à la fin de l'extension maximale des calottes glaciaires qui s'étendaient

1. CLIMAP (Climatic long-range interpretation, mapping and prediction) de la Décade internationale de l'exploration océanique (I.D.O.E.).

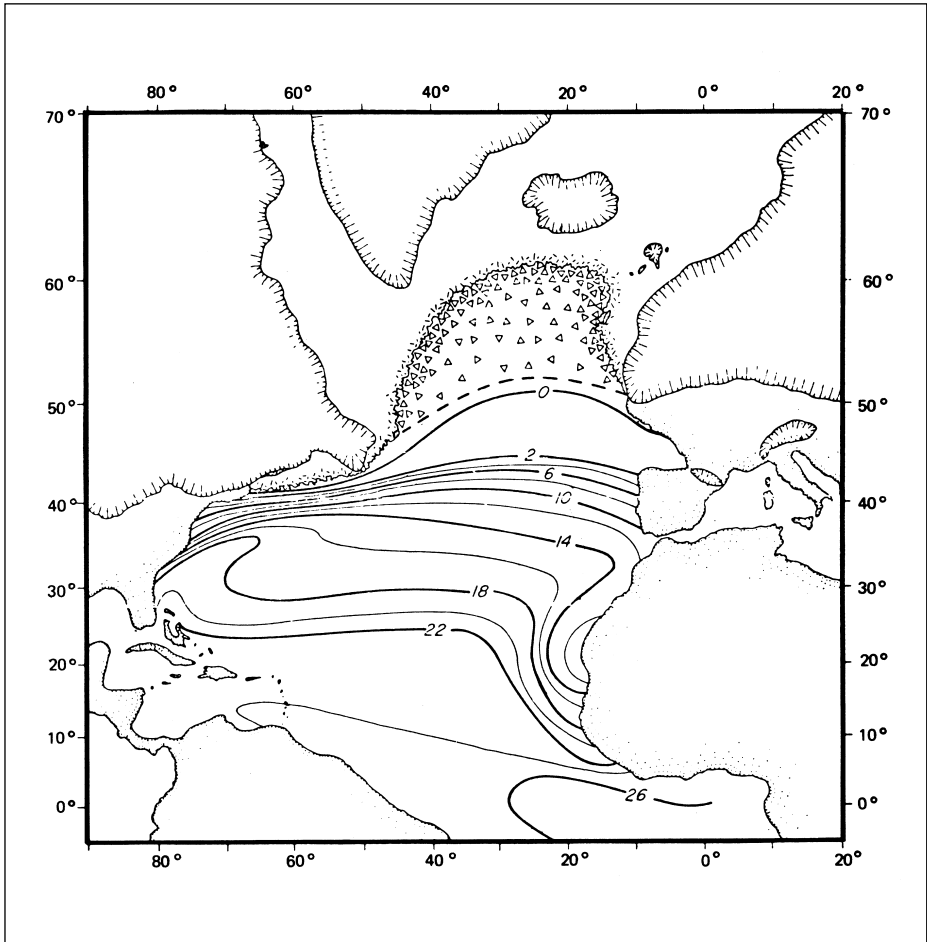
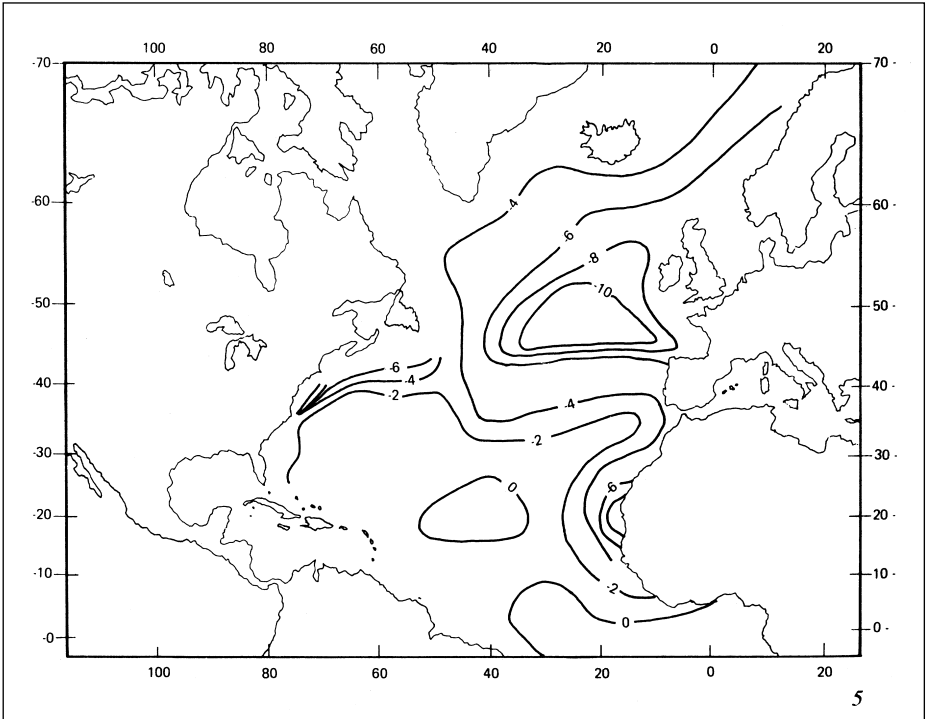
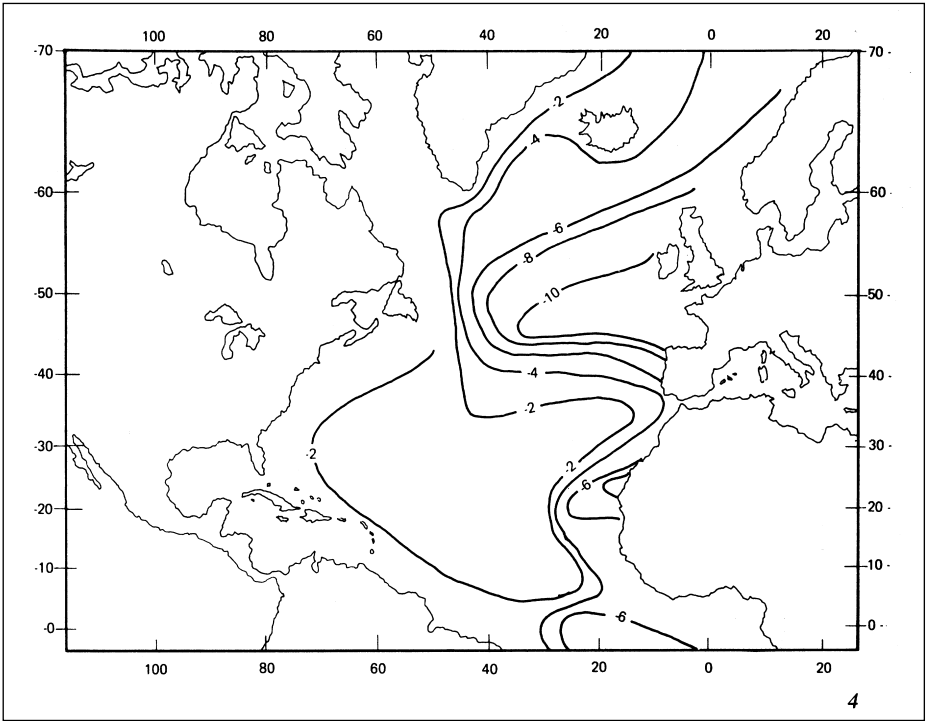


Fig. 3: Carte des isothermes des eaux de surface en février - 18000 BP. Les isothermes en tirets sont interprétatifs. Les grandes masses glaciaires continentales sont délimitées par des bordures hachurées, la banquise permanente par des bordures granulées. Le littoral glaciaire est dessiné pour un niveau de la mer inférieur de 85 m au niveau actuel. D'après MCINTYRE et al., 1975



Carte des différences de température des eaux de surface entre l'époque actuelle et 17 000 BP. (D'après McIntyre, 1974, CLIMAP.) Fig. 4: hiver. Fig. 5: été

dans l'hémisphère nord. Cette dernière extension de la glaciation du Würm (= Wisconsin = Weichselien = Valdai) a couvert de glace une surface représentant 90 à 95 % de celle occupée au cours de toutes les précédentes glaciations du Quaternaire (Flint, 1971). Il s'agit donc d'un modèle très représentatif d'une glaciation.

Autour des zones englacées, le *permafrost* (ou gel permanent du sol au cours de l'année) semble avoir été plus étendu que durant les autres glaciations (Velitchko, 1973, 1975). Cette étendue du *permafrost* serait associée, hors des continents, à une glace de mer également très développée sur les océans arctiques et qui contribuait à une réduction de l'évaporation à l'interface air-mer.

Océans

Outre la réduction de la surface libre due à la glace de mer, l'abaissement du niveau moyen des océans, passant d'environ -50 à -100m, a contribué à une réduction supplémentaire de la surface de ceux-ci d'environ 10%. A la fin de la période considérée, la presque totalité des plates-formes continentales se trouvait émergée.

Les chercheurs du groupe CLIMAP (McIntyre *et al.*, 1974, 1975; Hays *in* CLIMAP, 1974, etc.) ont pu établir des cartes des températures des eaux de surface de l'océan Atlantique pour l'époque du maximum glaciaire (18000 B.P.) (fig. 3). Comparées aux cartes des situations actuelles (qui sont celles d'un interglaciaire), cette carte fait ressortir une moyenne générale des différences de températures qui n'est que de 2,5° entre le maximum glaciaire et l'actuel interglaciaire. Cependant la répartition des différences de température montre un maximum aux moyennes latitudes (de 6 à 10° de différence) et des différences beaucoup plus faibles (moins de 3°) pour les latitudes intertropicales (fig. 4,5). Ainsi par exemple pour le point 50°N-30°W la température de surface était en hiver 7,3° à 12,7° plus basse à 18000 (ou 17000) ans B. P. qu'elle ne l'est actuellement. En été, la différence tombe à 1,2° à 6,6° (CLIMAP, 1974).

La migration des eaux polaires des deux hémisphères a été le facteur dominant de cette phase glaciaire. Dans le nord de l'Atlantique, les eaux polaires sont descendues jusqu'au 42° parallèle N (à partir d'une position proche de l'actuelle vers le 60°N), donnant lieu à un gradient rapide des températures au sud du 42°N, qui a donc été l'axe probable des vents d'ouest (*westerlies*) de l'époque glaciaire. Au sud de cette limite, le schéma reste assez proche de l'actuel, mais on remarque que les isothermes, infléchis le long des côtes de l'Afrique, y mettent en évidence, particulièrement en hiver, des eaux relativement fraîches dues à un *upwelling* renforcé (Gardner, Hays, 1975).

Les fronts polaires et l'axe des « westerlies » se déplacent en direction de l'équateur de plus de 2000 km dans l'Atlantique Nord et seulement de 600 km dans l'hémisphère Sud pour le même océan. Dans l'océan Pacifique les fronts polaires se seraient très peu déplacés en période glaciaire. On comprend ainsi la diminution de la pénétration de la mousson sur le Sahara (voir pp. 7-8, Maley, 1973) et l'état aride de la zone sahélienne à la fin de la période glaciaire.

Afrique

Dans les régions du Sahara méridional et du Sahel, l'évolution climatique générale des 25000 dernières années révèle une tendance assez similaire depuis les rives de l'Atlantique jusqu'aux côtes de la mer Rouge. Cette période de temps comprend la fin d'une phase humide du Pléistocène supérieur (qui a duré d'environ 30000 à 20000 ans B.P.) et le début d'une phase aride qui se terminera vers 12000 B.P.

L'étude des dépôts lacustres du bassin du Tchad a montré que le rapport des précipitations à l'évaporation (P/E) était suffisant pour que se maintiennent des lacs assez étendus depuis 40000 ans B.P. jusque vers 20000 ans environ (M. Servant, 1973). Ensuite, et durant les 8 millénaires qui suivent, l'aridité s'étend et dépasse de plus de 400 km vers le sud ses limites actuelles.

Ce passage d'un épisode lacustre à un stade très aride est également observable dans les dépôts des lacs de l'Afar où F. Gasse a pu montrer l'existence de trois phases lacustres au Pléistocène supérieur. Entre 20000 et 17000 ans B.P., le milieu lacustre se dégrade et les graminées occupent le fond desséché du lac Abbé (Gasse, 1975).

Analysant la littérature la plus récente, M. Servant (1973) et F. Gasse (1975) constatent une évolution assez comparable pour d'autres lacs est-africains à des altitudes et des latitudes variées: travaux de Richardson, Kendall, Butzer *et al.*, Livingstone, pour les lacs Rudolf, Nakuru, Naivasha, Magadi, Albert, etc.

18000-12000 ans B.P.

Hautes latitudes

Dans les régions de haute latitude, cette période correspond à la fin du maximum glaciaire et à la déglaciation. Les calottes glaciaires qui couvraient l'est de l'Amérique du Nord et la Scandinavie et qui atteignirent leur maximum entre 22000 et 18000 ans B.P. commencèrent à fondre immédiatement après cette date. Celle de la Cordillère nord-américaine connut son maximum seulement vers 14000 ans et disparut vers 10000 ans B.P. La déglaciation généralisée commença donc vers 14000 ans B.P. Dans l'hémisphère Sud, en revanche, il semble que la calotte glaciaire continentale de l'est de l'Antarctique a peu varié alors que celle de l'ouest de l'Antarctique, dont la base repose sous le niveau de la mer, s'est réduite assez considérablement (National Academy of Sciences, Washington, 1975).

Océans

Les immenses surfaces qui étaient couvertes de glace de mer ont certainement disparu dès la remontée très rapide du niveau de la mer consécutive à la déglaciation. La remontée atteignait 1,5 m par siècle en moyenne entre 15000 et 12000 ans B.P., et à cette dernière date la moitié sinon les deux tiers de la remontée étaient probablement dépassés. En même temps, les eaux polaires de l'Atlantique regagnaient des latitudes plus septentrionales.

Afrique

La grande aridité de la période comprise entre 18000 et 12000 ans B.P. est le phénomène le mieux documenté qui s'étend sur une grande partie de l'Afrique. Les courbes d'évolution des niveaux lacustres du Niger, du Tchad (Servant, 1973), de l'Afar (Gasse, 1975), du Soudan (Williams, 1975 et Wickens, 1975), etc., le mettent bien en évidence. La disparition de la végétation permet aux vents d'étendre l'avancée des dunes de 400 à 800 km en direction de l'équateur et sur les plateaux continentaux émergés. Il est certain que durant plusieurs millénaires le Sahara élargi a constitué une barrière pour l'homme autrement plus hostile que l'actuel Sahara. Cette aridification semble extrêmement générale et de nombreux indices prouvent qu'un dessèchement relatif atteignait les zones intertropicales dans leur ensemble en Afrique (de Ploey, van Zinderen Bakker, etc. in Williams, 1975) et en Asie, notamment aux Indes (Singh, 1973).

Williams (1975) a passé en revue récemment la littérature concernant cette phase aride et a démontré son extension exceptionnelle et approximativement synchrone.

Bassin méditerranéen

Alors que l'histoire climatique au cours de la dernière glaciation (depuis une centaine de milliers d'années) semble assez compliquée dans le Bassin méditerranéen (voir p. 429), des résultats palynologiques (Bonatti, 1966) et pédologiques (Rohdenburg, 1970) indiquent qu'au maximum glaciaire le climat était sec et frais. Une steppe très sèche occupait la zone méditerranéenne entre 16000 et 13000 ans B.P. et les croûtes calcaires se développaient dans les sols.

Hémisphère Sud

En Australie, les températures indiquées par les pollens ont connu un abaissement progressif jusque vers 18000 ou 17000 ans B.P. pendant que la sécheresse s'installait et que les dunes s'étendaient sur la plate-forme continentale émergée (Bowler *et al.*, 1975). La glaciation occupait la Tasmanie et les Snowy Mountains alors que les lacs d'Australie du Sud s'asséchaient vers 16000 ans B.P. Le réchauffement indiqué par la remontée de la ligne d'arbre (*timberline*) en altitude commence vers 15000 ans et les lacs du sud de l'Australie ne commencent à se remplir à nouveau qu'après 11000 ans B.P. (Bowler *et al.*, 1975).

Van der Hammen (1974) et Williams (1975) ont montré les analogies qui caractérisent les climats des deux hémisphères au cours du dernier maximum glaciaire vers 18000 ans. A l'exception du sud-ouest des Etats-Unis, une aridité généralisée persiste pendant plusieurs millénaires sur l'ensemble des régions de basse latitude du globe.

12000 ans - 0 an B.P.

Hautes latitudes

Cette période est caractérisée par la fin de la glaciation et un réchauffement notable des températures qui culminent entre 7300 et 4500 B.P.

(« Optimum climatique » encore appelé période « Atlantique » en Europe). La calotte glaciaire de la Cordillère fond très rapidement et disparaît vers 10000 ans B.P.; celle de la Scandinavie disparaît peu après (9000 ans B.P.). Des fluctuations notables et rapides sont enregistrées avec un intervalle de temps d'environ 2500 ans (par exemple le refroidissement du Dryas jeune entre 10800 et 10100 ans B.P.).

L'Europe du Nord atteint des conditions comparables à l'Actuel, en ce qui concerne l'englacement, vers 8000 ans et l'Amérique du Nord vers 7000 ans (Nat. Acad. Sc, 1975). La calotte glaciaire de l'ouest de l'Antarctique s'est également réduite à cette époque.

Océans

La remontée du niveau de la mer, qui enregistre l'état moyen de fusion de tous les glaciers du monde, est encore très rapide entre 12000 et 7000 ans B.P. (plus de 1 m par siècle en moyenne, mais avec un important ralentissement ou un recul vers 11000 B.P.). Les océans semblent avoir atteint un niveau très proche de l'actuel à partir de 6000 ans B.P., et avoir oscillé autour de ce niveau depuis, avec une amplitude ne dépassant pas quelques mètres. A cette tendance générale se superposent des fluctuations illustrées par la courbe de remontée qui souligne des variations climatiques générales (Morner, 1973).

Les zones à sédimentation marine suffisamment rapide étudiées par Wollin et Ericson permettent également de suivre des changements dans la répartition des foraminifères, et notamment la variation du pourcentage de *Globorotalia truncatulinoides* à enroulement sénestre. Les pics des courbes correspondantes pourraient selon Morner (1973) correspondre à ceux des changements climatiques enregistrés par les rapports isotopiques des glaces du Groenland, par les échelles palynologiques et par les fluctuations du niveau marin. Mais on atteint ici la limite de précision autorisée par la méthode de datation radiométrique; et des interpolations linéaires entre les dates, en tenant compte des variations du taux de sédimentation, sont nécessaires. De plus, la distorsion de l'échelle chronologique du C 14 par rapport à l'échelle de temps impose l'introduction de corrections qui rendent délicates les corrélatons de phénomènes dont les limites sont à l'échelle du siècle.

Afrique

Après l'extrême aridité des années 16000 à 14000, et à partir de 12000 ans B.P., les régions sahariennes de l'Afrique ont connu une extraordinaire extension des lacs depuis les côtes de l'Atlantique jusqu'à celles de la mer Rouge. Pratiquement toutes les régions déprimées permettent d'observer des dépôts lacustres souvent constitués de diatomées.

Au Niger et au Tchad, M. Servant (1973) a pu déduire une courbe continue du rapport P/E (figure 6), de l'étude de différents types de lacs en tenant compte de leur mode d'alimentation et de leur situation hydrogéologique et géomorphologique. Cette courbe climatique illustre les grandes oscillations qui semblent avoir un caractère général: grande extension des lacs vers 8500 ans B.P., retrait vers 4000 et fluctuations mineures après 3000 B.P. Ces principales variations se retrouvent, avec des nuances dues à leur mode d'alimentation, dans les différents lacs de l'Afar (Gasse, 1975) (figure 7). On

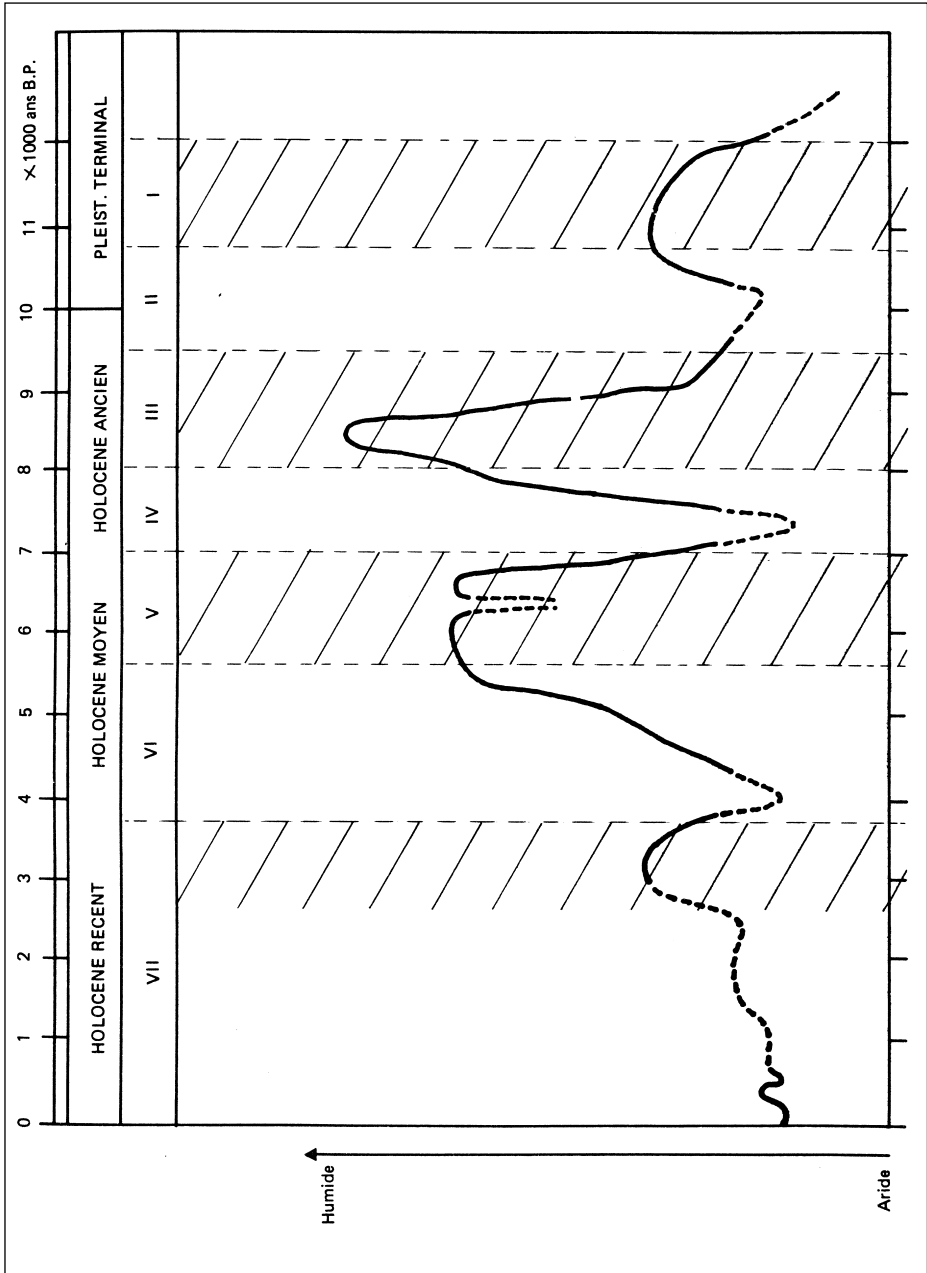


Fig. 6: Evolution relative du rapport Pluies/Evaporation depuis 12000 ans dans le bassin tchadien vers 13-18 de lat. N. Cette évolution a été déterminée après une étude comparée des variations des niveaux de plusieurs lacs alimentés surtout par la nappe souterraine, par le ruissellement ou par des fleuves. D'après M. SERVANT, 1973, pp. 40-52.

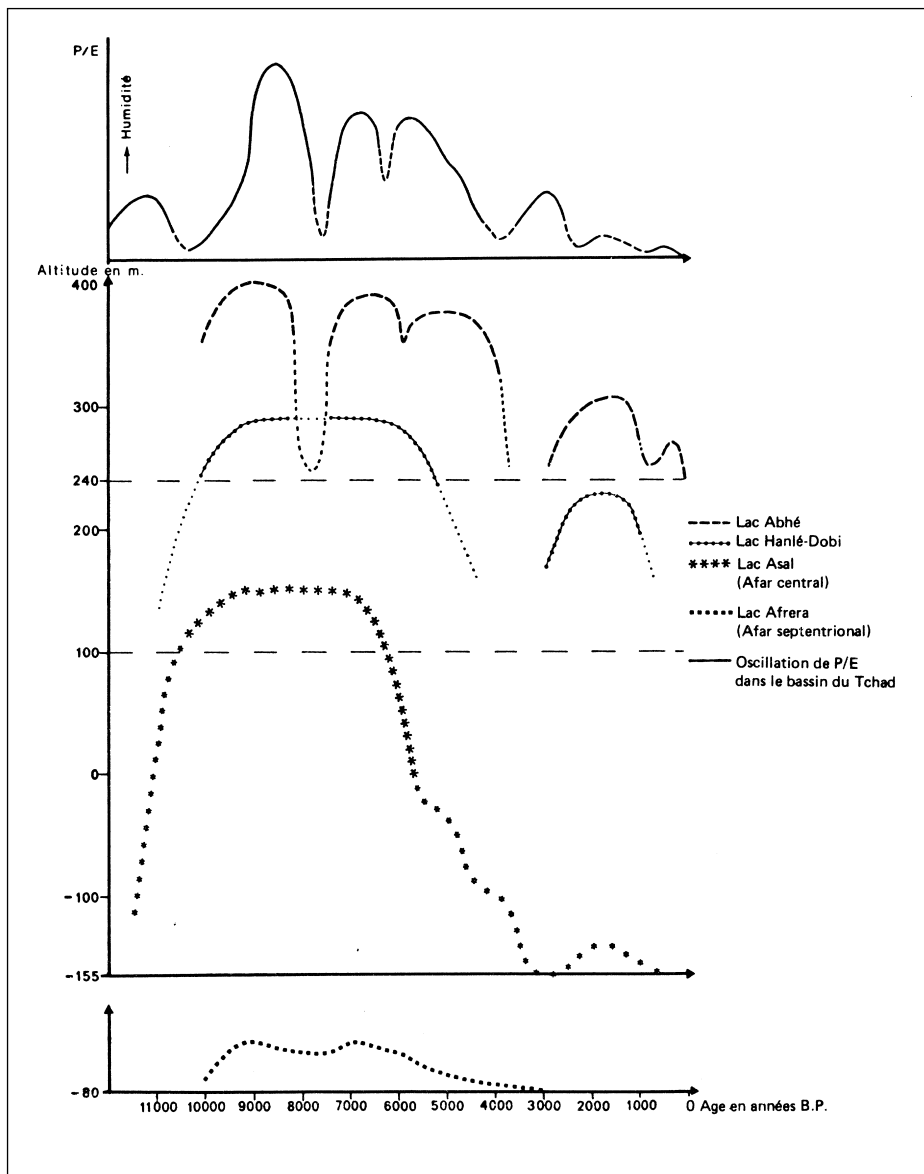


Fig. 7: Oscillations des niveaux lacustres dans les bassins de l'Afar. Les courbes relatives au paléolac Abhé, Hanlé-Dobi et Asal, situés en Afar central, sont représentées sur le même graphique. Celle du lac Afrera est indépendante. Comparaison avec la courbe d'oscillation de P/E dans le bassin du Tchad. D'après F. GASSE, 1975.

remarque une analogie certaine de la courbe du Tchad avec celle de l'humidité de la zone continentale sibérienne.

L'étude des autres lacs africains montre une ligne générale d'évolution assez comparable. Livingstone et van Zinderen Bakker considèrent qu'un parallélisme assez étroit existe entre l'évolution climatique de l'Est africain et celle de l'Europe.

L'extension des lacs sahariens jusqu'à 8000 ans B.P. semble être en relation avec des pluies mieux réparties au cours de l'année et une nébulosité assez forte pour réduire l'évaporation. M. Servant (1973) pense que la circulation atmosphérique était alors différente de ce qu'elle est de nos jours. La présence de plusieurs niveaux à diatomées de région « froide » lui fait émettre l'hypothèse d'intrusions possibles d'air polaire sur le Sahara. Le mécanisme climatique actuel ne se serait établi qu'après 7000 ans B.P.

Hémisphère Sud

Dans le Nord de l'Australie et en Nouvelle-Guinée, Bowler *et al.* (1975) situent la disparition des glaciers à 8000 B.P. (Mt Wilhelm) en même temps que l'augmentation des pluies qui connaît aussi des fluctuations mineures. Entre 8000 et 5000 ans, la température moyenne aurait été de 1 ou 2° plus élevée que celle de l'Actuel. L'optimum climatique (Hypsithermal) aurait une valeur mondiale, et la forêt de zone pluvieuse et chaude (*rain forest*) connaît les conditions de développement les plus favorables (depuis le précédent interglaciaire avant 60000 ans) entre 7000 et 3000 ans B.P. De même, dans le sud de l'Australie, les lacs desséchés à 15000 B.P. commencent à se remplir à 11000 et connaissent de hauts niveaux à 8000 et 3000 ans B.P.

Retrait un peu avant 7000 B.P., nouvelle extension autour de 6500 ans: il semble bien que le réchauffement et l'augmentation de l'humidité des zones de basses latitudes soient un phénomène général pendant la première moitié des 12000 dernières années, et conduisent à un état caractérisant l'interglaciaire actuel.

Conclusion sur la chronologie climatique des 25000 dernières années

Cette période nous livre une image de l'évolution climatique lors du maximum de l'extension glaciaire (à la fin d'une période glaciaire) et au cours d'une déglaciation conduisant à un interglaciaire (actuel). Ce modèle d'un demi-cycle de déglaciation montre une aridité généralisée qui dure environ 5000 ans en Afrique et qui caractérise la fin d'une glaciation suivie d'une phase humide de durée comparable, fluctuante, mais retournant progressivement à un stade aride.

Il est possible d'expliquer ces pulsations climatiques à l'échelle de 20000 ans par le déplacement des fronts polaires et leur influence sur le front inter-tropical (Fit), et par les 2 types de circulations extrêmes: rapides ou lentes.

Il est aussi probable que ce modèle puisse être représentatif d'autres situations comparables et de même échelle au Quaternaire, c'est-à-dire d'une

durée et d'une amplitude analogues. Mais rien ne nous permet de l'extrapoler à l'ensemble d'une période glaciaire d'une durée de 100000 ans, ou *a fortiori* à l'ensemble des glaciations quaternaires d'une durée de plusieurs millions d'années.

Pour cette raison, nous examinerons maintenant la chronologie d'une période glaciaire dans son ensemble.

Chronologie et climats depuis 130000 ans

Les 130000 dernières années (ou Pléistocène supérieur) permettent l'étude d'un modèle climatostratigraphique à l'échelle de temps d'une période glaciaire-interglaciaire complète. La chronologie de cette période dépasse largement les possibilités de datation au radiocarbone qui ont permis d'établir la succession relativement fine (au siècle ou au millénaire près) des 25000 dernières années. Cependant cet intervalle de temps correspondant au dernier grand interglaciaire (Éémien, précédant l'Actuel) et à la dernière grande glaciation (Würm = Wisconsin = Weichselien = Valdäi) est relativement bien connu avec une précision chronologique qui est de l'ordre de 10% ou 20% pour sa partie la plus ancienne.

En effet, dans les océans et dans les bassins sédimentaires, l'extrapolation des vitesses de dépôt connues, l'application des méthodes du déséquilibre de l'Uranium et du Potassium-Argon à la limite supérieure de ses possibilités, apportent des données chronologiques supplémentaires. L'interpolation linéaire entre les points datés d'une séquence continue permet une chronologie approchée. Les corrélations à grande distance ne peuvent cependant pas être précisées avec une acuité suffisante pour les événements à l'échelle de temps inférieure à quelques millénaires. Ce sont donc principalement les tendances générales à moyenne période (10000 ans) qui seront le mieux définies et qui pourront être comparées d'une région à une autre.

Comparaison entre les régions

Hautes latitudes

La végétation de l'interglaciaire éémien indique que durant les phases les plus chaudes de cet interglaciaire (entre 125000 et 80000 ans B.P. environ) la température en Eurasie et en Amérique du Nord était sensiblement comparable à celle de la période «Atlantique» (entre 7000 et 5000 B.P.); c'est-à-dire peu différente de l'actuelle. L'un et l'autre de ces interglaciaires succèdent brutalement à un refroidissement important (dernier stade très froid du «Riss»: 135000 ans B.P. et dernier stade très froid du Würm: 20000 ans B.P.)

Océans

Les variations du niveau des océans enregistrent assez bien les deux maxima glaciaires par des abaissements importants (-110 m ± 20 pour le

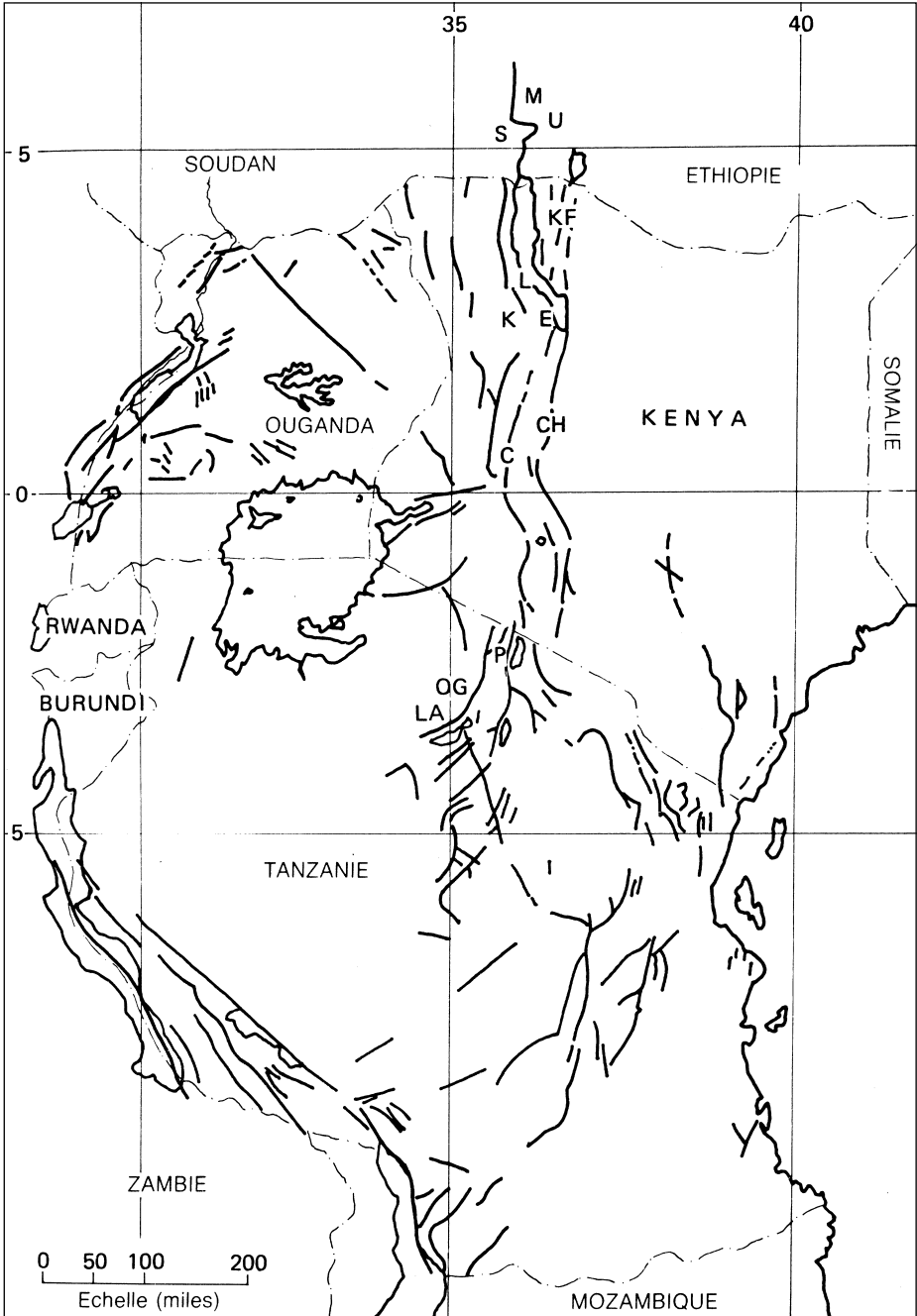


Fig. 8 : Carte des localités du Plio-Pléistocène de l'Est africain.

Légende: M : Mursi, U : Usno, S : Shungura, formations du bassin inférieur de l'Omo. I : Ileret, KF : Koobi Fora, secteurs de l'est du lac Rudolf. L : Lothagam, K/E : Kanapoi et Ekora, du bassin hydrographique du Bas Kerio. C : Chermeron, Ch : Chesowanja, localités du bassin du Baringo. K : Kanam, golfe de Kavirondo. P : Peninj, bassin du Natron. OG : Gorge d'Olduvai. LA : Laetoli, plaine de Serengeti. Fond de carte largement repris de la carte géologique au 1 : 4000000 de l'Est africain (Kenya). D'après F. CLARK HOWELL, 1972.

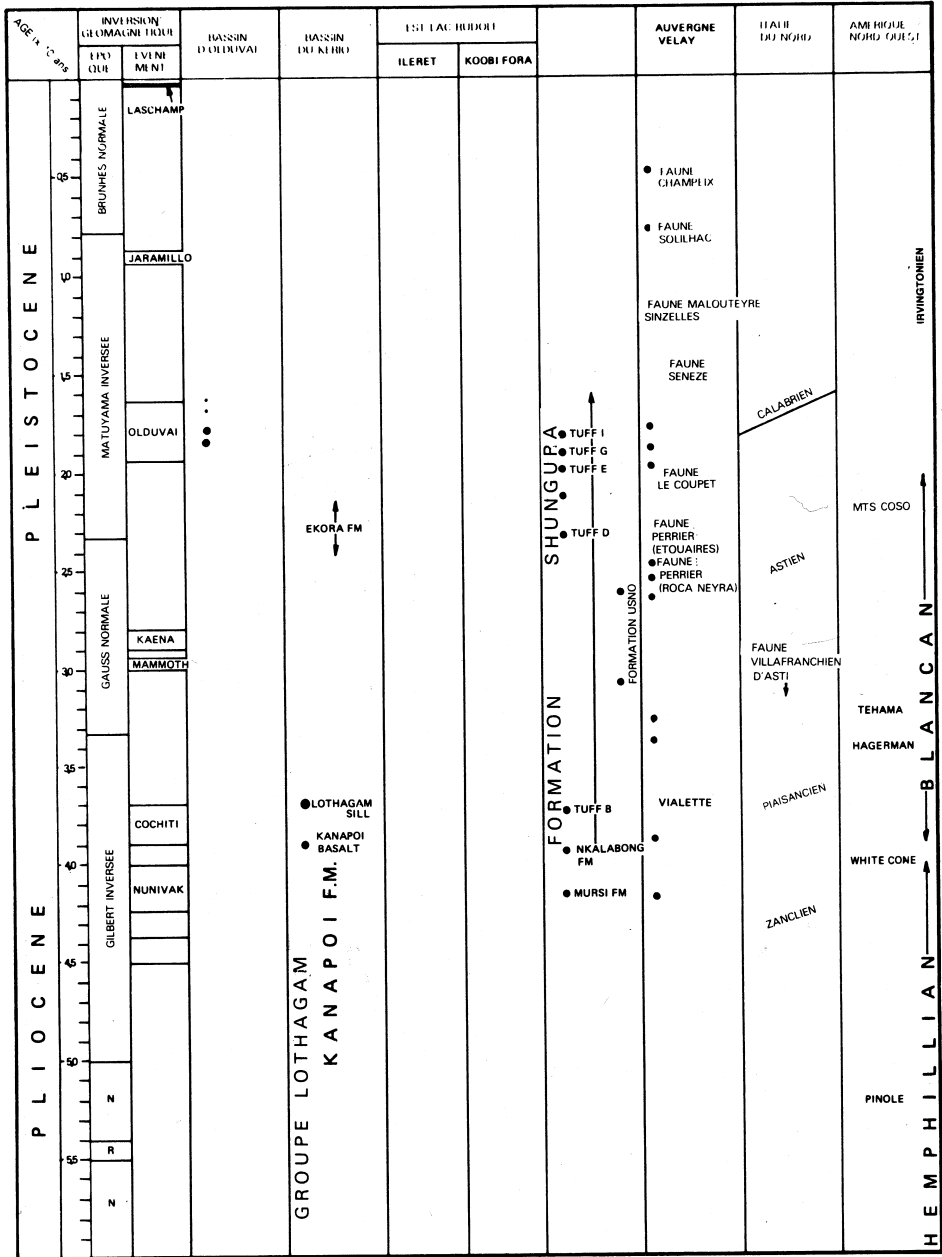


Fig. 9: Chronologie radiométrique et paléomagnétique du Pliocène/Pleistocène de l'Est africain, du sud-ouest de l'Europe et du nord-ouest de l'Amérique. Les très importantes successions autorisées par les mesures effectuées dans les zones de l'Ileret et de Koobi-Fora (secteur est du lac Rudolf) sont encore à l'étude et, les résultats étant incomplets, les colonnes correspondantes ont été laissées en blanc. D'après F. CLARK HOWELL, 1972.

second maximum vers 20000-18000). Les niveaux les plus élevés atteints durant les interglaciaires éémien et actuel sont comparables entre eux (à 5 % près). Les remontées du niveau de la mer durant les interstades (45000 et 30000 B.P.) atteindraient peut-être entre 60 et 80% de la remontée maximale (Inchirien de Mauritanie par exemple). Elles confirment la fusion d'une masse de glace équivalente durant l'interstade.

Afrique

Il est probable que, à l'image de ce qui se passe dans les océans, la répercussion des phénomènes glaciaires soit atténuée vers les latitudes intertropicales. Les différences entre les températures d'un stade glaciaire à un stade interglaciaire qui atteignent 5 à 10° aux moyennes latitudes ne sont peut-être que de 2 à 3° entre les tropiques. Ce sont les conséquences sur la répartition et la quantité des pluies qui constituent le phénomène le plus aisément enregistré en Afrique.

Peu de régions d'Afrique possèdent une chronologie radiométrique bien établie pour les 130000 dernières années. Le sondage du lac Abhé a cependant permis à F. Gasse (1975) de mettre en évidence trois stades lacustres au Pléistocène supérieur, avant l'aridification de 20000-14000 ans B.P. Ces périodes lacustres sont les suivantes: la période de 30000 à 20000 ans B.P. (climat humide tropical tempéré), séparée d'une autre extension lacustre d'environ 40000 à 30000 ans B.P. par un retrait important vers 30000 ans. Le stade lacustre le plus ancien daterait de 50000-60000 ans B.P. (ou peut-être 60000-80000?) et correspondrait à une période plus fraîche indiquée par les diatomées.

Une autre indication sur une variation climatique mal datée, du Pléistocène supérieur, est fournie par l'étude des pollens de la haute vallée de l'Awash (Afar) où R. Bonnefille (1973, 1974) a mis en évidence un climat nettement plus humide que l'actuel et peut-être plus froid, caractérisé par une steppe altimontaine.

Bassin méditerranéen

Compris entre les deux zones géographiques précédemment étudiées, le bassin méditerranéen constitue un domaine climatique important dont l'évolution semble complexe. En particulier, il n'est plus possible de considérer que les glaciations y ont tout simplement permis l'installation d'un climat humide.

Analysant les études palynologiques, micropaléontologiques et isotopiques effectuées en Méditerranée orientale, en Grèce et en Israël (Emiliani -1955, Vergnaud-Grazzini et Herman-Rosenberg -1969, Wijmstra 1969, van der Hammen -1971, Rossignol -1969, Issard -1968, Issard et Picard -1969), Farrand (1971) arrive à la conclusion que l'abaissement de température pendant la dernière glaciation pouvait être de l'ordre de 4° pour l'air, et peut-être de 5-10° pour la mer. En Grèce, la sécheresse était plus importante durant la période glaciaire, alors que l'inverse se produisait sur les côtes d'Israël.

En revanche, l'étude de microrestes de mammifères (rongeurs) (Tchernov -1968, *in* Farrand -1971) semble indiquer une évolution progressive des conditions humides vers des conditions arides au cours des 80000 dernières années. En Israël, vers 20000 B.P., le niveau du lac Lisan s'abaisse de 190 m

en 1000 ans, du fait d'un assèchement (combiné à un mouvement tectonique du *rift* de la mer Morte), et nous avons vu (p. 421) que la fin de l'extension maximale du froid würmien correspond à des conditions fraîches et arides sur l'ensemble du Bassin méditerranéen.

La complexité de la situation géoclimatique du Bassin méditerranéen nécessite encore, comme en Afrique, des études de grand détail permettant d'en préciser l'évolution climatique au Würm.

Conclusion sur la chronologie et les climats depuis 130000 ans

La dernière période glaciaire offre un modèle d'un cycle climatique complet à l'échelle de la centaine de milliers d'années (interglaciaire - glaciaire - interglaciaire), avec ses fluctuations interstadiques et stadiques d'une durée de l'ordre de 10000 ans. Elle est caractérisée en Afrique par des extensions lacustres (d'une durée comparable) séparées par des stades de dessiccation.

Dans l'état actuel de nos connaissances, la précision de la chronologie ne permet pas de mettre avec certitude en corrélation les stades froids ou chauds et les stades humides ou secs de l'Afrique. On peut souhaiter que les travaux en cours, appuyés sur des coupes et des sondages offrant une succession continue des événements, permettent de répondre à cette question dans l'avenir.

Chronologie et climats depuis 3500000 ans

La lente tendance au refroidissement qui caractérise le Quaternaire a commencé il y a près de 55 millions d'années (M.A.) («Cénozoïque climatique décline») (Nat. Ac. Sci., 1975). La calotte glaciaire de l'Antarctique, déjà formée vers 25 millions d'années (M.A.), s'accrut largement vers 10 M.A., puis vers 5 où elle atteignit presque son volume actuel. La calotte de l'Arctique sur les continents voisins de l'Atlantique Nord apparut vers 3 M.A. Le premier grand refroidissement général des océans a commencé vers 1,8 M.A. (Bandy *in* Bishop et Miller, 1972), un peu avant la base de l'étage marin Calabrien, vers l'événement de Gilsa (1,79 M.A.).

En Afrique, plusieurs régions (Tchad, Afrique de l'Est, etc.) ont livré de riches faunes de Vertébrés d'abord rapportées au Villafranchien (entre 3,3 et 1,7 ou 1 M.A.). Certaines associations de mammifères impliquent des conditions d'humidité beaucoup plus grande que celle qui caractérise l'environnement actuel des gisements. Elles ont donc été considérées comme marquant des «Pluviaux» en Afrique.

Les stratigraphies les plus détaillées, appuyées sur une chronologie Ar/K et paléomagnétique, sont celles des dépôts des fossés (*rift*) est-africains.

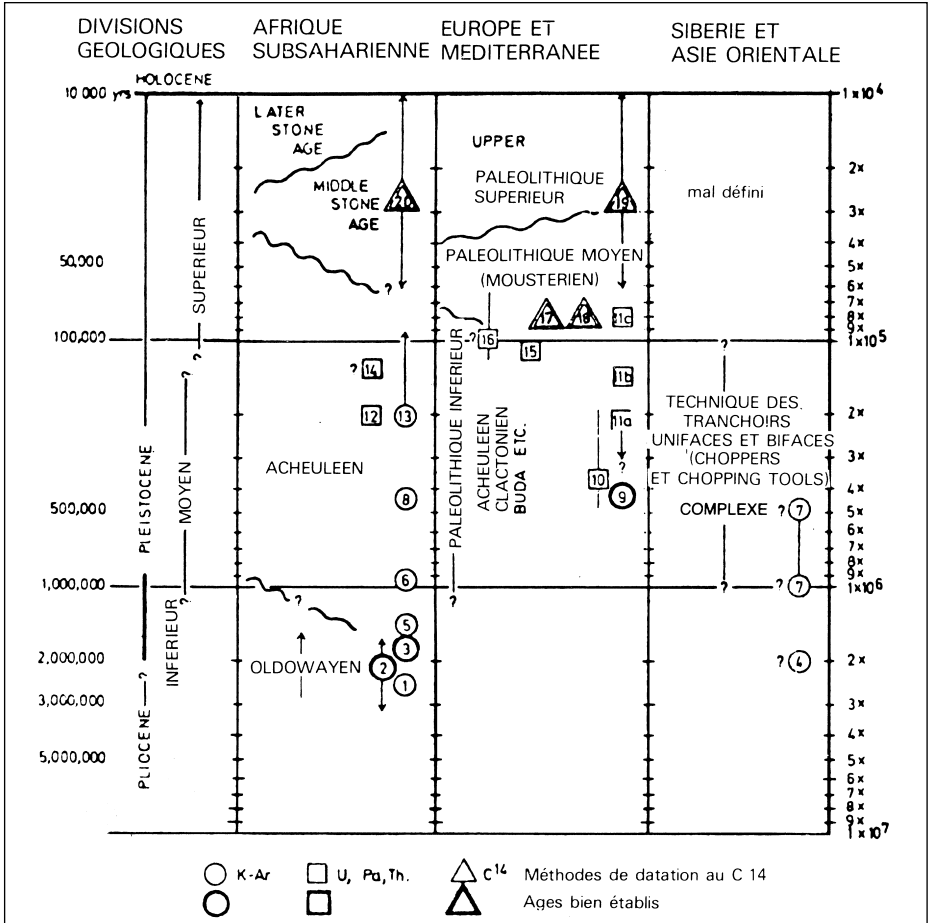
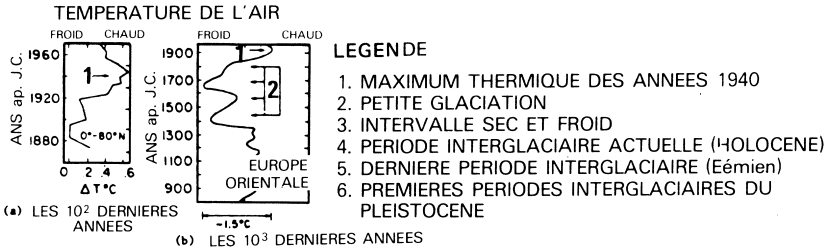
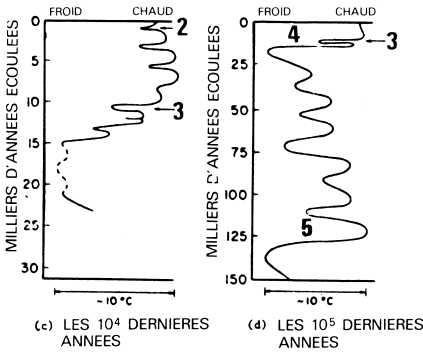


Fig. 10: Chronologie et rythme de l'évolution des civilisations au cours du Pléistocène, par rapport à l'évolution des hominidés. W.W. BISCHOP et J.A. MILLER, 1972, pp. 381-430, fig. 9; d'après G.L. ISAAC. Les principaux horizons culturels sont rapportés à une échelle des temps logarithmique. Les dates ou séries de dates particulièrement bien établies sont signalées par des symboles en trait gras.

VARIATIONS CLIMATIQUES



TEMPERATURE DE L'AIR LATITUDES MOYENNES



VOLUME MONDIAL DES GLACES

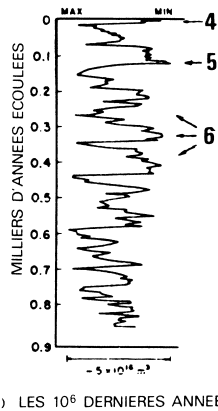


Fig. 11 : Les tendances générales du climat mondial depuis un million d'Années, a) Modifications de la moyenne quinquennale des températures de surface dans la région 0-80 N au cours des 100 dernières années (MITCHELL, 1963). b) Indice de rigueur de l'hiver en Europe orientale au cours des 1000 dernières années (Lamb, 1969). c) Tendances générales de la température de l'air sous les latitudes moyennes de l'hémisphère nord au cours des 15000 dernières années, d'après l'altitude maximale des arbres (La Marche, 1974), les fluctuations marginales des glaciers alpins et continentaux (DENTON et KARLEN, 1973) et les modifications de la végétation enregistrées dans les spectres du pollen (VAN der HAMMEN et al., 1971). d) Tendances générales de la température de l'air dans l'hémisphère Nord au cours des 100000 dernières années, d'après les températures des eaux de surface aux latitudes moyennes, les données de la palynologie et les données mondiales relatives aux niveaux des mers. e) Fluctuations du volume mondial des glaces depuis un million d'années, d'après l'évolution de la composition isotopique du plancton fossile dans la carotte sous-marine V 28-238 (SHACKLETON et OPDYKE, 1973.)

Dans ce type de remplissage sédimentaire, l'effet du climat est plus difficile à mettre en évidence que celui de la tectonique et du volcanisme et des modifications topographiques qu'ils entraînent, si bien qu'actuellement les auteurs ont renoncé à une succession climatique détaillée. En revanche, la chronostratigraphie est bien établie et constitue une référence mondiale.

Dans les différents gisements de Vertébrés et d'Hominidés d'Afrique de l'Est (fig. 8 et 9), les successions sédimentaires datées sont les suivantes :

— *CMO* (Ethiopie): la formation de Shungura, épaisse d'environ 1000 m, s'étend de 3,2 à 0,8 M.A., celle d'Usno de 3,1 à 2,7 M.A. (d'après Heinzelin, Brown, Howell -1971, Coppens -1972, Bishop, Miller -1972, Howell -1972, Brown -1972, 1975). L'étude des pollens de la formation de Shungura a mis en évidence un important changement climatique allant vers la sécheresse il y a près de 2 M.A., avec le développement d'une savane herbeuse à graminées (Bonafille -1973, 1974). Ce changement est confirmé par l'étude des faunes. Il pourrait être proposé de le mettre en parallèle avec un stade du refroidissement mondial des océans (1,8 M.A.).

— *Olduvai* (Tanzanie): la succession des formations classiques et leur chronologie est la suivante :

– Ndutu	Beds	0,032 M.A.
		0,4
– Masen	Beds	0,6
	Bed IV	0,8
(ancien Kanjeran)	Bed III	1,15
	Bed II	– 1,7
(ancien Kamasian)	Bed I	– 2,1

(d'après Leakey, Cook, Bishop -1967, Howell -1972, Hay -1975)

— *East Rudolf* (Kenya): la stratigraphie résumée par la figure 10 due à Brock et Isaac (1974) concerne 325 m de dépôts qui s'échelonnent dans le temps entre 3,5 et 1,5 M.A. environ.

(d'après Bowen, Brock, Vondra, 1975).

— *Hadar, Afar central* (Ethiopie): enfin les formations à Hominidés et richement fossilifères d'Hadar en Afar central, étudiées par l'équipe I.A.R.E. (International Afar Research Expedition) se situeraient autour de 3 M.A. d'après Johanson et Taieb et coll. (1974, 1975).

Les travaux activement en cours dans ces régions d'Afrique orientale permettront d'ici quelques années de proposer une nouvelle évolution climatique fondée sur la sédimentologie et sur l'écologie végétale et animale, et tenant compte de l'interférence des facteurs tectoniques et volcaniques.

D'autres régions d'Afrique comme la Saoura (Alimen et coll. -1959, Alimen -1975), la vallée du Nil (Wendorf -1968, Butzer et Hansen -1968, de Heinzelin -1968, Giegengak -1968, Saïd – sous presse), le Tchad (Coppens -1965, Servant -1973), ou l'Afrique du Nord, ont fait l'objet d'études intensives. Les variations climatiques proposées sont fondées sur la succession des dépôts et creusements fluviatiles ou sur les successions de faunes de

mammifères. A défaut d'une chronologie radiométrique ou magnétostratigraphique, il n'est pas encore possible de mettre en relation ces variations avec les fluctuations glaciaires européennes.

Conclusion

L'accentuation des gradients thermiques du globe, liée à d'amples modifications du climat au cours du temps, caractérise le Cénozoïque supérieur depuis 5 M.A. Elle a provoqué dans les hautes latitudes des variations de température importantes, responsables des périodes glaciaires et des périodes interglaciaires. Dans les latitudes intertropicales, les fluctuations thermiques sont relativement atténuées, mais les circulations atmosphériques perturbées par le renforcement ou l'affaiblissement des fronts polaires provoquent des variations importantes dans la répartition et les quantités de pluies qui contribuent à changer profondément l'environnement des différentes zones climatiques. En modifiant périodiquement le milieu géographique et végétal, cadre de vie de la faune et du développement des Hominidés, ces variations climatiques rythment l'histoire de l'évolution de l'Afrique d'une façon plus discrète que celle des glaciations en Europe.

Ce qu'il faut retenir de cette rapide revue de l'état de nos connaissances sur la chronologie et les variations climatiques en Afrique est la nécessité de poursuivre la récolte des faits d'observation et de mesure avant de figer nos connaissances disparates dans le cadre rigide d'une théorie. D'un autre côté, apparaît l'importance de l'échelle de temps des différentes manifestations de modification du climat. Il convient d'être attentif à placer chaque observation et chaque phénomène dans l'échelle de temps qui est la leur. Ceci est illustré à titre de conclusion par la figure 11 tirée du volume de la National Academy of Sciences, Washington (1975), où cinq exemples de variations climatiques sont donnés pour des échelles de temps allant du siècle au million d'années.