

**BULLETIN DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE
DE FRANCE**

Périodique bimestriel publié avec le concours du Centre national de la recherche scientifique

EXTRAIT.

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
77 rue Claude Bernard
75 005 PARIS

L'aridification du Sahara oriental à l'Holocène moyen et supérieur

par HANS-JOACHIM PACHUR* et STEFAN KRÖPELIN*

Mots clés. — Aridification, Paléoclimats, Paléoenvironnements, Holocène, Désertification, Sahara oriental.

Résumé. — L'aridification de l'Holocène moyen et supérieur est démontrée au moyen d'un transect nord-sud allant du Gilf Kebir (24° N), au centre du Sahara oriental aujourd'hui hyperaride, au Wadi Howar (17° N), à la bordure sud. L'aridification de cette région a probablement commencé il y a 5 000 ans B.P. au nord, et il y a 3 500 ans B.P. au sud. La frange septentrionale du Paléo-Sahel s'est décalée d'environ 500 km vers le sud au cours de l'aridification, avec des oscillations importantes. On suppose, tout au moins dans le Wadi Howar, une interférence de l'homme sur le processus de l'aridification (désertification).

The aridification of the eastern Sahara during the middle and late Holocene

Key words. — Aridification, Paleoclimates, Paleoenvironments, Holocene, Desertification, Eastern Sahara.

Abstract. — Aridification during the middle and late Holocene is indicated on the basis of a north-south transect starting at the Gilf Kebir at 24° N in the center of the presently hyperarid eastern Sahara and ending in the Wadi Howar area at its southern fringe at 17° N. Aridification probably affected the northern parts from approximately 5 000 years B.P., and the southern parts from about 3 500 years B.P. The northern fringe of the Paleo-Sahel shifted southward approximately 500 km during the process of aridification, undergoing important oscillations. At least in the lower Wadi Howar, neolithic man seems to have intensified the effects of aridification, thus triggering the onset of desertification.

Zur Aridifikation der östlichen Sahara während des Mittel- und Spätholozäns

Schlüsselwörter. — Aridifikation, Paläoklima, Paläomilieu, Holozän, Desertifikation, Ost-Sahara.

Zusammenfassung. — Die mittel- bis spätholozäne Aridifikation wird anhand eines Nord-Süd-Transsekts vom Gilf Kebir (24° N) im Zentrum der heute hyperariden östlichen Sahara bis an ihren Grenzbereich zum Sahel im Wadi Howar (17° N) verfolgt. Das Einsetzen der Aridifikation manifestiert sich im Norden des vorgestellten Gebietes um etwa 5 000 Jahre B.P. und im Süden um etwa 3 500 B.P. Der Nordsaum des Paläo-Sahels hat sich im Laufe der Aridifikation um etwa 500 km südwärts verlagert, wobei allerdings mit einem nicht unbedeutenden Oszillieren zu rechnen ist. Zumindest im Bereich des Wadi Howar wird eine Überlagerung des Prozesses der Aridifikation durch den Einfluß des Menschen (Desertifikation) angenommen.

Cet article a pour but d'exposer les travaux paléoclimatologiques entrepris depuis 1980 en Egypte occidentale et au Soudan septentrional, dans le cadre du projet de recherche « Problèmes géoscientifiques des régions arides » (Université Libre de Berlin). Nous mentionnerons également quelques éléments du projet préhistorique « Histoire de la colonisation du Sahara oriental (B.O.S.) » (Université de Cologne, Dr. R. Kuper). La région étudiée couvre environ 1 million de km², depuis la dépression de Qattara, au nord, jusqu'au Wadi Howar, au sud, et des frontières de la Libye et du Tchad jusqu'au Nil. Elle comprend la région hyperaride la plus étendue du monde avec des hauteurs de pluies de moins de 5 mm par an, sauf sur sa marge méridionale, avec 25 mm par an [Henning et Flohn, 1977]. L'aridification lors de l'Holocène moyen et tardif sera

démontrée à partir de quelques exemples pris le long d'un transect nord-sud, du sud de la mer de sable à 24° N jusqu'au Wadi Howar à 17° N, c'est-à-dire du centre du Sahara oriental à sa périphérie sud.

Pour cela, il nous faudra d'abord nous pencher sur la situation de départ, c'est-à-dire sur la phase humide précédente de l'Holocène inférieur jusqu'à l'Holocène moyen, afin de pouvoir déterminer le début de l'aridification. Dans de nombreux cas, il n'est effectivement possible de conclure à l'aridification que par la disparition des témoins sédimentologiques d'humidité, des marqueurs biologiques et des vestiges préhistoriques. En effet, les phases arides ne laissent qu'exceptionnellement des accumulations que l'on peut dater et interpréter d'un point de vue paléoclimatologique. Il est, en outre, important de préciser le degré d'humidité correspondant effectivement à ce qu'on appelle la « période humide » pour mieux évaluer le changement réel d'environnement qui aboutit à une période aride. Nous soulèverons également la question de savoir si l'on peut encore parler d'une aridification naturelle, c'est-à-dire sans influence de l'homme, ou si certaines observations démontrent déjà une influence de l'homme néolithique sur le déclenchement de la désertification.

* Sonderforschungsbereich 'Geowissenschaftliche Probleme in ariden Gebieten', Teilprojekt E 1, Freie Universität Berlin, Geomorphologisches Laboratorium, Altensteinstr. 19, D-1000 Berlin 33. Recherche subventionnée par le « Deutsche Forschungsgemeinschaft ».

Note présentée à la séance du 20 octobre 1987 par S. Kröpelin, déposée le 6 janvier 1988; manuscrit définitif accepté le 2 juin 1988.

Le paléo-environnement au centre du Sahara oriental (Gilf Kebir, 23° N)

Le Gilf Kebir est un plateau de grès dans le coin sud-occidental de l’Egypte sous le Tropique du Cancer (fig. 1). Dans le Wadi el Bakht, vallée creusée dans le Gilf Kebir, on trouve d’épaisses accumulations partiellement lacustres à l’arrière d’une dune fossile qui avait barré la vallée (pl. I, fig. 1). La coupe (fig. 2) montre une alternance de pélites d’eaux dormantes et de sédiments sableux alluviaux, déposés entre 8 200 ± 500 B.P. (KN 3096) et 5 000 B.P. La partie inférieure est caractérisée par des couches très minces, qui s’expliquent par des averses rares — en moyenne 4 en 100 ans — sous un climat aride. La seule couche plus épaisse se trouve dans la section supérieure entre 6 080 ± 420 B.P. et 6 200 ± 1 000 B.P., et 5 000 B.P. ainsi que l’attestent de nombreuses datations, indiquant une tendance vers le semi-aride, avec des pluies annuelles estimées à 100 mm maximum [Kröpelin, 1987]. C’est apparemment aussi l’époque de la colonisation néolithique la plus intense [Kuper, 1989]. A certains endroits on trouve également des couches de sables éoliens, ce qui tend à démontrer l’existence d’une végétation discontinue, soulignant les conditions semi-arides. Ces conclusions ont été confirmées par l’analyse de la faune préhistorique [Gautier, 1982], et des restes de bois carbonisé [Neumann, 1987]. A ce propos, on a aussi trouvé une grande quantité de paillettes de charbon qui pourraient témoigner d’incendies de steppe. L’aridification postérieure à 4 800 B.P. environ n’est plus documentée par les accumulations de playa. En effet, une brèche s’est formée dans la

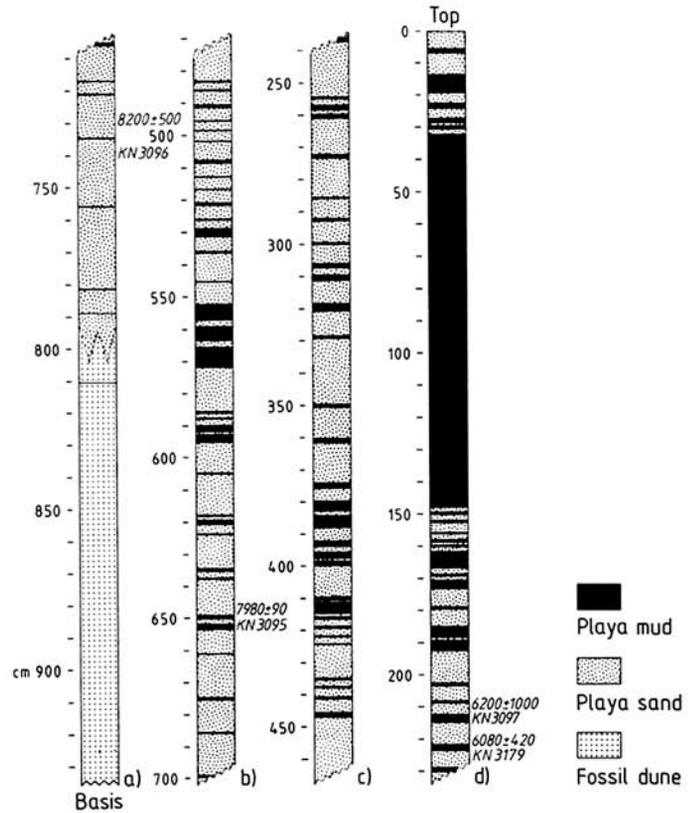


FIG. 2. — Oued el Bakht, Gilf Kebir. Microstratigraphie des dépôts holocènes de lacs temporaires.

FIG. 2. — Wadi el Bakht, Gilf Kebir. Microstratigraphy of Holocene playa deposits.

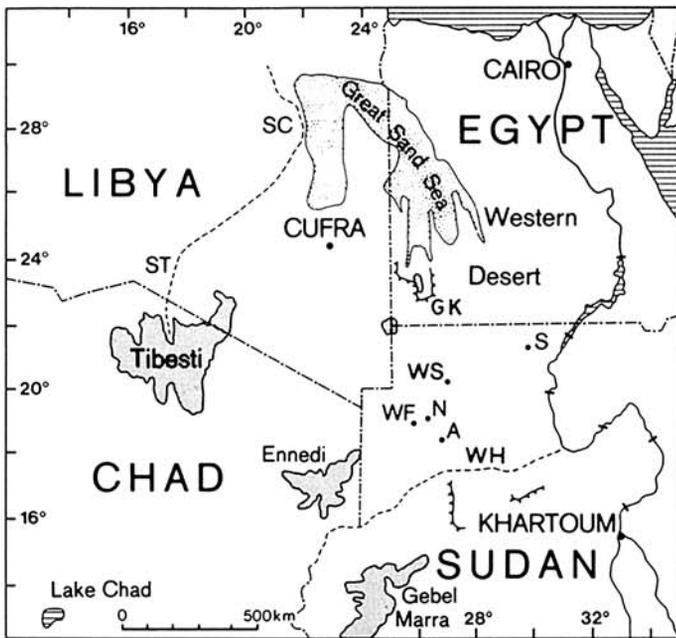


FIG. 1. — Sahara oriental et localisation des sites mentionnés dans le texte.
 FIG. 1. — Outline map of the eastern Sahara indicating localities mentioned in text.

SC : Serir Calanscio; ST : Serir Tibesti; GK : Gilf Kebir; S : Selima; WS : Wadi Shaw; N : Nukheila; WF : Wadi Fechfeh; A : El Atrun; WH : Wadi Howar.

dune fossile qui faisait office de barrage, et depuis, on n’a plus de trace de l’homme néolithique.

Concernant la pluviosité, il faut ajouter que, même dans les conditions hyperarides actuelles, on peut avoir, sur une période de cent ans, quelques averses isolées déposant des niveaux d’argile comme ceux qui ont recouvert les bidons d’essence laissés par les troupes britanniques dans les années trente. Par analogie, les dépôts de playa de l’Holocène inférieur et moyen proviendraient donc de lacs temporaires, remplis dans le meilleur des cas pendant quelques mois sous un climat semi-désertique plutôt qu’un climat de savane car cette région semble avoir toujours été la plus aride du Sahara oriental [Kröpelin, 1987].

On tire des conclusions semblables de l’étude des 8 mètres d’alluvions observables dans la vallée voisine, le Wadi Ard el Akhdar, dont la base a été datée de 9 370 ± 215 ans B.P. (KN 2879). Dans une couche de la partie moyenne (2,20 m au-dessous de la surface), on a trouvé des rhizoconcrétions et la céramique non imprimée d’un vase de 37 cm de circonférence, ainsi que des charbons de bois datés de 8 460 ± 520 B.P. (Hv 8311), 7 700 ± 60 et 7 670 ± 75 ans B.P. (KN 2878, KN 2934) [Kuper, 1981; Pachur et Braun, 1982]. De nombreux sites néolithiques au niveau de la couche supérieure ont été datés entre 6 000 et 5 000 ans B.P. [Kuper, 1989]. Ainsi, d’après les datations au radiocarbone, l’aridification a commencé aux environs de 5 000 B.P., même si par la suite (aux environs de 4 000 B.P.) on trouve encore quelques sites néolithiques.

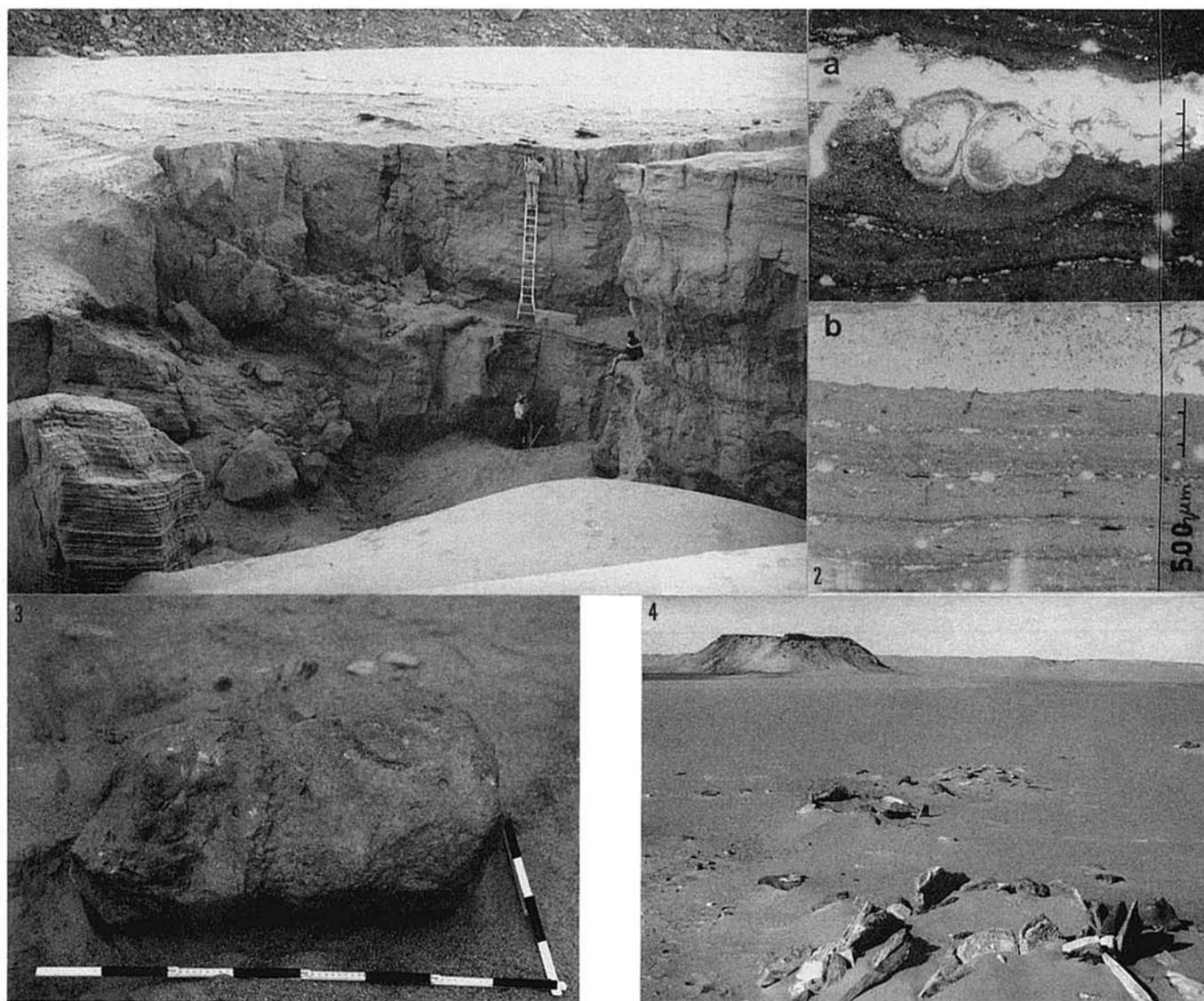


PLANCHE I — PLATE I
(Clichés S. Kröpelin, sauf fig. 2 : H.-J. Pachur)

FIG. 1. — Oued el Bakht, Gilf Kebir. Accumulations de dépôts de playa en arrière de la dune fossile (à gauche); (voir fig. 2).

FIG. 1. — *Wadi el Bakht, Gilf Kebir. Impounded playa deposits behind fossil dune barrier consisting of crossbedded aeolianite (left); (cf. fig. 2).*

FIG. 2. — a) lame mince de sédiments de la coupe de Selima montrant une coquille de gastéropode dans les dépôts lacustres. b) lame mince de sédiments de la coupe de Selima montrant des rythmites composées de vases calcaires, et de strates siliceuses témoignant de tempêtes de poussière.

FIG. 2. — a) *Thin section from Selima section showing embedded freshwater gastropod in lake deposits. b) Thin section from Selima section showing thinly laminated rhythmites, built up by calcareous mud, and dust layers pointing to occasional dust storms.*

FIG. 3. — « Fesselstein », artefact largement répandu dans les plaines sahariennes, auxquels, très probablement, les pasteurs néolithiques attachaient les bovins pour les empêcher de s'enfuir.

FIG. 3. — *« Fesselstein », widespread artifact in the Saharan plains, thought to have been used by Neolithic pastoralists to hinder grazing domestic cattle from straying.*

FIG. 4. — Stratigraphie holocène de Selima. Analyses chimiques et description micromorphologique des phases lacustres I-XI, basée sur l'observation d'une séquence complète de lames minces.

FIG. 4. — *Holocene lacustrine deposits at Selima. Chemical analyses. Micromorphological description of the lake stages I-XI based on a complete sequence of thin sections.*

FIG. 4. — Oued Shaw. Abreuvoirs, autour de puits creusés entre 4 500 et 4 000 ans B.P. témoignant de la baisse de la nappe phréatique après la phase lacustre.

FIG. 4. — *Wadi Shaw. Watering-places around large walk-in-well, sunk between 4 500 and 4 000 B.P., evidencing fall of groundwater level after the lake phase.*

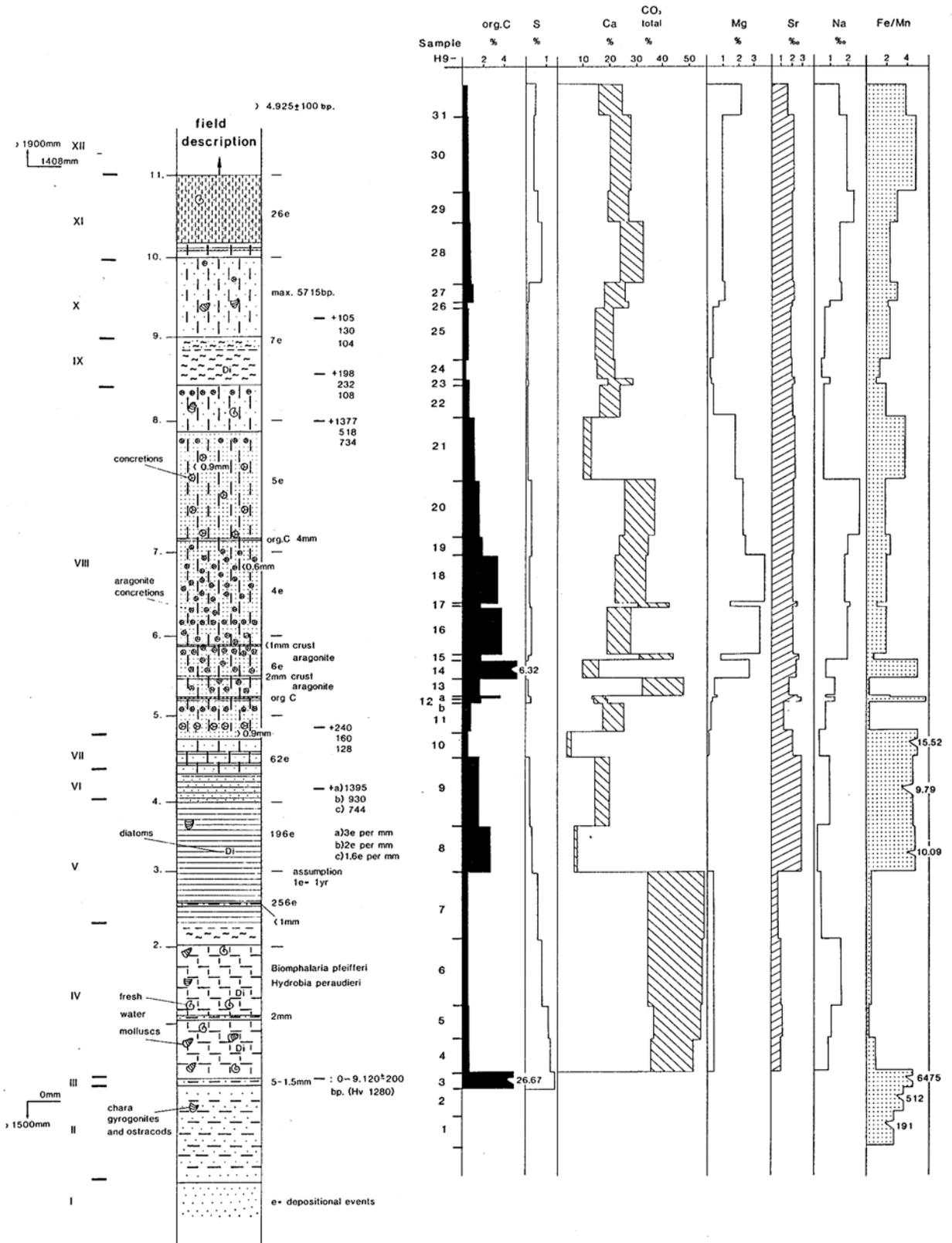


FIG. 3. — Stratigraphie holocène de Selima. Analyses chimiques et description micromorphologique des phases lacustres I-XI, basée sur l'observation d'une séquence complète de lames minces.

FIG. 3. — Holocene lacustrine deposits at Selima. Chemical analyses. Micromorphological description of the lake stages I-XI based on a complete sequence of thin sections.

Le paléolac de Selima (21°20' N)

Plus au sud, la coupe de Sélima (21°20' N) indique un changement notable (fig. 1). La sédimentation lacustre holocène commence à $9\,120 \pm 200$ B.P. (Hv 12380) avec le dépôt d'une vase algaire à haute teneur organique reposant sur des sables éoliens et lacustres (fig. 3). Puis nous avons une suite complète de vases calcaires, de craies lacustres d'eau douce à diatomées, de rythmites, de calcaires aragonitiques, en passant par une transition de calcites magnésiennes, jusqu'à des dépôts salins vers $4\,925 \pm 100$ B.P. (Hv 12381). Aux environs de 8 000 B.P. un lac d'eau douce avait plus de 11 km² et de 14 m de profondeur, superficie et profondeur qui ont pu être mesurées grâce aux rhizomes de roseaux marquant les anciens rivages. Dans les rythmites très minces de la section supérieure de la coupe, on peut voir des strates siliceuses qui témoignent de tempêtes de poussière sous des conditions semi-arides, même lors de la phase lacustre (pl. I, fig. 2). Plus haut, l'aridification croissante est indiquée par les calcites à haute teneur en magnésium et les aragonites. La couche supérieure est formée de dépôts de sebhka à halite et thénardite. On peut donc, ici aussi, constater le début de l'aridification vers 5 000 B.P.

Dans l'erg fossile de la Selima Sand Sheet, des conditions d'habitat peu favorables ont dominé pendant tout l'Holocène, pour des raisons édaphiques et hydrogéologiques. Alors que des lacs d'eau douce se sont formés dans des régions telles que Sélima, où le niveau phréatique était plus élevé, au contraire, dans les secteurs où le niveau était plus bas, on ne trouve que des pédogenèses d'âge difficilement définissable. Les seules indications de paléo-environnement dans ces vastes étendues sont souvent données par les « Steinplätze », qui seraient des foyers de pasteurs néolithiques [Gabriel, 1973], et les « Fesselsteine » (pl. I, fig. 3), qui servaient très probablement à attacher les bovins, comme le montrent les peintures rupestres du Wadi Gueddis récemment publiées [Castiglioni *et al.*, 1986]. Depuis de nombreuses années, on a pu vérifier que ces artefacts sont largement répandus dans le désert libyque [Pachur, 1982]. Ceux-ci sont un pendant à l'art rupestre des régions montagneuses et des données non-dédaignables utilisables pour la reconstitution du paléoenvironnement. Ainsi, les « Steinplätze » et les « Fesselsteine » sont des indices d'une steppe plus ou moins dense.

L'évolution des vallées secondaires entre 18°30' et 20°30' N

Au sud de la Selima Sand Sheet, à 20°30' N, se trouve un ancien système de vallée, nommé 'Wadi Shaw' [Haynes, 1982], aujourd'hui étagé en plusieurs bassins, dans lesquels on a pu distinguer deux phases de sédimentation limnique avec des dépôts formés le plus souvent de craies lacustres fossilifères. L'accumulation limnique supérieure repose sur des sables colluviaux gleyiformes et a été datée de $6\,550 \pm 65$ ans B.P. [Gabriel et Kröpelin, 1983]. Ces paléolacs constituaient un environnement très favorable pour une faune exigeante (éléphant), une végétation arborée (des troncs d'arbres incrustés d'un diamètre de plus de 20 cm), ou des diatomées et gastéropodes. Une analyse qualitative et quantitative des ostracodes a donné des indications sur la variation de la salinité, laissant conclure à des eaux légèrement saumâtres, avec deux phases d'eau douce d'une durée de 100 à 150 ans [Kempf, 1986]. On ne

trouve en tout cas aucun signe de dessèchement total, ni dans les sédiments, ni dans les diagrammes des ostracodes. Des puits (« walk-in wells »; pl. I, fig. 4) creusés entre 4 500 et 4 000 ans B.P. d'après les datations radiocarbone, témoignent de la baisse de la nappe phréatique, et donc du début de l'aridification, à laquelle la population néolithique a pu résister jusqu'aux environs de 3 800 B.P. en creusant des puits toujours plus profonds [Schuck, 1989].

Plus au sud encore, à 19° N/26° E, à la hauteur du paléolac Tchad septentrional, dans un système de drainage fossile d'une longueur totale de 180 km, que nous avons nommé 'Wadi Fechfeh', on a trouvé des sédiments du type 'fech-fech', c'est-à-dire de la craie lacustre rendue pulvérulente par l'effet du sel. Ce réseau de vallées, alimenté par les précipitations locales, représente un système fluvio-lacustre indépendant des influences tropicales, et nous espérons à l'avenir en retirer d'autres informations paléoclimatologiques. Dans un bassin voisin, d'un diamètre de dix kilomètres, se trouvait un lac d'eau douce holocène où se sont accumulés d'épais sédiments de craies lacustres à diatomées et ostracodes. Le fond date de $7\,780 \pm 90$ B.P., la surface de $3\,805 \pm 65$ B.P. (Hv 14446, Hv 14441). Par la suite, une très forte déflation a complètement balayé les sédiments, ne laissant subsister que quelques yardangs (pl. II, fig. 1). Cette importante érosion témoigne d'une phase extrêmement aride depuis environ 3 500 ans B.P. Il en résulterait que l'aridification de la partie sud du Sahara oriental est plus tardive que celle des régions plus septentrionales.

On mentionnera aussi Oyo avec ses rythmites contenant du pollen, dont la base date de $8\,490 \pm 90$ B.P. et le sommet de $4\,920 \pm 200$ B.P. [Ritchie *et al.*, 1985]. En s'appuyant sur l'âge de la base de la sédimentation lacustre et sur la propagation des *Limicolaria* subfossiles (Pulmonés terrestres) datées au radiocarbone, Haynes [1987] et Haynes et Mead [1987] ont montré que la limite nord du Sahel, lors de l'optimum climatique de l'Holocène inférieur, était décalée de 500 km (5°) vers le nord, et que les précipitations annuelles au-dessus de 20° N ont probablement été, depuis environ 6 000 B.P., inférieures à 200 mm. Ces chiffres concordent avec nos résultats [Kröpelin, 1987; Pachur et Kröpelin, 1987]. Par contre, l'affirmation de Haynes quant au déplacement de la frange désertique vers le sud de 330 m par an, ne recoupe nos constatations, que si l'on considère ce chiffre comme une valeur moyenne. Les relevés stratigraphiques ont en effet montré que le déplacement du désert n'a pas eu lieu d'une manière régulière et continue [Pachur *et al.*, 1987].

Pour résumer, on peut donc dire que l'aridification a commencé au nord à partir de 5 000 B.P. environ, et au sud à partir de 3 500 B.P. Nos recherches nous font pourtant penser que lors de la période humide, il y a déjà eu des épisodes arides, ce qui impliquerait une variation climatique relativement importante. Toutefois, une différenciation chronologique à l'échelle régionale si détaillée que la chronologie de Nabta Playa [Wendorf et Hassan, 1980] ou celle de la vallée du Nil égyptien [Hassan, 1986] nous semblerait encore prématurée, car, pour l'interprétation des sédiments lacustres du Sahara, il faut toujours considérer le rôle des facteurs non-climatiques [Rognon, 1980]. En effet, on trouve encore dans des conditions actuelles extrêmement arides des lacs alimentés par l'eau souterraine, comme par exemple le lac de Nukheila.

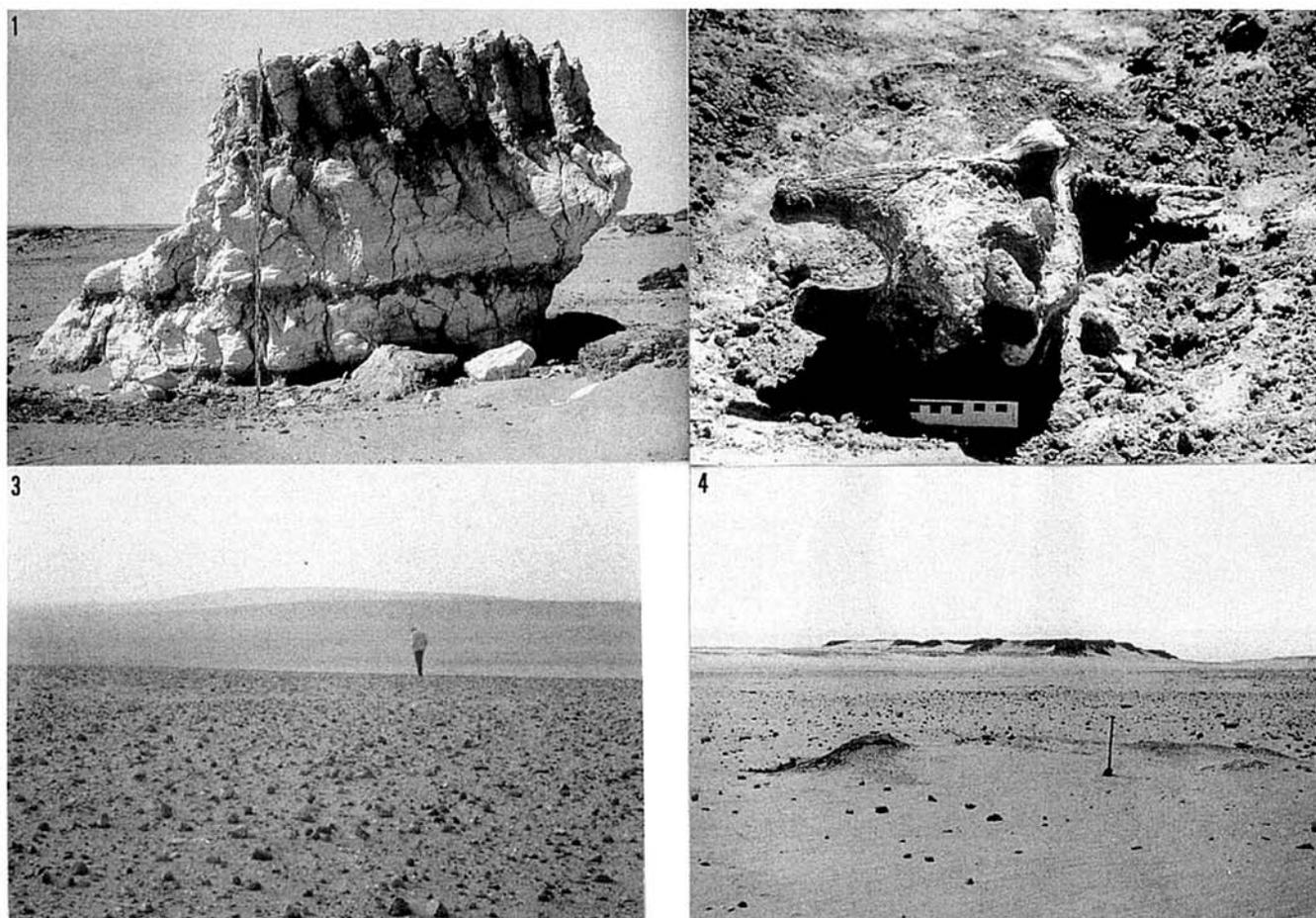


PLANCHE II — PLATE II
(Clichés S. Kröpelin)

FIG. 1. — Oued Feshfesh. Butte témoin formée de craie lacustre à diatomées et ostracodes, datée de $7\,780 \pm 90$ B.P. à la base et de $3\,805 \pm 65$ B.P. au sommet.

FIG. 1. — *Wadi Feshfesh. Yardang of ostracode-bearing diatomaceous lake chalk, radiocarbon-dated at $7\,780 \pm 90$ B.P. at the base and at $3\,805 \pm 65$ B.P. at the top.*

FIG. 2. — Oued Howar inférieur. Crâne de girafe dans les dépôts de lacs temporaires et daté de $3\,825 \pm 115$ B.P.

FIG. 2. — *Lower Wadi Howar. Giraffe skull in playa deposits, radiocarbon-dated at $3\,825 \pm 115$ B.P.*

FIG. 3. — Oued Howar inférieur. Dunes fossiles conservées grâce à une couverture d'énormes concentrations de matériaux et artefacts préhistoriques.

FIG. 3. — *Lower Wadi Howar. Fossil dunes, stabilized by a cover of large quantities of stone artifacts and other anthropogenic debris.*

FIG. 4. — Oued Howar inférieur. Forteresse rectangulaire d'un diamètre d'environ 150 m, à 110 km du Nil, datant probablement du sixième siècle après J.-C. et soulignant l'importance de l'oued Howar en tant que voie de communication est-ouest entre la Nubie et le Tchad.

FIG. 4. — *Lower Wadi Howar. Hitherto unknown rectangular fortress about 150 m in diameter, 110 km off the Nile, indicating the importance of the lower Wadi Howar as a transit route between Nubia and Chad probably as late as the sixth century A.D.*

La désorganisation du réseau hydrographique du Wadi Howar ($17^{\circ}30' N$)

Une autre possibilité pour reconstituer l'aridification de l'Holocène est l'étude de la désorganisation des réseaux hydrographiques, qui ont temporairement interrompu l'état endoreïque de vastes régions. Ainsi en Libye un système de drainage qui allait du Tibesti jusqu'aux abords de la Méditerranée en passant par le serir Tibesti et le serir Calanscio, en est un exemple (fig. 1) [Pachur, 1977]. Il en est de même pour le Wadi Howar, où les indices d'une

importante paléo-humidité abondent. Sur toutes les cartes, le Wadi Howar s'arrête au Jebel Rahib (fig. 4). A cet endroit, la vallée est barrée par un champ de dunes depuis des millénaires. Grâce à l'interprétation des images Landsat et surtout grâce au travail sur le terrain, on a pu déceler, sur une longueur de 400 km, une ancienne jonction jusqu'au Nil, qui était encore active, au moins en partie, à l'Holocène inférieur. Le Wadi Howar se jetait dans le Nil en face de Old Dongola (à ne pas confondre avec Nouvelle Dongola) [Pachur et Kröpelin, 1987].

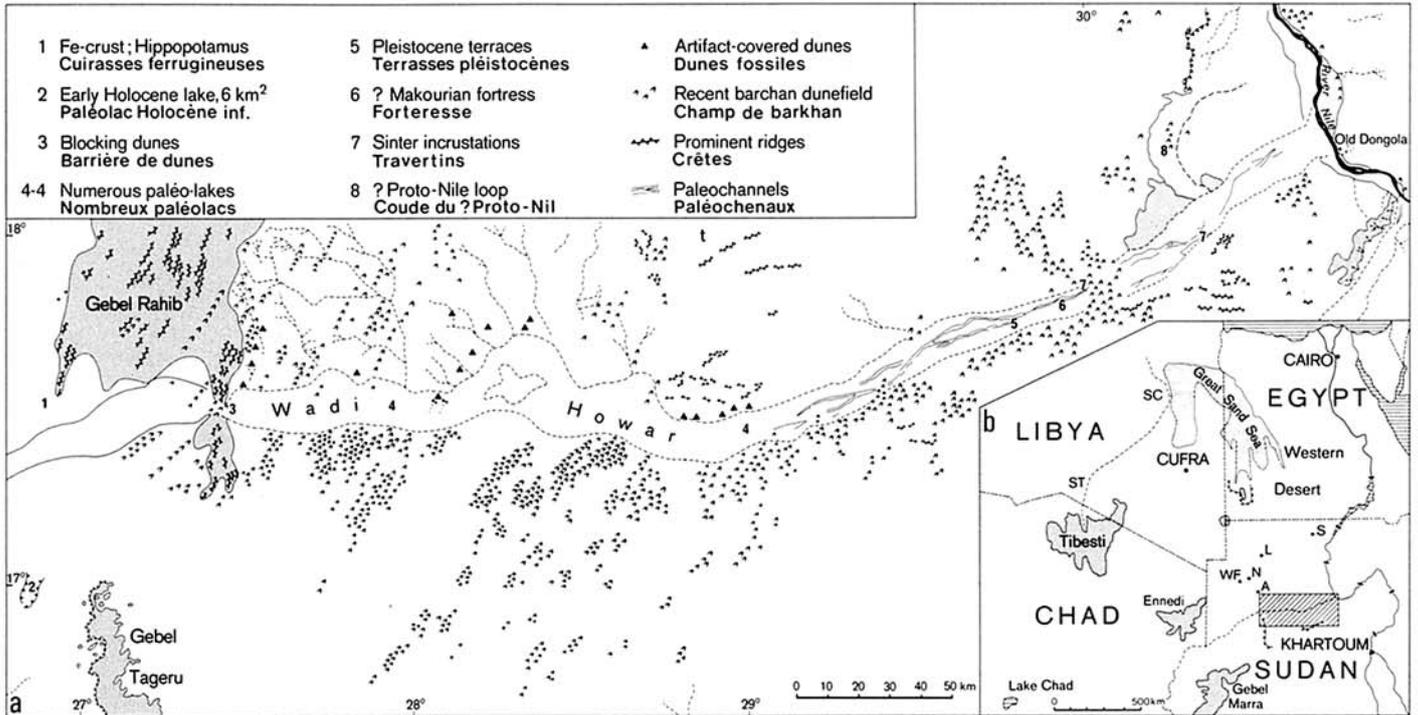


FIG. 4. — Carte topographique générale de l'oued Howar inférieur, montrant les paléodrainages reconstitués et quelques particularités choisies (basée sur images Landsat et travaux sur terrain).

FIG. 4. — Generalized topographic map of the lower Wadi Howar, showing reconstructed paleodrainages and selected features (source of data, Landsat imagery and field investigations).

D'après Pachur & Kröpelin [1987], Science, 237, © AAAS Washington

Les sédiments holocènes sont constitués, dans les couches supérieures, de craies lacustres couvertes de sables éoliens. Ces craies sont des formations d'eau douce la plupart du temps microfossilifères. Les charophytes, en particulier l'espèce *Nitellopsis* (détermination Soulié-Marsche, Montpellier), témoignent d'eaux relativement profondes et froides. En outre, un large spectre de pélicypodes (*Aspatharia arcata*, *A. rubens*, *Caelatura aegyptiaca*, *Corbicula fluminalis*, *Mutela nilotica*; détermination Schütt, Düsseldorf) témoignent d'eaux courantes. Une macrofaune riche, composée d'éléphants, de rhinocéros, d'hippopotames, de girafes, de bœufs et d'autres grands mammifères (détermination Uerpmann, Tübingen) laisse conclure à des conditions de vie optimales lors de l'ensemble de l'Holocène inférieur et moyen. En règle générale, des accumulations de dépôts fluviaux se trouvent à la base des coupes, mais fréquemment aussi dans les couches supérieures. Le large spectre pétrographique (comprenant des roches rhyolithiques) et la rondeur parfaite des galets mettent en évidence un transport sur une longue distance.

Le Wadi Howar n'était pas un fleuve allogène. À l'extérieur de la vallée, des conditions favorables régnaient encore jusqu'aux environs de 4 000 B.P., ainsi qu'on peut le voir dans les dépôts lacustres voisins, datés de $9\ 195 \pm 85$ à $7\ 985 \pm 90$ B.P. (Hv 13563, Hv 13564). Au dessus du talweg, des cuirasses ferrugineuses formées dans la zone de battement de la nappe phréatique, témoignent d'un niveau de la nappe souterraine bien supérieur au niveau actuel. Des travertins à la surface, datés de $7\ 825 \pm 100$ B.P. (Hv

13565), ont dû être formés par des sources alimentées par des précipitations locales en raison de leur position topographique. Nous avons obtenu les dates les plus récentes des sédiments dans le Wadi Howar inférieur grâce à un crâne de girafe parfaitement conservé dans les dépôts de playa et daté de $3\ 825 \pm 115$ B.P. (Hv 14433) (pl. II, fig. 2). Quant à l'âge le plus récent d'une macrofaune plus exigeante, il a été déterminé grâce aux os d'un hippopotame, lesquels toutefois ont été découverts 300 km en amont, sur la rive nord du Wadi Howar et datés de $4\ 720 \pm 110$ B.P. (UZ 2168) (Pour les localités voir fig. 4).

La figure 5 montre la carence de dates après 5 000 B.P. pour l'ensemble de la région et souligne le début de l'aridification récente aux environs de 5 000 B.P. au nord, et aux environs de 3 500 B.P. au sud. Les aquifères du Sahara oriental ont été rechargés pour la dernière fois lors des périodes humides holocènes, comme le montrent les âges des eaux phréatiques et les indices d'humidité [Thorweihe, 1986]. Depuis le début de l'aridification, ces réserves d'eau ont été et seront de plus en plus utilisées, ce qui conduira à leur tarissement certain dans un futur proche. En effet les modèles d'aquifères montrent qu'on ne peut pas compter sur des eaux venant en quantité suffisante du sud plus pluvieux ou de l'ouest, étant donné la lenteur de l'écoulement de l'eau phréatique [Brinkmann *et al.*, 1987].

En ce qui concerne le début de la désertification, nous mentionnerons les résultats suivants : la rive nord du Wadi Howar inférieur est bordée de nombreuses dunes fossiles (fig. 4; signes triangulaires) qui ont été conservées grâce à

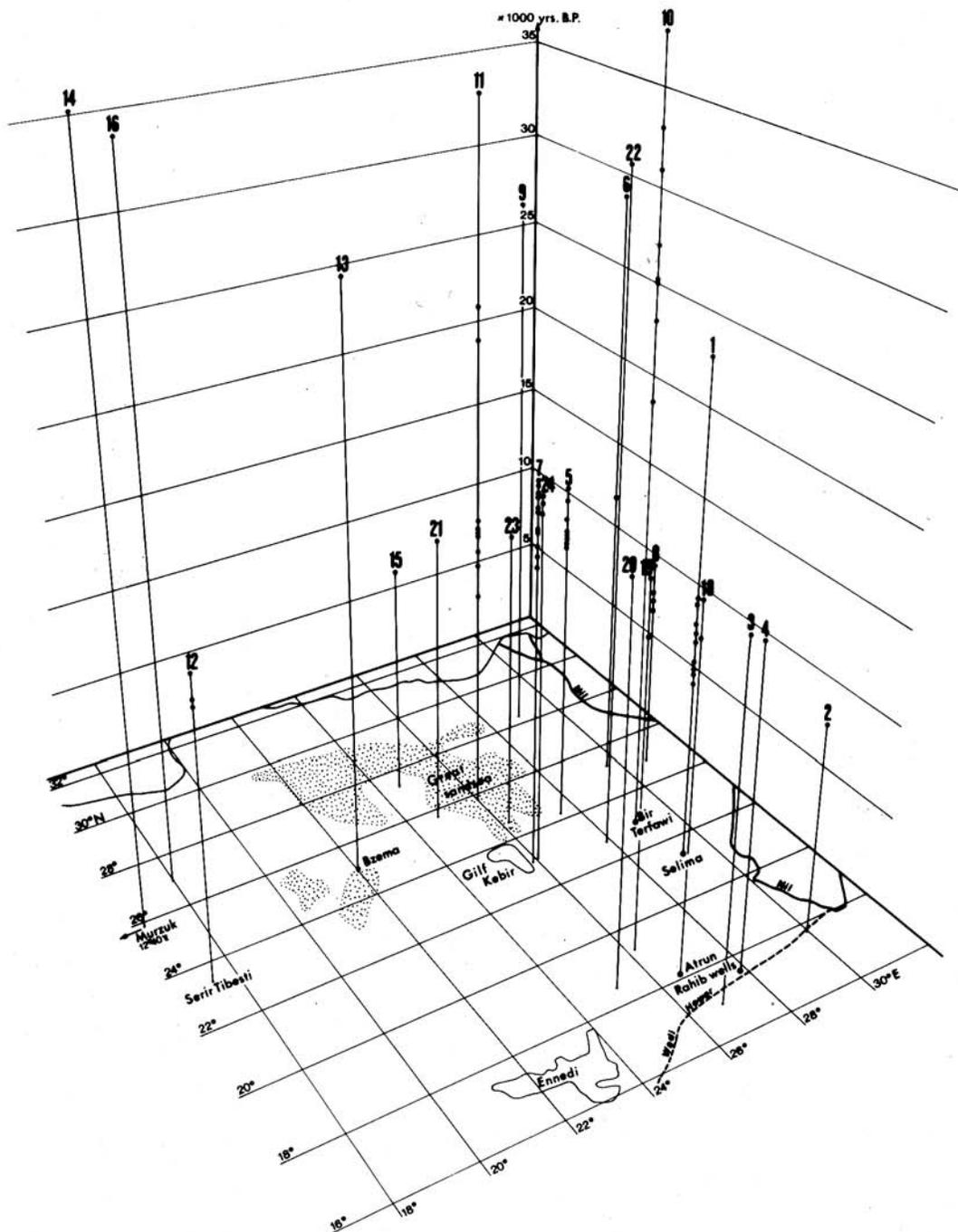


FIG. 5. — Datations radiocarbone du désert libyque et de la Nubie occidentale. (Dates provenant pour la plupart du laboratoire de M.A. Geyh, Hannover).
 FIG. 5. — Radiocarbon dates of the Libyan desert and western Nubia. (Radiocarbon dating mainly by M.A. Geyh, Hannover).

1 : Selima; 2, 4 : Wadi Howar; 3 : Gebel Tageru; 5 : Abu Ballas; 6 : Abu Tartur; 7 : Gilf Kebir; 8 : Baris; 9 : Bahariya; 10 : Bir Tarfawi; 11 : Great Sand Sea; 12 : Serir Tibesti; 13 : Bzema; 14 : Murzuk; 15 : Serir Dalma; 16 : Gebel Haruj; 18 : El Atrun; 19 : Oyo; 20 : Wadi Feshfesh; 21 : Wadi Abd el Malik; 22 : Selima Sand Sheet; 23 : Gebel Muftah; 24 : Gilf Kebir.

une couverture de gros matériaux exclusivement anthropogènes (pl. II, fig. 3). Les énormes concentrations d'outillage préhistorique sur plusieurs kilomètres carrés tendent à prouver un peuplement quasi-sédentaire de ces secteurs

pendant plusieurs millénaires [Gabriel et Kröpelin, 1986]. L'occupation humaine a duré du septième (céramique du type « wavy line/early Khartoum ») au troisième millénaire avant J.-C. (céramique du « groupe C ») et a laissé des

traces géochimiques telles que des concentrations de phosphates. Les céréales sauvages ou cultivées étaient moulues dans des meules fixes. Sans aucun doute, il y a eu une utilisation intensive des ressources naturelles. On pourrait donc en conclure que l'homme néolithique a déjà contribué à intensifier les effets de l'aridification naturelle.

Une forteresse rectangulaire d'un diamètre d'environ 150 m a été découverte, en 1984 seulement, à 110 km du Nil (pl. II, fig. 4). Elle date probablement du sixième siècle après J.-C. et donne une idée de l'importance du Wadi Howar en tant que voie de passage est-ouest entre la Nubie

et le Tchad à une époque déjà avancée (Pachur, 1987). On a pu déterminer sa position à 17°48'24" N/29°59'18" E par positionnement Doppler. La construction de ce bâtiment, aujourd'hui loin de tout point d'eau, et son entretien ne seraient guère imaginables sans une alimentation en eau sur place et sans des pâturages proches. Il semblerait donc qu'à cette latitude de 18° N, à une époque où les régions avoisinantes du nord étaient déjà complètement desséchées par l'aridification, des conditions relativement favorables ont encore régné à l'époque historique.

Références

- BRINKMANN P.J., HEINL M., HOLLÄNDER R. & REICH G. (1987). — Retrospective simulation of groundwater flow and transport in the Nubian Aquifer System, eastern Sahara. — *Berliner geowiss. Abh. (A)*, Berlin, 75, 2, pp. 465-516.
- CASTIGLIONI A., CASTIGLIONI A. & NEGRO G. (1986). — Fiumi di pietra. — Edizioni Lativa, Varese, 368 p.
- GABRIEL B. (1973). — Steinplätze : Feuerstellen neolithischer Nomaden in der Sahara. — *Libyca*, Alger, 21, pp. 151-168.
- GABRIEL B. & KRÖPELIN S. (1983). — Jungquartäre limnische Akkumulationsphasen im NW-Sudan. — *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.*, Berlin, 48, pp. 131-143.
- GABRIEL B. & KRÖPELIN S. (1986). — Habitats dunaires néolithiques au Soudan septentrional et implications paléoclimatiques. — *ORSTOM, Coll. Travaux et Documents*, Paris, 197, pp. 157-160.
- GAUTIER A. (1982). — Neolithic faunal remains in the Gilf Kebir and Abu Hussein dunefield, western Desert, Egypt. In : EL-BAZ F. & MAXWELL T. Eds., Desert landforms of southwest Egypt : A basis for comparison with Mars. — *NASA Contr. Rep.*, Washington D.C., 3611, pp. 335-339.
- HASSAN F.A. (1986). — Desert environment and origins of agriculture in Egypt. — *Norw. Arch. Rev.*, Oslo, 19, pp. 63-76.
- HAYNES C.V. (1982). — Great Sand Sea and Selima Sand Sheet, eastern Sahara : geochronology of desertification. — *Science*, Washington D.C., 217, pp. 629-633.
- HAYNES C.V. (1987). — Holocene migration rates of the Sudano-Sahelian wetting front, Arba'in Desert, eastern Sahara. — In : CLOSE A.E. Ed., Prehistory of arid North Africa. — Southern Methodist Univ., Dallas, Texas, pp. 69-84.
- HAYNES C.V. & MEAD A.R. (1987). — Radiocarbon dating and paleoclimatic significance of subfossil *Limicolaria* in northwestern Sudan. — *Quatern. Res.*, Washington, 28, pp. 86-99.
- HENNING D. & FLOHN H. (1977). — Climate aridity index map. — U.N. Conf. Desertification, Nairobi, UNEP. — *U.N. Doc. A/CONF. 74/31*, Nairobi, pp. 7-9, map 1:25 000 000.
- KEMPF E. (1986). — Late Quaternary environmental changes in the eastern Sahara (Libyan Desert) documented by an ostracode diagram. — *ORSTOM, Coll. Travaux et Documents*, Paris, 197, pp. 235-238.
- KRÖPELIN S. (1987). — Palaeoclimatic evidence from early to mid-Holocene playas in the Gilf Kebir (southwest Egypt). — *Palaeoecology of Africa*, Rotterdam, 18, pp. 189-208.
- KUPER R. (1981). — Untersuchungen zur Besiedlungsgeschichte der östlichen Sahara. — *Allg. Vergl. Archäol. Beitr.*, München, 3, pp. 215-275.
- KUPER R. (1989). — The eastern Sahara from north to south : data and dates from the BOS project. — Symp. 'Late prehistory of the Nile basin and the eastern Sahara', Poznań 1984, KOBUSIEWICZ M. & KRZYZANIAK L. Eds., Poznań.
- NEUMANN K. (1987). — Middle Holocene vegetation of the Gilf Kebir/SW Egypt. A reconstruction. — *Palaeoecology of Africa*, Rotterdam, 18, pp. 179-188.
- PACHUR H.-J. (1977). — Geomorphologische Untersuchungen im Raum der Serir Tibesti (Zentralsahara). — *Berliner Geogr. Abh.*, Berlin, 62 p.
- PACHUR H.-J. (1982). — Das Abflusssystem des Djebel Dalmar — eine Singularität ? — *Würzburger geogr. Abh.*, Würzburg, 56, pp. 93-110.
- PACHUR H.-J. (1987). — Vergessene Flüsse und Seen der Ostsahara. — *Geowiss. in unserer Zeit*, Weinheim, 5, pp. 55-64.
- PACHUR H.-J. & BRAUN G. (1982). — Aspekte paläoklimatischer Befunde in der östlichen Sahara. — *Geomethodica*, Basel, 7, pp. 23-54.
- PACHUR H.-J. & KRÖPELIN S. (1987). — Wadi Howar : paleoclimatic evidence from an extinct river system in the southeastern Sahara. — *Science*, Washington D.C., 237, pp. 298-300.
- PACHUR H.-J., RÖPER H.-P., KRÖPELIN S. & GOSCHIN M. (1987). — Late Quaternary hydrography of the eastern Sahara. — *Berliner geowiss. Abh. (A)*, Berlin, 75, 2, pp. 331-384.
- RITCHIE J.C., EYLES C.H. & HAYNES C.V. (1985). — Sediment and pollen evidence for an early to mid-Holocene humid period in the eastern Sahara. — *Nature*, London, 314, pp. 352-355.
- ROGNON P. (1980). — Pluvial and arid phases in the Sahara : the role of non-climatic factors. — *Palaeoecol. of Africa*, Rotterdam, 12, pp. 45-62.
- SCHUCK W. (1989). — From lake to well — 5 000 years of settlement in Wadi Shaw (northern Sudan). — Symp. 'Late prehistory of the Nile basin and the eastern Sahara', Poznań 1984, KOBUSIEWICZ M. & KRZYZANIAK L. Eds., Poznań.
- THORWEIHE U. (1986). — Isotopic identification and mass balance of the Nubian aquifer system in Egypt. — *Berliner geowiss. Abh. (A)*, Berlin, 72, pp. 87-97.
- WENDORF F. & HASSAN F.A. (1980). — Holocene ecology and prehistory in the Egyptian Sahara. In : WILLIAMS M.A. & FAURE H. Eds., The Sahara and the Nile. — Balkema, Rotterdam, pp. 407-419.
- WENDORF F. & SCHILD R. (1980). — Prehistory of the eastern Sahara. — Academic Press, New York, 414 p.