

*NOTES TECHNIQUES
DU CENTRE ORSTOM
DE N'DJAMENA*

N° 17

LA VARIATION DU CLIMAT EN AFRIQUE



J. HERVIEU

LA RECHERCHE DE BASE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT

LA VARIATION DU CLIMAT EN AFRIQUE

par

J. HERVIEU

INTRODUCTION

La variation du climat à la surface de la terre est un phénomène reconnu depuis le début du siècle par les géologues en se fondant sur de multiples indications fournies par les dépôts anciens.

Depuis près de 2 millions d'années, l'ère géologique la plus récente, le Quaternaire, qui aboutit à l'époque contemporaine, a été caractérisée par d'importantes phases de refroidissement (périodes glaciaires) et de réchauffement sensible (interglaciaires) à l'échelle des dizaines ou centaines de millénaires.

A l'échelle du globe, les méthodes de la physique nucléaire ont permis, à l'aide des isotopes radioactifs, de reconnaître dans les carottages des grands fonds océaniques 19 stades climatiques principaux, alternativement chauds et froids, depuis 700.000 ans. Plus en détail, on a pu établir des relations entre les variations du climat et celles du niveau de la mer au cours des 200.000 dernières années, les glaciations correspondant plus ou moins aux régressions marines et les interglaciaires aux transgressions.

Dans les régions tropicales du continent africain, se sont succédées des phases plus humides (périodes pluviales) et des périodes plus sèches ou arides (interpluviaux), dont la corrélation avec les éléments climatiques des hautes et moyennes latitudes présente encore de nombreuses difficultés.

D'autres recherches scientifiques sur les flores anciennes, les altérations et les sols, les sédiments sous-marins ou lacustres, les associations de faune et l'évolution humaine, ont permis de préciser certains épisodes paléoclimatiques plus proches de l'époque actuelle et de déceler des variations du climat de plus faible amplitude à l'échelle du millénaire ou des siècles.

Ainsi, lors de la dernière grande période glaciaire qui a débuté il y a 80.000 ans en Europe, les études ont mis en évidence un grand nombre de fluctuations (interstades) bien datées par la méthode du Carbone 14^{**}. Ces interstades chauds coupés d'épisodes froids indiquent que le réchauffement progressif vers l'époque actuelle n'a pas été régulier.

Enfin, l'histoire contemporaine et les observations météorologiques en séries continues, confirment des conditions inhabituelles de sécheresse ou de froid à l'échelle de quelques années ou même quelques mois.

Certains phénomènes spectaculaires récents, qui touchent de près les activités humaines, risquent d'ailleurs de nous masquer une évolution à plus long terme dont les causes naturelles sont encore mal connues. Ainsi, la sécheresse qualifiée d'exceptionnelle des années 1972-73 dans les pays du Sahel, et des années 1975-76 en Europe occidentale, doit être replacée dans les phénomènes de plus grande ampleur dont la tendance évolutive soulève encore bien des problèmes.

La paléoclimatologie traite des climats qui se sont déroulés pendant les temps géologiques (des dépôts désertiques ont été identifiés jusque dans

^{**} Toute matière vivante contient du carbone provenant du gaz carbonique, de l'atmosphère dans lequel existe une faible quantité de carbone 14 radioactif. Lorsque l'organisme animal ou végétal meurt, la radioactivité du C 14 diminue lentement, de moitié tous les 5 568 ans. La mesure, dans certaines conditions, de la radioactivité restante permet d'estimer le moment où l'organisme a cessé de vivre avec une certaine marge d'erreur. Cette méthode ne permet pas en général de mesurer des âges plus vieux que 40 000 ans.

les formations de l'ère primaire), mais la paléoclimatologie des âges glaciaires revêt une importance majeure pour le Quaternaire. La paléoclimatologie de la période récente (les derniers 20.000 ans) permet d'étudier la transition avec le climat actuel.

Le Quaternaire se caractérise par ses importantes fluctuations climatiques et l'apparition de l'homme, mais ces phénomènes se sont manifestés de façon plus ou moins importante depuis la fin du Tertiaire (Mio-Pliocène).

La limite Pliocène-Quaternaire est assez variable selon les auteurs et les régions : 2 à 5 millions d'années avant l'époque actuelle. On distingue habituellement deux périodes de durée très inégale dans le Quaternaire : le Pleistocène, lui-même subdivisé en P. ancien, moyen et récent en fonction des grandes glaciations européennes, et l'Holocène, postérieur à la dernière grande glaciation et s'étendant seulement sur 11 à 12.000 ans avant l'actuel. Les plus anciens outils taillés trouvés en Afrique remontent à 2,9 millions d'années. En Europe, les grandes détériorations climatiques ont commencé vers 1,8 millions d'années.*

Après un aperçu sur les causes possibles des variations climatiques, on tentera ici de dresser un tableau simplifié des faits concernant le continent africain au cours des périodes géologiques récentes en insistant plus particulièrement sur les derniers millénaires de notre ère pour lesquels les mesures de datations absolues sont plus précises et plus nombreuses. Plus particulièrement dans le cadre du bassin tchadien et des pays du Sahel, les spécialistes de l'ORSTOM ont contribué à l'oeuvre commune des chercheurs pour tenter d'expli-

* D'autres méthodes de la physique nucléaire permettent d'étudier et de dater les sédiments anciens. Ainsi la disparition progressive du Thorium 230, dans les coquilles et coraux fossiles, permet de remonter jusqu'à 300 000 ans. Les matériaux volcaniques contiennent à l'origine de petites quantités d'un isotope du potassium qui se transforme en gaz Argon en diminuant de moitié tous les 1330 millions d'années. La méthode dite au potassium-argon, appliquée à des minéraux volcaniques peu altérés, permet de dater des événements beaucoup plus anciens, en particulier ceux du Pleistocène. La proportion d'un isotope de l'oxygène (O18) dans les microorganismes des sédiments marins reflète celle de l'océan à la même époque et permet de repérer les périodes glaciaires. Les variations anciennes du magnétisme terrestre fournissent également une aide précieuse comme repères stratigraphiques du Quaternaire.

quer, par l'histoire des paysages, des phénomènes récents ou actuels qui perturbent parfois gravement les environnements naturels et les communautés humaines.

1° CAUSES ET FACTEURS DES VARIATIONS CLIMATIQUES

Les causes premières des modifications de la circulation atmosphérique étant probablement d'ordre cosmique ou planétaire, on a cherché, au moyen de théories astronomiques et de solutions mathématiques, à estimer la durée et l'intensité des phases glaciaires ou pluviales selon des cycles plus ou moins complexes, à l'échelle continentale, mais ces hypothèses sont encore sujettes à caution. Cependant, l'ensemble des observations déjà réunies et les mesures de datation absolues permettent des reconstitutions régionales assez précises.

Un cycle glaciaire est une oscillation climatique majeure d'une durée de l'ordre de 100.000 ans, au sein d'un âge glaciaire qui peut s'étendre sur un à plusieurs millions d'années. L'époque actuelle correspondrait au début d'un nouveau cycle ayant débuté il y a environ 10.000 ans, la phase chaude contemporaine étant considérée comme un stade interglaciaire. Cependant, depuis le milieu de l'Holocène, on constate en moyenne une croissance des déserts et le retrait des limites forestières dans les hautes latitudes. En outre, des variations mineures laissent supposer que ce réchauffement est irrégulier, que les changements climatiques n'intéressent pas l'ensemble du globe et qu'il faut raisonner en fonction de l'échelle de temps considérée.

Par ailleurs, sans connaître la cause principale des grandes glaciations et des variations dans la circulation atmosphérique, on sait que l'environnement terrestre est conditionné par d'autres facteurs. Parmi ceux-ci, on peut citer en particulier : les variations de l'orbite terrestre, de la radiation solaire, les courants océaniques, l'activité volcanique et d'une manière générale tous les facteurs pouvant modifier ou perturber la nébulosité et la composition de l'atmosphère.

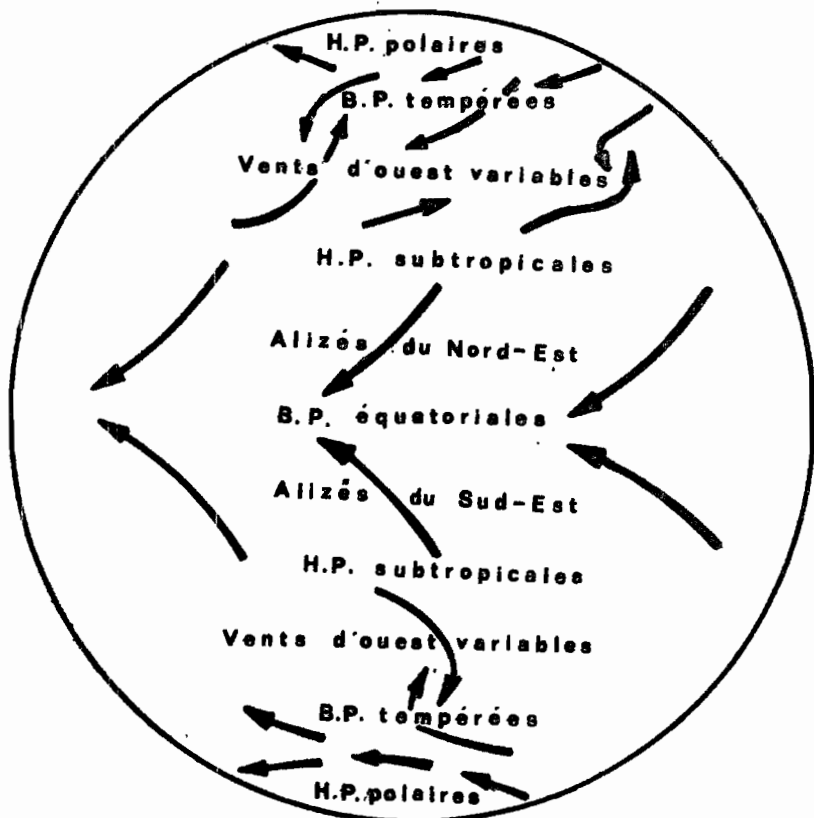


Fig 1 - Répartition des zones de pressions (Hautes et Basses) à la surface du globe.

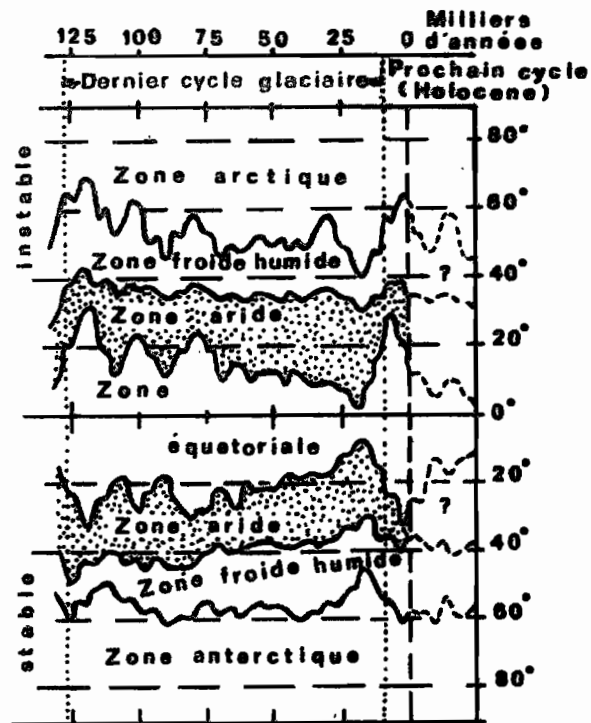


Fig.2 - Diagramme des zones climatiques majeures dans les 2 hémisphères au cours du dernier glaciaire.

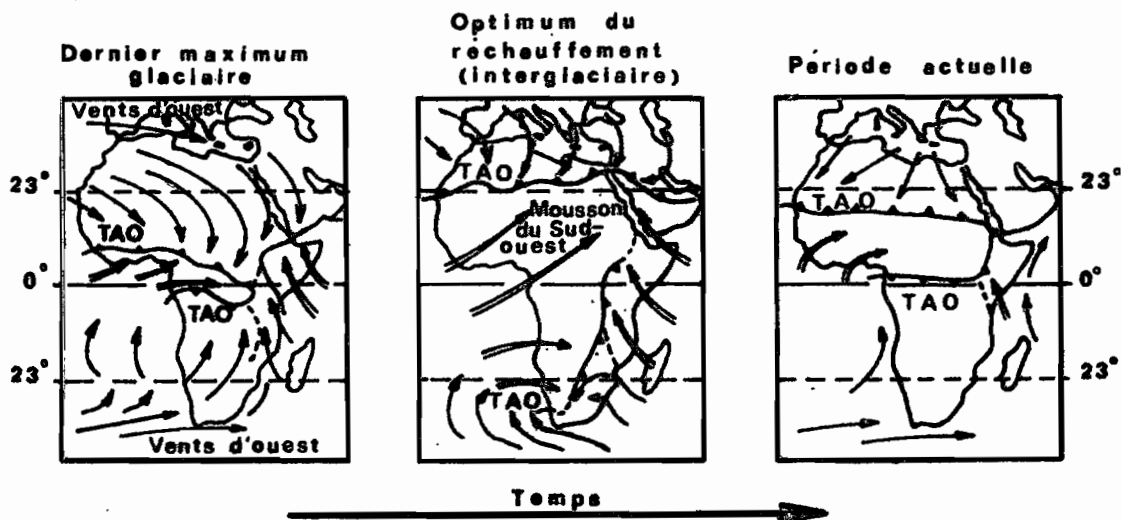


Fig.3 - Circulation atmosphérique sur l'Afrique et le Sud de l'Europe illustrant les hypothèses faites lors des périodes climatiques anciennes. Zone de transition Vents d'ouest / Alizés = TAO

(d'après R.W. Fairbridge 1972)

L'existence de périodes pluviales, c'est à dire de conditions climatiques plus humides que celles du climat antérieur, et assez longues pour avoir eu des conséquences physiques et biologiques sur certaines régions du continent africain, peut s'expliquer par le recul des glaciers, en particulier dans l'hémisphère nord.

Lors du maximum glaciaire, une descente des zones climatiques (tempérée - désertique - tropicale humide) a pu avoir lieu : les pluviaux en Afrique du Nord seraient bien contemporains des glaciations, mais sur la frange méridionale du Sahara, il y aurait eu simultanément extension de l'aridité avec rétrécissement de la zone tropicale humide. Une remontée vers le nord de la zonation climatique pendant les interglaciaires produirait les phénomènes inverses (Cf. Fig. 2). Les faits observés laissent supposer que ces phénomènes n'ont pas eu la même ampleur selon la longitude et que ces variations ont été moins sensibles aux très basses latitudes.

L'avancée des calottes glaciaires, en plus de cet "effet de poussée", a été certainement aussi marquée par une réorganisation générale de la circulation atmosphérique (déviations des vents d'ouest, vents dominants du nord-est, faible influence des alizés), le refroidissement généralisé des surfaces marines réduisant l'évaporation et la pluviométrie aux hautes latitudes, facilitant la formation de hautes pressions continentales et donc l'accroissement de l'aridité aux basses latitudes. Au contraire, en période interglaciaire, l'évaporation et par conséquent la pluviosité sur les océans tropicaux et le continent africain, ont été favorisées par l'action des alizés et les vents saisonniers (mousson)** (Cf. Fig. 1 et 3).

** A l'échelle saisonnière, on observe aussi un phénomène périodique dans la circulation générale : la ligne qui sépare les deux systèmes d'alizés (Front intertropical = FIT) varie en latitude avec le régime des vents réguliers.

2° LES INDICATEURS DE MILIEUX

En Afrique, une formation naturelle peut être dite appartenir à une période pluviale si elle est caractérisée par un assemblage de sédiments, de sols, de faune et de flore qui sont caractéristiques de climats plus chauds et plus humides que l'actuel. Par contre, les traces de climats arides anciens auront moins de chances de subsister dans un climat actuel plus humide à cause des phénomènes d'altération et d'érosion. Les dépôts de mers profondes peuvent cependant fournir des séquences continues.

- Phénomènes glaciaires

En Afrique orientale, certains sommets comme le Kilimandjaro (5.900 m d'altitude) sont recouverts de glaciers ou de neiges permanentes, mais les plus basses moraines (dépôts glaciaires) ou les traces d'enneigement se retrouvent à des altitudes inférieures à l'actuelle (- 900 à 1.300 m) indiquant des températures plus basses de plusieurs degrés. Au mont Ruwenzori (Ouganda-Zaire), les moraines de la dernière glaciation s'étendaient à 2.400 m au-dessous des glaces actuelles il y a plus de 15.000 ans. Au Quaternaire ancien, en Afrique du Nord et même au Sahara central, d'anciennes formations périglaciaires (action du gel et de la neige) caractérisent les régions montagneuses et indiquent des climats plus froids et plus humides (pluviaux méditerranéens).

- Lignes de rivage et plages anciennes, dépôts sous-marins

Par la datation de tourbes et dépôts calcaires prélevés dans des sondages sur le plateau continental ivoirien, on sait que dans cette région la mer est descendue à environ 110-115 m entre 17 et 18.000 ans avant l'époque actuelle. Ces datations sont suivies de la mention B.P.*

* Before Present = B.P., 1950 étant prise comme date de référence. On utilise aussi parfois Before Christ = B.C. ou avant Jésus Christ.

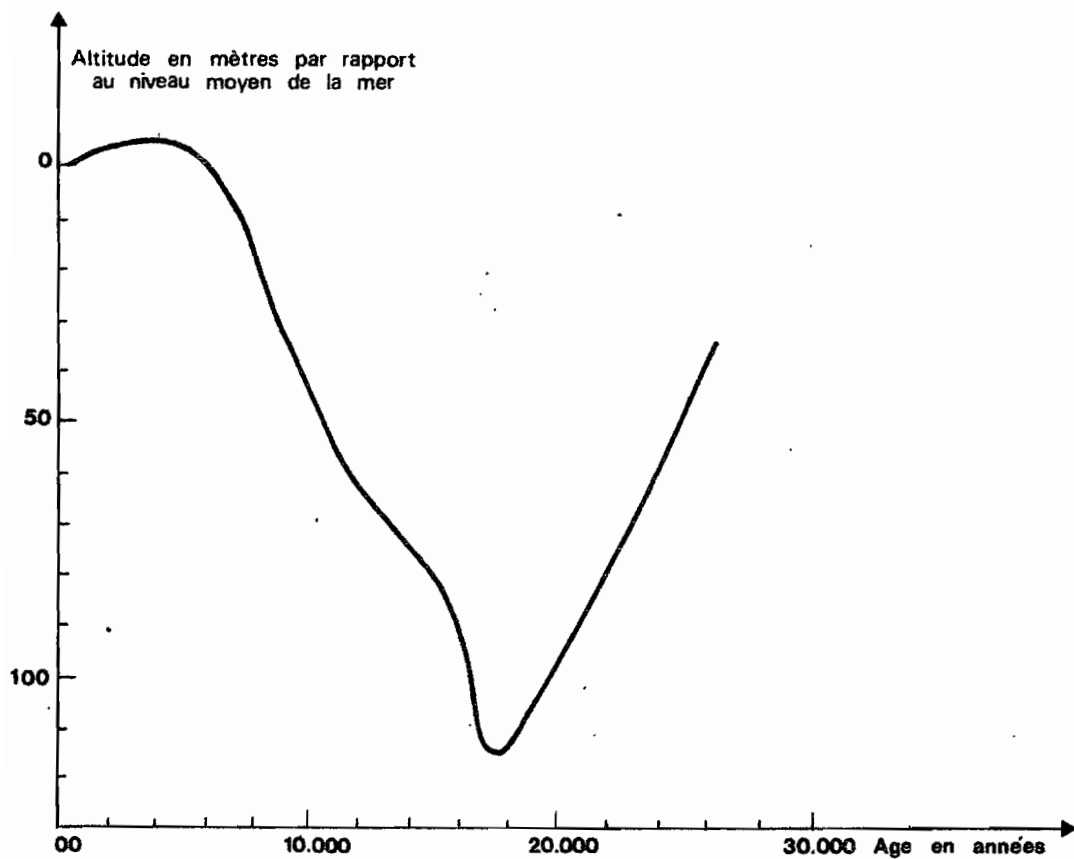


Fig.: 4.- COURBE DE VARIATION DU NIVEAU DE LA MER SUR LA COTE OUEST AFRICAINE

(D'après G. Delibras 1974)

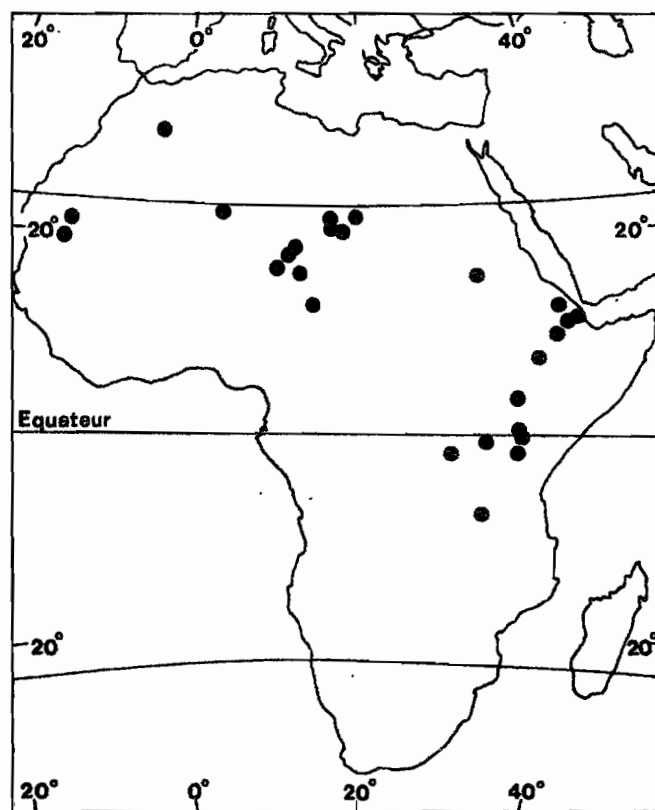


Fig.: 5.- PRINCIPALES LOCALITES A HAUTS NIVEAUX LACUSTRES DE 8000 à 9000 ans B.P.

(d'Après Alayne Street et Grove 1976)

Sur le littoral mauritanien, plusieurs transgressions marines se sont produites au cours du Quaternaire et la mer a envahi le continent sur plus de 100 km, sans dépasser quelques mètres au-dessus du niveau actuel. Là aussi un niveau minimal de - 110 ou 120 m semble avoir été atteint entre 17.000 et 20.000 ans B.P. L'origine de cette régression à l'échelle du continent correspond à une grande extension des glaces polaires, à la fin de la dernière grande glaciation dite du Würm en Europe occidentale.

Depuis 26.000 ans, l'allure de la variation du niveau marin sur la côte ouest africaine a pu être reconstituée avec assez de précision grâce à de nombreuses datations et on connaît plusieurs niveaux marins supérieurs à l'actuel (maximum + 3 m) entre 500 et 5.000 ans, avec des dépôts salins lagunaires et des cordons coquilliers (Cf. Fig. 4)

Les variations de faible ampleur du niveau marin peuvent aussi être dues à des déformations du continent et ne traduisent pas obligatoirement des variations climatiques auxquelles d'autres milieux sont plus sensibles : c'est le cas des lacs et de leur sédiments.

- Anciens lacs et dépôts lacustres

En l'absence de déformations tectoniques, on peut penser que les traces d'extensions lacustres nettement plus grandes qu'à la période actuelle correspondent à des périodes à pluviosité plus forte. Ainsi, en Mauritanie, au Sahara central et nord occidental, dans le bassin du Tchad et au Niger, dans les grandes vallées soudanaises et éthiopiennes, dans les Rifts Valleys d'Afrique orientale, d'anciens sédiments permettent d'envisager des variations climatiques importantes, en particulier durant les quarante derniers millénaires.

Il peut s'agir d'anciens lacs de cratère, de lacs d'affleurement de nappe ou encore de bassins alimentés par des fleuves. Les coupes sédimentologiques et les datations doivent tenir compte des causes d'erreurs (déformations généralisées, retards et inertie dans les phénomènes naturels, modifications dans les bassins versants) mais on sait maintenant, grâce à l'étude de ces dépôts lacustres, que la période humide dite "Holocène" est un fait général (Cf. Fig. 5).

Cette période a débuté au plus tôt vers 12.000 ans B.P. et un retour marqué vers l'aridité s'est produit vers 7.500 à 7.000 ans B.P.

Auparavant, un épisode aride la sépare d'une autre période pluviale. Celle-ci, dite du Pleistocène supérieur, semble généralisée avant 40.000 ans B.P. et a laissé des formations lacustres et alluviales dans le Sahara nord occidental, au Sénégal et dans la vallée du Nil.

Les bassins lacustres d'Afrique orientale (Omo en Ethiopie, Victoria, Nakuru, Naivasha, Magadi en Afrique de l'Est) ont généralement atteint leurs niveaux les plus élevés entre 9.000 et 8.000 ans B.P. (on a enregistré des oscillations pouvant atteindre 180 m d'amplitude dans certains lacs) après un maximum d'aridité entre 15.000 et 13.000 ans B.P. Les lacs actuels sont peu profonds et souvent salés.

Tous les lacs de l'Afar au nord-est de l'Afrique, aujourd'hui désertique, ont subi une montée spectaculaire de leur plan d'eau (160 à 315 m) vers 10.000 ans B.P. Ces mêmes lacs ont régressé à partir de 6.000 ans B.P.

Pendant la phase lacustre Holocène, on a pu d'après divers calculs estimer une pluviométrie annuelle supérieure de 150 % à la moyenne des décennies récentes, ce qui implique des changements profonds dans l'environnement naturel, probablement en liaison avec l'accroissement sensible des températures océaniques et de l'évaporation ainsi que la stagnation ou le retrait des calottes glaciaires.

Au Niger oriental et au Tchad, la très vaste extension des formations lacustres anciennes (diatomites) a permis d'envisager une vaste mer intérieure ou paléo-Tchad, ayant atteint 320 m d'altitude (actuel 282 m) avec une surface plus ou moins continue près de 100 fois supérieure à l'actuelle (Cf. également Note technique n° 12).

Dans la moyenne vallée du Niger, d'anciens rivages lacustres sont marqués par des formations ferrugineuses qui permettent de reconstituer un ancien système de lacs beaucoup plus étendu à plus de 10 m au-dessus des cotes maximales actuelles.

- Formes du relief continental et cycles d'érosion-sédimentation

L'extension ancienne de l'aridité dans des régions aujourd'hui moins désertiques a, dans certains cas, été marquée par des dépôts éoliens et, d'après les types de dunes, on peut aussi reconnaître la direction des vents dominants.

De nombreux témoins de systèmes dunaires fossiles ont été reconnus en Afrique. Les anciennes dunes du Kalahari ont eu une extension beaucoup plus grande que l'actuelle et ont atteint le Congo au voisinage de l'Equateur. Les dunes roses du moyen Niger, les dunes rouges du Sénégal, du Nigéria et du Nord-Cameroun sont d'anciens ergs stabilisés, actuellement fixés par une steppe arbustive ou une savane arborée. La mise en place de certains grands ergs sahariens, en particulier celle du Grand Erg occidental algérien serait antérieure à la période holocène. Dans le bassin tchadien, trois ergs principaux ont été identifiés et, au nord du 13° parallèle, les deux derniers en partie enfouis sous les eaux du lac actuel se sont mis en place avant et après la période humide holocène. Actuellement, l'éolisation -rappelons que la déflation des particules sableuses est importante pour des pluviométries inférieures à 250 mm ou davantage si le climat est très contrasté- ne se manifeste réellement qu'au nord du 16° parallèle.

Inversement, les périodes plus humides et surtout semi-arides en régions tropicales, ont été favorables à la mise en place de nappes sédimentaires, au creusement des vallées et à la formation des terrasses alluviales. Au Maroc atlantique, six cycles climatiques principaux au cours du Quaternaire ont mis en place d'épais dépôts continentaux avec passage de climats tropicaux probablement assez chauds et humides à des conditions méditerranéennes ou tempérées. En Tunisie, quatre ou cinq niveaux étagés (glacis de piémonts et terrasses) correspondraient à autant de "pluviaux".

En ce qui concerne les régions sahariennes, le terme "pluvial" n'a qu'un sens relatif et par pluviaux on entend essentiellement des climats anciens à tendance subaride ou tropicale qui ont permis des écoulements importants ou notables et la formation de terrasses emboîtées jusqu'à 60 m au-dessus des lits actuels : six cycles climato-sédimentaires ont ainsi été identifiés et

d'anciens lacs occupaient les dépressions dès le Quaternaire ancien. La sédimentation s'est surtout effectuée pendant les phases humides, le creusement des vallées étant plus marqué au cours des périodes à tendance aride (crues rares mais violentes). Au Sahara, la dernière phase de sédimentation fluviale s'étend de plus de 40.000 ans à 14.000 ans B.P., mais ce "dernier pluvial" (Pleistocène supérieur) semble avoir peu modifié le paysage végétal.

La récurrence humide holocène dite "humide néolithique" a connu ici son maximum entre 7.000 et 5.000 ans B.P., interrompant le climat aride qui s'est progressivement installé sur le Sahara jusqu'à la période historique.

En Afrique orientale et méridionale, dans la vallée du Nil, les niveaux lacustres et les terrasses alluviales ont permis de préciser les oscillations climatiques anciennes : ainsi, chaque haut niveau du Nil correspondrait à une phase plus froide des régions européennes, le fleuve ayant un débit moindre lors des phases plus chaudes et sèches, et trois phases principales de dépôt avec intervalles de stabilité se sont produites au cours des derniers 20.000 ans.

Après leur dépôt ou leur aménagement, les matériaux des surfaces alluviales ou des surfaces d'aplanissement (glacis) peuvent subir des transformations plus ou moins marquées, en particulier si la pluviométrie augmente, par l'intermédiaire des processus d'altération et de pédogénèse.

- Sols et altérations

L'extension ou la réduction de la zone équatoriale humide et de sa bordure subhumide au cours des variations climatiques quaternaires ont provoqué des alternances d'érosion et d'altération des roches. En climat tropical à saison sèche marquée, le ruissellement sous végétation clairsemée facilite l'aplanissement du relief. En climat tropical humide, à saison sèche peu marquée, les processus d'altération dominant et mobilisent certains éléments, en particulier le fer.

Cette évolution complexe est particulièrement bien illustrée en Afrique occidentale où, lors des périodes sèches à précipitations peu nombreu-

ses mais fortes, se sont façonnés de vastes glacis. Lors du retour à des périodes humides, ces glacis ont été altérés et indurés par des cuirasses ferrugineuses, formant des reliefs témoins dans les paysages actuels. Les périodes humides anciennes ont été les plus agressives : en effet, le bas glacis est peu ou pas cuirassé bien que sa formation soit antérieure à la période humide de la fin du Pleistocène (avant 40.000 ans B.P.).

Les caractères des matériaux d'altération, en particulier certaines associations minéralogiques, permettent également de distinguer les formations pédologiques héritées de climats anciens. Les sols rouges tropicaux ne se forment guère sous des pluviométries inférieures à 600 mm : les ergs récents du Niger, du Sénégal, de la Haute Volta, du bassin tchadien ne sont pas rubéfiés contrairement aux dunes rouges des ergs plus anciens.

Dans la zone climatique soudano-sahalienne actuelle, en particulier au nord et à l'est de la Haute-Volta, des anciennes surfaces d'érosion sont cuirassées (cuirasses inactuelles) et fossilisent un manteau d'altération à argiles kaoliniques hérité d'anciennes périodes humides.

Au nord du Sahara, en Mauritanie comme en Afrique du Nord, on retrouve aux périodes anciennes du Quaternaire des sols rubéfiés et même des cuirassements, mais par la suite les oscillations humides vers le nord ont été de plus faible amplitude ou plus fraîches (influence méditerranéenne). Par contre, l'assèchement et le réchauffement périodique du climat ont favorisé sur les glacis et les surfaces alluviales la formation d'encroûtements calcaires ou de croûtes gypseuses.

Dans ces régions, l'intensité de ces phénomènes diminue d'autant plus qu'on se rapproche des périodes actuelles et des régions aujourd'hui les plus arides. Le façonnement de glacis étagés et de terrasses, ainsi que les processus de mobilisation du calcaire dans les sols correspondent donc aussi à la succession de "pluviaux" qui n'ont été ici que des phases semi-arides.

En région désertique, des sols bruns, noirs ou gris, des anciens sols marécageux très localisés, caractérisent les périodes humides les plus récentes qui ont causé peu de transformations chimiques, jusqu'au Néolithique compris.

- Associations de faune

En fonction des évènements climatiques, des migrations d'espèces ont eu lieu, tandis que certains groupes plus anciens se sont adaptés ou ont disparu. Mais ici, en particulier pour les mammifères, il est souvent difficile d'assimiler une seule espèce à un repère chronologique précis. On doit également considérer de larges intervalles de temps et relier les faits observés aux critères non biologiques. On distingue le plus souvent une évolution générale comprenant des stades successifs.

L'apparition d'une faune de mammifères dite moderne s'est produite en Afrique plus tôt qu'en Europe, c'est à dire dès le début du Pleistocène (environ 2 millions d'années). A côté d'espèces archaïques, on trouve déjà à la fin du Pliocène des genres apparentés aux types actuels d'éléphants, chevaux, phacochères et chiens. Les espèces d'hippopotames, de girafes et de bovidés étaient plus nombreuses, et beaucoup ont aujourd'hui disparu. Les cervidés n'apparaissent qu'au Pleistocène récent, seulement au Moyen-Orient, tandis que de nombreuses espèces d'équidés n'ont pas atteint la période holocène.

Plus que les variations des espèces, on étudie de plus en plus la systématique des populations dont les changements sont davantage sous la dépendance du climat.

Ainsi, dans les gisements de l'Omo en Ethiopie, où ont été récoltés 50.000 ossements de vertébrés, l'étude des fréquences d'espèces au sein des associations montre que l'évolution de la faune de mammifères a été progressive entre 4 et 1 million d'années avant notre époque, et que le climat est devenu de moins en moins humide, avec des paysages de moins en moins arborés jusqu'aux savanes herbeuses les plus sèches (augmentation considérable des Bovidés et diminution des hippopotames, éléphants et suidés).

La microfaune récoltée dans les sédiments peut également apporter des précisions sur l'environnement climatique. Ainsi, l'étude des diatomées, algues microscopiques à test siliceux, a permis de confirmer et de préciser les variations des niveaux lacustres dans le bassin du Tchad, certaines

espèces étant caractéristiques de la profondeur des lacs, de la température et de la salinité de l'eau au moment du dépôt.

- Evolution de la couverture végétale

Grâce à l'étude systématique des pollens recueillis dans les sédiments quaternaires (palynologie), on peut reconstituer les associations végétales du passé et en déduire avec certaines précautions la nature du couvert végétal évidemment lié aux conditions climatiques soit dans l'environnement immédiat du dépôt, soit dans les bassins versants concernés.

D'une manière générale, la prédominance de pollens de plantes herbacées et de graminées dans les sédiments et la réduction des pollens de plantes forestières ou associées à la forêt, laissent supposer soit un abaissement de température, soit une diminution de la pluviométrie ou les deux, soit encore une déforestation anthropique.

Ainsi, dans le bassin du lac Rodolphe, au sud-ouest de l'Ethiopie, l'assemblage de pollens fossiles datés de 1,5 à 1,6 millions d'années (Pliopleistocène) présente de nombreuses espèces non représentées dans la végétation actuelle. La prédominance de végétaux de forêt de montagne laisse supposer à proximité du bassin un couvert plus dense, donc un climat probablement plus froid et plus humide au sein duquel des populations d'anciens hominidés ont vécu et laissé de nombreux restes archéologiques.

Sur les hauts plateaux éthiopiens, dans la vallée de l'Awash, le spectre palynologique suggère au cours de l'Holocène un éloignement de la forêt et une végétation assez ouverte (savane mixte) qui semble avoir dominé pendant la plus grande partie du Pleistocène.

En Afrique orientale, dans le bassin du lac Victoria, les études des pollens ont montré que la forêt devait être absente ou réduite avant 12.000 ans B.P. avec un maximum d'extension vers 4.000 ans B.P. Cependant, au cours des derniers millénaires avant notre ère, la régression des forêts tro-

picales peut être due soit à des causes climatiques, soit aux défrichements anthropiques.

L'analyse pollinique de carottes sédimentaires prélevées dans le fond du lac Tchad a permis de définir la proportion d'éléments en provenance des zones climatiques septentrionales ou méridionales (apports du fleuve) et de relier les échantillons à des stades lacustres de transgression ou de régression au cours du dernier millénaire.

L'inventaire des espèces botaniques de la forêt dense de l'ouest africain permet de supposer une liaison étroite avec l'ensemble forestier camerouno-congolais lors des périodes pluviales du Quaternaire. Certaines espèces, dont l'aire est aujourd'hui réduite, ont probablement été dispersées par le recul des limites forestières lors de phases climatiques plus sèches et certaines savanes de basse Côte d'Ivoire sont considérées comme des reliques.

- Les civilisations préhistoriques

La présence des ancêtres de l'homme moderne dans les différentes régions africaines n'est pas obligatoirement liée aux conditions climatiques, mais la dispersion ou la concentration des populations, les restes témoignant de leur mode de vie et de leurs habitudes alimentaires, peuvent, en liaison avec les autres critères, apporter des renseignements précieux sur les vicissitudes climatiques, plus particulièrement au cours des périodes récentes du Quaternaire.

En Ethiopie (vallée de l'Omo et Hauts Plateaux) et en Tanzanie (gorge d'Olduvai) où ont été découverts les plus anciens outillages (entre 2,1 et 1,1 millions d'années B.P.) et de nombreux restes fossiles d'hominidés, les petites tribus humaines ont pu sans doute subsister et se différencier grâce à un environnement favorable qu'elles n'avaient guère la possibilité de modifier (pas de contrôle du feu). Un milieu de savane arborée dense ou de forêt de montagne était propre à multiplier les petits mammifères, proies plus faciles pour ces chasseurs primitifs. A Olduvai, les anciens hominidés, entre 1,9 et 1,65 millions d'années, ont d'abord vécu sur les bords d'un lac à rivages variables en

compagnie d'une faune amphibie (crocodiles, hippopotames), puis par la suite dans des grandes étendues herbeuses où vivaient des girafes, des rhinocéros et des équidés.

Au Pleistocène moyen, la diversification de l'outillage, en particulier des industries dites acheuléennes (paléolithique inférieur), a permis au genre Homo un impact plus important sur le milieu naturel et sa faune, au moyen de la chasse et de la cueillette. Cependant, là aussi les sites acheuléens paraissent plus abondants dans les régions d'Afrique orientale et d'Afrique méridionale où dominant encore actuellement des paysages de savanes herbeuses ou arborées assez denses.

Ce n'est que plus tard, durant les derniers stades des civilisations acheuléennes (Pleistocène supérieur) que les populations ont atteint les régions aujourd'hui arides ou la forêt dense : peut-être les périodes pluviales ont-elles favorisé cette dispersion.

Plus près de nous, la civilisation atérienne du Sahara (paléolithique terminal) connue par ses industries, semble contemporaine de la dernière grande extension des lacs, la dégradation du climat s'accélégrant au cours du néolithique. Au VII^e millénaire avant Jésus Christ, les régions sahariennes, présentaient des conditions exceptionnelles d'implantation humaine. Cette civilisation de chasseurs qui a disparu assez brusquement, s'est développée au sein de paysages plus arborés avec une grande faune caractérisée par l'éléphant, le rhinocéros, l'hippopotame, la girafe, le crocodile.

Au néolithique, l'homme échappe de plus en plus aux contraintes de l'environnement : l'élevage succède en partie à la chasse (les peuples sont chasseurs-pêcheurs-pasteurs), mais l'agriculture saharienne reste très rudimentaire. A la période dite du Bubale, d'après les gravures rupestres, succède, au V^e ou VI^e millénaire avant Jésus Christ, la période des pasteurs bovidiens qui couvre l'essentiel du néolithique, puis vient la période du cheval vers la fin du II^e millénaire, enfin celle du chameau aux environs de l'ère chrétienne. La grande faune a commencé à régresser dès la période des pasteurs et les occupants du Sahara néolithique de plus en plus ont émigré en direction du sud.

Après un développement très important des industries et des arts, la dégradation des civilisations sahariennes, malgré la multiplicité de leurs aspects et la diversité de leurs techniques, est incontestablement d'origine climatique.

Depuis l'humide néolithique, le Sahara n'a connu que des fluctuations climatiques mineures et de plus l'irrégularité des pluies caractérise ces régions subdésertiques. Si plusieurs années sèches consécutives ou années humides peuvent modifier le paysage végétal sur les franges du Sahel, à l'heure actuelle la surpopulation et le surpâturage apparaissent comme les causes les plus graves de la désertification dans ces régions.

3° EVOLUTION DU MILIEU NATUREL DANS LE BASSIN TCHADIEN ET LES PAYS DU SAHEL AU COURS DES QUARANTE DERNIERS MILLENAIRES (Quaternaire récent).

De 40.000 à 20.000 ans B.P., on a les preuves d'épisodes plus humides que l'actuel, mais le manque de datations ne permet pas de préciser le caractère synchrone de ces variations climatiques dans les régions sahariennes et sahéliennes. Au Sahara algérien d'anciens lacs à faune de mollusques ont existé dès 38.000 ans B.P., des dépôts fluviatiles ont remblayé les vallées, Ce type de climat, plutôt semi-aride, avec des écoulements violents mais encore irréguliers, a débuté vers 40.000 ans B.P. dans le Niger oriental et a laissé des dépôts calcaires au Tchad, en particulier dans les Soulias et le Bahr-el-Ghazal.

De 20.000 à 12.000 ans B.P. une tendance à l'aridité s'est développée en Afrique centrale et occidentale. Le maximum de sécheresse correspond vers 17.000 ans B.P. à une importante régression marine sur les côtes de l'ouest jusqu'à - 130 m tandis que les glaciers progressaient en Europe. Par suite de l'extension des régions désertiques, de grands ensembles dunaires se sont mis en place au Sénégal et en Mauritanie, au Sahara et dans le Kanem. Dans le Bahr-el-Ghazal, des sables éoliens ont recouvert les anciens dépôts lacustres.

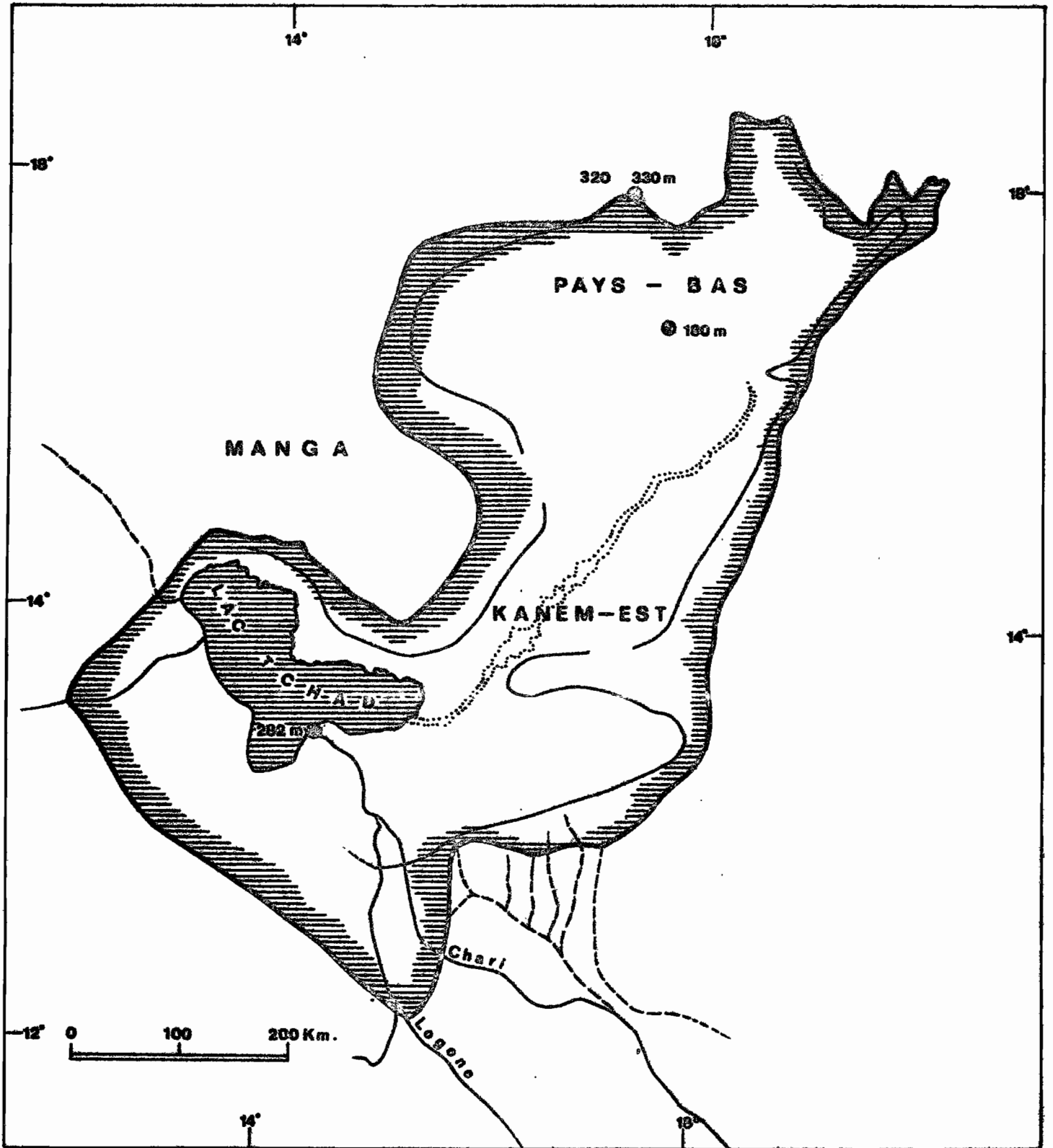


Fig. : 6 - EXTENSION PROBABLE DU LAC TCHAD ENTRE 7000 et 5000 ans B.P.

(d'après Schneider, 1968 et Servant 1973)

Sur les piémonts des massifs montagneux, à la périphérie du bassin tchadien, des glacis d'érosion et des épandages alluviaux se sont formés. On estime qu'à cette époque la limite méridionale du Sahara a reculé d'au moins 300 km vers le sud et le Nil a pu cesser de couler.

De 12.000 à 7.500 ans B.P. des conditions nettement plus humides ont prévalu dans les régions intertropicales, en particulier au Tchad et en Afrique occidentale, mais aussi en Afrique orientale. Le maximum d'humidité de cette période pluviale coïncide avec le réchauffement post-glaciaire en Europe.

En Ethiopie, le niveau du lac Rodolphe a dépassé de 80 m le niveau actuel vers 9.500 ans B.P. Dans le massif du Tibesti, des cratères volcaniques sont tapissés de dépôts lacustres datés de 8.500 à 8.000 ans B.P. Des extensions lacustres ont eu lieu dans presque toutes les dépressions de la cuvette tchadienne et les plus hauts niveaux ont été atteints entre 8.000 et 9.000 ans B.P. A la même époque, les lacs s'étendent dans l'Adrar mauritanien et le fleuve Sénégal, auparavant sans écoulement vers la mer, entaille ses alluvions et reprend possession de sa vallée. Des sols rouges se forment sur les dunes anciennes dans de nombreuses régions sahéliennes et localement des accumulations ferrugineuses dues au mauvais drainage.

Avec un certain retard, par suite du recul des glaciers et de l'augmentation pluviométrique, le niveau marin remonte jusqu'à un maximum (+ 3 m par rapport à l'actuel) vers 5.500 ans B.P. Cependant, le retour à l'aridité et par conséquent les régressions lacustres ont débuté vers 7.500 ans B.P. dans la cuvette tchadienne, mais le lac Tchad avait encore une grande extension et atteignit l'altitude de 320 m entre 7.000 et 5.000 ans B.P.

Pendant cette période humide, on peut dire que le Sahara a pratiquement disparu en tant que barrière désertique : les influences méditerranéennes ont progressé vers le sud (une végétation de type méditerranéen a gagné les massifs sahariens jusqu'au Tibesti) tandis que la convergence intertropicale remontait sensiblement vers le nord, ces phénomènes apportant non seulement des pluies mais provoquant un abaissement sensible des températures.

Cet environnement climatique favorable a probablement favorisé les mouvements des populations préhistoriques vers les tropiques, à partir de l'Afrique du Nord, dès 10.000 ans B.P.

A partir de 7.500 ans B.P., l'humidité a de nouveau diminué, le couvert végétal s'est dégradé et le domaine tropical avec sa faune caractéristique et la végétation de type soudanien, comme en témoignent les gravures rupestres, a de nouveau envahi une grande partie du Sahara.

En Mauritanie, les fleuves n'aboutissent plus à la mer vers 5.000 ans B.P., les surfaces lacustres sont soumises à une forte évaporation et des dépôts lagunaires se forment. Le Sénégal édifie des levées de berge et se ramifie, donnant son aspect actuel à la basse vallée. Des remaniements éoliens modifient le modelé du delta intérieur du Niger, du nord de la Haute-Volta et de la bordure septentrionale du lac Tchad. Malgré certaines oscillations plus humides, en particulier entre 7.000 et 5.000 ans B.P., puis 3.500 à 3.000 ans B.P. (humide néolithique, transgression lacustre dans le Bahr-el-Ghazal), les surfaces lacustres régressent de plus en plus et un environnement semi-aride ou désertique analogue à l'actuel s'inscrit dans les paysages, le lac Tchad étant alors de plus en plus dépendant des apports en eaux fluviales du sud. Dans la vallée du Nil, le niveau de la plaine alluviale actuelle fut atteint entre 5.000 et 3.500 ans B.P. Au Sahara algérien et nord occidental, le réseau hydrographique se désorganise de plus en plus.

Cette régression généralisée, déjà bien amorcée vers 5.000 ans B.P. coïncide à l'échelle mondiale avec une phase climatique relativement froide.

Depuis 3.000 ans B.P. jusqu'aux derniers siècles de notre ère, cette tendance générale à l'aridification se maintient au Sahara et dans les pays du Sahel.

Depuis la période historique, les nappes régressent. Si l'on connaît des oscillations climatiques mineures, leur ampleur n'est pas comparable et elles n'ont pas obligatoirement les mêmes causes que celles de l'Holocène, la tendance générale étant moins discernable à cette échelle de temps.

Dans les sédiments récents du lac Tchad, l'alternance de couches d'argiles et de vases tourbeuses montrent les variations du niveau lacustre en liaison avec les variations de la pluviométrie sur le bassin versant et l'importance des apports alluviaux.

Vers 500 à 450 ans B.P., le lac Tchad a atteint l'altitude de 286 à 287 m et des crues plus faibles (283 m) ont eu lieu à la fin du 19^e siècle et de 1953 à 1964. Le lac s'est en partie asséché au contraire au début du siècle et en 1975-76 à la suite d'une régression marquée jusqu'à l'altitude de 281 m, après une série d'années déficitaires.

CONCLUSION

Les études de paléoclimatologie ne permettent pas encore des applications directes pour la prévision du climat à longue échéance et même à courte durée. L'amplitude des variations du passé, aussi bien pour les températures que pour les pluies est encore incertaine, même si l'on sait que lors des avancées glaciaires, les températures moyennes ont varié au plus de cinq degrés en Afrique centrale et orientale, de 1 à 3°C dans les régions équatoriales. De plus, il existe de grandes différences régionales et les indicateurs de milieux ont laissé des traces d'importance très inégale d'un lieu à un autre.

On estime que la température moyenne, au moins dans l'hémisphère nord, a légèrement baissé de 1550 à 1850 (après Jésus Christ) et qu'une période de léger réchauffement, réparti irrégulièrement, caractérise la première moitié du 20^e siècle. Aux époques toutes récentes, certains indices et faits météorologiques, l'augmentation du volume des glaces de mer, les déficits pluviométriques et les graves sécheresses en zone sahélienne, révèlent peut-être une tendance inverse.

Si l'on ne peut prévoir l'évolution climatique au cours des prochaines décennies ou des siècles à venir, les experts s'accordent pour dire la nécessité de surveiller étroitement tous les processus naturels et artificiels pouvant être à l'origine de ces variations.

Il est probable que l'homme préhistorique a eu peu d'influence sur l'environnement naturel qu'il a surtout subi et auquel il a dû s'adapter. Par contre, les civilisations modernes, par suite de la pression démographique et de technologies diverses, ont un impact certain sur le milieu physique et biologique. Les phénomènes climatiques naturels peuvent en être perturbés.

Ainsi, à cause des combustions industrielles ou aéronautiques, la proportion de gaz carbonique dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter (environ 5 % en 20 ans) et à partir d'un certain seuil pourrait modifier assez la température du globe pour provoquer la fonte partielle des glaciers et faire varier le niveau marin.

Sous l'influence du surpâturage et de la déforestation, les zones désertiques ou stériles s'étendent, en particulier au Sahel, et le sable envahit des régions autrefois cultivées. Cette action de l'homme ne peut qu'aggraver des pénuries alimentaires et une situation économique qui dépendent dans une large mesure du climat.

La connaissance des climats anciens garde par conséquent tout son intérêt pour estimer la variabilité climatique des phénomènes récents ou actuels et faire la part de celle imputable aux activités humaines. Cette variabilité à l'échelle du mois, de l'année ou de la décennie reste très grande et les liaisons avec un système global et cohérent des variations climatiques à l'échelle du globe et des temps géologiques sont encore loin d'être claires.

Dans la recherche d'une prévision à court terme et l'établissement de modèles mathématiques simulant la complexité des facteurs en jeu, on devra de plus en plus tenir compte des paramètres liés aux activités humaines, en particulier des produits libérés dans l'atmosphère, de l'exploitation des terres et des océans et d'une manière générale des perturbations et des pollutions apportées par notre agriculture, nos industries, nos transports et même nos loisirs à l'environnement naturel.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- ALAYNE STREET (F.) et GROVE (A.J.), 1976 - Environmental and climatic implications of late Quaternary lake-level fluctuations in Africa - in *Nature*, vol. 261, June 3, p. 385-390
- ALIMEN (H.), 1976 - Alternances "Pluvial-Aride" et Erosion-Sédimentation au Sahara nord-occidental. *Rev. de géographie phys. et géol. dynamique*, 18, fasc. 4, p. 301-312
- BUTZER (K.W.), 1972 - Environment and archeology. An ecological approach to Prehistory. 2° Ed., Methuen and Co Ltd, London, 703 p.
- Colloques internationaux du C.N.R.S., 1974 - Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du pleistocène. Editions du C.N.R.S. Paris, n° 219, 317 p.
- COPPENS (Y.) et al., 1976 - Earliest man and environments in the Lake Rudolf Basin. Stratigraphy, Palaeoecology and Evolution. University of Chicago Press (communications au séminaire tenu en 1973 à Nairobi sous l'égide de la Werner Gren Foundation et de la National Geographic Society), 615 p.
- HERVIEU (J.), 1975 - Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar. L'interprétation paléoclimatique du Quaternaire. Essai de synthèse. I Faits d'observation régionaux. ORSTOM, Paris, Initiations. Docum. techn. n° 26, 170 p.
- HUGOT (H.J.), 1974 - Le Sahara avant le désert. Ed. des Hespérides, Toulouse, 343 p.
- LABEYRIE (J.), 1976 - La datation par le Carbone 14, in *La Recherche*, n° 73, déc., vol. 7, p. 1036-1045
- LIVINGSTONE (D.A.), 1975 - Late quaternary climatic change in Africa. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 6, p. 249-280
- SERVANT (M.), 1974 - Les variations climatiques des régions intertropicales du continent africain depuis la fin du Pleistocène. Soc. hydrotechn. de France, XIII^e Journée de l'Hydraulique, Paris, Question I., Rapport 8, p. 1-10
- WMO Executive Committee Panel of Experts on Climatic Change, 1977 - Technical Report, WMO Bulletin, Vol. XXVI, n° 1, p. 50-55

N.B. : On trouvera dans les quelques ouvrages et articles très récents mentionnés ci-dessus de nombreuses références sur des travaux spécialisés intéressant les variations du climat en Afrique et le bilan des connaissances actuelles.

NOTES TECHNIQUES DEJA PARUES

- N° 1 - L'ensemble Yaérés - Bas-Chari - Lac Tchad et la production piscicole au Tchad -
par A.ILTIS
- N° 2 - La cartographie des sols et la notion de régionalité -
Ses applications au Tchad -
par J.HERVIEU
- N° 3 - Les polders du Lac Tchad - Milieu naturel et formation des sols -
Conséquences de la sécheresse -
par M.RIEU
- N° 4 - Les ressources en proteines au Tchad - Disponibilités et
orientations nouvelles -
par A.CORNU
- N° 5 - Les méthodes de mesures en hydrologie et leur mise en oeuvre
en République du Tchad -
par A.CHOURET
- N° 6 - Les poissons du fleuve Chari - Clef de détermination -
par L.LAUZANNE
- N° 7 - Mils et Sorghos du Tchad - Caractères, sélection et exigences
culturales -
par S.ASSEGNINO et J.HERVIEU
- N° 8 - Le Lac Tchad et son système d'alimentation - Conséquences des
périodes de sécheresse -
par A.CHOURET
- N° 9 - Effets de la sécheresse sur les peuplements de poissons dans le
Lac Tchad et le Delta du Chari -
par V. BENECH
- N° 10 - Les techniques de pêche pratiquées dans la région du Lac Tchad
et du Bas-Chari -
par J. FRANC
- N° 11 - Les activités de l'ORSTOM en République du Tchad
1) Historique - Organisation - Fonctionnement
- N° 12 - Evolution géologique récente du bassin du Tchad -
par F.MATHIEU
- N° 13 - Utilisation du sol et possibilités d'irrigation dans la région de
N'Djamena -
par C.TOBIAS
- N° 14 - Les activités de l'ORSTOM en République du Tchad
2) Contribution à la connaissance du milieu physique naturel
- N° 15 - Les activités de l'ORSTOM en République du Tchad
3) Recherches biologiques et Sciences humaines
- N° 16 - La mesure du débit solide des cours d'eau - Etude de transport
solide - Mise en oeuvre des méthodes - Synthèse des résultats
obtenus en République du Tchad -
par A.CHOURET