

## **DIAGENÈSE DE GRÈS LITTORAUX QUATÉRIAIRES DU BASSIN SÉNÉGALO-MAURITANIEN : ASPECTS PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOCHIMIQUES, IMPLICATIONS RÉGIONALES.**

## **DIAGENESIS OF QUATERNARY SÉNÉGALO - MAURITANIAN SHORELINE DEPOSITS : PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL EVIDENCE. REGIONAL IMPLICATION.**

*Diouf B<sup>1</sup>*

### **Résumé**

La lithogénèse de grès littoraux carbonatés quaternaires de la côte sénégal - mauritanienne a été analysée en mettant un accent particulier sur les aspects pétrographiques et géochimiques. Les résultats révèlent la conservation des caractères du milieu marin originel et la constance des conditions environnementales des grès mauritaniens. Les analyses pétrographiques et géochimiques n'indiquent pas d'effets d'une diagenèse tardive.

Par contre, sur le littoral sénégalais, la texture primitive des bioclastes et du ciment révèle une altération post - sédimentaire plus ou moins importante ; ce caractère tardif est généralement souligné par les liserés résiduels des ciments précoces autour des bioclastes recristallisés. Les principaux caractères pétrographiques de ces grès ainsi que les valeurs très négatives des rapports isotopiques du carbone illustrent les effets d'une diagenèse sous influence d'eaux douces continentales vadoses.

A l'échelle des affleurements étudiés, la diagenèse présente un gradient vertical à l'échelle géographique.

Cette étude montre une opposition entre les divers environnements du bassin qui se traduit au Nord, en Mauritanie aride, par une conservation des caractères géochimiques et texturaux hérités du milieu originel et, au Sud, dans le Sénégal humide, par une altération d'autant plus intense que l'on s'approche du domaine intertropical.

### **Mots-clés :**

grès littoraux, bassin sénégalao-mauritanien, ciment carbonaté, diagenèse, évolution quaternaire.

### **Abstract :**

The study focuses on petrographic and geochemical features about the lithogenesis of Quaternary Senegalo - mauritanian shoreline deposits. The feature of the original marine environment are preserved in the Mauritanian Holocene shoreline deposits. Their petrographic and geochemical characters don't indicate a tardy diagenesis.

On the other hand, indications of late diagenesis are recorded in the Senegalese series. The main petrographic characters of these sandstones and the very negative values of carbon isotope ratio are indicative of vadose diagenesis influenced by continental fresh waters. These values illustrate the importance of bioclasts in sparry cement.

Diagenesis follows a vertical gradient in outcrops at a geographic scale, with a latitudinal variable amplitude.

This study emphasizes opposition between the Senegal and Mauritanian environments and points out the importance of post - sedimentary meteoric actions in the intertropical zone. This explains the disappearance of carbonated sandstones from Senegalese coast and their generalized absence on the intertropical shore of West Africa down to Angola.

### **Key Words :**

shoreline deposits, senegalo-mauritanian basin, carbonated cement diagenesis, quaternary evolution.

---

<sup>1</sup> Département de Géologie  
Faculté des Sciences et Techniques-  
Université C.A. DIOP - DAKAR - FANN (Sénégal)  
E-mail : [basdiouf@ucad.sn](mailto:basdiouf@ucad.sn)

## 1. Introduction

Le bassin sénégalo-mauritanien s'étend sur 340.000 km<sup>2</sup> et couvre du Nord au Sud la Mauritanie, le Sénégal, la Gambie et la Guinée Bissau. Il est de type ouvert, à structure monoclinale à faible pendage Ouest. Il est constitué de formations sédimentaires tertiaires à quaternaires parfois discordantes sur les formations antérieures, en majorité maastrichtiennes.

Les oscillations glacio-eustatiques et climatiques du Quaternaire ont profondément marqué la géologie de la marge occidentale du (Elouard, [1], [2] ; Michel [3] ; Elouard *et al.*, [4] ; Hébrard, [5] ; Giresse *et al.*, [6][7] ; Diouf [8] ; Diouf *et al.*, [9]).

Le Pléistocène supérieur est marqué par trois périodes d'aridité liées à des phases de refroidissement. Les périodes arides sont associés à des épisodes régressifs succédant à de hauts niveaux marins dont le plus ancien semble être celui de l'Eémien (125 Ka).

Le sommet du Pléistocène est marqué par la succession d'un pluvial et d'un aride correspondant respectivement à la transgression inchiennienne (40-30 Ka) et, à la régression ogolienne.

L'Holocène, qui est la période la mieux connue, est caractérisé par le réchauffement des eaux littorales et par des oscillations climatiques d'importance variable comprenant notamment des périodes très humides et des périodes d'aridité intense.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Matériel d'étude

**Affleurements mauritaniens (Ech. CNIM) :** "beach-rocks" holocènes de la baie de Saint Jean (Fig. 1A). Ils sont particulièrement riches en Mollusques sabulicoles notamment des Arches, Dosinies, Cardium, Turritelles et Cérithes, organismes dont la présence traduit

généralement des conditions de confinement et de sursalure.

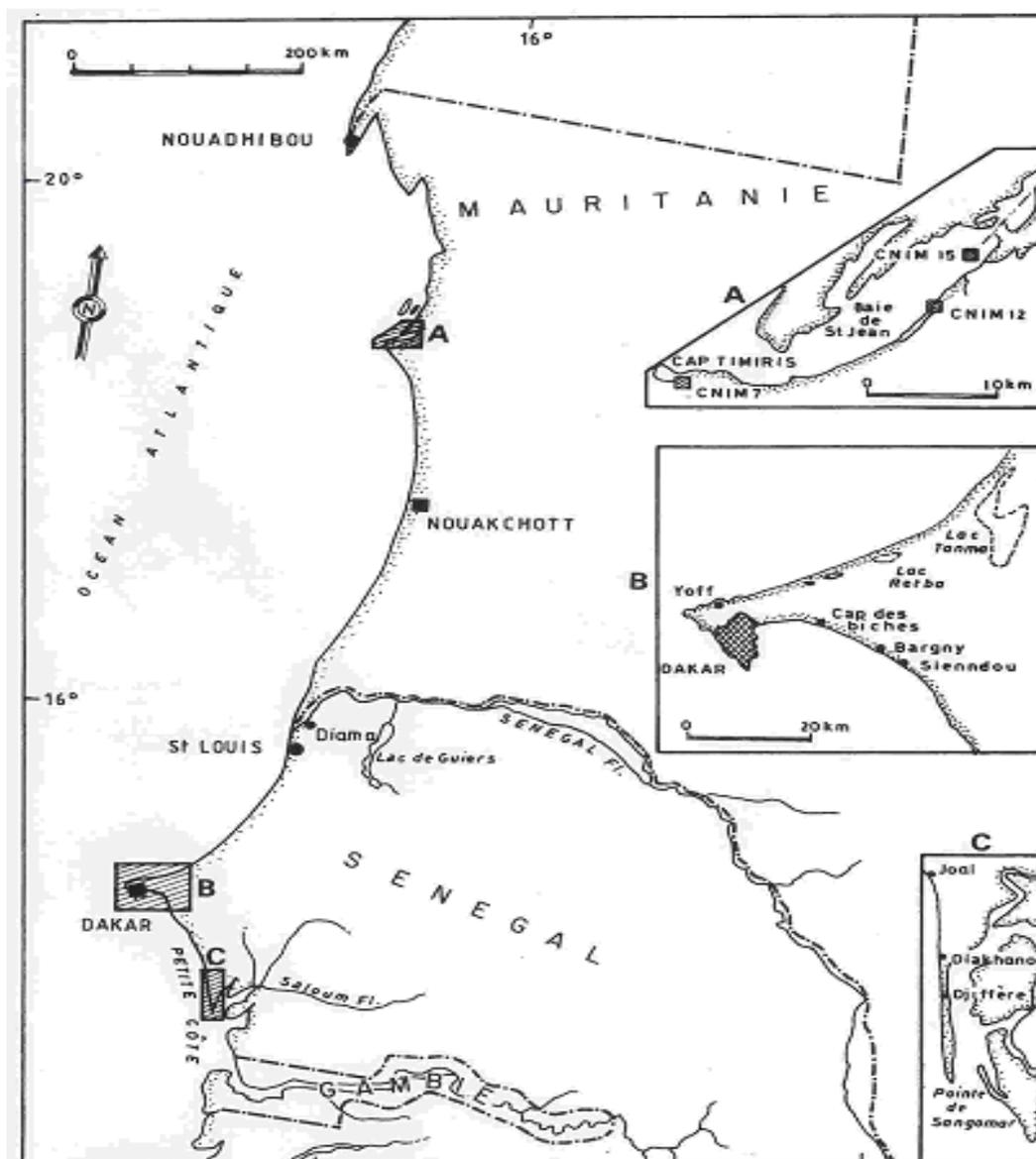
**Affleurements sénégalais :** ce sont des grès littoraux holocènes en provenance de l'estuaire du Saloum (Ech NG, JAH, DJ) (Fig. 1B) et de la presqu'île du Cap Vert (Ech. TR) (Fig. 1C). ainsi que des grès pléistocènes essentiellement localisés dans la presqu'île du Cap Vert (Lac Retba , éch. Ret; Bargny, éch. BAR ; Cap des Biches, éch. CB et Toubab Dialao-Siennndou, éch. TD) (Fig. 1C).

Les grès holocènes se présentent soit en dalles soit en placage sur des blocs volcaniques. Les dalles, généralement épaisses (1 m à 1,50 m), sont constituées de deux ou plusieurs strates comme à Ngallou. Elles peuvent être isolées, et sont épaisses de quelques décimètres avec une surface de 1 - 1,50 m comme à Diakhanor et à Djifère. Les grès en placage de Yoff sont d'épaisseur variable généralement faible (max. 14 cm). Ces placages moulent les surfaces convexes et concaves des blocs de basalte qui jonchent le platier rocheux.

Les grès littoraux pléistocènes du Cap Vert affleurent à 1 – 1,50 m au moins de la plage actuelle. Ils ont été particulièrement étudiés par Pouquet [10], Demoulin et Masse [11], Giresse *et al.*, [6] [7], Diouf [8] et Diouf *et al.*, [9]. Ils se présentent en dalles superposées, à stratifications entrecroisées. Ils sont d'épaisseur et d'extension variables. Ils contiennent des débris de tests dissous et sont, en général, tous affectés à des degrés divers par l'altération.

### 2.2. Méthodes d'analyse

Les microfaciès ont été étudiés en lames minces en décrivant l'état de conservation des éléments biogènes, leur degré de recristallisation et les différentes générations de ciment.



**Figure 1 :** Carte de localisation des grès étudiés.  
**A :** Grès mauritaniens - **B :** Grès du Cap Vert - **C :** Grès du Saloum  
*Sampling location map . A : Mauritania - B : Cap Vert coast - C : Salum area*

La distinction Mollusques calcitiques – Mollusques aragonitiques est basée sur les différentes structures (Bathurst [12] ; Milliman [13] ; Renard [14]).

L'étude minéralogique des carbonates (bioclastes, ciments) a été effectuée par diffractométrie des rayons X selon la méthode des poudres. L'analyse géochimique a été réalisée à la microsonde CAMEBAX du service commun de Microsonde de Montpellier (France).

### 3. Résultats

#### 3.1. Caractères pétrographiques indicateurs de diagenèse

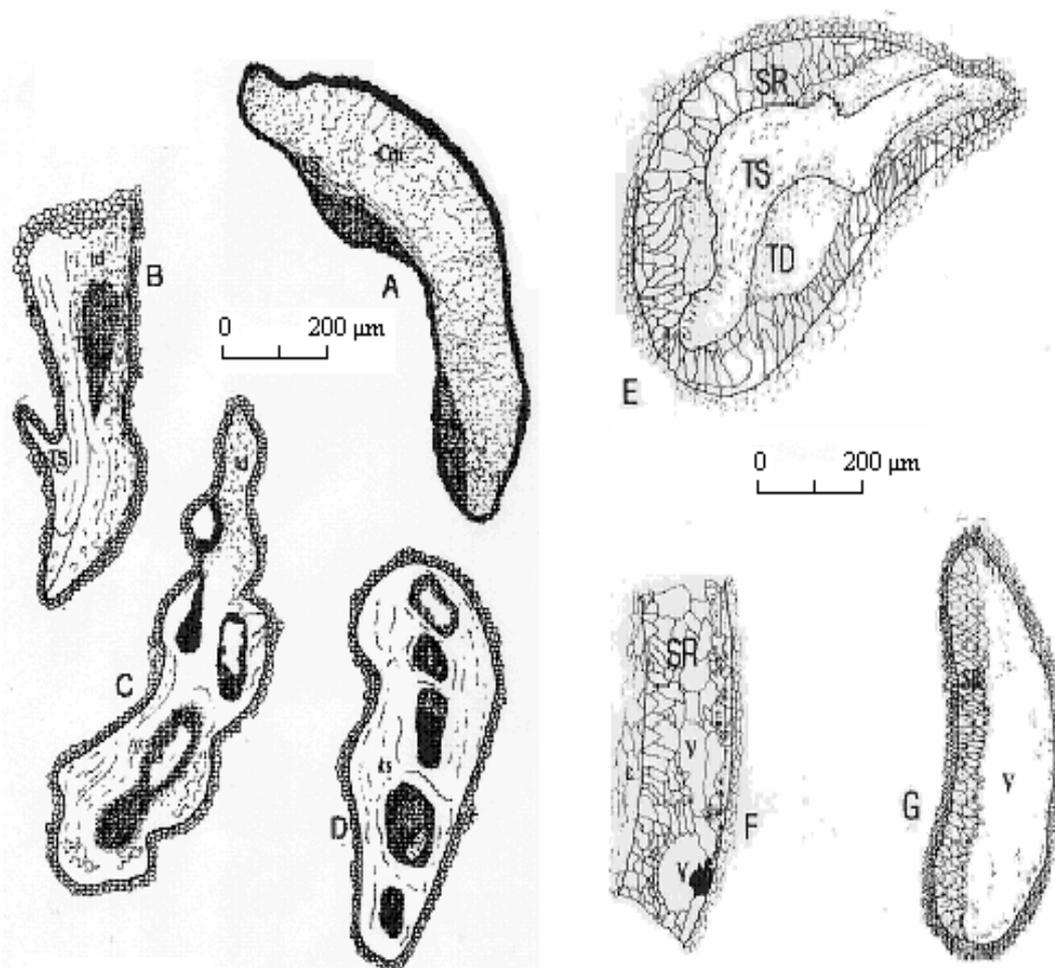
**Processus de micritisation.** Les débris biogènes montrent fréquemment une micritisation, qui se traduit par des bordures foncées des tests, parcourus par de fins canaux remplis de micrite sombre. Elle peut être totale et transformer les débris en pelloïdes. La micritisation des débris biogènes est considérée comme un produit de la diagenèse précoce qui peut être contemporaine des dépôts

(Alexandersson [15] ; Bathurst [12] ; Purser [16] ; Khalaf [17] ; Beier [18]). Outre l'action biologique d'Algues, d'autres mécanismes sont également invoqués pour expliquer la perte de la structure originelle des tests. Cette perte peut résulter de l'action d'eaux météoriques dans la zone supratidale (James [19]), d'une diagenèse en domaine marin phréatique (Beier [18]) ou par dissolution–reprécipitation simultanées (Bathurst [12] ; Kahle [20] ; Purser [16] ; Kobluck et Risk [21]).

Dans le cas des grès du littoral sénégal-mauritanien, les débris biogènes montrent des bordures externes micritisées et un aspect fracturé induit par des canalicules

enchevêtrées également occupées par de la micrite (Fig. 2) ; le tout résultant d'une diagenèse précoce par activité algale. Cependant, la perte de la structure originelle observée sur certains débris peut être due à l'un ou l'autre parmi les autres mécanismes évoqués plus haut affectant les grès d'origine littorale avant ou après induration. Il apparaît que la micritisation est surtout antérieure à la cimentation comme le suggèrent l'importance des bioclastes recristallisés limités par de minces liserés micritiques, et la recristallisation de certains pelloïdes.

Cet aspect de la diagenèse est assez fréquent dans le cas d'une grésification littorale, en particulier dans les beach-



**Figure 2 :** Aspects pétrographiques des bioclastes dans quelques échantillons étudiés. **A :** Débris biogène micritisé par des Algues. **B, C et D :** Tests calcitiques à différents stades de conservation. **E, F et G :** Bioclastes originellement aragonitiques dissous et recristallisés en calcite. **Ts :** Tissu sain – **Td :** Tissu destructuré – **TR :** Tissu recristallisé – **Cm :** Canalicules micritisées – **C :** Ciment sparitique – **p :** Ciment palissadique – **SR :** Sparite de recristallisation – **V :** Cavité de dissolution.

rocks : tous les fragments de tests associés au sédiment peuvent être complètement micritisés (Khalaf *et al.*, [22] ; Khalaf [17]).

### 3.2. Dissolution recristallisation des bioclastes.

Les tests, originellement calcitiques sont toujours bien conservés dans les grès holocènes. Par contre, dans les grès pléistocènes, seuls quelques tests initialement calcitiques sont parfois relativement bien conservés.

La conservation des tests calcitiques diminue stratigraphiquement de la base au sommet des affleurements. C'est le cas notamment de grès du Cap des Biches, dans lesquels les éléments calcitiques de la partie supérieure de l'affleurement montrent fréquemment une destructuration de leur tissu, voire quelquefois une dissolution-recristallisation limitée. Cette altération des bioclastes calcitiques dans les grès anciens affecte aussi bien les Mollusques que les Balanes ou les Bryozoaires, les Algues calcaires et les Echinidés. Elle est particulièrement importante au Cap des Biches et à Bargny-Siendou (Fig. 2).

Les tests originellement aragonitiques sont affectés par une dissolution partielle ou totale, suivie ou non d'une recristallisation en calcite. Cette recristallisation est absente dans les échantillons holocènes de Mauritanie et du Cap-Vert ainsi que dans

certain échantillons du Saloum (NG 1, JAH 1, DJ). La recristallisation a été réalisée après une dissolution massive induisant la formation de pores ultérieurement remplis par de la calcite secondaire. Partout ailleurs, elle s'exprime soit par de gros cristaux sparitiques en mosaïque centripète, laissant entre eux de nombreux vides intercrystallins, soit par des cristaux de dimensions irrégulières, bien imbriqués et parcourus par des linéations sombres qui soulignent la structure originelle des bioclastes (Fig. 2). Ce processus traduit une dissolution-reprécipitation simultanée, la précipitation de calcite succédant immédiatement à la dissolution, en préservant les structures originelles. Certains débris de tests présentent un mélange des effets dus aux deux processus. Le faciès sparitique à cristaux centripètes ou irréguliers implique l'influence d'eau douce météorique (Land [23] ; Davaud et Strasser [24] ; Froget [25]).

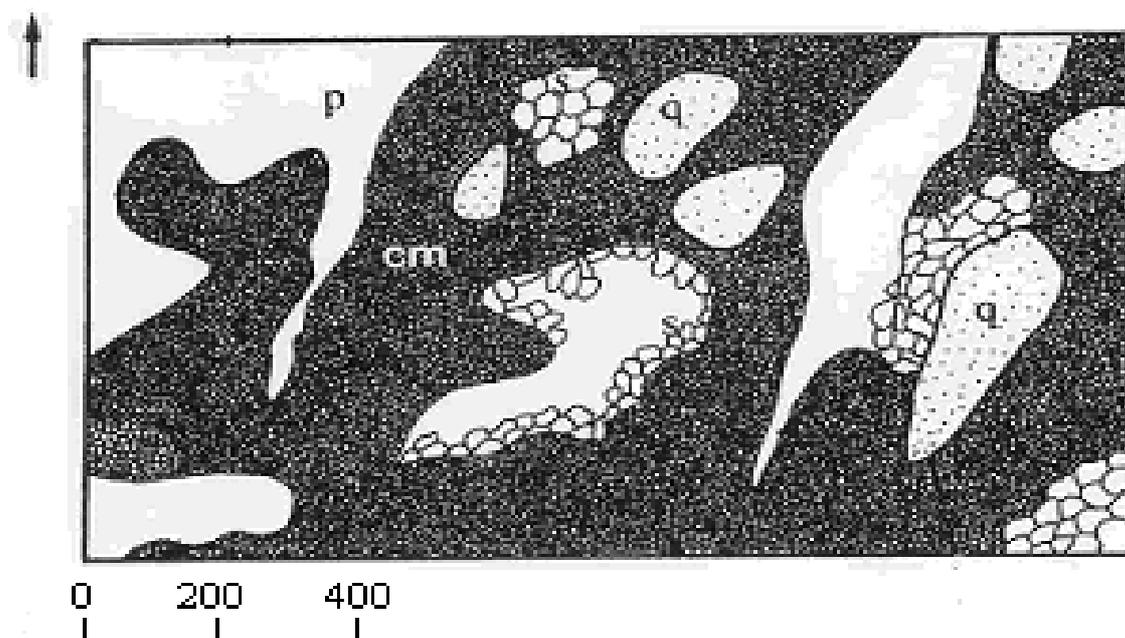
### 3.3. Composition du ciment.

Le tableau 1 résume les caractères pétrographiques de la phase intergranulaire des différents grès.

L'occurrence d'un ciment micritique isopaque traduit une diagenèse en milieu phréatique. Il caractérise les échantillons en provenance de la Mauritanie et de la plupart des grès du Saloum qui sont constitués de packestone et/ou wackestone (Fig. 3).

**Tableau 1** : Lithologie des matières intergranulaires dans les grès littoraux quaternaires

	Ciments au contact des particules	Principaux ciments intergranulaires	Sédiments internes des pores
<b>Holocène</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micrite isopaque</li> <li>• micrite à disposition stalactitique</li> <li>• frange palissadique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• franges aciculaires</li> <li>• micrite pouvant enrober des structures d'origine végétale</li> <li>• microsparite</li> <li>• mosaïque centripète isolant parfois des reliques micritiques</li> <li>• micrite en plage régulière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• silt vadose</li> </ul>
<b>Pléistocène</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• micrite isopaque</li> <li>• micrite à disposition stalactitique</li> <li>• frange palissadique</li> <li>• calcite épitaxique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mosaïque centripète + reliques micritiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• silt vadose</li> <li>• oxyde de fer</li> </ul>



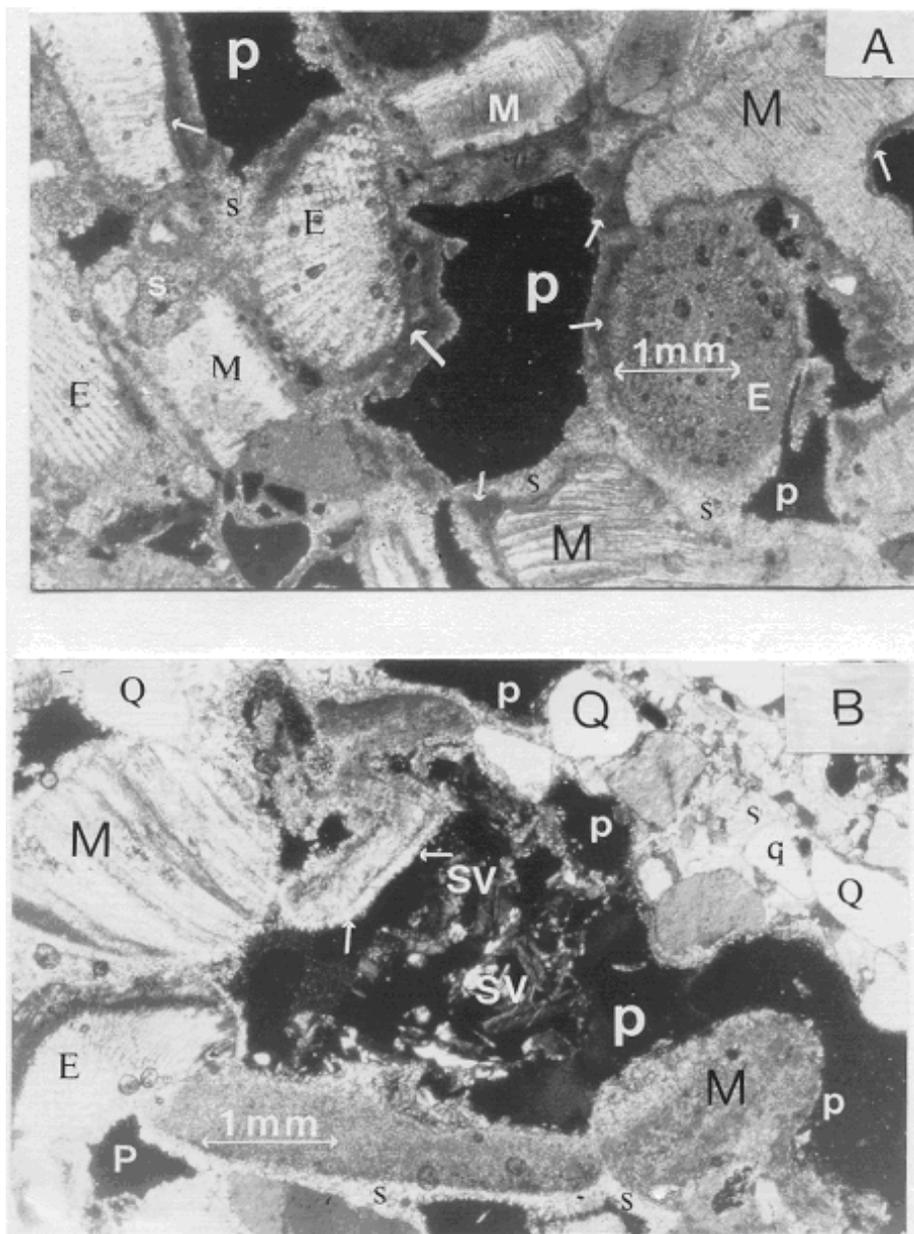
**Figure 3 :** Aspect textural en lame mince du grès holocène de Ngallou. On note une forte porosité (P), un ciment micritique (Cm) isopaque autour des quartz (q) affecté par un début de recrystallisation (S). Le sens de la flèche indique le toit du dépôt.

Au Saloum, le ciment contient des structures ovoïdes pseudo-stromatolitiques. Les structures stromatolitiques sont constituées par une alternance de couches algaires et de couches sédimentaires qui matérialisent trois caractères fondamentaux des stromatolites : importance du contrôle organique, croissance rythmée de la structure et efficacité de la minéralisation (Monty [26] ; Purser [16]). Seul l'échantillon NG 1 présente des laminations qui évoquent celles des stromatolites fossiles. L'aspect pétrographique des grès du Saloum ressemble aux stromatolites récents décrits en Mauritanie (Schwarz *et al.*, [27]) : prédominance des quartz détritiques et structure similaire de type pseudo-stromatolitique à pellets. Il en diffère par l'absence de laminations et par l'importance de la cimentation carbonatée, cette dernière étant pratiquement absente dans les stromatolites mauritaniens.

Le ciment micritique peut présenter d'autres aspects, notamment dans les faciès grainstones des grès pléistocènes et de certains grès holocènes. On observe :

- des liserés réguliers autour des grains de quartz et de quelques bioclastes correspondant à une première cimentation phréatique (échantillon holocène de Diakhanor, JAH 2).
- des stalactites au niveau des grains ou sur la paroi des pores, reflet d'une cimentation vadose typique des beach-rocks (échantillons holocènes et pléistocènes du Cap-Vert; Fig. 4a).

Le ciment constitue le plus souvent un liseré palissadique isopaque, d'origine phréatique, autour des bioclastes. Ce liseré est formé de cristaux allongés, disposés en deux ou plusieurs assises dont l'orientation normale à la surface des grains suggère une texture originellement fibreuse (Beier [18]). Il limite parfois certains fantômes de bioclastes révélant une dissolution postérieure à la cimentation. Ce type de ciment ne s'observe qu'au contact des bioclastes. Une telle cimentation préférentielle pourrait s'expliquer par la nature biogène des substrats ; grâce à leurs



**Figure 4 :** Lithologie du ciment dans les beach rocks holocènes du Cap Vert

**A** - Micrite précoce à disposition irrégulière (**flèche**) suivie d'une cimentation tardive sparitique (**S**). **E** : Echinodermes - **M** : Mollusques - **P** : Pores

**B** - Les bioclastes sont souvent pris dans un ciment palissadique (**flèche**) alors que le ciment entourant les grains de quartz (**Q**) est microsparitique et/ou sparitique (**S**). La porosité (**P**), encore relativement importante, peut contenir du silt - vadose (**SV**).

macromolécules, ces supports peuvent contrôler et orienter le développement des cristaux (Alexanderson [15] ; Bathurst [12] ; Defarge et Trichet [28]). Son absence dans les autres faciès traduit probablement une cimentation micritique rapide.

Le ciment microsparitique ou sparitique constitue généralement une mosaïque centripète épargnant fréquemment des vides intercrystallins et englobant des reliques de micrite se présentant en nuages diffus. Ces caractères sont particuliers à un ciment de recristallisation mis en place

sous influence d'eau douce et suggèrent que la sparite résulte d'une dissolution-recristallisation aux dépens d'une matrice micritique préexistante (Beier [18]). Les reliques micritiques sont interprétées comme un caractère diagénétique en milieu vadose tandis que les cristaux sparitiques reflètent une précipitation en milieu phréatique d'eau douce météorique (Land [23] ; Davaud et Strasser [24] ; Blanc [29] ; Froget [25]). Cette diagenèse sous influence d'eau douce est également illustrée dans le faciès à grainstone par l'existence d'un ciment épitaxique croissant en continuité optique avec la calcite des débris d'Echinidés, interprété comme caractéristique d'un tel milieu (Davaud et Strasser [24] ; Meyers [30]).

Les espaces poraux sont diversement occupés par des sédiments ou par de la matière organique se présentant sous forme d'enduits sur les parois des pores. Les sédiments internes apparaissent constitués par de fins débris de ciment, des silts, de l'argile, des oxydes de fer, de minuscules débris de tests et parfois de micrite oxydée. Ces caractéristiques traduisent la percolation, dans le sédiment lithifié, d'eaux météoriques dissolvantes qui ont également transporté et déposé le sédiment dans les pores (Dunham [31] ; Purser [32]) (Fig. 4b).

### 3.4. Géochimie

L'étude porte sur la distribution des éléments chimiques Mg, Sr et Na dans les différents bioclastes et dans les ciments. Parmi les bioclastes, les Mollusques (Arches et Huîtres, principalement) sont présents dans tous les échantillons et se prêtent assez bien à une étude comparative. En sus de la littérature (Milliman [13]), ils seront considérés ici par rapport à deux éléments de référence : d'une part, des Arches actuelles du Sénégal et de Mauritanie, et d'autre part, des Huîtres de mangrove du Sénégal. Ces références sont ici envisagées du point de vue de leur signification environnementale

et non comme caractéristiques des espèces considérées individuellement.

La distribution des rapports  $Mg^{2+}/Ca^{2+} \times 10^{-2}$ ,  $Sr^{2+}/Ca^{2+} \times 10^{-2}$  et  $Na^{+}/Ca^{2+} \times 10^{-2}$  dans les Mollusques de référence appelle quelques remarques. Les Arches géantes de Mauritanie se caractérisent par des concentrations toujours plus élevées en éléments que celles des Arches du Sénégal, sauf en ce qui concerne le strontium (fig. 5A). Ces différences de concentration illustrent la sursaturation du biotope des tests dans le cas de la Mauritanie, suite au confinement actuel et à l'aridification du milieu. Thompson et Livingstone (*in* Milliman [13]) font remarquer qu'une diminution des taux en strontium pouvait, dans le cas de certains Mollusques aragonitiques, être associée à une élévation de la température dont l'effet est également illustré par le gigantisme des Arches de Mauritanie. Ils expliquent, en outre, la distribution inhabituelle du magnésium et du strontium dans l'aragonite. La plus grande affinité du strontium pour la maille cristalline de l'aragonite et celle du magnésium pour la maille de la calcite, entraîne habituellement une richesse en strontium et une pauvreté en magnésium dans les tests aragonitiques et inversement pour les tests calcitiques. En Mauritanie, cet antagonisme entre le magnésium et le strontium est bien marqué mais se trouve illustré par une plus grande abondance en magnésium. Cette corrélation inverse entre les teneurs en strontium de Mollusques aragonitiques et la température a également été notée par Kinsman [33] et Zolotarev [34].

Les Arches actuelles du littoral sénégal-mauritanien ont des teneurs en strontium nettement plus basses que la moyenne générale trouvée dans la littérature. Ceci peut être lié à la diversité des échantillons qui ont servi à établir la moyenne générale et qui incluent notamment des tests d'eaux plus tempérées ; elle peut aussi traduire un



observée des tests comme le révèle l'analyse diffractométrique (tableau 2).

En Mauritanie, les teneurs en strontium des tests des grès sont plus compatibles

**Tableau 2 :** Minéralogie et géochimie de tests aragonitiques et des ciments dans quelques grès sénégalo - mauritaniens (Diouf, [44]a et Diouf *et al.*, [9])

Echantillons	Tests aragonitiques		Ciments			Données isotopiques	
	% aragonite	% calcite	% aragonite	% calcite	% MgCO <sub>3</sub>	δ <sup>13</sup> C ‰	δ <sup>18</sup> O ‰
NG 2	90	10		100		-10,82	-7,27
JAH 2	80 - 100	0 - 20		100			
TR 1	100			100	3 - 4		
CNIM 7	100			100	10 - 14		
CNIM 11	100			100			
CNIM 12	100			100	15		
CNIM 15	100			100			
Ret 2	25	75		100			
Ret 5	18 - 20	80 - 82		100			
CB 2				100		-1,22	-3,62
CB 4				100		-1,22	-3,83
CB 6				100		1,04	-4,12

On note de même deux caractères dominants dans la distribution du strontium.

- i) La valeur du rapport Sr/Ca est identique à celles des Arches actuelles du Sénégal dans les tests de certains échantillons du Saloum, exceptés les échantillons DJ, JAH 2 et NG 2. Cette conservation du strontium illustre la faible diagenèse précoce (calcitisation) qui, le plus souvent, affecte les tests de ces grès ; une telle caractéristique a déjà été signalée à propos du magnésium.
- ii) Le strontium est concentré dans les tests par rapport aux valeurs trouvées dans les Arches du Sénégal et de Mauritanie. C'est le cas, en particulier, des Mollusques originellement aragonitiques des grès du Cap Vert (TR1), de Ngallou (NG 2), de Djiffère (DJ), et des échantillons mauritaniens, de Retba (Ret 3) et de Diakhanor (JAH 2).

avec une minéralogie aragonitique que celles des Arches géantes actuelles. Elles illustrent les conditions marines sursaturées du milieu originel alors que les concentrations en éléments traces dans les Arches géantes ont été considérées plus haut comme représentatives d'un confinement et de l'aridité du milieu actuel.

A Djiffère et au Cap Vert, on peut mettre en parallèle ces fortes concentrations avec celles du magnésium des tests calcitiques, qui traduisent un milieu sursaturé favorable à une accumulation des éléments traces. Les teneurs en strontium de ces aragonites peuvent alors être considérées comme significatives de ce type d'environnement (Thompson et Livingston, *in* Milliman, [13]; Renard [14], [36] ; Purser [16]. Dans ces conditions, on admet l'intervention d'une diagenèse précoce continentale discrète.

A Ngallou, la concentration en strontium coïncide avec celle déjà notée pour le

magnésium et expliquée par la recristallisation calcitique partielle des tests aragonitiques. Les concentrations élevées en strontium sont liées aux plages de tissus aragonitiques non recristallisés mais aussi, à la richesse en strontium de certaines calcites de recristallisation, comme cela fut observé dans les produits diagénétiques des tests originellement aragonitiques de JAH 2 et Ret 3.

La recristallisation *in situ* des Mollusques initialement aragonitiques engendre des cristaux sparitiques fréquemment recoupés par des reliques sombres de la structure initiale, un aspect pétrographique commun dans les échantillons considérés plus haut. Sandberg et Hudson [37] ont décrit une altération similaire affectant des tests aragonitiques et ont montré que les reliques sombres correspondaient à des restes d'aragonite. L'existence de ces résidus dans les échantillons de Diakhanor et de Retba est attestée par l'analyse diffractométrique par les R.X.. Sandberg et Hudson [37] expliquent les teneurs élevées en strontium par la richesse des fluides porteurs de cet élément au cours de la recristallisation : cela suggère une dissolution-reprécipitation assez rapide, et surtout très localisée ; le soluté de l'aragonite est essentiellement à l'origine de la précipitation de la calcite diagénétique.

Dans les Mollusques calcitiques, deux tendances sont également affichées : un déficit et une concentration par rapport aux Huîtres actuelles de mangrove.

Une baisse en Mg est observée dans les tests holocènes du Saloum et dans ceux du Pléistocène de Retba. Une telle tendance est similaire à celle des tests calcitiques pléistocènes des îles Caraïbes (Friedman [38] et Land et al., in Purser [16]). Elle est contrôlée par l'influence des eaux météoriques ; le lessivage du magnésium s'expliquerait par la décomposition de la matière organique des tests. Cet élément

se trouve, en effet, sous plusieurs formes dans les carbonates : incorporé à la maille cristalline, en inclusion, ou adsorbé au sein de la conchyoline, etc... (Renard [14]). La dégradation de cette matière organique libérerait le magnésium adsorbé et ferait ainsi baisser ses teneurs globales dans les bioclastes.

Le Mg est concentré dans les tests calcitiques holocènes de Yoff et Djiffère et dans ceux d'âge pléistocène du Cap des Biches et de Bargny. En considérant les Huîtres de mangrove utilisées jusqu'ici en référence, on est tenté d'expliquer cette concentration par diagenèse ; on peut alors penser à la suite de Renard [36] qu'une remobilisation ionique conduisant à un rééquilibre de la calcite des tests avec le milieu marin, mais sans recristallisation, a favorisé la réincorporation du magnésium. Cependant, l'action de cette diagenèse aurait dû affecter aussi les tests calcitiques dans les grès sous-marins de même âge, ce qui n'est pas le cas (Diouf [8]). Par ailleurs, ni les placages de grès de Yoff ni les grès de Djiffère n'ont, apparemment, subi les effets de cette diagenèse ; rien n'indique, non plus, qu'un tel phénomène ait pu affecter les grès du cap des Biches et de Bargny. Au Cap des Biches, l'évolution du rapport Mg/Ca de la base au sommet de la formation est marqué par un degré croissant de diagenèse par des eaux douces, ce qui explique la meilleure conservation du grès basal. Cette similitude dans les valeurs du rapport Mg/Ca entre échantillons d'âges et de provenances différentes doit être considérée plutôt en fonction d'un biotope identique, sursaturé, dans lequel les organismes calcitiques concentrent le magnésium. Le fractionnement noté sur des tests aragonitiques s'observe aussi dans certains Mollusques calcitiques ; ces derniers concentrent les éléments traces en fonction de la température de l'environnement et des variations de leur taux de croissance ; de fortes températures augmentent les teneurs en magnésium

(Lerman [39] ; Milliman [13]; Zolotarev [34]).

La conservation du magnésium s'explique alors par un faible diagenèse précoce et les valeurs élevées du rapport Mg/Ca et identifie les Huîtres comme des organismes de platier rocheux. On peut d'ailleurs remarquer que ces valeurs sont comprises dans l'intervalle de variation du rapport Mg/Ca des Huîtres du genre *Ostrea*. Elles manifestent même dans certains cas (DJ, CB 2, CB 4), par rapport à ces organismes, une légère tendance déficitaire déjà notée par ailleurs.

Le strontium est en toute logique assez rare dans les Mollusques originellement calcitiques ; il n'est présent que dans deux des échantillons holocènes du Saloum (DJ) et du Cap Vert (TR 1) et dans les tests des grès pléistocènes du Cap des Biches (CB 2), Bargny (BAR 2) et Toubab Dialao (TD 1).

Les tests calcitiques d'Huîtres de platier rocheux de TR 1, à strontium abondant, traduisent la sursaturation de la mince tranche d'eau du biotope originel et l'absence d'intervention ultérieure de la diagenèse précoce continentale. Le caractère sursaturé de l'environnement initial est également enregistré par les bioclastes calcitiques des échantillons pléistocènes (CB 2 et, dans une moindre mesure, BAR 2) : les taux en strontium traduisent, par rapport aux Huîtres de platier rocheux (Milliman [13]), une perte substantielle due à l'action des eaux douces. La sursaturation de l'environnement originel est, par ailleurs, confirmée par les rapports  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  des Huîtres à la base du gré du Cap des Biches (Tabl. 2).

Les valeurs décroissantes de la base au sommet de l'affleurement du Cap des Biches soulignent le gradient progressif de la diagenèse.

L'incorporation d'ions variés dans la structure cristalline des carbonates peut se faire par substitution du calcium par divers cations, par adsorption ou sous forme d'inclusions piégées dans la maille cristalline. L'association du *sodium* avec les carbonates sous une forme autre que le NaCl a conduit certains auteurs à envisager son incorporation dans le réseau cristallin en remplacement de l'ion calcium (Kinsman, *in* Milliman [13] ; Land et Hoops [35]). L'idée la plus répandue, cependant, est que cet élément n'entre pas directement dans la constitution de la maille carbonatée, mais est piégé dans les vides de celle-ci où il se trouve sous forme de complexe hydraté (Müller, *in* Milliman [13] ; Moore et Billings [40] ; Bricker [41]).

Quelque que soit la forme sous laquelle le sodium se trouve incorporé aux carbonates, il est lessivé au cours de la diagenèse par les eaux douces continentales. Les faibles teneurs semblent pouvoir être interprétées en termes d'influence continentale (Land [23] ; Land et Hoops [35] ; Guillevin et Renard [42] ; Randazzo *et al.*, [43]).

Deux groupes de tests se distinguent (fig. 5B) :

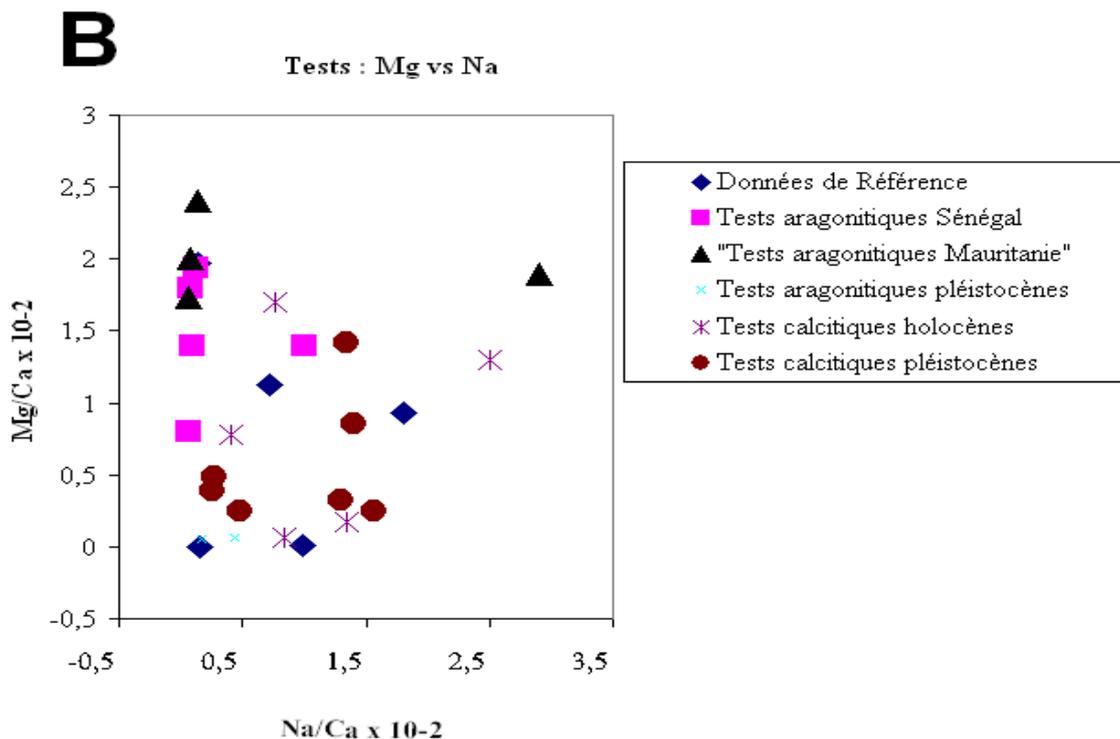
- i)* ceux dont les teneurs en sodium sont encore proches de celles des Arches actuelles au Sénégal et qui dénotent des influences vadoses continentales faibles. Certains tests de Mauritanie se singularisent par des teneurs légèrement supérieures à la moyenne de référence ; ces valeurs peuvent être significatives d'une plus forte sursaturation du milieu par rapport à celui du littoral sénégalais.
- ii)* ceux dont les faibles concentrations en sodium traduisent l'influence post-sédimentaire très marquée des eaux vadoses continentales (Land [23] ; Land et Hoops. [35] ; Randazzo *et al.*, [43]). Entrent dans cette deuxième

catégorie les Arches de JAH 2, NG 2, TR 1, Ret 5 et Ret 3.

Les teneurs particulièrement faibles en sodium des échantillons Ret 5 et Ret 3 expriment le degré très élevé de la recristallisation et soulignent très nettement l'origine continentale de la calcite diagénétique.

Ce processus permet d'expliquer des teneurs statistiquement plus élevées en sodium dans la calcite des tests holocènes par rapport à celle d'âge pléistocène.

Cependant, on note à l'échelle des affleurements que le sodium est plus concentré dans les tests des grès les plus proches de la surface qu'en profondeur. Ceci est dû à leur position subaérienne qui



5B : Mg vs Na

Figure 5 : Distribution des éléments traces dans les tests des grès holocènes et pléistocènes.

A l'exception des Huîtres (échantillons NG 2 et BAR 2), le sodium dans les mollusques calcitiques présente des teneurs toujours inférieures aux moyennes de référence. Ceci est la conséquence d'un lessivage plus ou moins prononcé par les eaux douces continentales. La calcite, polymorphe stable des carbonates de chaux, a pu subir plusieurs lessivages et perdre ainsi, en partie, son sodium. Les aragonites (en majorité holocènes) analysées sont au contraire plus jeunes et ont mieux conservé le sodium caractéristique du milieu marin d'origine.

favorise, sous de fortes températures, la précipitation superficielle du NaCl à la surface des tests : il y a donc une contamination permanente par les embruns.

**3.6. Distribution des éléments chimiques dans les ciments des grès**

Les ciments précoces micritiques et fibreux sont presque toujours très magnésiens aussi bien dans l'Holocène que dans le Pléistocène (fig. 6A). On peut y voir de manière très générale, l'influence marine au cours de la précipitation des

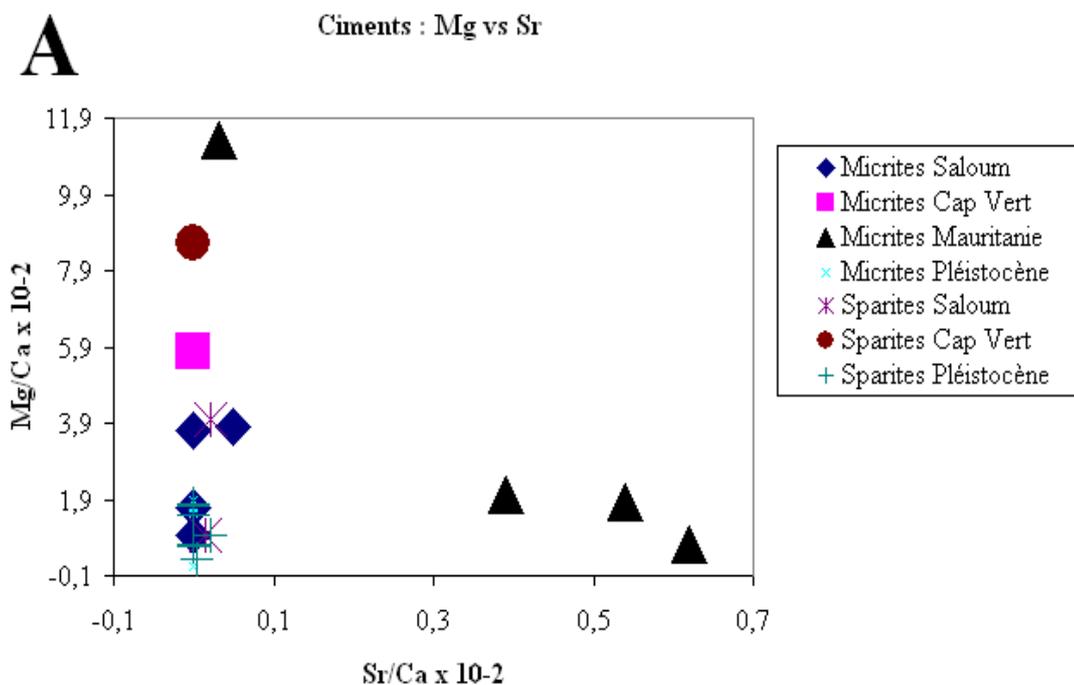
ciments. Par ailleurs, il est à remarquer que dans les sédiments accumulés en milieu sursaturé, les ciments précoces se caractérisent habituellement par d'assez fortes teneurs en magnésium comme l'attestent les Mollusques calcitiques.

Plus singulièrement, le rapport Mg/Ca dans les ciments permet de distinguer trois lots d'échantillons correspondant chacun à des conditions environnementales particulières :

i) *Confinement poussé et intense évaporation d'un environnement marin franc.* Les ciments précoces des échantillons holocènes TR 1 du Cap Vert et CNIM 7 de Mauritanie ont très fortement concentré le magnésium. Ils traduisent des saumures soumises à de très fortes évaporations. Au Cap Vert, le sédiment biogène renferme d'abondants tests originellement de calcite magnésienne (Algues calcaires, Echinidés). Il est probable qu'au facteur environnemental est

venu s'ajouter dans le cas présent la nature minéralogique des substrats. La calcite faiblement magnésienne déterminée par D R.X traduit un lessivage qui a enrichi le milieu en éléments traces.

ii) *Confinement d'un milieu saumâtre à température élevée.* Les micrites des grès holocènes du Saloum et pléistocènes sont moins chargées en magnésium que les grès du Cap-Vert et de CNIM 7. Cette pauvreté traduit un environnement dessalé par afflux d'eau douce dont l'influence est enregistrée dans les rapports très négatifs de  $\delta^{13}\text{C}$  et de  $\delta^{18}\text{O}$  (Tableau 2) en ce qui concerne l'Holocène du Saloum (Diouf [44]) et les ciments du Cap des Biches (Diouf et al., [9]). Dans ces dernières – comme probablement aussi dans les ciments précoces des



6A : Mg vs Sr

Figure 6 : Distribution des éléments traces dans les ciments des grès holocènes et pléistocènes.

affleurements pléistocènes – les données isotopiques révèlent une forte dissolution des tests (principalement aragonitiques) les désignant comme les sources des carbonates du ciment ; les faibles valeurs du rapport Mg/Ca doivent être liées à l'origine des ciments.

iii) *Environnement évaporitique favorisant une cimentation aragonitique.* En Mauritanie, le ciment aragonitique en CNIM 15 traduit des processus évaporitiques en milieu sursaturé. La minéralogie aragonitique explique la faible valeur du rapport Mg/Ca. Pour CNIM 11 et CNIM 12, par contre, les teneurs en magnésium ne correspondent pas à ce qu'on prévoyait dans le cas de calcite magnésienne. En réalité les ciments micritiques de ces deux échantillons présentent des indices d'une aragonite initiale (Diouf [45]). Les concentrations en magnésium et strontium dans la calcite magnésienne de ces échantillons, sont similaires à celles du ciment aragonitique de CNIM 15 ; elles suggèrent par là que le ciment de CNIM 12 et CNIM 11 résulte d'une dissolution-reprécipitation d'une matrice aragonitique.

Dans les sparites secondaires, le rapport Mg/Ca se distribue suivant deux tendances:

- les sparites des grès holocènes du Saloum (à l'exception de Djiffère, DJ), comprennent moins de magnésium que les micrites associées. Le rapport Mg/Ca traduit ici une dessalure plus prononcée des eaux à l'origine des ciments sparitiques par rapport à celles responsables de la cimentation micritique,
- on note une certaine homogénéité des concentrations en magnésium des

sparites par rapport à celles trouvées dans les micrites des grès holocènes de Djiffère (échantillon DJ), ainsi que des grès pléistocènes du Cap des Biches, de Bargny et de Toubab Dialao. Cette homogénéité témoigne d'une cimentation secondaire dans des conditions semblables à celles de la lithification précoce.

Dans les ciments précoces, le strontium est détecté uniquement dans les micrites de quelques échantillons. Ses valeurs dans les ciments fibreux et micritiques des autres grès sont trop faibles pour être évaluées à l'analyse ; ceci témoigne de l'action lessivante des eaux douces et d'une pauvreté initiale dans les ciments.

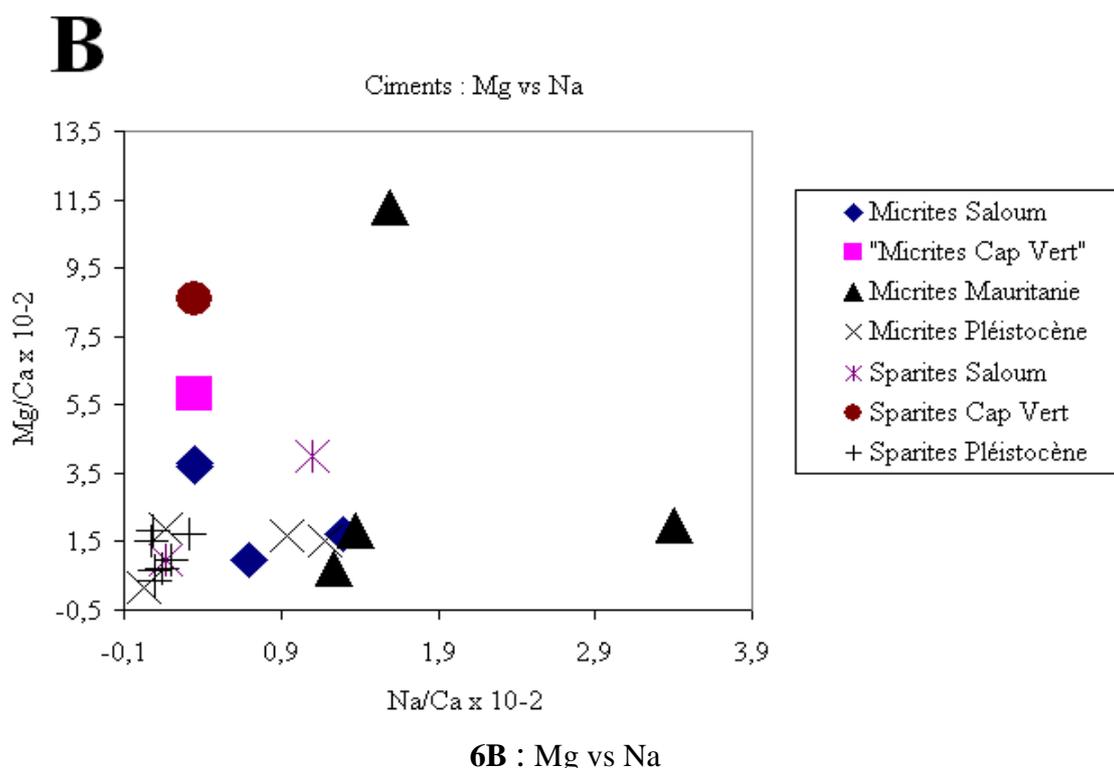
Deux lots d'échantillons se caractérisent par des teneurs notables en strontium dans les ciments ; ce sont les échantillons holocènes CNIM 7, CNIM 11, CNIM 12 et CNIM 15 en Mauritanie, et DJ au Saloum (fig. 6A). En Mauritanie, le ciment micritique de CNIM 15 révèle un très fort taux de strontium qui s'explique par la présence d'aragonite. Les concentrations en strontium dans les échantillons CNIM 12 et CNIM 11 sont très proches des teneurs du ciment aragonitique de CNIM 15. Cela suggère que la calcite actuelle du ciment résulte de la recristallisation de carbonates originellement aragonitiques. On a noté précédemment que les teneurs en magnésium dans le ciment de calcite magnésienne de CNIM 12 et de CNIM 11 étaient situées dans la même gamme de valeurs que celles des micrites aragonitiques dans CNIM 15. A Djiffère, la présence du strontium confirme la faiblesse de la diagenèse continentale et l'importance de la participation de produits de dissolution des tests aragonitiques au cours de la cimentation précoce.

Par rapport aux micrites, les sparites secondaires se caractérisent par une pauvreté en strontium. Ceci est la

conséquence d'une diagenèse par les eaux vadoses continentales. Seuls quelques échantillons du Saloum (DJ et JAH 2) et les échantillons du grès de Bargny (BAR 2) présentent encore des teneurs décelables.

Les micrites et les ciments fibreux ont adsorbé du sodium lequel est révélateur des conditions initiales de saturation. Cet apport en sodium est toutefois variable suivant les échantillons (fig. 6B).

douces pauvres en sodium. L'influence de telles eaux est plus prononcée dans les ciments micritiques pléistocènes (le Cap des Biches mis à part) et se traduit par des taux en sodium relativement plus faibles que dans les micrites holocènes. Les sparites plus tardives sont pauvres en sodium par rapport aux micrites (exceptés en BAR 2 et DJ). Leurs teneurs en cet élément expriment également l'influence vadose continentale. Dans les échantillons BAR 2 et DJ, la richesse des sparites en sodium souligne l'influence des embruns



**Figure 6** : Distribution des éléments traces dans les ciments des grès holocènes et pléistocènes.

Les échantillons mauritaniens, du Saloum (JAH 2), de Yoff et du Cap des Biches sont plus riches en cet élément dont les teneurs suggèrent de fortes températures au moment de la précipitation des ciments précoces. Dans le cas du Cap des Biches, il y a également une contamination possible et actuelle par les embruns.

Dans les micrites des autres grès, les teneurs plus faibles traduisent l'influence, pendant ou après la cimentation, d'eaux

tandis que la cristallisation du NaCl dans les pores des ciments est réalisée à la faveur de températures élevées. C'est là, probablement, l'expression d'une plus grande disponibilité du sodium dans les fluides de la cimentation secondaire. Les ciments pléistocènes sont ainsi, globalement, moins riches en sodium que les matériaux holocènes.

A Ngallou (grès holocène) et au Cap des Biches (grès pléistocène), on note une

accumulation de sodium dans les sparites des sédiments situés à proximité de la surface par rapport à ceux lithifiés sous-jacents. Cette accumulation s'explique, comme dans le cas des Mollusques calcitiques, par les températures élevées régnant dans cette zone, qui ont favorisé la précipitation de NaCl dans les pores des sédiments.

#### 4. Discussion

##### 4.1. Evolution spatiale de la diagenèse

*A l'échelle de chacun des affleurements*, dans les coupes holocènes de Ngallou (NG 1 et NG 2), pléistocènes de Retba (Ret 3 et Ret 5) et du Cap des Biches (CB 2, CB 4 et CB 6), la partie basale est, chaque fois, enrichie en éléments traces suite à l'exposition aux influences post-sédimentaires des eaux vadoses continentales.

*A l'échelle géographique*, on retrouve verticalement ce gradient de diagenèse dans la plupart des affleurements holocènes et pléistocènes, selon une amplitude variable, en rapport avec la latitude.

i) Dans les grès holocènes, la diagenèse s'accroît du Nord vers le Sud, les Mollusques et le ciment des échantillons mauritaniens étant moins affectés par la diagenèse que ceux du Cap Vert, ces derniers étant eux-mêmes relativement mieux préservés qu'au Saloum. Ces variations peuvent être encore accentuées par les différences entre les milieux d'origine ; on note ainsi, au niveau géochimique, (diagrammes Mg/Sr et Mg/Na), l'individualisation des différents milieux aussi bien au niveau de bioclastes (Fig. 7) qu'à celui des ciments.

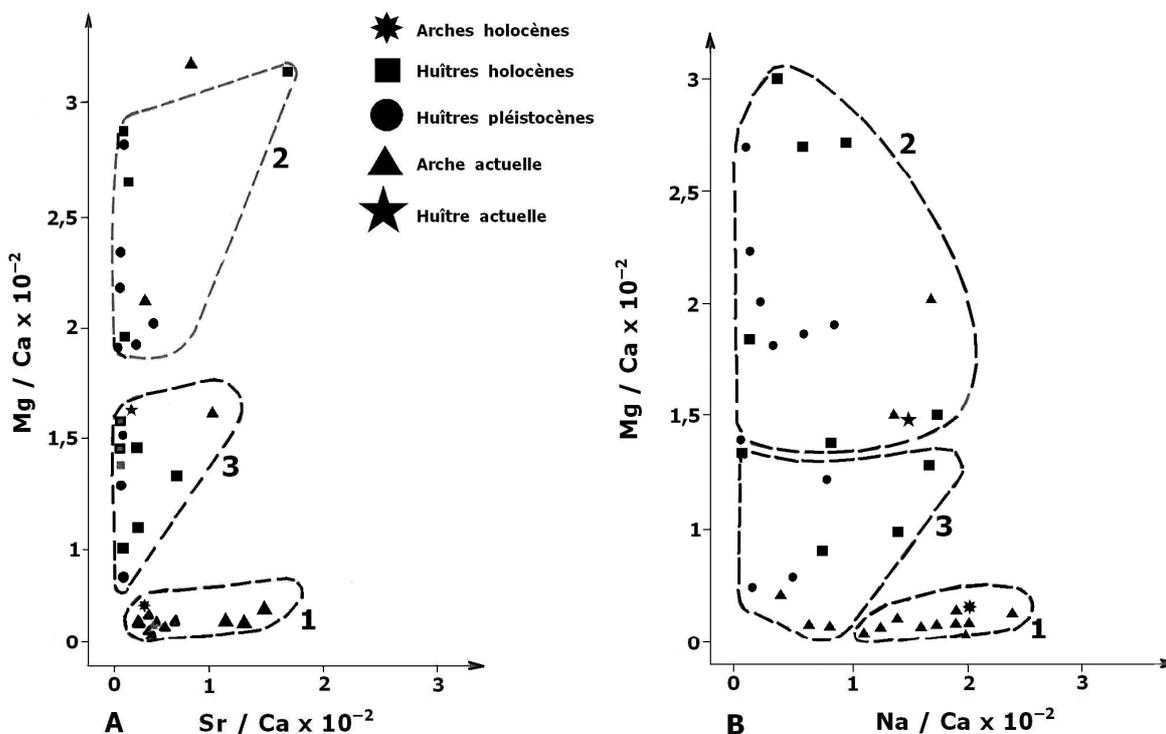


Figure 7 : Diagramme de corrélation Mg-Sr (A) et Mg-Na (B) en fonction de l'environnement dans les bioclastes des grès étudiés

ii) Les grès pléistocènes affleurant entre le Cap des Biches et Toubab Dialao contiennent généralement des teneurs en éléments traces de plus en plus faibles du Nord au Sud (Toubab Dialao) : ce gradient va de pair avec le degré de diagenèse en fonction du climat et de la latitude. L'affleurement de Toubab Dialao correspond à la limite la plus méridionale de grès calcaires pléistocènes connus en affleurement sur le littoral ouest-africain. Il faut, en effet, aller en Angola pour trouver, des affleurements similaires (Soares de Carvalho [46]). L'absence de ces témoins marins pléistocènes sur les rivages intertropicaux de l'Afrique de l'Ouest souligne toute l'importance que revêtent des processus de lessivage et d'altération liés au climat. Des grès calcaires ont certainement été accumulés durant le Pléistocène, mais la pédogenèse subséquente y a déterminé la dissolution du composant carbonaté.

Dans le même ordre d'idée, les grès holocènes connus en affleurement sont, pour des raisons identiques, limités au Sud du Sénégal (Saloum et probablement Casamance) (L'appartient [47]). Des témoins gréseux de la transgression holocène sont connus dans d'autres parties de l'Afrique de l'Ouest (Togo-Bénin, Côte d'Ivoire) (Martin [48]; PNUE [49]), mais ils sont tous situés dans les fonds sous-marins.

#### 4.2. Evolution temporelle de la diagenèse

*Du point de vue compositionnel*, aucun Mollusque, originellement aragonitique n'est conservé dans les matériaux pléistocènes. Les ciments micritiques, encore abondamment représentés dans les séries holocènes, ont subi une recristallisation poussée dans les grès pléistocènes. Cette évolution texturale peut, par ailleurs, affecter des tests

calcitiques des échantillons pléistocènes pourtant chimiquement plus stables. Les aspects microfaciétaux (dégradation des coquilles, succession des ciments, etc.) dus à la diagenèse témoignent de séjours répétés des grès les plus anciens dans des environnements continentaux et des multiples fluctuations du niveau marin relatif.

*Du point de vue géochimique*, on peut remarquer que les indicateurs habituels de la diagenèse (magnésium et strontium) ne présentent pas de corrélation avec l'âge. Leur distribution relativement homogène dans les échantillons holocènes et pléistocènes suggère que ni l'âge ni la situation par rapport au niveau actuel de la mer n'ont eu d'incidence globale sur les teneurs en éléments traces. L'histoire diagenétique des grès littoraux est fortement tributaire de l'influence des eaux continentales dont l'action tend à stabiliser les divers polymorphes carbonatés ; de cette stabilisation minéralogique découle une relative uniformité des teneurs en éléments traces. Au demeurant, il est admis que la diagenèse tardive influence peu la géochimie des éléments traces lorsqu'elle se fait sous le contrôle des eaux douces (Bathurst [12], Veizer [50] ; Purser [16] ; Renard [14], [51]).

On notera toutefois que les concentrations en sodium sont plus faibles dans les séries pléistocènes illustrant par là les processus d'altération répétés qui ont affecté les grès.

#### 5. Conclusion

L'étude pétrologique et géochimique des grès littoraux sénégalais et mauritanien apporte des informations sur la succession diachronique des conditions génétiques. Elle souligne l'opposition entre les divers environnements du bassin. Cette opposition se traduit au Nord, dans le cas de la Mauritanie aride, par une conservation des caractères géochimiques et texturaux hérités du milieu originel et, au Sud, dans le cas du Sénégal humide,

par une altération, d'autant plus intense que l'on s'approche du domaine intertropical.

L'évolution diagénétique des grès littoraux sénégal-mauritaniens se caractérise par de nombreuses dissolutions-recristallisations et par une perte importante en éléments chimiques "marins" (magnésium, strontium et sodium). Elle souligne l'importance des actions continentales au cours de la diagenèse tant durant l'Holocène que durant le Pléistocène, avec toutefois une échelle d'intensité plus grande pour les grès plus anciens. Le gradient progressif, du Nord vers le Sud, qui marque la diagenèse résulte de précipitations plus fortes vers le Sud lesquelles ont activé la dissolution. Les grès calcaires sénégalais, d'âges holocène et pléistocène, correspondent à la limite méridionale des affleurements littoraux ouest-africains. On n'observe plus de faciès émergés jusqu'en Angola (Soarès de Carvalho [45]). Ce hiatus n'est certainement pas dû, durant le Quaternaire à des conditions génétiques défavorables car des grès holocènes sont présents, par exemple, sur la plateforme continentale de la Côte d'Ivoire (Martin [48]) ou du Togo (PNUE [49]). L'absence de grès calcaires littoraux à l'affleurement est la conséquence de l'intensité des phénomènes d'altération physico-chimique particulièrement prononcée sous les latitudes intertropicales dont les grès sénégalais portent déjà la forte empreinte.

## 6. Références

1. Alexandersson T. 1971. Mediter-ranean beachrock cementation : Marine precipitation of Mg Calcite. Publication Paleontology Institute University, Uppsala, 36 p.
2. Bathurst G. C. 1971. Carbonate sediments and their diagenesis. Development in Sedimentology 12.
3. Beier J.A. 1985. Diagenesis of Quaternary Bahamian Beachrock : Petrographic and isotopic evidence. Journal Sedimentary Petrology **55**, 5, 755-761.
4. Blanc J.J. 1984. Réflexions sur les cimentations carbonatées en milieux tropicaux : Exemple du Quaternaire littoral de la Tunisie : Thyrrénien et formations associées. In : Le Beach-rock, Actes du colloque de Lyon, 28 et 29 nov., 1983,T.M.O., **8**, 19-24.
5. Bricker, O. P. 1971. Carbonate cements, John Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
6. Davaud E. et Strasser A. 1984. Cimentations et structures sédimentaires des beach-rocks : genèse et critères d'identification. In: Le Beach-Rock, Actes du colloque de Lyon, 28 et 29 nov., 1983,T.M.O., **8**, 41-50.
7. Defarge C. et Trichet J. 1984. Microstructure de sédiments d'origine cyanobactérienne au sein desquels précipitent des carbonates de calcium. Application à la compréhension des mécanismes de la biominéralisation. Comptes – Rendus Académie Sciences Paris, **299**, **II**, 1, 711-716.
8. Demoulin D. et Masse J.P. 1967. Grès de plage de la presqu'île du Cap-Vert.- Description des grès de plage de Toundeup Riya et Bargny. Genèse des dépôts et diagenèse. In: Actes 6e Congrès panafricain préhistoire Etudes Quaternaire, 357-362.
9. Diouf B. 1989. Sédimentologie, minéralogie et géochimie des grès carbonatés quaternaires du littoral sénégal-mauritanien. Thèse Université de Perpignan, France, 329 p.
10. Diouf B. 1992 a. Cimentations carbonatées littorales sur les côtes du

- Sénégal à l'Holocène. *Palaecology of Africa*, **23**, 27-44.
11. Diouf B. 1992b. Grésifications carbonatées en milieu littoral confiné de l'Holocène des côtes mauritaniennes. *Palaecology of Africa*, **23**, 45-55.
  12. Diouf B., Giresse P., Occhietti S., Causse C. et Pichet P. 1995. A petrological and geochemical study of the calcareous sandstone of West African Marine pleistocene (Cap des Biches, Senegal). *Quaternary International*, **29/39**, 49-60.
  13. Dunham R.J. 1969. Early vadose silt in Townsend mound (Ref), New Mexico. In : *Depositional Environments in Carbonate Rocks*. Society Economic Paleontology Mineralogy, special publication **14**, 140-181.
  14. Elouard P. 1962. Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de la vallée du Sénégal. Mémoire Bureau Recherches Géologiques Minières **7**, 274 p.
  15. Elouard P. 1967. Eléments pour une définition des principaux niveaux du Quaternaire sénégalo-mauritanien. *Bulletin Institut Fondamental Afrique Noire*, A, **29**, 822-836.
  16. Elouard P., Faure H. et Hébrard L. 1977. Variations du niveau de la mer au cours des 15000 dernières années autour de la presqu'île du Cap-Vert, Dakar-Sénégal. *Bulletin Association Sénégalaise Etude Quaternaire Ouest Africain*, **50**, 29-49.
  17. Friedman G.M. 1969. Trace elements as possible environmental indicators in carbonate sediments. In: *Depositional environments in carbonate rocks*. Soc. of Econ. Paleont. and Miner., spec. publ. **14**, p.193-198.
  18. Froget C. 1985. Lithologie et microfaciès. In: INQUA, Comm. on Quaternary shorelines ; subcommission on Mediterranean and Black Sea shore lines, Newsletter 7.
  19. Giresse P., Barusseau J.P., Descamps C. et Monteillet J. 1988a. Enregistrement sédimento-logique et archéologique des oscillations climatiques récentes dans le domaine littoral de l'extrême ouest-africain. Contribution à l'étude des aridifications. Rapport final ATP Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels, CNRS-LRSM Perpignan, France, 133 p.
  20. Giresse P., Diouf M.B. et Barusseau J.P., 1988b. Lithological, mineralogical and geochemical observations of senegalo-mauritanian Quaternary shore-lines deposits. Possible chronological revisions. *Palaeo-geography, Palaeoclimatology, Palaeocology* **68**, 241-257.
  21. Guillevin Y. et Renard M. 1978. Apport de la géochimie des éléments traces (Sr, Mg, Na) à l'étude des carbonates récifaux dano-montiens du bassin de Paris (Vigny-Montainville). *Bulletin Information Géologique Bassin Paris* **15**, **2**, 53-63.
  22. 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. Document Laboratoire Géologie Faculté Sciences Lyon, **71**, 210 p.
  23. James N.P. 1972. Holocene and Pleistocene calcareous crusts (caliche) profiles ; criteria for subaerial exposure. *Journal Sedimentary Petrology* **42**, 817-836.

24. Kahle C.F. 1977. Origin of subaerial calcareous crust : role of algae, fungi and sparmicritisation. *Sedimentology* **24**, 413-436.
25. Khalaf F.I. 1988. Quaternary calcareous hard rocks and the associated sediments in the intertidal and offshore zones of Kuwait. *Marine Geology* **80**, 1-27.
26. Khalaf F., Milliman J.D. et, Druffel E.M. 1987. Submarine limestones in the nearshore environment off Kuwait, northern Arabian Gulf. *Sedimentology* **34**, 67-75.
27. Kinsman D.J. 1969. Interpretation of Sr concentrations in carbonate minerals and rocks. *Journal Sedimentary Petrology* **39**, 2, 486-508.
28. Kobluck D. et Risk M.J. 1977. Calcification of exposed filaments of endolithic algae, micrite envelop formation and sediment production. *Journal Sedimentary Petrology* **47**, **2**, 517-528.
29. Land L.S. 1970. Phreatic versus vadose meteoric diagenesis of limestone : evidence from a fossil water table. *Sedimentology* **114**, 175-185.
30. Land L.S. et Hoops G.K. 1973. Sodium in carbonate sediments and rocks : a possible index too the salinity of diagenetic solutions. *Journal Sedimentary Petrology* **43**, **3**, 614-617.
31. Lappartient J.R. 1976. Présence d'une plage holocène à Boukotte-Casamance (Sénégal). *Bulletin Association Sénégalaise Etude Quaternaire Ouest Africain* **47**, 85-96.
32. Lerman A. 1965. Paleocological problems of Mg and Sr in biogenic calcites in light of recent thermodynamic data. *Geochimica Cosmochimica Acta* **29**, 977-1002.
33. Martin L. 1973. Morphologie, sédimentologie et paléogéographie au Quaternaire récent du plateau continental ivoirien. Thèse Doctorat d'Etat. Université Paris VI, France, 340p.
34. Meyers W.J. 1978. Carbonate cements : their regional distribution and interpretation in Mississippian limestones of southwestern New Mexico. *Sedimentology* **25**, 371-400.
35. Michel P. 1966. Le Quaternaire dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. *Bulletin Institut Fondamental Afrique Noire* **28**, A, **1**, 416-420.
36. Milliman J.D. 1974. Recent Sedimentary Carbonates. Part 1 - Marine Carbonates. Springer-Verlag.
37. Monty C.L.V. 1973. Remarques sur la nature, la morphologie et la distribution spatiale des stromatolithes. *Sciences de la Terre*, **28**, **3**, 189-212.
38. Moore C.H. et Billings G.K. 1971. Preliminary model of beachrock cementation, Grand Cayman Island, B.W.I. In: (Bricker O.P. Ed ). Carbonate cements. The John Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
39. P.N.U.E. 1985. Erosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre. *Rapports et études des mers régionales* **67**, 248p.
40. Pouquet J. 1954. Les sables côtiers consolidés de la région de Yoff, côte septentrionale de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). Description morphologique sommaire et coupe graphique. *Comptes - Rendus sommaires, Société géologique France*, 340-350.

41. Purser B.H. 1973. Aspects de la diagenèse carbonatée précoce et ses rapports avec les milieux sédimentaires actuels et anciens. *Sciences de la Terre* **18, 3**, 302-311.
42. Purser B.H. 1980. Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. Tome 1, Technip, Paris.
43. Randazzo A.F., Saever, T.J. et Metrin D.B. 1983. Selected geochemical factors influencing diagenesis of Eocene carbonates rocks, peninsular Florida, U.S.A. *Sedimentary Geology*, **36**, 1-14.
44. Renard M. 1979. Aspect géochimique de la diagenèse des carbonates. Teneurs en strontium et magnésium des carbonates : essai d'interprétation de l'inversion de la corrélation Sr/Mg observée dans les carbonates du domaine pélagique par rapport à ceux du domaine néritique. *Bulletin Bureau Recherches Géologiques et Minières*, IV, **2**, 133-152.
45. Renard M. 1985. Géochimie des carbonates pélagiques. Mise en évidence des fluctuations de la composition des eaux océaniques depuis 140 MA. Essai de chimiostratigraphie. Documents du Bureau Recherches Géologiques et Minières, **85**, 650p.
46. Renard M. 1987. Méthodes chimiques de la stratigraphie. In: (C. Pomerol Ed.) *Stratigraphie : Méthodes - Principes - Applications*. Doin, Paris, 140-190.
47. Sandberg P.A. et Hudson J. 1983. Aragonite relic preservation in Jurassic calcite-replaced bivalves. *Sedimentology* **30**, 879-892.
48. Schwarz H.U., Einsele G. et Herm D. 1975. Quartz-sandy, grazing-contoured stromatolites from coastal embayment of Mauritania, West Africa. *Sedimentology* **22**, 539-561.
49. Soares de Carvalho G. 1960. Alguns problemas do terraços quaternarios do littoral de Angola. *Bol. Serv. geol. min. Angola*, **2**, 5-15.
50. Veizer J. 1977. Diagenesis of pre-Quaternary carbonates as indicated by tracer studies. *Journal Sedimentary Petrology* **47**, 2, 565-581.
51. Zolotarev V.N. 1974. Magnesium and strontium in the shell calcite of some modern Pelecypods. *Geochemistry International*, **11**, 2, 347-353.