

Paléohydrologie et paléoclimatologie des bassins endoréiques du sud de la Mauritanie depuis 18 000 B.P.

par JEAN-CLAUDE MISKOVSKY*, JEAN-LUC SAOS** et AMADOU BONKEL*

Mots clés. – Paléohydrologie, Paléoclimatologie, Sédimentologie, Isotopes, Quaternaire, Mauritanie.

Résumé. – D'ouest en est, le sud de la Mauritanie présente une succession de dépressions endoréiques implantées dans des zones géomorphologiques et géologiques différentes, sur une distance d'environ 1 000 km. Les sédiments accumulés dans ces dépressions ont enregistré l'importance relative des écoulements fluviaux par rapport aux apports éoliens, et les battements des nappes.

L'étude sédimentologique systématique de dix sondages effectués dans les bassins situés entre Néma et Nouakchott a permis de suivre depuis 18 000 B.P. jusqu'à l'Actuel, l'évolution hydrologique et climato-sédimentaire de cette région.

Trois transitions climatiques majeures de l'humide vers l'aride ont été mises en évidence, avec plusieurs fluctuations. L'alternance des périodes humides et de celles de très forte aridité explique le contraste entre le faible débit des oueds qui ont cessé d'atteindre la mer et l'importance de leurs vallées qui se sont comblées avec les sables éoliens transportés sur de faibles distances ou remaniés sur place.

Après la période aride correspondant à la mise en place de l'erg ogolien, la reprise des précipitations s'est installée au Sahara et au Sahel, mais jusqu'ici elle n'avait pas été mise en évidence dans les latitudes intermédiaires comme la Mauritanie, avant 10 000 B.P.

Palaeohydrology and palaeoclimatology of closed basins in south Mauritania since 18,000 B.P.

Key words. – Palaeohydrology, Palaeoclimatology, Sedimentology, Quaternary, Mauritania.

Abstract. – From west to east, southern Mauritania exhibits a series of endoreic depressions crosscutting a variety of geomorphological and geological zones, spanning a distance of approximately 1,000 km. Sediments accumulated in these depressions have recorded the relative importance of fluvial runoff, aeolian contributions, and water table fluctuations.

Systematic sedimentological studies of 10 test samples taken from the basins situated between Nema and Nouakchott have allowed us to trace the region's hydrologic, climatic and sedimentary evolution from 18,000 B.P. to the present.

Three major climatic transitions from humid to arid conditions have been identified, along with several fluctuations. The alternation of humid periods with very arid ones can explain the contrast between the reduced flow of the wadis, which no longer reach the sea, and the considerable size of their respective valleys, now filled by aeolian sands transported and redeposited over short distances.

Following the arid period corresponding to the formation of the Ogolian erg, renewed rainfall occurred in the Sahara and the Sahel, but until now this had not been shown for the middle latitudes such as Mauritania, prior to 10,000 B.P.

I. – INTRODUCTION

Le sud de la Mauritanie se situe entre 15 et 20° de latitude nord, à la limite Sahara-Sahel. Dans cette zone, les fluctuations climatiques du Quaternaire s'enregistrent en premier lieu dans le comportement des systèmes hydrologiques. En période aride, les réseaux hydrographiques sont désorganisés et aboutissent à la formation de bassins endoréiques où les inondations temporaires violentes favorisent l'accumulation des sédiments sableux ou argilo-sableux transportés généralement sur de courtes distances. Parallèlement, la forte évaporation peut provoquer des variations importantes des associations minérales; au contraire, en période humide, les grands oueds de Mauritanie, comme ceux du bassin de Taoudenni, coulent abondamment. Parallèle-

ment, la remontée des nappes inonde les creux interduinaires. Les dépôts sableux en place sont cimentés par des accumulations de matière organique et de carbonate. Au cours de telles périodes, de grands lacs se forment dans les dépressions majeures de l'Adrar, du Tagant, du dhar Tichit, d'Aleg [Faure, 1969].

Les travaux paléohydrologiques et paléoclimatiques effectués en Mauritanie [Elouard, 1959 et 1975; Chamard, 1972 et 1973; Hugot, 1977; Fontes *et al.*, 1971; Lézine, 1987 et 1989; Lézine et Casanova, 1989; Lézine *et al.*, 1990], et plus à l'est, à la même latitude [Petit-Maire et Riser, 1983; Petit-Maire, 1988] concernent les dépôts lacustres de périodes humides. En revanche, l'aridité des phases sèches est difficile à apprécier [Trompette, 1969]. L'approche des fluctuations humide-aride implique l'emploi de techniques sédimentologiques applicables à l'ensemble des dépôts aquatiques et éoliens. C'est à une reconnaissance des grandes coupures hydroclimatiques du Pléistocène supérieur et de l'Holocène par ces méthodes que nous avons procédé en Mauritanie méridionale dans le cadre du programme PALHYDAF (Paléohydrologie en Afrique).

* Lab. Hydrologie et de Géochimie Isotopique et U.A. 723 du CNRS, Bt 504, Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay cedex.

** Géologie, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal.

Manuscrit déposé le 13 janvier 1991, accepté le 21 mai 1991.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 35 508 expl

Cote : B

DIFF

II. – CADRES HYDROGÉOLOGIQUE ET HYDROCLIMATIQUE ACTUELS (fig. 1)

D'ouest en est, le sud de la Mauritanie présente une succession de dépressions endoréiques implantées dans des zones géomorphologiques et géologiques différentes, sur une distance d'environ 1000 km (fig. 1).

Trois grands ensembles caractérisent la région étudiée [Elouard, 1959, 1975; BRGM, 1975; Hébrard, 1978; Deynoux, 1980].

1) A l'est, entre Nema et Kiffa (sites d'étude 1 à 7), les formations sédimentaires de la vaste cuvette structurale du Hodh font partie du grand ensemble gréseux du bassin de Taoudenni.

2) A l'ouest, les formations du bassin sénégalo-mauritanien comportent des couches calcaires marines crétacées, surmontées des sédiments détritiques du Continental Terminal. Au Quaternaire, à la suite de la régression eustatique majeure du dernier glaciaire, des formations dunaires, dénommées ogoliennes [Barbey, 1989], s'accumulent sur les ensembles détritiques du Continental Terminal et lacunes de l'Eocène. C'est dans cette région qu'ont été étudiés les sites 9-10 (Boutilimit) (fig. 1).

3) En situation intermédiaire, affleurent le socle et la chaîne plissée des Mauritanides, formés de terrains métamorphiques et cristallins bien visibles entre Moudjeria et

Aleg, avec notamment des granites, quartzites, schistes et quelques épanchements volcaniques.

Toutes ces formations très diversifiées ont contribué sous l'influence des fluctuations climatiques quaternaires, à la sédimentation récente des bassins endoréiques. En particulier, au cours de la dernière période aride, des quantités considérables de sables ont été mises en place ou remaniées en quelques milliers d'années, sur l'ensemble du Sahel, et en particulier sur la Mauritanie [Barbey, 1982 et 1989].

Il existe, en Mauritanie, deux grandes zones de sédimentation éolienne [Miskovsky *et al.*, 1989]. Outre les grandes dunes ogoliennes de l'ouest, constituées à partir de l'altération du substratum et remodelées sur place par les vents de direction NE-SW (Harmattan), on trouve à l'est du pays, des formations dunaires, moins importantes et plus récentes, en partie édifiées à partir des éléments altérés du socle de la chaîne métamorphique. Dans ce secteur, il ne semble pas s'être produit d'accumulation préalable susceptible de former de grands alignements dunaires comme dans l'ouest.

Au point de vue climatique, le secteur étudié est situé dans le domaine sahélien où la moyenne actuelle des températures extrêmes (28°3 à Boutilimit et à Kaédi) est assez élevée, variant peu au cours de l'année, mais avec des écarts journaliers importants : les minimums moyens sont de 21°8 et les maximums moyens de 34°8. Les vents dominants soufflent du nord-est d'octobre à mai, et du nord-ouest de juin à septembre, période au cours de laquelle se

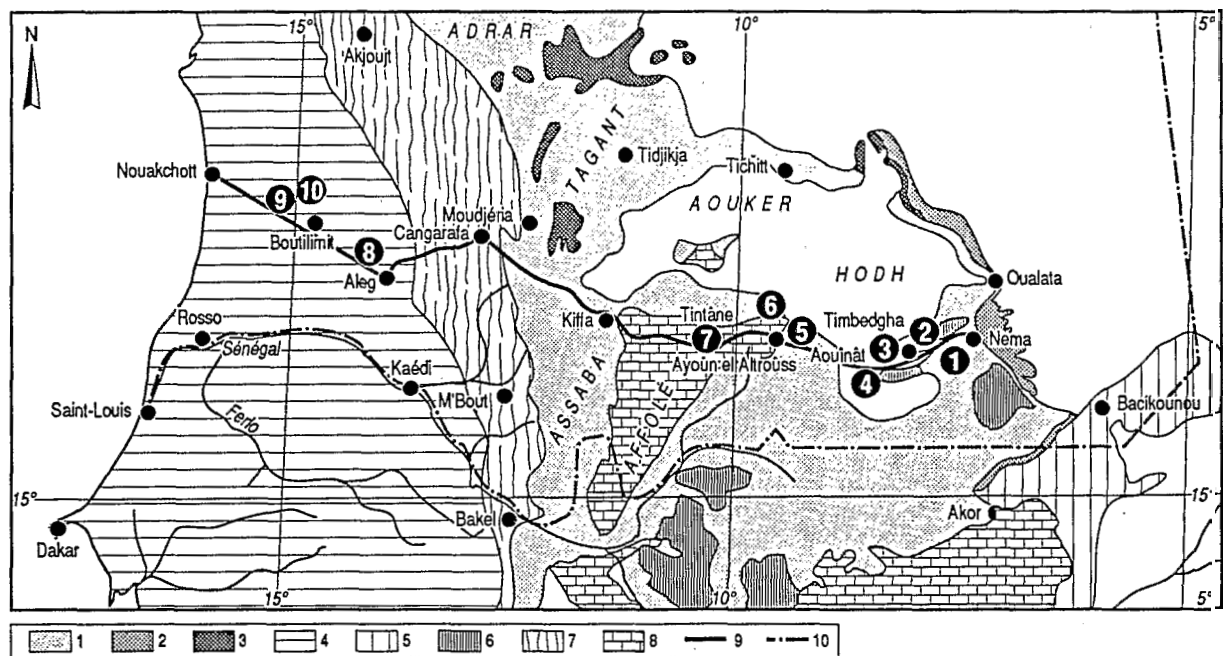


FIG. 1. – Localisation géographique et géologique des sondages [D'après Deynoux, 1980]

1 : Précambrien terminal et Cambro-Ordovicien; 2 : dunes, alluvions, hamadas; 3 : Siluro-Dévonien; 4 : bassins côtiers secondaires, tertiaires et quaternaires; 5 : Continental terminal; 6 : dolérites permo-triasiques; 7 : chaînes plissées indifférenciées (Pan-africaine et Calédono-hercynienne); 8 : Précambrien supérieur; 9 : transect étudié; 10 : limite territoriale.

FIG. 1. – Geographic and geologic localization of testing.

produisent les précipitations annuelles, comprises entre 150 et 400mm [BRGM, 1975].

L'alimentation des nappes de ces régions repose donc sur une concentration de l'eau en écoulements linéaires temporaires.

Le Sénégal, fleuve frontière entre Mauritanie et Sénégal, est le seul cours d'eau permanent de la région. Son régime est caractérisé par l'importance des crues et il joue un très grand rôle dans l'alimentation en eau de la nappe alluviale et des nappes du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien [Elouard, 1975].

Situées à des profondeurs relativement faibles (entre 2 et 4m) au centre des bassins endoréiques, les nappes aquifères du sud de la Mauritanie sont de deux types, correspondant à des réservoirs et des régimes différents : d'une part, les nappes superficielles (Amzinghui, Timbedra), d'étendue moyenne (de l'ordre de 500 km²), tributaires des crues et liées à des ruissellements dans des bas-fonds correspondant le plus souvent à des oueds; d'autre part, les nappes captives, régionales, plus ou moins profondes (régions d'Aleg et de Boutilimit), probablement fossiles, héritées de périodes plus humides et non directement liées à un oued.

Au cours du Quaternaire récent, le comportement et l'alimentation de ces deux types de nappes aquifères dépendent de l'alternance des périodes humides et des phases arides ainsi que des conditions de drainage. L'épisode aride ogolien que Elouard [1975] situe entre 20 000 et 12 000 ans a provoqué une vidange des nappes qui n'ont plus guère été recherchées par la suite, malgré la phase humide nigéro-tchadienne [Faure, 1969]. La nature des terrains anté-quaternaires, ainsi que celle de la couverture de sables et d'argiles sableuses mises en place au cours des derniers millénaires, conditionne donc l'alimentation des nappes, surtout celles des nappes superficielles, au moment des crues.

Dans ce contexte, les sédiments accumulés dans les dépressions endoréiques ont enregistré l'importance relative des écoulements fluviaux par rapport aux apports éoliens et les battements des nappes.

III. - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dix sondages à la tarière à main allant jusqu'à des profondeurs atteignant 4 mètres ont été réalisés sur le transect Nema-Nouakchott, à partir d'une étude géomorphologique préliminaire. Les échantillons ont été prélevés tous les 5 ou 10 cm selon la nature des sédiments. A la base des forages, des horizons sablo-argileux sont souvent associés à une forte humidité, témoignant de la proximité de petites nappes perchées au contact du substratum. Les sédiments traversés se caractérisent par une forte dominance des fractions sableuses ou sablo-limoneuses, fines, associées par endroits à de petites concrétions calcaires plus ou moins rubéfiées. Ces accumulations sableuses diffèrent cependant par leur faciès granulométrique, leur teneur en carbonate et le cortège minéral accompagnant la fraction quartzueuse.

Tous les échantillons (au total 287) ont fait l'objet d'analyses sédimentologiques systématiques : granulométrie, calcimétrie, morphoscopie, exoscopie, minéralogie par diffraction de rayons x. Seuls trois sondages (4, 8, 10), les

plus représentatifs, ont été retenus dans la présentation de résultats préliminaires.

La granulométrie des fractions sableuses permet d'apprécier la dynamique de mise en place des dépôts : éolienne, aquatique ou reprise à partir de l'un des deux. Les paramètres granulométriques classiquement utilisés sont la médiane Md θ (à 50 %) et l'hétérométrie ou classement (*sorting*) $\sigma\theta = (\theta_{84} - \theta_{16})/2$ exprimés en unités θ ($\theta = -\log d/\log 2$ avec d en mm) [Inman, 1952; Bardintzeff et Miskovsky, 1984; Miskovsky et Bardintzeff 1985]. La variation de leur valeur caractérise l'intensité de l'agent de transport et de mise en place, donc des conditions climatiques contemporaines du dépôt. L'analyse minéralogique des fractions argileuses précise leur origine (héritage ou néoformation) et permet de déceler leur évolution postérieure.

Les teneurs en isotopes lourds des carbonates inorganiques, lorsqu'ils sont présents, portent sur la fraction du sédiment de diamètre moyen inférieur à 100 micromètres, afin d'éliminer les éléments remaniés. L'observation systématique au MEB montre des cristaux dont les faces et les arêtes préservées attestent l'authigénie (fig. 2). Les calcimétries, effectuées avec le calcimètre de Bernard et la distinction des carbonates en nodules ou cristaux isolés précisent leur origine : synchrone du dépôt sableux ou battement postérieur de la nappe.

Seize datations au radiocarbone sur carbonates identifiés au MEB (fig. 2) ont été effectuées (laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique de l'Université Paris-Sud) par la méthode de la scintillation liquide. Les âges radiométriques sont validés par les teneurs en isotopes lourds, exprimées en parts pour mille de différence relative (unités et grandeur δ) par rapport à l'étalon PDB pour les carbonates (¹³C et ¹⁸O). La plupart des teneurs sont fortes (4 ‰/PDB) mettant en évidence un équilibre presque achevé avec le CO₂ atmosphérique [Guendouz, 1985].

Dans l'ensemble, les âges obtenus (entre 18 600 et 3 800 B.P.) (fig. 3) sont cohérents avec la chronostratigraphie des sondages, permettant ainsi de suivre l'évolution de la sédimentation dans le temps et sur l'ensemble du transect.

IV. - RÉSULTATS

L'étude sédimentologique systématique des dix sondages a mis en évidence trois transitions climatiques majeures de l'humide vers l'aride avec plusieurs fluctuations.

A) Sondages 8, 9, 10 du bassin sénégal-mauritanien entre Aleg et Nouakchott

Les sondages 9 et 10 ont été réalisés à une dizaine de mètres de distance, dans une petite cuvette située au N-W de Boutilimit (fig. 1). Plusieurs datations (fig. 3) ont donné des âges en séquence logique et considérés comme représentatifs. Trois stades hydrologiques ont pu être définis de bas en haut (fig. 4, sondage 89/10).

1) Stade I (prélèvements 29 à 25)

Les sables sont dominants (50 à 90 %), homogènes, fins et bien classés (médiane Md supérieure à 2 θ , soit inférieure

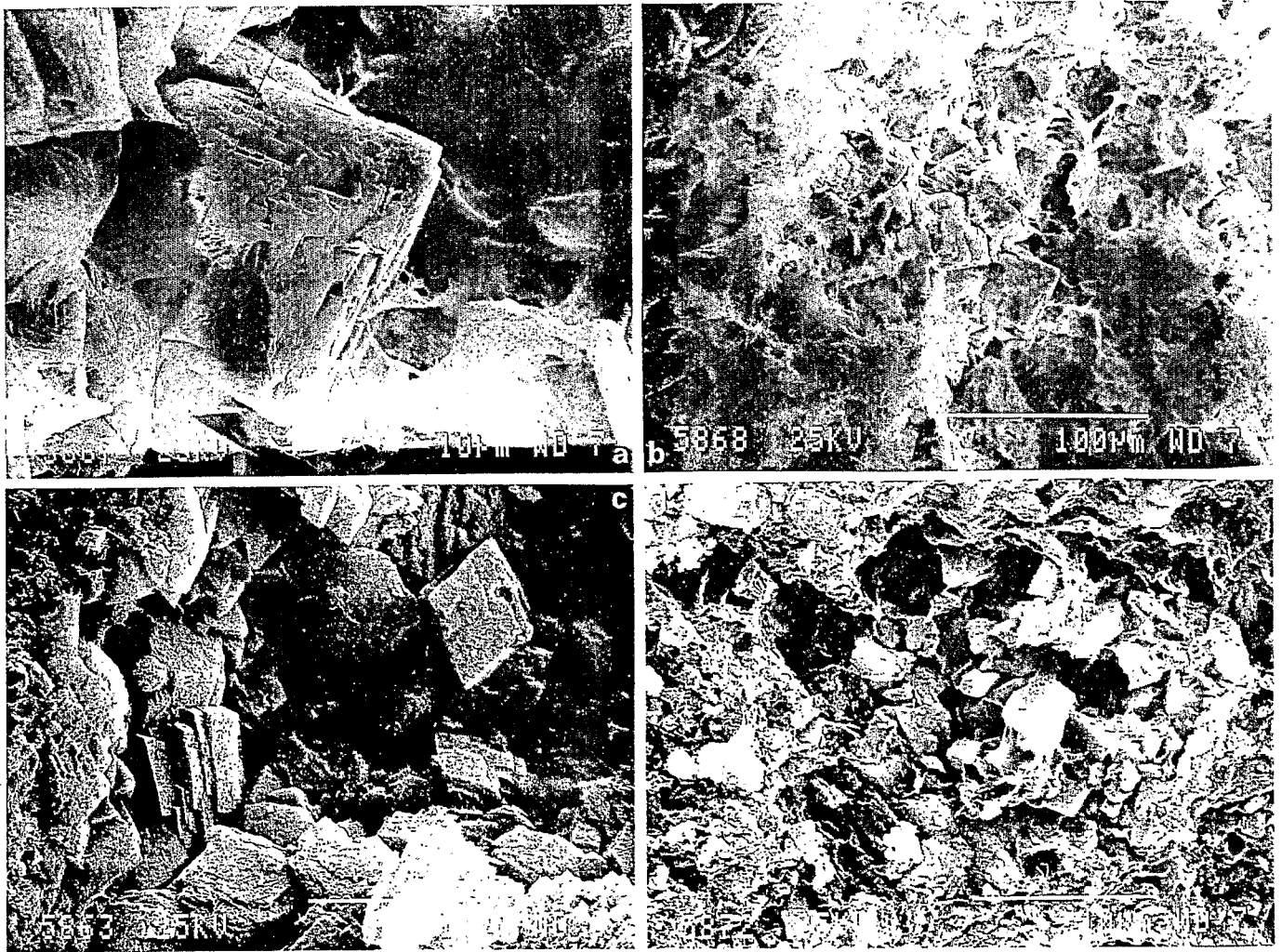


FIG. 2. — Formes cristallines des carbonates observés au microscope électronique à balayage et attestant leur authigénie (cliché Ph. Blanc). a : Timbedra (MAU 89/3) : prélèvement 29; b : Boutilimit (MAU 89/4) : prélèvement 9; c : lac d'Aleg (MAU 89/8) : prélèvement 23; d : Boutilimit (MAU 89/10) : prélèvement 22.

FIG. 2. — Crystalline forms of the carbonates studied with an electron scanning microscope, showing their authigenesis.

à 0,25mm), avec une hétérométrie faible (comprise entre 0,50 et 1 θ) (fig. 5a). Les grains de quartz sont à dominance émoussés luisants, associés à de nombreuses petites concrétions calcaires rubéfiées. Ces indices sont caractéristiques de sédiments aquatiques transportés sur de courtes distances, puis déposés dans un milieu de sédimentation calme. Ceci est confirmé par les minéraux des fractions argileuses, uniquement représentés par les smectites, probablement héritées des bassins côtiers antéquatéraux très proches et transportées par les écoulements superficiels. Les teneurs en isotopes stables ^{13}C et ^{18}O des carbonates inorganiques sont faibles (voisins de 0) et enregistrent les apports d'eau en provenance de la nappe.

2) Stade II

Au-dessus (échantillons 24 à 19) les sables deviennent limoneux. Ils sont toujours très fins, avec une forte proportion de quartz émoussés luisants, témoins d'un transport et d'une mise en place par l'eau. Les teneurs en ^{13}C sont faibles, tandis que celles en ^{18}O sont élevées (+ 3,40 dans le sédiment 22). Par rapport aux sédiments sous-jacents, ils sont de plus en plus carbonatés de la base vers le sommet (de 5 à 40 %) avec une altération très nette, qui pourrait traduire l'apparition des conditions d'un réchauffement climatique. Ces indices témoignent d'une phase humide et chaude avec rétention prolongée en surface. Cette phase

Sample Nr	Depth(cm)	Reference Orsay nr	Activity Activité %	¹⁴ C age B.P.	$\delta^{13}\text{C}/\text{PDB}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{PDB}$
Désignation	Profondeur en cm	n°analyse		Age B.P.		
Drill log 4		Coupe 4				
TIMBEDRA						
4	60-70	3716	62,7±0,6	3745±75	-5,81	-5,09
6	80-90	3717	58,8±0,8	4265±104	-3,54	-5,76
9	110-120	3660	29,3±0,9	9865±250	-1,34	-4,72
11	130-140	3624	28,0±1,8	10 250±520	-0,95	-5,33
Drill log 5		Coupe 5				
AOUNAT						
17	160-170	3619	10,4±0,3	18155±200	-3,31	-6,7
28	260-270	3620	9,9±0,7	18580±360	-3,98	-7,7
Drill log 8		Coupe 8				
Lac d'Aleg						
16	150-160	3719	24,9±0,8	11180±265	-2,62	-5,20
23	220-230	3625	15,6±3,4	14930±1750	-2,32	-4,47
Drill log 9		Coupe 9				
BOUTILIMIT						
3	20-30	3663	61,7±0,9	3875±125	4,44	2,00
10	90-100	3607	45,4±1,7	6340±310	2,8	3,84
17	150-160	3641	40,4±0,6	7280±115	0,28	3,67
Drill log 10		Coupe 10				
BOUTILIMIT						
13	120-130	3667	54,7±0,8	4840±110	2,19	-0,02
18	170-180	3669	50,0±1,0	5665±170	2,26	-0,20
22	210-220	3640	28,3±0,6	10145±165	0,39	3,41

FIG. 3. — Datage radiocarbone et teneurs en isotope stables des carbonates des sondages.

FIG. 3. — Radiocarbon dates and stable isotopic abundance of carbonates from test samples.

pourrait correspondre (le niveau 22 situé au milieu est daté à $10\,145 \pm 165$ B.P.) à la période de rubéfaction des dunes ogoliennes (remaniement faible de sédiments éoliens) et à la formation de paléosols, observés par Michel [1973] dans la vallée du Sénégal.

3) Stade III

Echantillons 18 à 14 (18 étant daté à 5670 ± 110 B.P.), entre 180 et 140 cm. Un changement net dans la constitution du sédiment est attesté par l'apparition, dans les fractions argileuses, d'illite et de kaolinite, associées aux smectites, toujours dominantes. Les fractions sableuses deviennent plus grossières et contiennent de nombreux grains de quartz ronds mats, donc transportés par le vent. La médiane et l'hétérométrie ont des valeurs faibles, identiques à celles obtenues sur les sables dunaires [Miskovsky *et al.*, 1989]. Un retour très net vers l'aride s'est donc manifesté. Une telle transition est signalée par ailleurs par Michel [1973] dans la zone littorale au nord et au sud du fleuve Sénégal, et par Servant [1973] au Niger.

4) Stade IV

Prélèvements 14 à 6, entre 130 et 60 cm. Les fractions limono-argileuses deviennent nettement dominantes avec de nombreux petits nodules calcaires. Les stades, plus ou moins rubéfiés, sont assez grossiers, mal classés (fig. 6), avec une dominance de quartz émoussés luisants ayant conservé des caractères éoliens d'origine antérieure. Les teneurs en ^{13}C sont plus élevées que dans l'ensemble sous-jacent et celles en ^{18}O sont voisines de -2 . Ces indices témoignent d'un climat devenu humide. Les sables ont été remaniés par les pluies, comme en témoigne l'exoscopie des quartz. C'est sans doute à cette période que sont apparus les petits lacs interdunaires observés dans le Trazza, situés entre 6 500 et 3 500 B.P. [Barbey, 1989].

5) Stade V

La partie supérieure des sondages 10 et 9 est constituée par des sables peu calcaires (5 % de CO_3Ca) très fins, homogènes, bien classés (médiane $M_d = 2,70 \theta$; θ compris entre 0,70 et 0,80) (fig. 5), une abondance de grains de quartz ronds mats de grandes tailles, à enduits rougeâtres, témoins d'un transport par forte déflation sur une courte distance. Ces grains sont associés à des micas, des feldspaths et des minéraux lourds ubiquistes. Les minéraux des fractions argileuses sont la smectite, toujours dominante, l'illite et un peu de kaolinite, ces deux derniers étant, comme il a été signalé précédemment, absent à la base du sondage 10. Ce cortège à kaolinite et illite en proportions équivalentes caractérise le Continental terminal [Dieng, 1965] qui forme généralement le substratum des dunes ogoliennes. Ces caractéristiques sont très semblables à celles des sables dunaires actuels de la région d'Aleg [Miskovsky *et al.*, 1989]. L'aridité est marquée par la part de la déflation éolienne dans la sédimentation.

En conclusion, deux phases humides centrées sur 10100 et 4500 B.P., ont pu être mises en évidence dans ce profil et correspondent probablement à la remontée de la nappe.

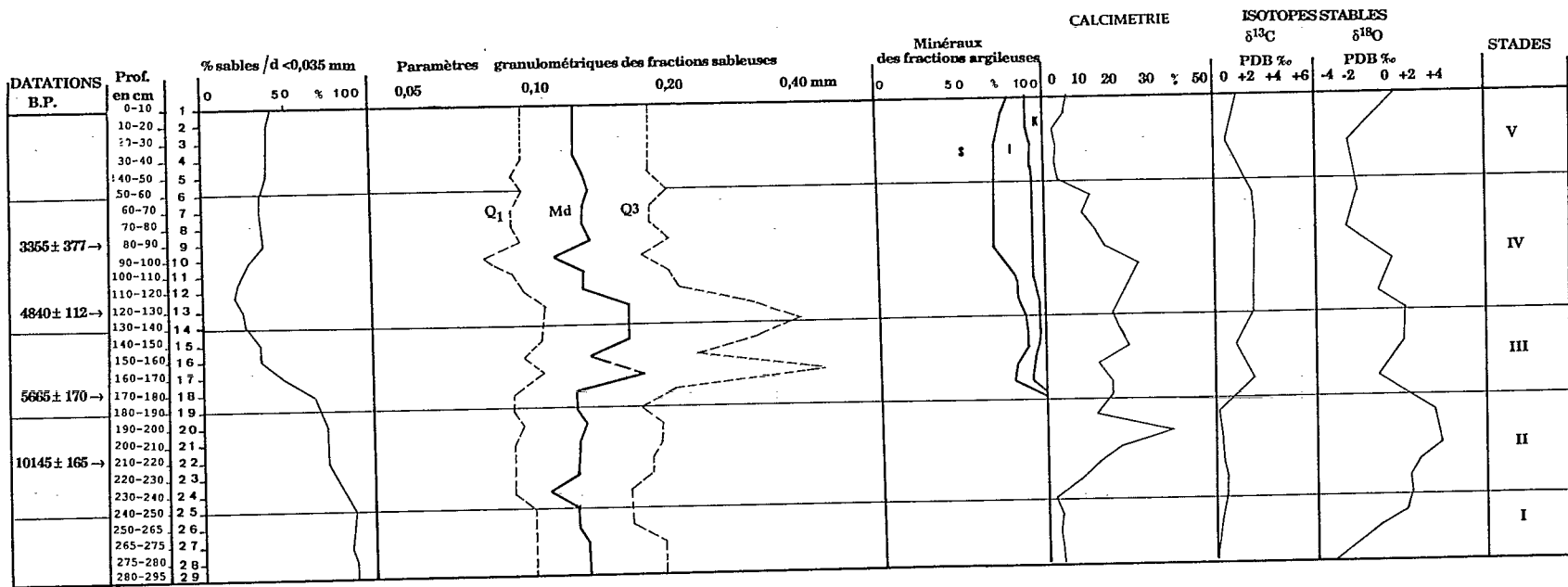
B) Sondages du bassin de Taoudenni.

A l'est du transect, dans le bassin de Taoudenni, entre Néma et Aouinat, l'étude de cinq sondages (89/1 à 5) : Amzinghui, Néma, Timbedra, Aouinat, situés à des altitudes comprises entre 190 et 205m, met en évidence quatre stades hydro-climatiques majeurs comparables à ceux qui ont été définis à la partie inférieure des sondages 8 et 9 du bassin sénégal-mauritanien.

1) *Trois sondages effectués à Timbedra* (89/3 et 4) et à El Gaissé-Aouinat (89/5) sont constitués par des sédiments fins et homogènes (fig. 5b et 6).

Le sondage 89/4 (Timbedra), bien daté sur carbonates authigènes, dans la partie supérieure, est le plus représentatif. On y distingue, de la base vers le sommet, quatre stades (fig. 7).

— *Stade I* (3,20 – 2,80 m) : un ensemble sablo-limoneux non carbonaté de 0,5 m d'épaisseur, gorgé d'eau, contient un fort pourcentage de quartz émoussés luisants, d'origine



J.-C. MISKOVSKY *et al.*

FIG. 4. - Données sédimentologiques sur le sondage MAU 89/10 Boutilimit.
 FIG. 4. - Sedimentological data on the sample MAU 89/10, Boutilimit.

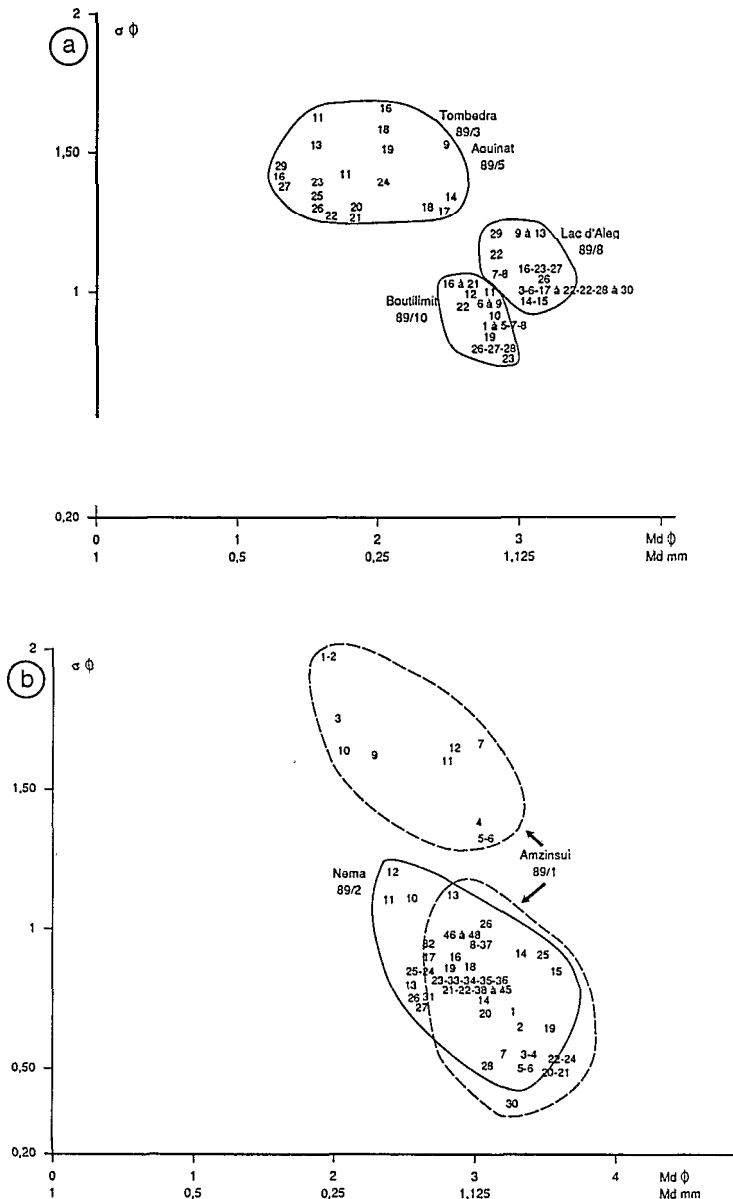


FIG. 5. - Diagramme SØ/MdØ des fractions comprises entre -1 à 4 Ø (2 à 1/16 mm).
 FIG. 5. - SØ/MdØ diagram of fractions between -1 and 4 (to 1/16 mm).

aquatique, ayant conservé des traces éoliennes. La faible teneur en ¹⁸O montre une rapide et importante alimentation en eau de la dépression.

— **Stade II** (2,70 - 1,10 m) : la sédimentation devient complexe (variations aléatoires de la médiane des sables) et subit les influences des fluctuations climatiques chaud-humide, qui se sont manifestées et qui ont eu pour résultat l'altération des sables et le façonnement des quartz en émoussés luisants.

La base (stade IIa, 2,70 - 2,20 m) se caractérise par l'apparition de carbonates et une légère augmentation des te-

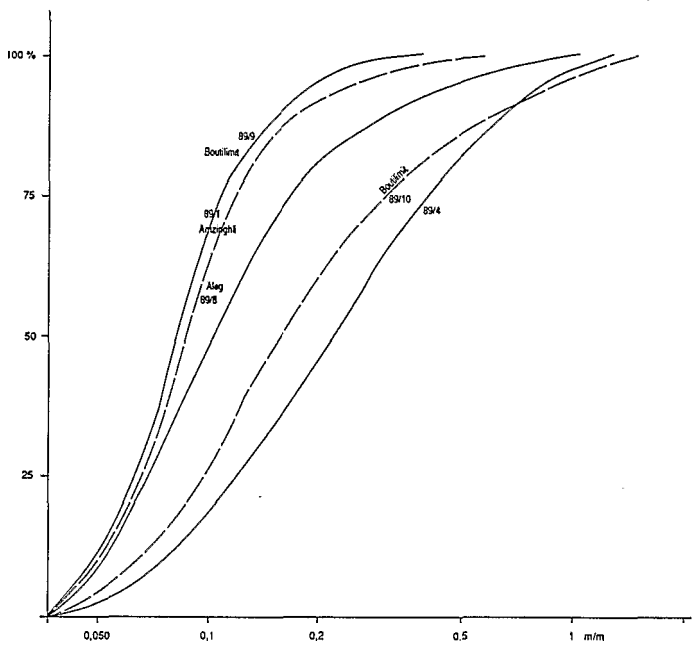


FIG. 6. - Courbes granulométriques moyennes des fractions sableuses des sondages.
 FIG. 6. - Granulometric median curves of sandy fractions from samples.

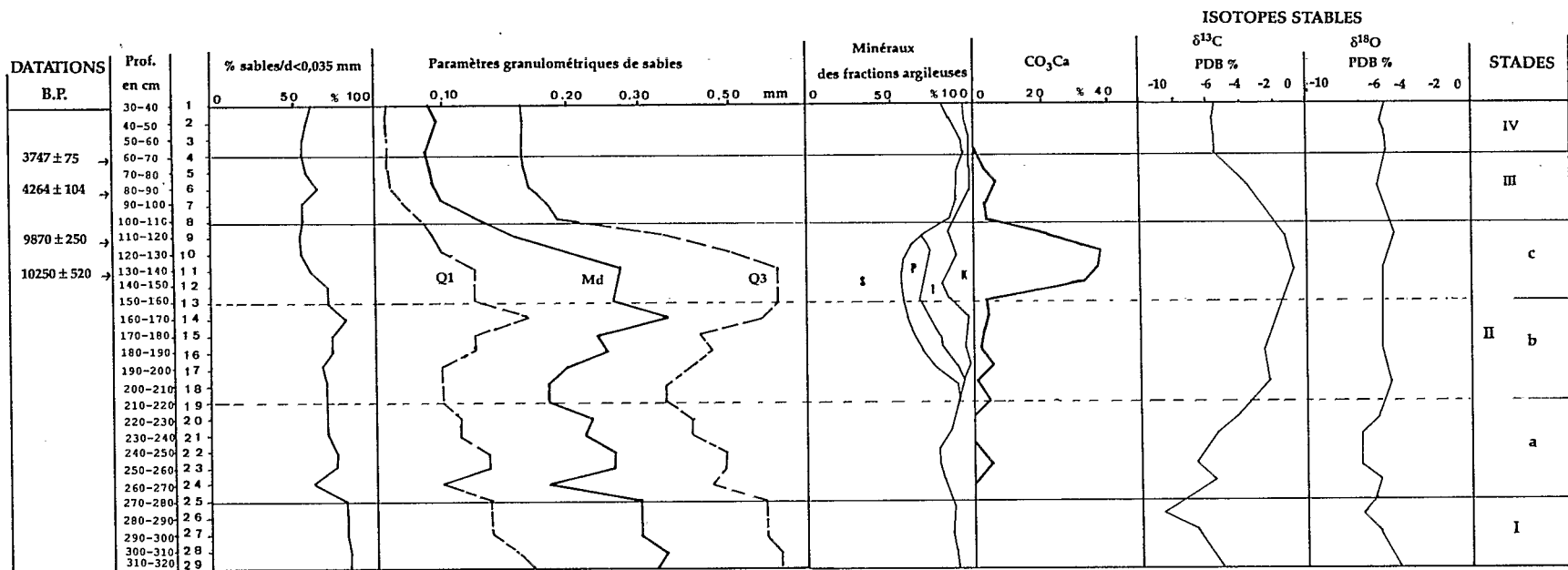
neurs en isotopes stables, liée probablement à un réchauffement favorisant l'évaporation.

Le stade IIb (2,20-1,50 m) est défini par une sédimentation carbonatée (entre 20 et 40 % de CO₃Ca) sableuse contenant un pourcentage élevé de quartz d'origine aquatique. Les teneurs en isotopes stables : δ¹³C (entre -2,32 et -2,62) et δ¹⁸O (entre -4,47 et -5,20) restent faibles et constantes, ce qui indique un renouvellement important en provenance de la nappe. Les minéraux des fractions argileuses sont représentés par la smectite, dominante, associée à l'illite et la kaolinite, avec à la base (niveaux 16 à 31) l'apparition de palygorskite (atapulгите) en fibres courtes, souvent signalée dans le domaine saharien [Chamley, 1987 et 1989]. Ces indices caractérisent un climat humide, devenant plus chaud, favorisant ainsi de fortes oscillations entre l'évaporation et les apports d'eau en provenance de la nappe.

Le stade IIc (1,50-1,10 m) est caractérisé par un très fort pourcentage de carbonates et de quartz émoussés luisants légèrement rubéfiés. Ces indices témoignent d'un climat toujours humide.

Cette phase humide, datée entre 9 870 ± 250 et 10 250 ± 520, a pu ainsi être généralisée sur l'ensemble du transect Nema-Nouakchott.

— **Stade III** (1,00-0,70 m) : les sables, dominants, deviennent très fins, assez bien classés, éolisés, contenant de petits nodules gréseux non calcaires, caractérisant de nouvelles conditions climatiques arides favorisant l'évaporation. Deux datations = 4 265 ± 105 B.P., à 80-90 cm et 3 745 ± 75 à 60-70 cm, situent cet épisode dans le contexte



J.-C. MISKOVSKY *et al.*

FIG. 7. - Données sédimentologiques sur le sondage MAU 89/4 : Timbedra.

FIG. 7. - Sedimentological data from the MAU 89/4 sample : Timbedra.

général du retour à l'aride au nord de l'équateur [Gasse *et al.*, 1990].

— *Stade IV* : les sédiments de la partie supérieure, sableux, dépourvus de calcaire et de nodules, contiennent un très fort pourcentage de quartz ronds mats, témoins d'une forte déflation éolienne et de l'aridité du climat.

2) *Les sondages 1 et 2, situés dans la région d'Amzinghui-Néma* ont des profils sédimentologiques identiques. Très peu carbonatés ou pas du tout, dépourvus de matière organique, les sédiments n'ont pas permis d'effectuer des datations ^{14}C par les méthodes conventionnelles.

A la base, un ensemble de 70 et 180 cm d'épaisseur, constitué par des sables fins (Md comprise entre 2,5 et 3 θ , soit entre 0,080 et 0,12 mm), gorgés d'eau, bien classés, contient de nombreux quartz émoussés luisants qui témoignent d'un climat humide. Au-dessus, un ensemble sableux plus grossier, moins épais (50 cm), présente des caractères nettement éoliens : nombreux quartz ronds mats, sables très fins, bien classés. Cet ensemble pourrait correspondre à l'épisode aride défini dans les sondages 9 et 10 de Boutilimit. L'ensemble situé à la partie supérieure, sableux, également grossier, bien classé, contenant de nombreux quartz émoussés luisants, caractérise un nouvel épisode humide, marqué par un transport aquatique prolongé.

V. — CONCLUSION

Les études sédimentologiques et isotopiques des sondages effectués dans les bassins situés entre Néma et Nouakchott ont permis de suivre l'évolution hydrologique et climato-sédimentaire depuis environ 18 000 B.P. jusqu'à l'Actuel.

L'alternance des périodes humides et de celles de très forte aridité, explique le contraste entre le faible débit des oueds qui ont cessé d'atteindre la mer et l'importance de leurs vallées qui se sont comblées avec les sables éoliens transportés sur de faibles distances ou remaniés sur place. Les mouvements de la mer ont eu également au cours du Quaternaire une grande importance sur l'hydrologie de ces

régions, notamment en provoquant la vidange des nappes lors de régressions [Trompette, 1969].

Cinq stades hydrologiques et climatiques ont pu être mis en évidence dans le sud de la Mauritanie :

— *stade I* : le sédiment situé en contact des nappes est un sable gorgé d'eau. Relativement fin et bien classé, il conserve des caractères éoliens très marqués, témoins de conditions arides. Ce sable a pu être daté de 18 500 B.P. dans le sondage d'Aouinat (Mau 89/5). Cette période correspond à la mise en place de l'erg ogolien;

— *stade II* : la reprise des précipitations s'est effectuée avant 10 000 B.P., favorisant la rubéfaction des sables sous-jacents et la formation de paléosols, plus particulièrement à l'est du bassin de Taoudenni. Cette période correspond à celle définie dans le Sahara septentrional, contemporaine du Bölling et de l'Alleröd européens [Gibert *et al.*, 1990], au sud du Sahel, au nord du Sahara [Petit-Maire, 1988; Lézine, 1989; Lézine *et al.*, 1990]. Jusqu'ici cette période n'avait pu être étudiée dans les latitudes intermédiaires;

— *stade III* : un court épisode aride s'est ensuite installé favorisant la mise en place de sables fins à l'ouest, plus grossiers et mal triés à l'est, sables repris des formations environnantes (sables dunaires ogoliens). Cet épisode a été mis en évidence dans le Sahara septentrional, où il a été daté à 10 640 B.P. [Gibert *et al.*, 1990].

— *stade IV* : vers 9000 B.P. se produit un nouvel épisode humide correspondant à la formation de petits lacs interdunaires dans le Trarza.

— *stade V* : un épisode aride bref localisé vers 3800 B.P., signalé par Barbey [1989] vers 3400 B.P., est également reconnu ici comme la fin de l'humide holocène, et a déjà été démontré à l'échelle de l'ensemble du Sahara [Gasse *et al.*, 1990].

De nouveaux épisodes humides de courte durée sont apparus dont les témoins ont été décelés à la partie supérieure des sondages. Ces brèves pulsations précèdent la sédimentation éolienne importante qui s'accroît de nos jours.

Remerciements. — Les auteurs expriment leur vive reconnaissance à Annick Raguideau pour son aide dans les manipulations relatives aux datations, ainsi qu'à Jean-Charles Fontes, Hugues Faure, Paul Elouard, Hervé Chamley et Paul Sanlaville, pour leurs conseils et critiques très utiles lors de la mise au point de l'article.

Références

- BARBEY C. (1982). — Observations sur le Quaternaire récent du sud-ouest mauritanien. — *Bull. I.F.A.N.*, 44, A, 1-2, 1-16.
- BARBEY C. (1989). — Etude chronologique de la sédimentation éolienne dans le sud-ouest de la Mauritanie et dans le nord du Sénégal. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), V, 1, 21-24.
- BARDINTZEFF J.M. & MISOVSKY J.C. (1984). — Identité granulométrique de tephra. — *Bull. Ass. Fr. Et Quat.*, 4, 221-231.
- BRGM (1975). — Notice explicative de la carte géologique à 1/1000000 de la Mauritanie, 255 p.
- BRUNET-MORET Y. (1959). — Rapport sur les résultats de la campagne hydrologique dans le Brakna et le Tagant, Avril, 1959. — *Doc. ORSTOM*, Paris, 99 p.
- CHAMARD Ph. (1972). — Les lacs holocènes de l'Adrar de Mauritanie et leurs peuplements préhistoriques. — *Notes africaines*, 133, 1-7.
- CHAMARD Ph. (1973). — Monographie d'une sebkra continentale du sud-ouest saharien = la sebkra de Chemchane (Adrar de Mauritanie). — *Bull. Inst. Fond. Afr. Noire*, XXXV, A, 2, 207-243.
- CHAMLEY H. (1989). — Contribution éolienne à la sédimentation marine au large du Sahara. — *Bull. Soc. géol. Fr.* (8), IV, 6, 1091-1100.
- CHAMLEY H., DIESTER-HAASS L. & LANGE H. (1987). — Terrigenous material in East Atlantic sediment cores as an indicator of NW African climates. — *Meteor. Ergeb*, C 28, 14-59.
- DIENG M. (1965). — Contribution à l'étude géologique du Continental terminal au Sénégal. — *Rapp. BRGM*, 1 : 181p.; 2 : 172 p.

- DEYNOUX M. (1980). – Les formations glaciaires du Précambrien terminal et de la fin de l'Ordovicien en Afrique de l'Ouest. Deux exemples de glaciation d'inlandsis sur une plate-forme stable. – *Trav. Lab. Sc. Terre*, Marseille St Jérôme, B, 17, 554 p.
- ELOUARD P. (1959). – Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de la vallée du Sénégal. – Thèse Paris. – *Mém. BRGM*, 7, 1962, 250 p.
- ELOUARD P. (1975). – Problème d'eau et sous-sol de la Mauritanie. In : Actes du colloque sur la désertification au sud du Sahara. – Dakar, N.E.A., 131-141.
- FAURE H. (1969). – Lacs quaternaires du Sahara. – *Mitt. intern. Verein, Limnol.*, 17, 131-146.
- FONTES J.CH., LETOLLE R., FAURE H. & ELOUARD P. (1971). – Paléoclimatologie isotopique et paléocéologie du littoral holocène de Mauritanie. – *Quaternaire*, XIV, 209-210.
- GASSE F., TEHET R., DURAND A., GIBERT E. & FONTES J.CH. (1990). – The arid-humid transition in the Sahara and the Sahel during the last deglaciation. – *Nature*, 346, 6280, 141-146.
- GIBERT E., ARNOLD M., CONRAD G., DE DECKKER P., FONTES J.CH., GASSE F. & KASSIR A. (1990). – Retour des conditions humides au Tardiglaciaire au Sahara septentrional (sebkha Mellala, Algérie). – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), VI, 497-504.
- GUENDOZ A. (1985). – Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. – Thèse, Université Paris XI, 243 p.
- HÉBRARD L. (1978). – Contribution à l'étude géologique du Quaternaire du littoral mauritanien entre Nouakchott et Nouadhibou. 18°-21° latitude Nord. Participation à l'étude des désertifications du Sahara. – *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 71, 210 p.
- HUGOT G. (1977). – Un secteur du quaternaire lacustre mauritanien : Tichitt (Aouker). Eléments pour servir à une étude géomorphologique. – *Mém. Inst. maurit. Rech. Sc.*, 1, 190 p.
- INMAN D.L. (1952). – Measures for describing the size distribution of sediments. – *J. Sed. petrol.* 22, 3, 125-145.
- LÉZINE A.M. (1987). – Paléoenvironnements végétaux d'Afrique occidentale nord-tropicale depuis 12000 B.P. Analyse pollinique de séries sédimentaires continentales (Sénégal-Mauritanie). – *Géodynamique*, 2, 127-160.
- LÉZINE A.M. (1989). – Le Sahel = 20 000 ans d'histoire de la végétation. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), V, 35-42.
- LÉZINE A.M. & CASANOVA J. (1989). – Pollen and hydrological evidence for the interpretation of past climates in tropical west Africa during the Holocene. – *Quaternary Sc. Rev.*, 8, 45-55.
- LÉZINE A.M., CASANOVA J. & HILLAIRE-MARCEL C. (1990). – Across an early Holocene humid phase in western Sahara = pollen and isotope stratigraphy. – *Geology*, 18, 264-267.
- MICHEL P. (1973). – Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. – *Mém. ORSTOM*, 63, 752 p.
- MISKOVSKY J.C., AMBLARD S., OULD KHATTAR M. & N'GUER M. (1989). – Un aspect de l'aridification et du peuplement ancien en Mauritanie. – *Bull. Soc. géol. France*, (8), V, 109-115.
- MISKOVSKY J.C. & BARDINTZEFF J.-M. (1985). – La spécificité granulométrique des retombées volcaniques : l'exemple de la chute de ponces P1 à 1300 ans ap. J.C. à la Montagne Pelée (Martinique). – *Bull. Ass. Fr. Et. Quat.*, 4, 249-256.
- PETIT-MAIRE N. (1988). – Taoudeni basin (Mali), Holocene paleolimnology dans environments. – *Würzb. Geogr. Arb.*, 69, 45-52.
- PETIT-MAIRE N. & RISER J. Eds. (1983). – Sahara ou Sahel ? – CNRS Marseille, 473 p.
- SERVANT M. (1973). – Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. – Thèse, ORSTOM, Paris, 348.
- TROMPETTE R. (1969). – Les possibilités d'existence de nappes profondes dans le Paléozoïque de la bordure occidentale du bassin de Taoudeni (Sahara occidental). – *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 11, 1, 127-140.