

Homogénéité des caractères sédimentologiques des sables ogoliens entre Nouakchott (Mauritanie) et Mbour (Sénégal)

Momar NGUER ⁽¹⁾ et Pierre ROGNON ⁽¹⁾

Résumé : Un ensemble dunaire a été mis en place sur près de 500 km le long du littoral atlantique de la Mauritanie méridionale et du Sénégal, pendant la période aride dite ogolienne (20 000-12 000 ans BP). Des sables ont été échantillonnés systématiquement dans trois secteurs clés pour préciser : 1. les caractères sédimentologiques originaux de ces dunes (secteur de Loumpoul), 2. leur origine (extrême nord du massif dunaire), et 3. leur disparition (sur la « Petite Côte »). Les analyses montrent une très grande homogénéité des caractères sédimentologiques de cette nappe sableuse : distribution bimodale, éolisation incomplète des grains, minéraux lourds ubiquistes, argiles de la fraction fine composées d'illite et de kaolinite. Ces paramètres doivent être pris en compte, à côté des arguments géomorphologiques, pour préciser les limites des sables ogoliens par rapport aux dunes littorales plus récentes ou aux systèmes dunaires plus complexes situés à l'intérieur. Cet ensemble dunaire ogolien, mis en place sur une durée très brève, est un bon modèle pour l'étude des sédimentations éoliennes à l'échelle géologique.

Mots-clés : Éolien - Dunes - Erg - Sédimentologie - Pleistocène supérieur -Mauritanie - Sénégal.

Abstract : Homogeneity of sedimentation characteristics of Ogolian sands between Nouakchott (Mauritania) and Mbour (Senegal). A sandsea has been emplaced over more than 500 km along the shores of the Atlantic Ocean, from Southern Mauritania to Senegal, during a period of dry climatic conditions called Ogolian (20 000-12 000 B.P.). Sand samples were collected systematically from 3 key areas in order to study : 1. the original features of sedimentation of these dunes (Loumpoul area), 2. their origin (very northern part of the sandsea), and 3. their disappearance (« Petite Côte » area). The results reveal the very homogeneous character of sedimentation for this sandsea : e.g. bimodal distribution and uncomplete eolization of the sand grains, presence of ubiquitous heavy minerals, a fine fraction of clay composed out of illite and kaolinite. Together with geomorphological considerations, such characters have to be taken into account in order to fix the limits of distribution of such Ogolian sands with respect to coastal dunes of more recent age or complex dune systems located far away from the coasts. This Ogolian sandsea offers a good opportunity for the study of eolian sedimentation at an appropriate geological scale.

Key words : Aeolian - Dunes - Erg - Sedimentology - Upper Pleistocene -Mauritania - Senegal.

Resumen : Homogeneidad de las características sedimentológicas de las arenas ogolianas entre Nouakchott (Mauritania) y Mbour (Senegal). Un conjunto dunario se emplazó sobre cerca de 500 kilómetros a lo largo del litoral Atlántico de Mauritania meridional y del Senegal durante el periodo árido denominado ogoliano (20 000-12 000 años B.P.).

(1) Laboratoire de Géodynamique des Milieux Continentaux, et UAR 722 CNRS (Paléoclimats et Paléoenvironnements en Régions arides), Université P. et M. Curie, 4, place Jussieu, Tour 16, 4^e étage, 75252 Paris, Cedex 05.

Un mustreo sistemático de arenas ha sido realizado en tres sectores claves para precisar : 1. los características sedimentológicas específicas de esas dunas (sector de Loumpoul), 2. su origen (extremo norte del conjunto dunario), y 3. su desaparición (sobre la « Petite Côte »). Los análisis muestran una gran homogeneidad de los características sedimentológicas de esta capa arenosa : distribución bimodal, eolización incompleta de los granos, minerales pesados ubiquestas, arcillas finas compuestas de illita y kaolinita. Dichos parámetros deben servir, junto a los argumentos geomorfológicos, para diferenciar las arenas ogolianas de las dunas litorales más recientes, o de los sistemas dunarios más complejos del interior. Este conjunto dunario ogoliano, depositado en un corto periodo, es un buen modelo para el estudio de paleosedimentos eolianos.

Palabras claves : Eoliano - Dunas - Sedimentología - Pleistoceno Superior -Mauritania - Senegal.

INTRODUCTION

Au cours de l'Ogolien, la dernière grande période aride, des quantités considérables de sables ont été mises en place ou remaniées, en quelques milliers d'années, sur l'ensemble du Sahel. Cette modification fondamentale de la topographie et des formations superficielles ne s'est pas faite de manière uniforme de l'Atlantique jusqu'au Nil et les cartes topographiques ou les images de satellites font apparaître des unités spécifiques de quelques centaines de kilomètres de long qui jalonnent la zone sahélienne. Par comparaison avec les massifs dunaires du Sahara, on les appelle souvent des ergs, mais sans respecter toujours l'unité structurelle de chaque ensemble. Ainsi, le long de l'Atlantique, la succession des ergs de l'Ogol (site éponyme de l'Ogolien), du Trarza et du Cayor fait partie d'un même ensemble géomorphologique qui s'individualise par l'alignement NNE-SSW des cordons dunaires, leur altitude plus élevée, leur espacement moindre, etc. Ce vaste « corps sableux » qui ne porte pas de nom spécifique se prolonge vers le sud jusqu'à la « Petite Côte », en perdant progressivement ses traits morphologiques originaux.

Ce massif dunaire a fait l'objet de très nombreux travaux (TRICART et BROCHU, 1955 ; HEBRARD, 1965 ; LEPRUN, 1971 ; MICHEL, 1973 ; SALL, 1983 ; DIOP *et al.*, 1978 ; BARBEY, 1982 ; MISKOVSKY *et al.*, 1989 ; etc.) qui ont abordé divers aspects de la stratigraphie ou de la géomorphologie qui seront rappelés brièvement ici. Mais les études sédimentologiques sont restées fragmentaires ou incomplètes. Or, il est essentiel pour comprendre la mise en place des « corps gréseux » des sédiments éoliens du passé, de disposer d'études précises à l'échelle de ces ergs ogoliens mis en place sur une durée très brève à l'échelle géologique.

Après un recensement des résultats antérieurs, cette étude a été entreprise dans ce but en s'appuyant sur trois secteurs clés où se posent les problèmes de

l'individualisation de cette nappe sableuse (le triangle Loumpoul-Leona-Longa), de son origine (transect Nouakchott-Tichitt), et de sa dilution vers les régions plus humides (secteur Mbour-Malicounda-Sidibougou, proche de la Petite Côte). Ces secteurs et les plans d'échantillonnage ont été reportés sur les figures 1 et 2. Au total, 147 échantillons ont été étudiés par les méthodes classiques de la sédimentologie. L'échantillonnage comprend surtout des échantillons de surface, faute de moyens de sondage. Chaque échantillon a été prélevé systématiquement en sommet de dune à environ 20 à 30 cm de profondeur pour garantir une certaine homogénéité des conditions dynamiques et pour échapper aux remaniements par le vannage postérieur.

Chaque fois que cela a été possible, des coupes ou des carrières ont été utilisées pour avoir une idée de l'évolution du matériel en fonction de la profondeur. Dans notre esprit, ce premier travail devait être suivi par d'autres analyses en vue de confirmer les résultats obtenus.

LES CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DE CETTE NAPPE SABLEUSE

Le secteur de Loumpoul-Leona-Louga présente plusieurs avantages pour la caractérisation du matériel sableux. L'erg du Cayor est ici en effet très proche du littoral, sans l'intercalation de formation deltaïque et de cordons littoraux (comme au sud de Saint-Louis), ou de dépressions inondables étendues (les niayes) comme au voisinage de Mboro. Il est donc possible d'étudier ici les rapports avec les dunes littorales et les remaniements holocènes sous l'influence de l'alizé maritime. Dans ce secteur, le modelé des dunes ogoliennes est bien marqué avec des dunes hautes de 20 à 30 m, orientées régulièrement NE-SW. L'hydrographie antérieure a disparu et les cordons

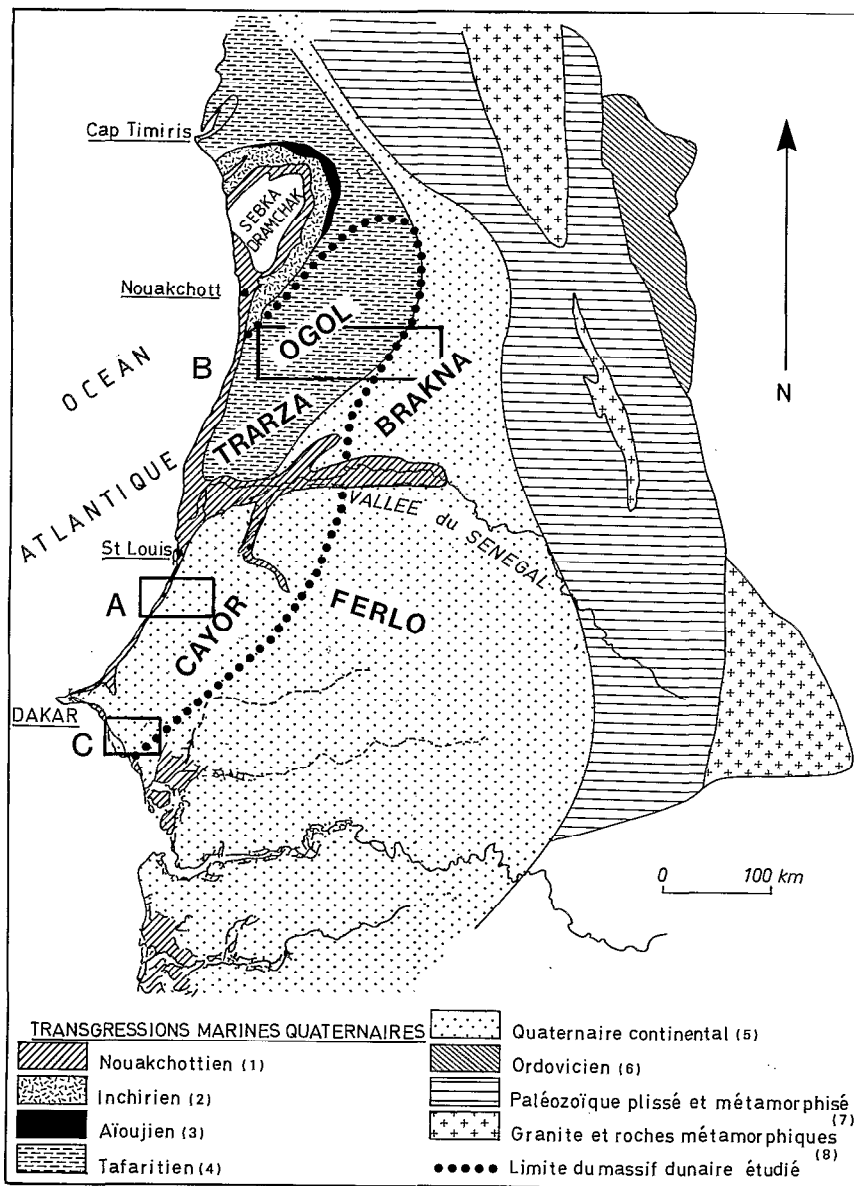


Fig. 1. — Localisation schématique du massif dunaire de l'Ogol-Trarza-Cayor et son cadre géologique. Les trois secteurs étudiés sont représentés par les rectangles A, B et C et détaillés dans les figures 2a-2b-2c.

Schematic localization of the Ogol-Trarza-Cayor sandsea and its geological environment. Boxes A, B and C indicate the three areas studied and shown in figures 2A to 2C.
 — Quaternary marine transgressions : (1) : Nouakchottian ; (2) : Inchirian ; (3) : Aïoujien ; (4) : Tafarien ; (5) : Quaternary continental formations ; (6) : Ordovician ; (7) : Folded and metamorphosed Paleozoic formations ; (8) : Granites and metamorphic rocks.

dunaires barrent la vallée du Bounoum à l'aval de Linguère.

Le faisceau dunaire, limité plus au nord à quelques grandes dunes ogoliennes à la bordure ouest du lac de Guier, s'élargit à nouveau. Il s'individualise bien par rapport aux molles ondulations du Ferlo, situé à l'est. LEPRUN (1971) a précisément étudié cette portion NW du Ferlo et a montré, à partir de critères pédologiques, l'extrême imbrication de trois formations dunaires. Les grands alignements NE-SW, longs de plusieurs dizaines de kilomètres, de sa « Formation II » sont corrélés avec l'Ogolien. Mais ils ne représen-

tent qu'une partie de la nappe sableuse qui perd ici son unité.

Le secteur choisi pour cette étude permet de comparer les caractères sédimentaires de l'erg ogolien proprement dit avec :

- les sables étudiés plus au nord par MICHEL (1973) dans les dunes du delta du Sénégal, ou au NE dans la région de Bogué, pour détecter des apports éventuels dus au fleuve ;
- les sables analysés par LEPRUN (1971) dans un secteur marginal de l'erg.

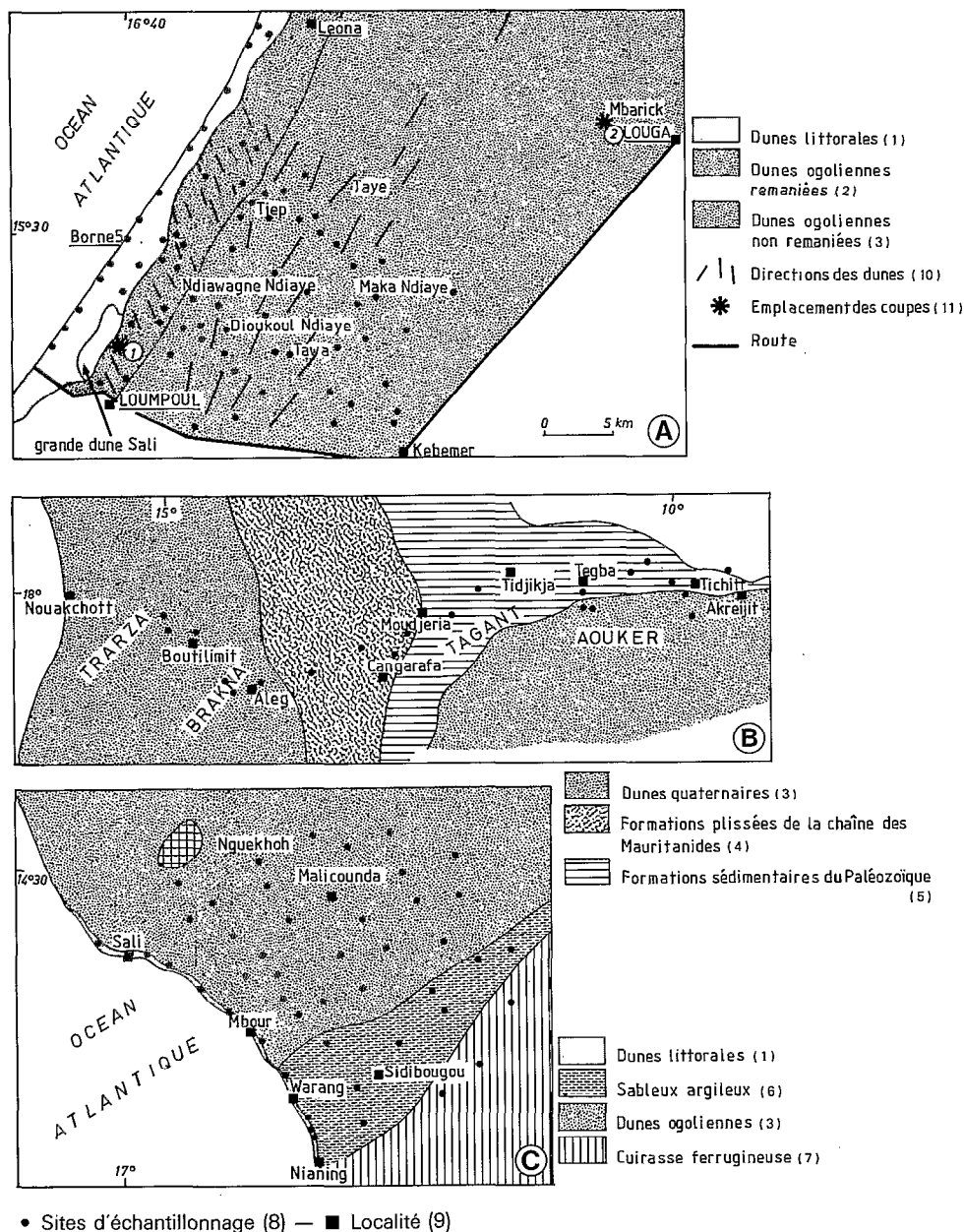


Fig. 2. — Localisation des échantillons analysés dans les trois secteurs de (A) : Loumpoul-Leona-Louga ; (B) : Nouakchott-Tichitt et (C) : Mbour-Malicounda Serere-Sidibougou.

Maps showing the localization of analyzed samples from the three areas ; A : Loumpoul-Leona-Louga ; B : Nouakchott-Tichitt ; and C : Mbour-Malicounda Serere-Sidibougou. — (1) : Coastal dunes ; (2) : Reworked Ogolian (Quaternary) dunes ; (3) : Ogolian (Quaternary) dunes ; (4) : Folded formations of the Mauritanides ; (5) : Sedimentary formations of the Paleozoic ; (6) : Clayey sands ; (7) : Ferruginous crusts ; (8) : Sampling sites ; (9) : Localities ; (10) : Directions of dunes ; (11) : Localization of study sections.

Analyse sédimentologique des sables ogoliens

Les dunes ogoliennes ont un mode principal à 300 μm dans la quasi-totalité des échantillons étudiés. Un mode secondaire apparaît très souvent dans la fraction plus fine, vers 80 μm . Cette bimodalité est caractéristique des dunes ogoliennes (DIOP *et al.*, 1978 ; BARBEY, 1982). On la retrouve dans le Ferlo avec des modes très voisins (160 et 90 μm), plus élevés que ceux de l'erg antérieur, appelé « Formation I » par LEPRUN (1971). L'extrême rareté des sables grossiers (0,1 à 1,5 % à $> 500 \mu\text{m}$), essentiellement formés de granules ferrugineux issus de cuirasses démantelées, montre l'absence d'apports locaux. Dans certains échantillons de l'Ogol, tout au nord, cette proportion peut atteindre 10 % (TRICART, 1961). De même, une fraction limono-argileuse très réduite (0,2 à 3 % du sédiment) confirme l'importance du vannage. Parmi les sables, les indices d'asymétrie en unités phi, toujours négatifs, indiquent une certaine prépondérance des sables fins (50 à 125 μm), ce qui concorde avec la légère augmentation de la fraction fine et de l'hétérogénéité du NW vers le SE constatée par MICHEL (1973). Elle serait en relation avec une certaine diminution du dynamisme éolien en s'éloignant de la « source » désertique plutôt qu'à un amenuisement postérieur en liaison avec la pédogenèse holocène.

L'analyse morphoscopique confirme l'absence de sables locaux (pas de non-usés) et l'apport restreint de véritables ronds-mats d'origine lointaine, ce qui est en accord avec les observations faites sur les dunes ogoliennes de Mauritanie (TRICART, 1961 ; MICHEL, 1973). Le total des subronds-mats et de ronds-mats dépasse toujours 55 % du total, mais l'exoscopie montre que beaucoup de grains éolisés,

avec des traces de cupules et de V de choc, ont été ensuite recouverts par une pellicule de silice. Ceci rejoint les observations de LEPRUN (1971) qui note toutefois que les sables ogoliens (sa « Formation II ») sont plus éolisés que l'erg ancien (Formation I). Enfin, les sub-émoussés luisants qui sont bien représentés (pourcentage moyen : 35) ou les picotés luisants montrent que l'éolisation n'a pas complètement effacé les traces des remaniements hydriques, ce qui est en bon accord avec les conclusions sur les dunes ogoliennes du Trarza et du sud-ouest de la Mauritanie (TRICART, 1961 ; BARBEY *et al.*, 1978 ; BARBEY, 1982) ou du nord-ouest du Sénégal (COUREL, 1974 ; SALL, 1973, 1983).

L'étude des minéraux lourds renforce cependant l'idée d'un transport des sables sur de longues distances. Les pourcentages pondéraux des différents échantillons sont très faibles (jamais plus de 0,5 %) et indiquent un long tri par densité. L'indice Zircon-Tourmaline-Rutile (ZTR) (HUBERT, 1962), de l'ordre de 80 à 88, confirme une forte maturation du sédiment, de même que la quasi-absence de minéraux altérables. Les minéraux portent d'ailleurs les traces d'une longue évolution, ce qui dénote leur origine certainement lointaine. Ces résultats confirment donc ceux de BARBEY *et al.* (1975) et BARBEY et DUPLAIX (1978) en Mauritanie méridionale : pourcentages élevés de zircon et de tourmaline, absence de minéraux fragiles.

Les changements de faciès lors du pluvial holocène

Deux coupes permettent de préciser l'évolution des sables à la fin de la période aride. Une carotte de 6 m a été prélevée dans les niayes au nord de Loumpoul

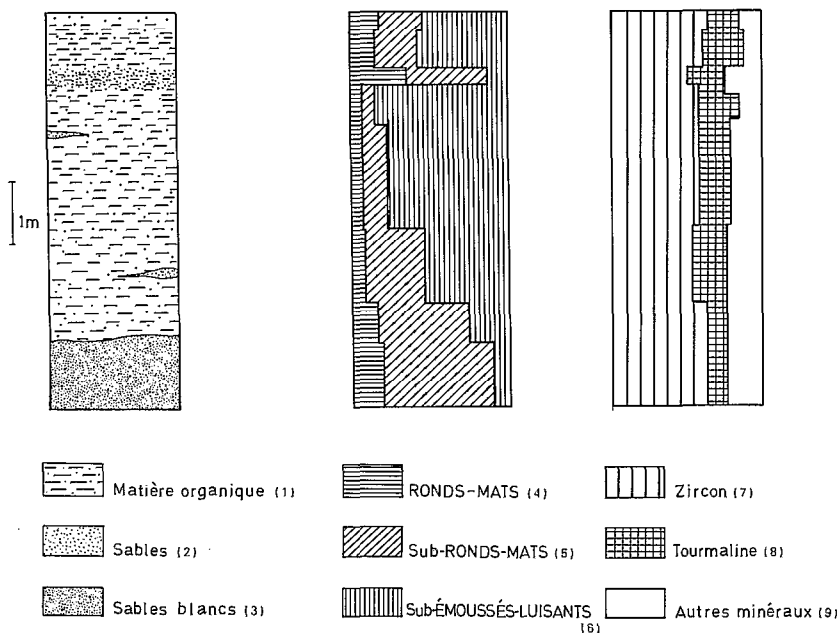


Fig. 3. — Variations morphoscopiques et minéralogiques le long de la coupe de Loumpoul.

Morphosological and mineralogical changes along the Loumpoul profile. (1) : Organic matter ; (2) : Sands ; (3) : White sands ; (4) : Round-frosted grains ; (5) : Nearly round-frosted grains ; (6) : Nearly blund and shining grains ; (7) : Zircon ; (8) : Tourmaline ; (9) : Other minerals.

près de la côte et une carrière a été échantillonnée sur 5 m à Mbarick, tout à l'est du domaine étudié. Dans les deux cas, les sables ogoliens de la base passent à des sables transportés par le ruissellement ou les cours d'eau lors de la période pluviale holocène.

Dans la carotte de Loumpoul (fig. 3), les quartz émoussés sub-arrondis, avec nombreuses traces de chocs et de picotements à la base, passent progressivement à des sables sub-émoussés luisants avec traces de polissage et présence de diatomées collées sur les grains. Cette augmentation correspond, d'après LEZINE (1986), à la période intermédiaire entre la fin de l'Ogolien (vers 12 000 BP) et le brusque accroissement des pollens d'arbres après 9 000 BP. Les minéraux lourds ne diffèrent ni par leur pourcentage pondéral, ni par leurs espèces minéralogiques, de ceux des dunes ogoliennes. Au sommet de la carotte une brusque augmentation des sub-ronds mats indique une courte période plus sèche à l'intérieur de l'Holocène, qui s'intercale dans le dépôt de matière organique des niayes.

Dans la carrière de Mbarick (fig. 4), située non loin du delta du Sénégal, les sables ogoliens sont surmontés par des dépôts plus fins limono-argileux sous les climats plus humides de l'Holocène. Cette augmentation de la fraction 50-125 µm et l'apparition d'une fraction inférieure à 50 µm s'explique à la fois par la pédogenèse holocène (MICHEL, 1973) et par l'enrichissement en poussières éoliennes fixées par la végétation holocène et ensuite infiltrées dans le sol (ROGNON et COUDÉ-GAUSSIN, 1987). Cette sédimentation s'achève vers 5 500 BP puis les sables limoneux

bruns supérieurs contiennent de nombreux débris d'*Arca senilis* de la transgression nouakchottienne (ELOUARD *et al.*, 1969 ; ROSSO *et al.*, 1977). La morphoscopie enregistre l'installation d'un climat plus humide, puis de la mer par l'accroissement des grains émoussés-luisants. Mais le cortège des minéraux lourds indique peu de variations par rapport aux sables ogoliens, la transgression marine n'amenant guère de matériel allochtone.

Les remaniements éoliens postérieurs

Le système dunaire ogolien a été remanié par de petits alignements dunaires orientés NNE-SSW (donc obliques par rapport aux dunes ogoliennes) lors d'une petite période sèche où la déflation éolienne s'est trouvée renforcée. Ces remaniements apparaissent dans le sud du Trarza, dans la région au sud-ouest du lac de Guiers et au sud du delta du Sénégal (MICHEL, 1973). Les études polliniques ont permis de situer cette petite phase sèche entre 7 500 et 6 000 BP avec un raccourcissement de la durée de la saison des pluies (LEZINE, 1986). Mais d'autres dunes, paraboliques et semi-fixées, se sont encore mises en place lors d'une ultime phase d'aridité vers le début de l'ère chrétienne. Ces remaniements affectent aussi la bordure occidentale du Trarza, le delta du Sénégal et l'ouest du Cayor. Ces dunes, édifiées par l'alizé maritime, ont des directions NW-SE.

C'est au cours de ces petites crises climatiques que se sont mises en place les dunes remaniées de la région de Loumpoul étudiées ici. Longues de quel-

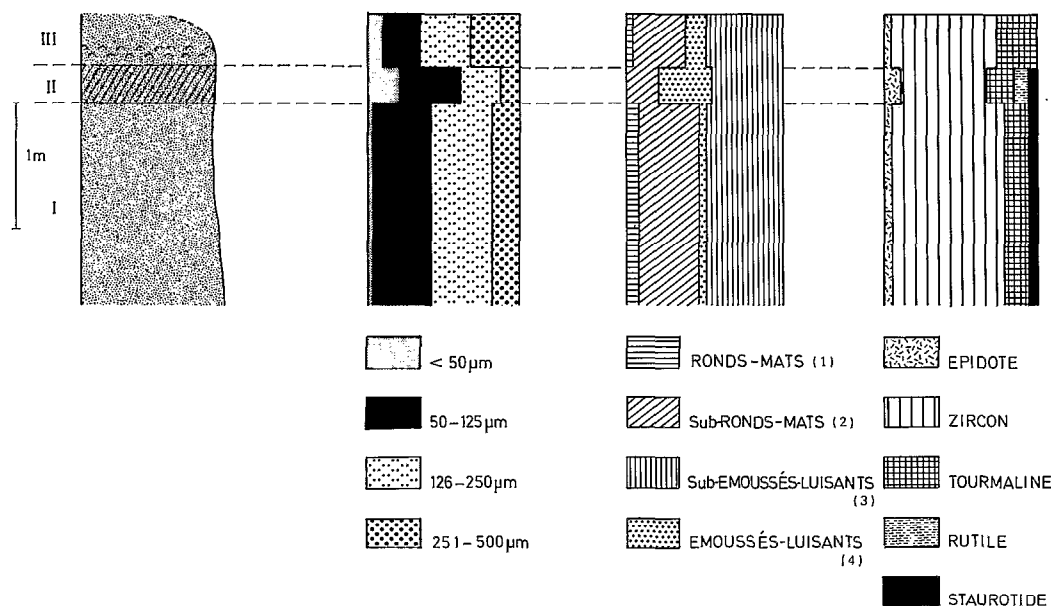


Fig. 4. — Variations granulométriques, morphoscopiques et minéralogiques le long de la coupe de Mbarick.

Grain size, morphoscopical and mineralogical changes along the Mbarick profile. — (1) : Round-frosted grains ; (2) : Nearly round-frosted grains ; (3) : Nearly blunt and shining grains ; (4) : Blunt and shining grains.

ques centaines de mètres et séparées par des interdunes de 200 à 300 m de large, ces dunes ont la direction NW-SE de l'alizé maritime et leurs sables, de couleur jaune, présentent une faible rubéfaction du fait de cette remobilisation tardive. Le long du littoral, ces dunes sont dominées par des formations sableuses blanches résultant des accumulations littorales actuelles. Ces édifices à pente forte sont très mobiles et envahissent progressivement les dunes continentales.

Or ces dunes littorales ou ces dunes remaniées peuvent être facilement différenciées des dunes ogoliennes par leurs caractères sédimentologiques. Le tri granulométrique de leurs sables est meilleur que celui des dunes ogoliennes (fig. 5). Le matériel

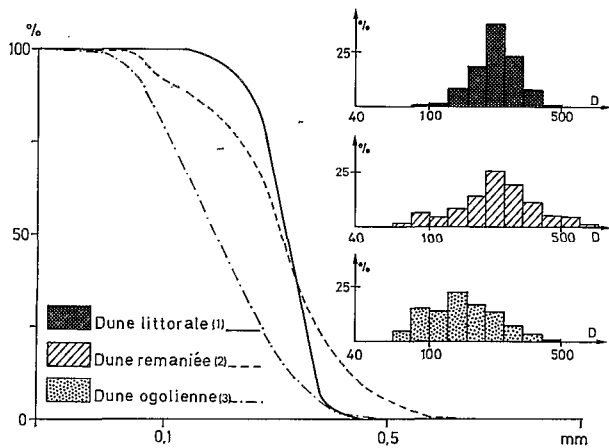


Fig. 5. — Courbes granulométriques caractéristiques des trois types de dunes dans le secteur de Loumpoul.

Typical grain size curves for the three types of dunes present in the Loumpoul area. — (1) : Coastal dunes ; (2) : Reworked dunes ; (3) : Ogolian dunes.

déposé par la houle du nord-ouest sur les plages est pratiquement dépourvu de particules argilo-limoneuses, entraînées vers le large où elles se déposent sur le plateau continental (CHAMLEY et DIESTER-HAASS, 1982). Les dunes remaniées ont également des sables très bien triés. Les indices d'asymétrie (Sk) sont toujours très proches de zéro et les coefficients d'angulosité (Kg) indiquent un excellent tri. Sur la figure 6, on peut constater cette remarquable homométrie des dunes littorales, puis la position intermédiaire des dunes remaniées par rapport aux dunes ogoliennes.

Par leur mode, bien individualisé à 200-250 μm , les dunes littorales se révèlent à la fois plus grossières et mieux triées que les dunes ogoliennes (60 à 90 % du poids total de l'échantillon se situe entre 125 et 250 μm). La figure 7 montre que les tailles des dunes

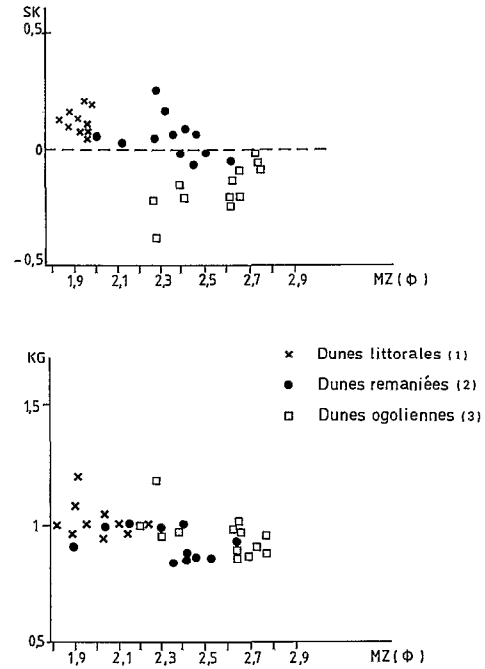


Fig. 6. — Corrélations entre les indices MZ, KG et SK des sables des trois types de dunes du secteur de Loumpoul.

Correlations between MZ, KG and SK indices for sands representing the three types of dunes present in the Loumpoul area. — Symbols as in figure 5.

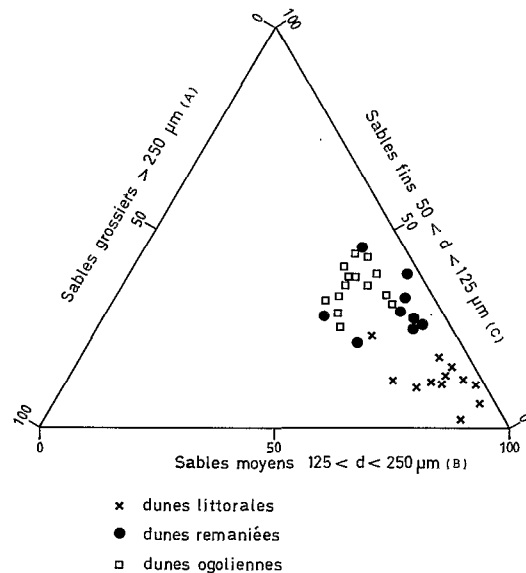


Fig. 7. — Répartition des sables des trois types de dunes du secteur de Loumpoul par fractions granulométriques.

Grain size distribution for the three types of dune sands from the Loumpoul area. Symbols as in figure 5. — (A) : Coarse grained sands, $>250 \mu\text{m}$; (B) : Medium grained sands, $125 < d < 250 \mu\text{m}$; (C) : Fine-grained sands, $50 < d < 125$.

remaniées se rapprochent davantage de celles des sables ogoliens, sans doute à cause du nouveau tri éolien qui s'est exercé lors de la petite phase sèche vers 7 000 BP. Dans l'ensemble, cette excellente homométrie des dunes littorales paraît être la règle sur tout le littoral nord du Sénégal (SALL, 1973 et 1983 ; COUREL, 1974) et il existe une grande affinité entre dunes littorales et dunes remaniées par l'alizé maritime.

Comme on pouvait s'y attendre, les sables littoraux présentent une prépondérance des émoussés luisants (>70 %) alors que les ronds-mats sont très rares (2 à 8 %, un cas avec 20 %) et les non-usés pratiquement inexistant. Ces observations confirment le rôle prédominant du façonnement par l'océan. Par contre, dans les dunes remaniées, plus éloignées du littoral, les picotés-luisants et surtout les ronds-mats et les sub-ronds-mats augmentent. Ainsi sur 4 km entre la côte et la grande dune de Sali, ces deux dernières catégories passent de 6 à 25 % tandis que les émoussés-luisants diminuent de plus de 30 %, ce qui confirme la double origine des sables des dunes remaniées qui incorporent à la fois des sables littoraux et ogoliens. La diminution de l'influence littorale est attestée aussi par les pourcentages de carbonates, atteignant jusqu'à 9 % sur la côte et diminuant ensuite très rapidement (moins de 2 % à 400 m du rivage à la Borne 5), sous le double effet de la dissolution des carbonates et de l'usure des débris d'organismes marins avec le transport.

L'examen des minéraux lourds fait encore mieux ressortir l'originalité des deux apports. En effet les dunes littorales renferment davantage de minéraux (1,5 à 5 % de pourcentage en poids avec parfois des concentrations supérieures à 12 %). Le minéral caractéristique ici est l'épidote (23 à 51 %) accompagnée du grenat (moyenne autour de 5 %) et de la hornblende verte (2 à 4 %) et rarement l'hyperstène. Ces minéraux plus variés (jusqu'à 13 espèces) et plus fragiles s'opposent au cortège très monotone des sables ogoliens. D'ailleurs les trois minéraux caractéristiques des sables ogoliens (ici = 20 à 41 % de zircon, 5 à 12 % de tourmaline, 1 à 2 % de rutile) sont très usés, sub-arrondis et, pour les tourmalines, très fréquemment ronds, ce qui indiquerait une origine lointaine ou éolienne. L'indice ZTR est toujours inférieur à 50 %.

L'origine de ce cortège de minéraux réputés moins résistants pose un problème. En effet, les sédiments de la plate-forme continentale au large de la côte nord (SALL, 1983) renferment surtout du zircon (60 %) suivi par la tourmaline (11 à 17 %) et la staurotite (4 à 13 %). L'épidote et le grenat sont, au contraire, peu représentés sur le plateau continental, mais bien présents (grenat = 10 %, épidote = 15 %) dans les sables de la langue de Barbarie. Cela confirme leur migration avec la dérive littorale (MICHEL *et al.*, 1967) et non à partir des alluvions du Sénégal où l'on note surtout des zircons, de la leucoxine et des ilménites (MICHEL, 1973). Cette dérive littorale proviendrait des

côtes mauritaniennes où l'épidote, les amphiboles et le grenat sont les minéraux les mieux représentés dans les sables littoraux (DUPLAIX et HÉBRARD, 1974) et auraient pour origine les formations métamorphiques du socle (gneiss, serpentine, pegmatite), riches en grenat et épidote. L'usure par des houles très puissantes aurait entraîné la disparition des minéraux les plus fragiles comme les amphiboles.

La figure 8 montre très clairement l'origine mixte des dunes remaniées. Comme dans les dunes ogoliennes, les minéraux résistants dominent très largement (84 % du total, dont 61 à 74 % de zircon et 3 à 17 % de tourmaline) avec des formes arrondies indiquant une forte usure. L'épidote (3 à 17 %), le grenat (3 à 4 %) et la hornblende (2 %) rappellent pourtant le cortège des sables littoraux et indiquent une certaine « contamination ». Cette conclusion doit être nuancée du fait que les sables ogoliens sont plus fins en général que ces sables littoraux et que les déterminations minéralogiques ont été faites sur la fraction II (80 à 160 µm), la plus variée et la seule qui soit représentée en quantité suffisante dans tous les échantillons. Par contre, la concentration totale en minéraux lourds est bien plus forte que celle des sables ogoliens et identique à celle des dunes littorales (1 à 5 %), ce qui pencherait en faveur d'un nouveau tri éolien des sables ogoliens lors de la petite phase sèche holocène.

Ainsi, les caractères granulométriques et minéralogiques de ces trois systèmes dunaires permettent de faire une distinction plus nette entre ces trois masses sableuses que la simple observation des formes sur le terrain. Les sables littoraux sont plus grossiers,

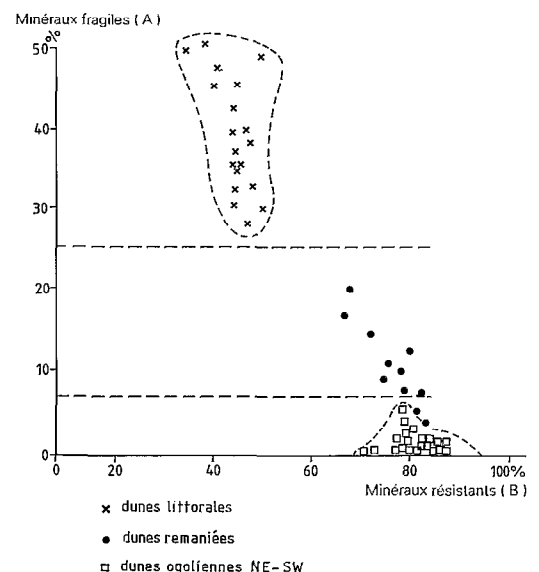


Fig. 8. — Rapports minéraux fragiles/minéraux résistants des sables des trois types de dunes du secteur de Loumpoul.

Ratio of soft and resistant heavy minerals for the three types of dune sands from the Loumpoul area. Symbols as in figure 5. — (A) : Soft minerals ; (B) : Resistant minerals.

mieux triés, très riches en émoussés-luisants et en minéraux lourds fragiles (en particulier épidote). Les sables des dunes remaniées ont des caractères plus proches des dunes ogoliennes, mais des tailles et une concentration totale en minéraux lourds qui les apparentent plutôt aux dunes littorales. Les dunes ogoliennes enfin présentent un classement bimodal, des minéraux très résistants, mais une éolisation incomplète des grains.

L'ORIGINE DES SABLES OGOLIENS

Au nord du fleuve Sénégal, le faisceau N 27° à 35° E des dunes du Cayor se poursuit au Trarza à l'ouest du lac Rkiz. A l'Ogolien les dunes traversaient la vallée ensablée à l'aval de Kaedi, mais cette migration a cessé depuis la fixation des dunes (MICHEL, 1973). L'erg du Trarza s'étend sur l'emplacement d'un ancien golfe marin du Quaternaire ancien (transgression du Tafarien) et des calcaires lacustres qui affleurent près du lac Rkiz, dans un secteur où les alignements dunaires s'espacent et changent de direction pour s'orienter vers le N 55° à 65° E dans le faisceau du Brakna qui vient, en quelque sorte, « confluer » avec le Trarza (fig. 9). Cette branche orientale a un modèle moins régulier avec des alignements dunaires plus espacés et l'erg se fragmente de plus en plus vers le sud-est (MICHEL, 1973).

Plus au nord, la route Nouakchott-Aleg recoupe les parties « amont » de ces deux ergs cartographiés par BARBEY (1982). Dix-sept échantillons, prélevés en 1987 par MISKOVSKY sur un transect O-E jusqu'à Tichitt permettent :

— de voir comment la proximité des affleurements métamorphiques ou éruptifs de la chaîne des Mauritanides intervient sur le degré de façonnement et la minéralogie des sables de ces ergs ;

— de montrer l'originalité de ces ergs occidentaux par rapport aux sables des plateaux du Tagant, d'où se détachent vers le S-E les dunes transversales, orientées N 20°W à N 30°W du système ogolien de l'Aouker (DAVEAU, 1965).

Étude minéralogique

La teneur en minéraux lourds des différents échantillons est peu élevée avec des valeurs constantes de 0,1 % à l'ouest d'Aleg et de 0,2 % à l'est. Il ne semble donc pas y avoir un enrichissement particulier au voisinage du socle paléozoïque. L'analyse des cortèges minéralogiques permet de définir trois zones différentes (fig. 10).

1. A l'ouest, entre Boutilimit et Aleg, les minéraux résistants dominent nettement (65 à 85 % de zircon + tourmaline) et les espèces rencontrées sont celles du cortège ogolien du Sénégal. On remarque cependant la présence permanente de 2 % d'épidote en moyenne. Ces résultats sont très proches de ceux de BARBEY et DUPLAIX (1978) sur le Trarza et le Nord-Sénégal (74 % en moyenne de zircon + tourmaline).

2. Dans les Mauritanides, à ces minéraux résistants, s'ajoutent des hornblendes vertes peu altérées (jusqu'à 19 %), quelques grenats et même de la biotite, minéral extrêmement fragile.

3. Vers l'est, au zircon (60 %) + tourmaline (20 %) sont associés de l'épidote, hornblende, grenat, sphène et biotite en faible quantité. L'usure des zircons est moindre. On retrouve, aux sources de l'erg oriental de l'Aouker, un cortège proche de l'Ogolien de l'Ouest, mais plus riche en minéraux résistants peu usés et en minéraux plus altérables. L'origine de ces sables semble un peu plus locale.

Par rapport aux sables plus orientaux, ceux de l'erg ogolien de l'Ogol-Trarza apparaissent plus évolués.

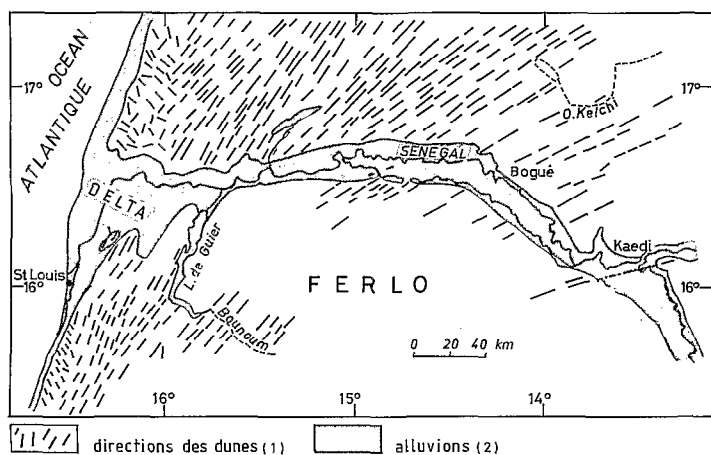


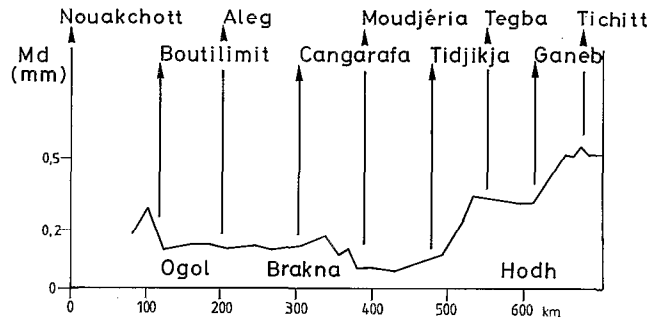
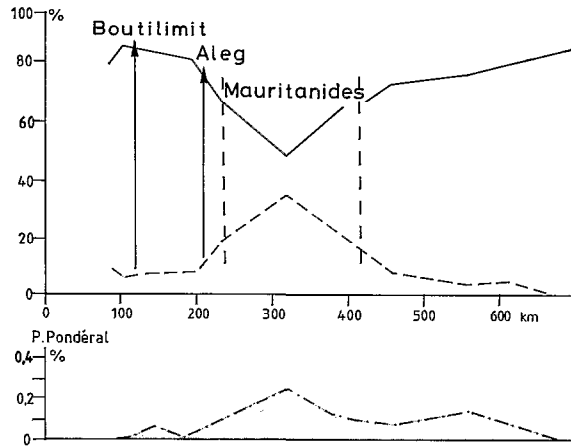
Fig. 9. — Directions principales des dunes longitudinales de part et d'autre du fleuve Sénégal (d'après MICHEL, 1973).

Main orientations of linear dunes, North and South of the Senegal River. — (1) : Orientation of dunes ; (2) : Alluvial deposits (after MICHEL, 1973).

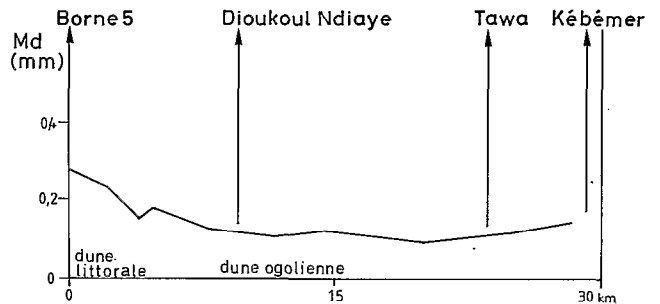
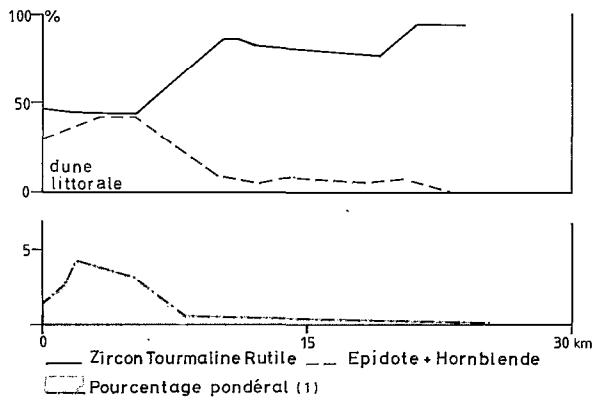
MINERAUX LOURDS (A)

GRANULOMETRIE (B)

Mauritanie



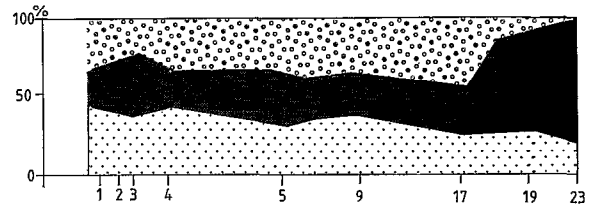
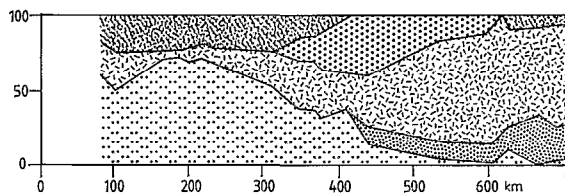
Nord Sénégal



ARGILES (C)

MORPHOSCOPIE (D)

Mauritanie



Nord Sénégal

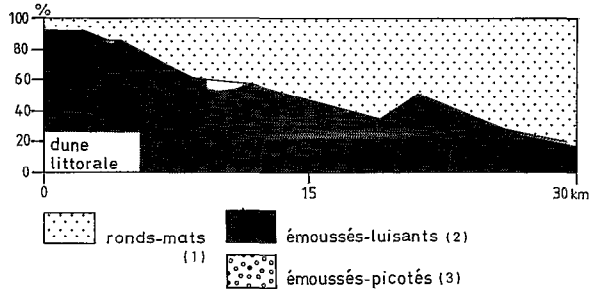
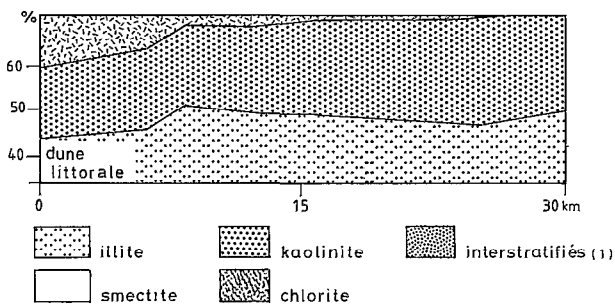


Fig. 10. — Regroupement des analyses minéralogiques, morphoscoiques et granulométriques des échantillons selon deux transects O-E en Mauritanie méridionale et au nord du Sénégal.

Synthetic profiles representing morphoscopical and grain size data of minerals, along two East-West trending transects in Southern Mauritania and Northern Senegal. (A) : Heavy minerals ; (1) : Weight percentage ; (B) : Grain size distribution ; (C) : Clays ; (1) : Interbedded ; (D) : Morphoscopy : (1) : Round-frosted grains ; (2) : Blunt and shining grains ; (3) : Blunt and striated grains.

De même, la fraction argileuse (comprise entre 4 et 8 % du poids total) est plus homogène à l'ouest (60-70 % d'illite, avec chlorite et smectite), alors que le cortège est plus varié à l'est (dominé par la kaolinite et la smectite). A l'ouest, l'illite semble provenir des grès du Continental terminal (ELOUARD, 1975) et la smectite des dépôts marins du Tarfarien. Ces deux formations sédimentaires forment effectivement le substrat de l'erg du Trarza : arrachées au substrat, ces particules fines ne seraient pas encore totalement éliminées par le vannage.

Étude des grains de sable

La granulométrie et la morphoscopie différencient nettement les sables de l'erg ogolien à l'ouest d'Aleg de ceux situés à l'est des Mauritanides (fig. 10). Ceux de l'erg ogolien occidental ont des moyennes entre 125 et 180 μm , comme au Sénégal, et sont bien triés, excepté quelques sables grossiers ferrugineux, reliques probables de la cuirasse ferrugineuse du Continental terminal. Les grains ronds-mats sont presque à égalité avec les émoussés luisants (MISKOVSKY *et al.*, 1989). Au contraire, à l'est, le diamètre des grains augmente. Les sables sont de plus en plus grossiers vers l'est avec des médianes passant de moins de 200 μm à Moudjeria à près de 500 à Tichitt au nord de l'Aouker. Le tri est aussi moins élaboré : on entre dans un autre système de dunes. D'ailleurs l'origine des sables est différente étant donné l'augmentation considérable des émoussés-luisants (10 % à Tidjikja, plus de 60 % à Ganeb) vers l'est, bien que les ronds-mats restent abondants dans tous les échantillons, tout en diminuant vers l'est.

Si on compare les sables de l'ouest avec les autres sables de l'ensemble ogolien Trarza-Cayor, la proportion des émoussés luisants est plus élevée ici. Cette observation rejoint celle de BARBEY (1982) qui pense que les sables de l'erg résultent ici de remaniements d'alluvions fluviales. Les analogies des cortèges minéralogiques de ces sables avec ceux qu'il a recueillis dans les anciens lits des oueds installés en période humide (72 à 74 % de tourmaline + zircon ; 2 à 3 % d'épidote) renforcent cette hypothèse. Mais ce cortège est également identique à celui qui caractérise le Continental terminal sous-jacent (DIENG, 1965 ; ELOUARD, 1975). Enfin la proportion élevée des grains émoussés luisants, plus abondants sur les littoraux que dans les cours d'eau saisonniers, suggère aussi une participation des sables de l'ancien golfe marin du Tafarien sur lequel l'erg s'est édifié. Toutes ces observations concordent donc pour situer l'origine probable des sables près de la terminaison nord de l'erg. Pourtant, par son cortège minéralogique très évolué, ce matériel a certainement subi d'importantes altérations (Continental terminal) ou remaniements (cours d'eau, littoral) avant son incorporation à l'erg ogolien. Il se différencie donc de la « source » des sables de l'Aouker où subsistent des minéraux peu résistants à l'altération.

LA DISPARITION DE L'ERG SUR LA PETITE CÔTE

Vers le sud, le faisceau des dunes du Cayor perd sa netteté. Les dunes sont moins hautes et plus espacées, mais toujours présentes à l'est de la presqu'île du Cap-Vert et du massif de grès ferrugineux de Ndias. D'après la carte des formations quaternaires de HÉBRARD (1965), elles atteignent la Petite Côte entre Sali et Mbour, vers 14°N, c'est-à-dire à la même latitude que l'extrémité méridionale de l'erg ogolien de l'Aouker au SE de Nara. Cette extension restait cependant à démontrer à l'aide d'arguments sédimentologiques dans la mesure où d'autres hypothèses ont été proposées :

- une origine locale pour les dunes de la région de Ndias, avec accumulation sur place de sables issus des formations cuirassées (NAHON, 1976) ;
- une date plus ancienne puisque ces dunes sont flanquées au sud-est par des affleurements de sables limono-argileux semblables à ceux de la région du Cap-Vert, attribués par BARBEY (1982) à un erg akcharien plus ancien.

Les sables rubéfiés de Mbour

Les prélèvements ont été effectués au sommet d'ondulations sableuses rouges orientées NE-SW entre Mbour et Malicounda et dans une coupe à 4 km au Sud de Nguekhoh. Ces formations sont attribuées par HÉBRARD (1965) à l'Ogolien, mais les analyses sédimentologiques restaient à faire.

La granulométrie de ces sables rappelle beaucoup celle des sables ogoliens du Cayor : les grains entre 126-250 μm dominent très largement avec environ 30 % de sables fins (50-125 μm). La fraction supérieure à 250 μm comprend surtout des pisolithes ferrugineux, résidus locaux de la désagrégation des cuirasses. Le tri des fines est incomplet (encore 4 à 7 % de limons et argiles). Pourtant on retrouve, comme dans le Cayor, la distribution bimodale avec un mode principal à 200 μm (30 à 40 % du poids total) et un mode secondaire à 125 μm (4 à 10 %). On ne constate cependant aucune diminution des tailles des grains par rapport au Cayor, et même plutôt des tailles légèrement plus élevées, ce qui est en accord avec les granulométries des sables ogoliens de la région du Cap-Vert (TOURENQ, 1964 ; COUREL, 1974).

Ces sables ne semblent donc pas avoir subi un tri sur de très longues distances. La morphoscopie des quartz le confirme d'ailleurs : si les grains non usés sont rares, les ronds-mats ne sont pas très abondants non plus. Les grains ovoïdes picotés dominent, suivis des sub-anguleux. Pourtant l'analyse au MEB révèle que beaucoup de grains sont recouverts d'une pellicule de silice qui colmate les traces de chocs et indique une évolution chimique depuis la fixation des dunes, donc postérieure à l'éolisation.

Les pourcentages pondéraux en minéraux lourds sont plus importants que dans le Cayor (0,2 %) mais les

espèces observées sont les mêmes avec 70 à 80 % de zircons toujours très usés, de la tourmaline et, ici, de la staurotide. Le disthène, l'anatase, le rutile ou la sillimanite apparaissent épisodiquement. Mais le grenat et l'épidote sont absents.

Enfin, l'analyse des minéraux argileux montre une filiation continue depuis la Mauritanie où l'illite était largement prédominante, puis le Cayor où l'illite (50 %) et la kaolinite (40 %) coexistent jusqu'à la Petite Côte où illite et kaolinite ont des teneurs de 40 à 50 % chacune. Ceci confirme les analyses d'argiles effectuées par ailleurs sur les dunes ogoliennes du Sénégal (MICHEL, 1973 ; TRICART, 1961 ; LEZINE et SAOS, 1986). Ce cortège à kaolinite et illite en proportions équivalentes caractérise aussi le Continental terminal (DIENG, 1965), qui forme généralement le substratum des dunes ogoliennes. Mais il caractérise aussi la fraction argileuse des poussières éoliennes comme le montrent les analyses effectuées dans l'Atlantique voisin. Ces poussières pourraient avoir enrichi les dunes après leur fixation.

Rapports avec les dunes littorales

Une origine éventuelle de ces sables pourrait être les plages de la Petite Côte. Des échantillons ont donc été prélevés systématiquement depuis Sali au NW à Nianing au SE. Si ces sables ont aussi des tailles moyennes (60 à 70 % entre 125 à 250 µm) et des indices granulométriques très constants et proches de ceux des sables ogoliens : Mz entre 200 et 250 µm, indice d'asymétrie proche de 0, kurtosis entre 1,01 et

1,06 (Ogoliens : 0,92-0,95), ils ne présentent qu'un mode unique à 200 µm. Ce tri excellent s'explique par l'action des courants côtiers. Pourtant l'exoscopie et l'examen au MEB montrent que la plupart des grains ont été éolisés avant d'être lissés en milieu marin. Mais les nombreux grains plus ou moins argileux prouvent qu'ils n'ont pas été transportés sur de longues distances.

Les pourcentages de minéraux lourds sont à peine plus élevés que pour les sables ogoliens (0,1 à 0,7 %), avec environ 75 % de zircon et 10 à 20 % de tourmaline. On ne trouve qu'exceptionnellement des minéraux volcaniques provenant du Cap-Vert (augite), ce qui confirme les travaux de TOURENQ, 1964 ; BARRUSSEAU, 1980 ; FROIDEFOND *et al.*, 1973 ; DUMON, 1977 ou HORN *et al.*, 1975 qui ont montré la fragilité de l'augite et de l'olivine à l'usure mécanique par la houle et, surtout, l'absence de dérive littorale importante de NW au SE le long de la Petite Côte. Du point de vue minéralogique, la seule empreinte de l'océan se trouve au niveau des argiles, avec 60 à 65 % de smectite, ce qui est différent des cortèges des sables ogoliens. Cette smectite peut aussi avoir une origine continentale locale puisqu'elle est présente sur les bas-glacis de la région de Ndias (NAHON, 1976).

Ces analyses montrent que, contrairement au littoral du Cayor, ici les sables littoraux n'ont guère progressé vers l'intérieur. Au contraire, ces sables sont, dans l'ensemble, d'anciens sables continentaux, probablement ogoliens, repris par la mer lors de la transgression nouakchottienne, datée ici de $5\,680 \pm 110$ ans BP (ELOUARD *et al.*, 1977).

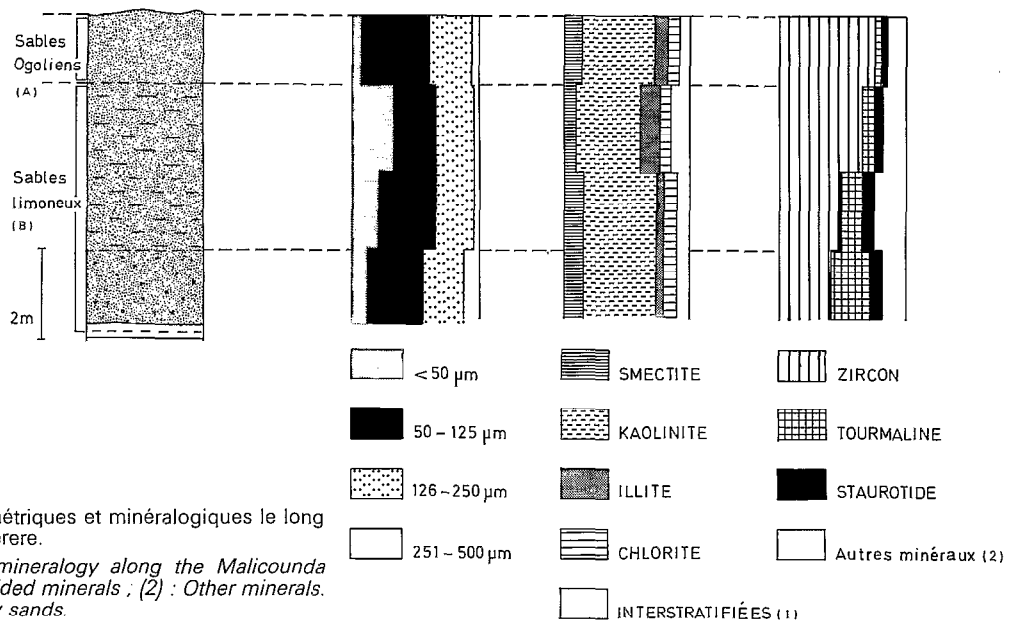


Fig. 11. — Variations granulométriques et minéralogiques le long de la coupe de Malicounda Serere.

Evolution of grain size and mineralogy along the Malicounda Serere profile — (1) : Interbedded minerals ; (2) : Other minerals. (A) : Ogolian sands ; (B) : Silty sands.

Rapports avec les formations sablo-limoneuses

Cette formation signalée en plusieurs endroits depuis le Cap-Vert jusqu'à Nianing (TESSIER, 1954 ; HÉBRARD, 1965 ; DEMOULIN, 1971 ; LAPPARTIENT, 1971 ; NAHON, 1976) a été attribuée à une sédimentation éolienne antérieure à l'Ogolien (BARBEY, 1982). Une coupe, étudiée ici, provenant de la région de Malicounda Serère confirme cette antériorité (fig. 11).

Les sables ogoliens, représentés au sommet de cette coupe, sont peu épais (moins d'un mètre) mais très

caractéristiques. Ils sont relativement fins, mais bimodaux avec un mode principal à 125 μm et un mode secondaire ici, à 200 μm . L'éolisation est très nette sur de nombreux grains (30 % de grains mats). Le cortège des minéraux lourds ne contient que les ubiquistes (70 à 80 % de zircon ; tourmaline) et les minéraux argileux sont de l'illite et de la kaolinite. Tous ces caractères sont identiques à ceux qui sont rencontrés dans les sables ogoliens depuis la Mauritanie. Tandis que dans la région de Mbour, les sables restaient identiques ou même légèrement plus grossiers, ici les sables fins paraissent l'emporter (mode principal à 125 μm). Deux hypothèses peuvent être envisagées :

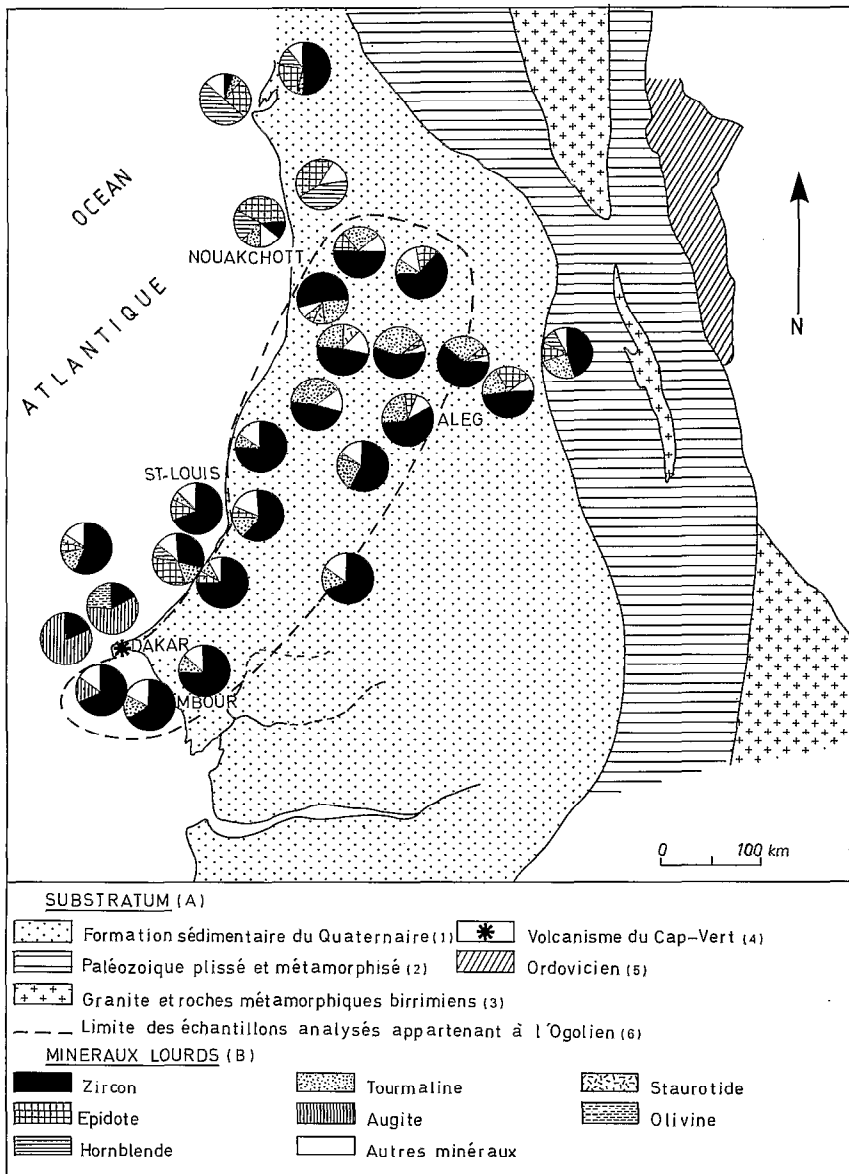


Fig. 12. — Cortège des minéraux lourds des sables ogoliens comparé à celui des formations voisines.

Comparison of heavy mineral associations in the Ogolian and surrounding sand formation. — (A) : Bedrocks ; (1) : Quaternary sediments ; (2) : Folded and metamorphic Paleozoic formations ; (3) : Birrimian granites and metamorphic rocks ; (4) : Cape Verde volcanism ; (5) : Ordovician ; (6) : Limit of Ogolian sand occurrence. — (B) : Heavy minerals (« autres minéraux » = « other minerals »).

— une brusque chute de la dynamique éolienne à l'approche de régions couvertes de végétation plus dense — cette idée est difficile à retenir étant donné que les échantillons ogoliens du secteur de Mbour ne sont distants que de 5 à 10 km, ou

— un mélange avec un stock local de sables plus fins. Cette seconde hypothèse semble confirmée par le passage assez progressif des sables limoneux sous-jacents aux sables ogoliens proprement dits.

En effet, le faciès sablo-limoneux, ou même limono-argileux à la base, est représenté, sur la partie inférieure de la coupe de Malicounda, au-dessus d'une dalle de la cuirasse des grès ferrugineux décrite, dans le massif de Ndias, par NAHON et DEMOULIN (1970). Ces sables sont très fins précisément et unimodaux (mode à 125 μ m). Les limons et argiles sont bien représentés (11 à 24 % du sédiment total). Les grains sub-anguleux ou même non usés sont abondants et sont la preuve de l'autochtonie d'une partie de ce matériel.

L'observation au MEB révèle aussi l'importance des pellicules de silice, indice d'une immobilisation dans les horizons pédologiques. Enfin ce matériel sablo-limoneux se différencie encore mieux par ses caractères minéralogiques : le zircon diminue régulièrement vers le bas de la coupe (moins de 50 %) tandis que la tourmaline et la staurotite augmentent ainsi que le disthène et la sillimanite. L'absence de minéraux fragiles confirme l'importance de l'altération. Or celle-ci a donné surtout de la smectite (NAHON, 1976), minéral dominant dans ces sables limoneux ; mais la kaolinite et l'illite sont aussi présentes.

Dans le cas de la coupe étudiée, les sables ogoliens se distinguent donc bien du faciès sableux limoneux. L'origine de ceux-ci est à rechercher beaucoup plus dans les altérations des cuirasses ferrugineuses que dans les apports de sables éoliens.

CONCLUSION

Cette étude qui a porté sur l'analyse systématique de près de 150 échantillons confirme donc les résultats obtenus localement par les auteurs précédents. Elle montre l'extrême homogénéité des caractères sédimentologiques de cette couverture sableuse ogolienne sur près de 500 km du nord au sud : distribution granulométrique bimodale, éolisation incomplète des grains, minéraux lourds à zircon et tourmaline (fig. 12) ; minéraux argileux (illite et kaolinite). Aucun gradient significatif n'a pu être réellement mis en évidence le long de la dérive supposée de ces sables. La médiane des sables semble même un peu plus élevée dans la région de Mbour qu'en Mauritanie... Il semble toutefois qu'aux « sources » de l'erg, les proportions de grains à héritage fluviatile et d'argile de type illite soient plus importantes. Mais malgré la diversité des substrats, l'homogénéisation du stock sableux apparaît indiscutable et elle explique l'originalité de ces sables ogoliens par rapport aux autres couvertures analysées dans le sud de la Mauritanie, sur la côte atlantique, dans le Ferlo ou à l'extrémité méridionale de l'erg sur la Petite Côte. Il resterait maintenant, dans les études ultérieures à préciser les limites exactes de cette couverture sableuse ogolienne et à expliquer les mécanismes de cette homogénéisation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier C. BARBEY, J.C. MISKOVSKY, J.L. SAOS et les géologues de la Compagnie des tourbières du Sénégal pour leur aide sur le terrain, P. BLANC, M. DELAUNE et J. TOURENO pour leurs conseils dans les déterminations minéralogiques et M. CHOLLET pour la réalisation des figures de cet article.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 4 octobre 1989

BIBLIOGRAPHIE

- BARBEY (C.), CARBONNEL (J.P.), DUPLAIX (S.), LE RIBAUT (L.) et TOURENO (J.), 1975. — Étude sédimentologique de formations dunaires en Mauritanie occidentale. *Bull. I.F.A.N., Dakar*, 37A : 256-265.
- BARBEY (C.), CARBONNEL (J.P.), LE RIBAUT (L.) et TOURENO (J.), 1978. — Mise en évidence par exoscopie des quartz de plusieurs épisodes au cours du Quaternaire mauritanien. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 278 : 1163-1166.
- BARBEY (C.) et DUPLAIX (S.), 1978. — Nouvelles observations sur la minéralogie (minéraux lourds) de dunes du Trarza et du Nord-Sénégal. *Bull. I.F.A.N., Dakar*, 40A : 1-5.
- BARBEY (C.), 1982. — Les ergs du Sud-Ouest de la Mauritanie et du Nord du Sénégal. Thèse de Doct., Univ. de Paris VII, 454 p.
- BARRUSSEAU (J.P.), 1980. — Essai d'évaluation des transports littoraux sableux sous l'action des houles entre Saint-Louis et Joal (Sénégal). *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Etud. Quatern. Afr.*, 70-71 : 43-52.
- CHAMLEY (H.) et DIESTER-HAASS (L.), 1982. — Effets du déplacement de l'embouchure du fleuve Sénégal, au Quaternaire supérieur, sur la sédimentation de la marge ouest africaine. *C.R., Acad., Sc. Paris*, 295, 2 : 673-674.
- COUREL (M.F.), 1974. — Étude géomorphologique des systèmes dunaires du Cap-Vert. Mémoire de maîtrise de géographie, Univ. de Paris VII, 189 p.
- DAVEAU (S.), 1965. — Dunes ravinées et dépôts du Quaternaire récent dans le Sahel mauritanien. *Rev. Géogr. Afr. occ.*, 22 : 86-90.
- DEMOULIN (D.), 1971. — Méthodologie et résultats nouveaux sur les cuirasses ferrugineuses sur grès au Sénégal, d'après D. Nahon. *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. Ouest afr.*, 31 : 5-8.
- DIENG (M.), 1965. — Contribution à l'étude géologique du Continental terminal au Sénégal. *Rapp. B.R.G.M., Dakar*, t. 1 : 181 p., t. 2 : 172 p.

- DIOPE (S.), CISSÉ (I.), SALL (M.) et DIA (A.T.), 1978. — Application de quelques méthodes de statistiques descriptives à l'étude des sédiments des ensembles dunaires du Sénégal Nord-Occidental. *Ann. Fac. des Let.*, Dakar, 8 : 200-216.
- DUMON (J.C.), 1977. — Recherche de l'origine des minéraux titanés des plages sénégalaises. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 21 : 207-231.
- DUPLAIX (S.) et HÉBRARD (L.), 1974. — Contribution à l'étude géologique du Quaternaire du littoral mauritanien entre Nouadhibou et le Cap Tafarit à partir de l'étude des minéraux lourds. *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. afr.*, 41 : 29-42.
- ELOUARD (P.), 1975. — Formations sédimentaires de Mauritanie Atlantique. Notice explicative de la carte géologique de la Mauritanie 1/1 000 000. Éditions du B.R.G.M., Paris, 171, 233 p.
- ELOUARD (P.), FAURE (H.) et HÉBRARD (L.), 1969. — Quaternaire du littoral mauritanien entre Nouakchott et Port-Étienne (18°-21° latitude Nord). *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. Ouest afr.*, 23-24 : 15-24.
- ELOUARD (P.), FAURE (H.) et HÉBRARD (L.), 1977. — Variations du niveau de la mer au cours des 15 000 dernières années autour de la presqu'île du Cap-Vert Dakar-Sénégal. *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. afr.*, 50 : 23-49.
- FROIDEFOND (J.M.), HORN (R.), LE LANN (F.), NAUDIN (J.J.), PRUD'HOMME (R.), SCOLARI (G.) et TIXERONT (M.), 1973. — Recherche d'ilménite au large des côtes du Sénégal (Opération Rosilda). — Rapp. B.R.G.M., N° 73 S.G.N. 228 Mar., 128 p.
- HÉBRARD (L.), 1965. — Notes sur les formations Quaternaires de la région de Mbour-Joal (Sénégal). *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. Ouest afr.*, 7 : 12-21.
- HORN (R.), LE LANN (F.), SCOLARI (G.) et TIXERONT (M.), 1975. — Le plateau continental sénégalais au nord et au sud de Cap-Vert. Morphologie, sédimentologie, et minéralisation. IX^e Congr. Inter. de sédimentologie. Nice : 45-50.
- HUBERT (J.F.), 1962. — A Zircon-Tourmaline-Rutile maturity index and interdependence of the composition of the heavy mineral assemblage with the gross composition and the texture of the sandstones. *Journal of Sed. Petrology*, 32 : 440-450.
- LAPPARTIENT (J.R.), 1971. — Période de concrétionnement calcaire dans le Quaternaire récent de Dakar (Sénégal). *Bull. Soc. géol. Fr.*, sér. 7, N° 3-4 : 409-415.
- LEPRUN (J.C.), 1971. — Nouvelles observations sur les formations dunaires sableuses fixées du Ferlo nord-occidental (Sénégal). *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. afr.*, 62-63 : 33-42.
- LEZINE (A.M.) et SAOS (J.L.), 1986. — Paléohydrologie et paléoenvironnement d'un lac sahélien à l'Holocène (Guiers-Sénégal), Symposium « Changements globaux en Afrique », INQUA/1986, Dakar, ORSTOM : 265-267.
- LEZINE (A.M.), 1986. — Paléoenvironnements végétaux d'Afrique Nord tropicale occidentale depuis 12 000 B.P. — Analyses polliniques — Sénégal, Mauritanie. Thèse de Doct. d'État, Univ. de Marseille, 151 p.
- MICHEL (P.), ELOUARD (P.) et FAURE (H.), 1967. — Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent de la région de Saint-Louis (Sénégal). *Bull. Liaison, Ass. sénégal. Et. Quatern. Ouest afr.*, 13 : 12-17.
- MICHEL (P.), 1973. — Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique. *Mém. ORSTOM*, 63 : 752.
- MISKOVSKY (J.C.), AMBLARD (S.), KHATTAR (M.O.) et NGUER (M.), 1989. — Un aspect de l'aridification et du peuplement ancien en Mauritanie. *Bull. Soc. géol. France*, sér. 8, 5, 109-115.
- NAHON (D.), 1976. — Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. Strasbourg. *Sci Géol. Mem.*, 44 : 222 p.
- NAHON (D.) et DEMOULIN (D.), 1970. — Essai de stratigraphie relative des formations cuirassées du Sénégal occidental. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, (Série D) : 270, 2764-2767.
- ROGNON (P.) et COUDÉ-GAUSSIN (G.), 1987. — Dépôts quaternaires des déserts chauds et de la zone inter-tropicale. Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques, applications. Édition GEOPRE, Paris : 125-148.
- ROSSO (J.C.), ELOUARD (P.) et MONTEILLET (J.), 1977. — Mollusques du Nouakchottien (Mauritanie et Sénégal septentrional) : inventaire systématique et esquisse paléoécologique. *Bull. I.F.A.N.*, Dakar, 39 A : 467-483.
- SALL (M.), 1973. — La côte nord de la presqu'île du Cap-Vert. Nouvelles observations de géomorphologie dynamique. *Bull. I.F.A.N.*, Dakar, 35 A : 74-83.
- SALL (M.), 1983. — Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal occidental. Thèse de Doct. d'État ès lettres, U.L.P. de Strasbourg, 604 p.
- TESSIER (F.), 1954. — Carte géologique de l'A.O.F. à l'échelle de 1/200 000. Notice explicative sur la feuille de Thiés Ouest. Dir. féd. Mines Afr. occ. fr. Dakar, 82 p.
- TOURENQ (J.), 1964. — Contribution à l'étude de quelques sables de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, sér. 7, 6 : 666-673.
- TRICART (J.), 1961. — Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. *Mém. B.R.G.M.*, Paris, 8, 137 p.
- TRICART (J.) et BROCHU (M.), 1955. — Le grand erg ancien du Traza et du Cayor (Sud-Ouest de la Mauritanie et Nord du Sénégal). *Rev. Géom. dyn.*, 4 : 145-176.