

SYNTHÈSE SUR LA SÉDIMENTATION PHOSPHATÉE DE LA CÔTE OUEST AFRICAINE : CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES ET INDICES DE MINÉRALISATION

Moustapha DIAGNE^{1*}, Malick THIAM¹
et Mouhamadou Bachir DIOUF²

¹ Université Cheikh Anta Diop, Département des Sciences de la Vie et de la
Terre, Faculté des Sciences et Technologies de l'Éducation et de la
Formation, Dakar-Fann Sénégal

² Université Cheikh Anta Diop, Département de Géologie, Faculté des
Sciences et Techniques, Dakar-Fann, Sénégal

(reçu le 15 Octobre 2021 ; accepté le 08 Décembre 2021)

* Correspondance, e-mail : moustapha40.diagne@ucad.edu.sn

RÉSUMÉ

La côte ouest africaine a été le siège d'importants dépôts phosphatés du Nord au Sud. Les différentes études réalisées ont permis de mettre en évidence des caractéristiques propres à ces dépôts phosphatés. Ainsi, l'analyse des données lithostratigraphiques a révélé que les différentes unités des séries phosphatées, le long de la côte ouest africaine, peuvent généralement être rassemblées en trois principales formations sédimentaires. Dominés par la fluorapatite, ces différents gisements se caractérisent par une teneur moyenne en P₂O₅ comprise entre 28 et 33 %. Au point de vue paléontologique, la microfaune, parfois associée à la macrofaune, a montré que le dépôt de ces gisements de phosphates s'est déroulé graduellement du Maastrichtien au Maroc au Pléistocène en Namibie, suite à l'ouverture de l'Océan Atlantique sud. Par ailleurs, les données paléoenvironnementales indiquent que ces gisements de phosphates se sont tous mis en place dans un environnement chaud, peu profond et de haute énergie, soumis aux upwellings.

Mots-clés : *Tobène, Phosphate, Côte ouest africaine, lithostratigraphie, paléoenvironnement.*

ABSTRACT

Synthesis on the phosphatic sedimentation of the West African margin : geological characteristics and mineralization index

The West African margin has been the site of important phosphate deposits from North to South. The various studies carried out have made it possible to highlight specific characteristics of these phosphatic deposits. Thus, the analysis of lithostratigraphic data revealed that the different units of the phosphatic series, along the West African margin, can be generally grouped into three main sedimentary formations. Dominated by fluorapatite, these different deposits are characterized by an average P_2O_5 content between 28 and 33 %. From a paleontological point of view, the microfaunal data combined with the macrofauna showed that the phosphate deposits took place gradually from the Maastrichtian formations in Morocco to the Pleistocene in Namibia, following the opening of the South Atlantic Ocean. Furthermore, the paleoenvironmental data indicate that these phosphate deposits were all been emplaced in a warm, shallow and high-energy environment subject to upwellings.

Keywords : *Tobène, Phosphate, West African margin, Lithostratigraphy, Paleoenvironment.*

I - INTRODUCTION

La côte ouest africaine est une large marge passive qui s'étend du Maroc à l'Angola (*Figure 1*). De type nourri gras, elle présente une épaisse couverture sédimentaire qui est essentiellement due aux volumes des apports considérables de matériel terrigène. Elle a donc été le siège d'importants dépôts sédimentaires, comme en attestent les nombreux gisements phosphatés (Maroc, Mauritanie, Sénégal, Togo, Guinée Bissau, Namibie, entre autres) entre le Crétacé supérieur et le Pléistocène [1, 2].

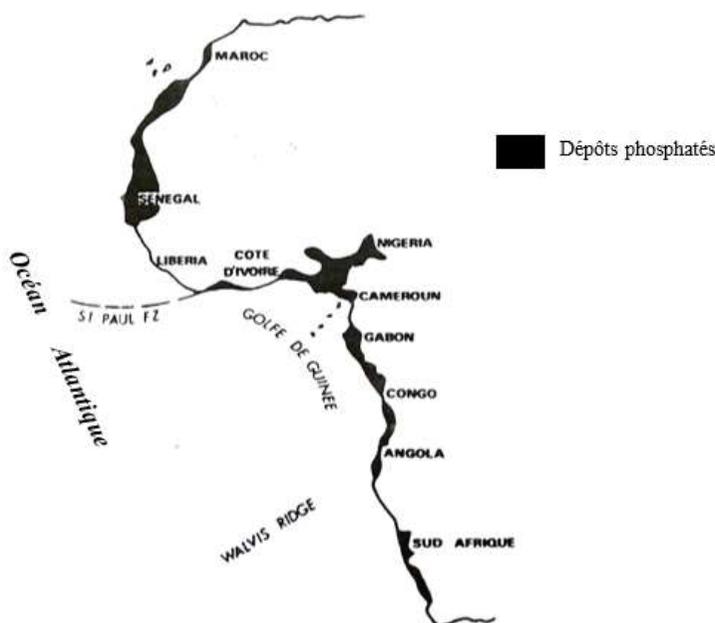


Figure 1 : Localisation des bassins sédimentaires côtiers de l'Afrique de l'Ouest [1]

Du fait de leur intérêt à la fois économique et scientifique, ces différents gisements ont fait l'objet de plusieurs études : lithostratigraphiques, paléontologiques, minéralogiques, géochimiques et paléoenvironnementales [1, 3 - 10]. Néanmoins, vu leur alignement le long de la côte ouest africaine, il est légitime de se poser les questions suivantes : ces gisements présentent-ils des caractéristiques qui pourraient servir d'indices à la recherche de minerais phosphatés ? La formation de ces séries phosphatées serait-elle en rapport avec l'ouverture de l'Océan Atlantique et donc aux upwellings ? Afin de répondre à ces questions, cet article, sur la base de données lithostratigraphiques, biostratigraphiques, géochimiques et paléoenvironnementales des séries phosphatées du Maroc, du Sénégal, du Togo et de la Namibie alignées le long de la côte ouest africaine, a pour objectif de relever des indices utiles à la recherche de phosphates. Il s'attachera aussi à vérifier une éventuelle influence de l'ouverture de l'Océan atlantique sur la mise en place de ces séries phosphatées.

II - MÉTHODOLOGIE

Pour mener à bien ce travail de synthèse, nous avons documenté les données lithostratigraphiques, biostratigraphiques, géochimiques et paléoenvironnementales de thèses, d'articles scientifiques et de rapports réalisés sur différents gisements de

phosphates de la côte ouest africaine. Il s'agit précisément de gisements du Maroc [11 - 13], du Sénégal [14 - 17], du Togo [5, 8] et de la Namibie [2, 18]. Nous avons aussi recueilli des données PASMI (Programme d'Appui au Secteur Minier) du Sénégal [19, 20]. Ces différentes données seront analysées et discutées pour, d'une part, déceler des indices qui aideraient dans la prospection de phosphates et, d'autre part, relever des éléments témoins d'upwellings suite à l'ouverture de l'océan Atlantique.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Lithostratigraphie et biostratigraphie

III-1-1. Les phosphates de Tobène (Sénégal)

Le vaste gisement phosphaté de Taïba, comprenant entre autres le site de Tobène, se situe à 80 km environ au Nord-Est de Dakar, dans un site à modeler dunaire important s'étendant sur 25 km de long et 10 km de large. Les différents travaux de recherche réalisés sur la série phosphatée de Tobène ont abouti à la détermination des plusieurs niveaux stratigraphiques (*Figure 2*) qui sont de bas en haut :

- Des argiles feuilletées à palygorskite, de couleur jaune à ocre, appelées souvent « Marnes de Lam-Lam ». Elles passent par endroits à des calcaires argileux ;
- Une formation phosphatée comprenant deux membres inférieur et supérieur composés respectivement de phosphate hétérogène et de phosphate homogène. Cette formation est largement dominée par la fluorapatite associée à l'apatite, au quartz, à la goethite. Par endroits, cette composition devient plus diversifiée avec la présence d'analcime, de palygorskite, de millisite, de wavellite et d'illite [4] ;
- Des argiles bariolées parfois phosphatées, formant un niveau repère d'épaisseur variable. Elles sont marquées par les minéraux tels que la kaolinite, la smectite associées à la crandallite et la goethite ;
- Une seconde formation à phosphate d'alumine d'altération à silex en plaquettes à daucines, alternant avec des argiles, des sables phosphatés. Elle se caractérise essentiellement par la présence de minéraux d'altération tels que la millisite, la wavellite, la crandallite, l'analcime et la goethite. Les argiles bariolées se rattachent à cette formation [19].

Au point de vue paléontologique, l'association planctonique *Acarinina rohri*, *A. topilensis*, *A. haynesi*, *A. libyaensis*, *A. collactea*, *Globigerapsis* sp., *Morozovelloides lehneri*, *Pseudoglobigerinella bolivariana*, *Acarinina pentacamerala* et *Hantkenina* sp., *Porticulasphaera mexicana*, *Subbotina*

eocaena et *Orbulinoides beckmanni* présente dans la formation phosphatée et à la base de la formation à phosphate d'alumine confère à ces dépôts un âge Lutétien inférieur à Bartonien [3] correspondant aux biozones E8 à E13 [22].

Profondeur (m)	Lythologie	Description lithologique
28		Sables dunaires et sables consolidés latéritiques vacuolaires
28,5		Cuirasse gréseuse, oxydée et grès
33,3		Niveau silico-ferrallitique à alternance de phosphate de chaux et d'alumine, de silex à Daucines, d'argiles et de grès phosphatés
34,6		Argiles bariolées intercalées de grains de phosphate, de silice et de lit quartzeux
37,9		Phosphate de chaux homogène, beige à rose, pulvérulent, à rares passées d'argiles et sans silex
41,5		Phosphate de chaux hétérogène, beige foncé à brun, pulvérulent ou consolidé, chargé de silex volumineux à la base
43		Phosphate de chaux bréchiqque et induré à gros cristaux d'apatite, et des recristallisations de silice et de calcite
		Argiles feuilletées à attapulгите

Figure 2 : Coupe synthétique lithostratigraphique du gisement de Tobène [21]

III-1-2. Les phosphates de Matam (Sénégal)

Les phosphates de Matam sont situés à 50 km environ au Sud-Est de ladite localité, entre les villages de N'Diendouri et de Ouali Diala [23]. La série phosphatée de Matam, décrite, a été récemment révisée dans le cadre de la cartographie de la zone nord du Sénégal [20, 23]. Ces derniers auteurs ont rassemblé les différentes unités initialement décrites en quatre formations (**Figure 3**) qui sont de bas en haut :

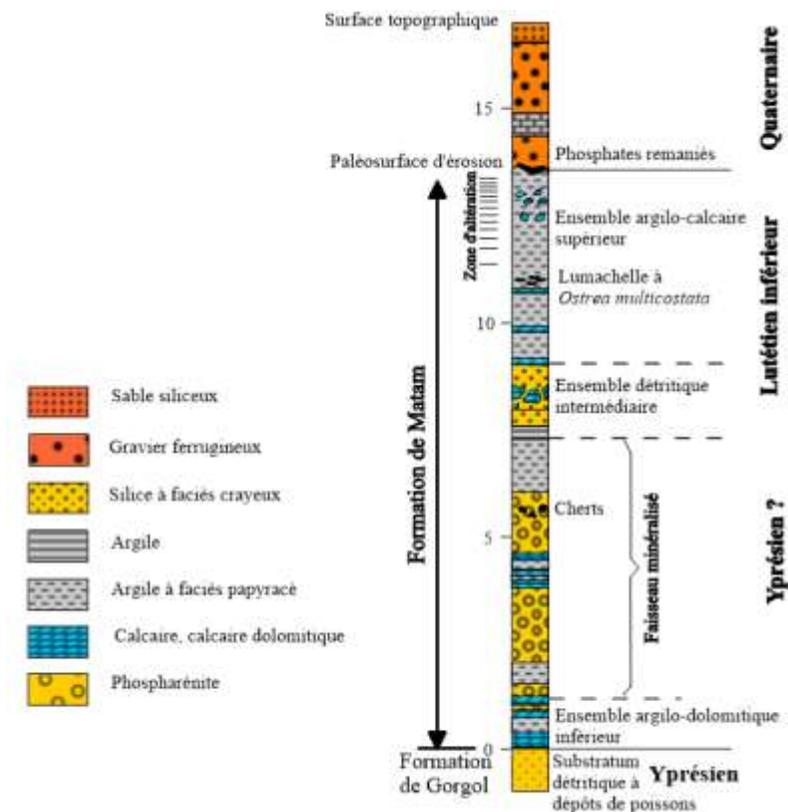


Figure 3 : Coupe synthétique de la série phosphatée de Ndiendouri et Ouali Diala (modifié d'après [23])

- Le substratum détritique, appelé Formation de Gorgol, est constitué d'argiles feuilletées, de grès argileux et de sables. En l'absence de microfaune significative, la présence d'espèces de sélaciens, dont *Eotorpedo hilgendorfi*, *E. jackeli* et *Scyliorhinus eabindensis*, et du genre *Odontorhynchus*, permet d'attribuer à cette formation un âge Thanétien terminal ;
- la Formation de Matam débute par des calcaires argileux, à passées carbonatées, riches en mollusques, contenant des pellets phosphatés et localement de la glauconie. Dans le gisement de Ndiendouri-Ouali Diala, cette formation montre une alternance de calcaires dolomitiques et d'argiles feuilletées à attapulгите et montmorillonite. Elle présente de nombreuses intercalations de dépôts phosphatés à forte concentration de pellets et de coprolithes.

Au point de vue paléontologique, la présence des mollusques Thersites [23], l'association de sélaciens *Protoginglymostoma* sp., *Physogaleus secundus*,

Arechia sp., *Lophobatis phosphaticus* et “*Cretolamna*” *aschersoni* [15] et également les études récentes de [17] sur la base de foraminifères et d'ostracodes permettent d'attribuer à cette Formation un âge Yprésien inférieur à Lutétien.

- La Formation du Saloum débute par des argiles kaolinites ferrugineuses qui sont initialement appelées « Formation jaune » par Baud *in* [20] et renommées « Membre de Kaédi » dans le cadre de la révision de [20]. Marquée par la présence d'*Ostrea multicostata*, elle s'intercale entre le toit de la Formation de Matam et la base des grès argileux sus-jacents. Ces derniers corrélés à ceux de la région du Saloum, sont aussi rangés dans la Formation du Saloum. Coiffée par une cuirasse ferrugineuse datée du Pliocène, les travaux de [24, 25] permettent d'attribuer à cette Formation un âge Miocène ;
- Le recouvrement Quaternaire, marquant le sommet de la série, comprend un niveau de gravier ferrugineux issu du démantèlement des cuirasses qui couronnent le Continental terminal ; des sables éoliens et des horizons pédologiques argilo-sableux.

III-1-3. Les phosphates du Togo

Les gisements de phosphates du Togo se trouvent dans le sud du pays. C'est une série sédimentaire divisée en deux groupes (**Figure 4**) : le groupe de Tabligbo reposant directement sur le socle dahoméyen et le groupe Hahotoé-Kpogamé en question encore appelé complexe phosphaté. Ce dernier, situé au Nord-Est de Lomé, est constitué de trois formations décrites par [5] :

- Une formation marno-phosphatée qui est essentiellement une biomicrite phosphatée entrecoupée de faibles niveaux plus carbonatés. Excepté la présence de *Planorotalites pseudocitula* Glaesner (E5-E13), les foraminifères planctoniques *Acarinina decepta*, *A. pentacamerata*, *P. wilcoxensis*, *M. aequa* et *A. pseudotopilensis* situeraient la base de cette formation aux biozones E5-E6, c'est-à-dire dans l'Yprésien. Cette microfaune est associée à des éléments phosphatés (dents de poisson, vertèbres, pellets) mais aussi à des coprolithes et des intraclastes. Les minéraux argileux restent dominés par la kaolinite et la smectite. La corrélation positive entre la kaolinite et l'apatite dans les niveaux plus phosphatés traduirait un phosphate argileux ;
- Une formation phosphatée qui repose sur un complexe argilite, marne et calcaire argileux correspondant au mur de la formation. Elle est composée de deux ensembles phospharénitiques (PI et PII) séparés par un niveau oxydé rouge à brun. Plus épaisse au Nord-Ouest, elle s'amincit en direction du Sud-Est. Cette variation latérale d'épaisseur s'accompagne aussi d'une variation latérale de faciès, soulignée par le passage de PI à un faciès carbonaté.

L'analyse minéralogique met en évidence de la fluorapatite. Au point de vue pétrographique, les éléments figurés sont majoritairement formés de grains enrobés à noyaux constitués de foraminifères, de radiolaires et quelques rares coprolithes. La forte présence de dents de sélaciens a permis de donner à cette formation un âge Lutétien.

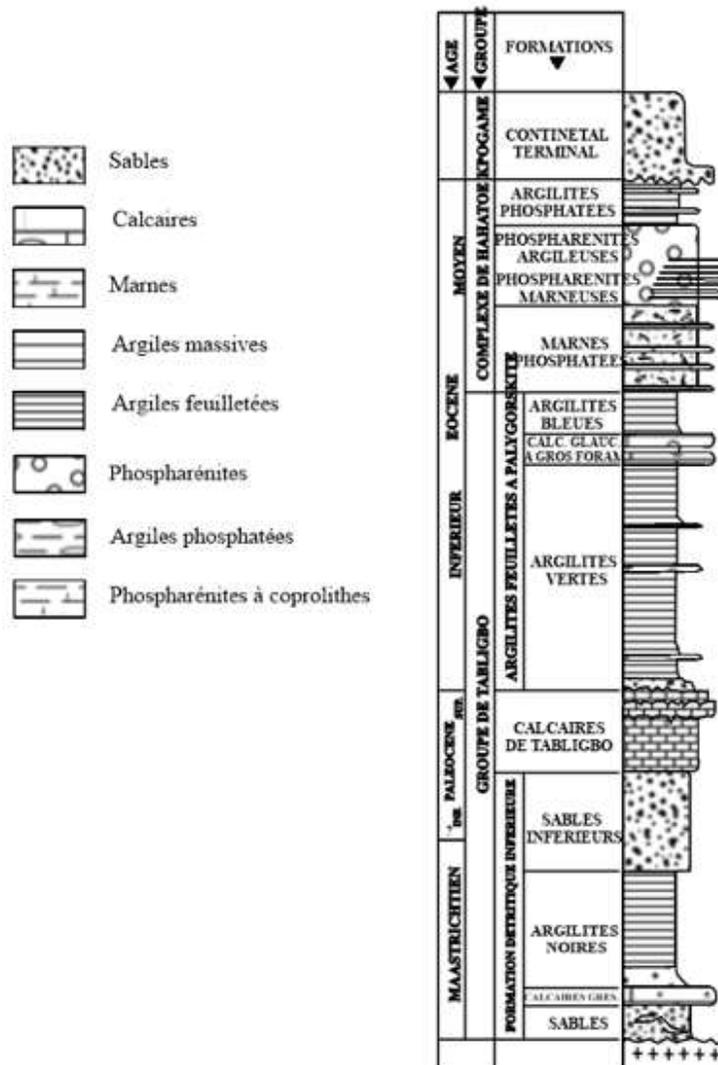


Figure 4 : Coupe synthétique de la série marine du bassin côtier du Togo [5]

- une formation argilo-phosphatée constituée d'argilite verte ou brune entrecoupée de phospharénite beige ou brune. D'épaisseur très variable, cette formation, recouvrant le phosphate et correspondant au

toit phosphaté, est érodée par la formation détritique sus-jacente dite Continental terminal.

L'analyse minéralogique de la partie sommitale de cette formation met en évidence, selon [5], la présence de minéraux d'altération : la crandallite et la wavellite. Cependant, des coprolithes, dents et grains enrobés à radiolaires subsistent toujours dans cette partie de la série.

III-1-4. Les phosphates des Ganttour (Maroc occidental)

La série phosphatée du Maroc est caractérisée par des faciès présentant une grande variété spatio-temporelle. Toutefois, [11] les regroupe en quatre grands ensembles lithologiques (**Figure 5**) qui sont dans le sens stratigraphique :

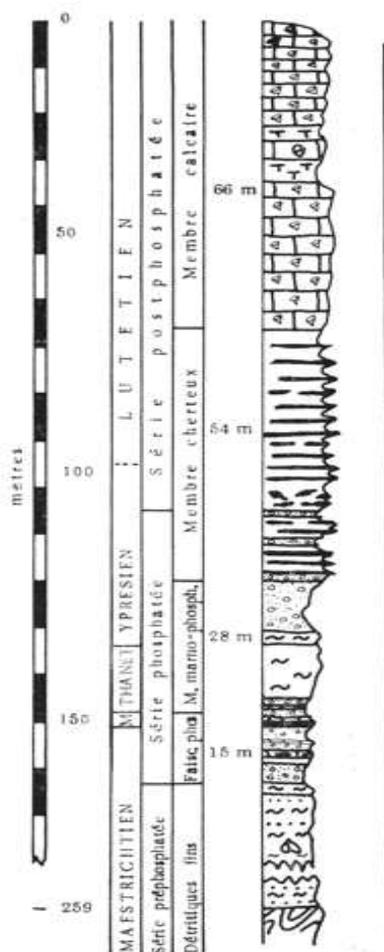


Figure 5 : Séquences et rythmes de la série phosphatée des Ganttour (Youssoufia, sondage SG-49) [11]

- une série préphosphatée, avec des clastiques fins qui sont représentés par des sables quartzeux fins jaunes, argileux ou des marnes sableuses très légèrement phosphatées ;
- une série phosphatée comprenant des couches dont le nombre et la puissance sont variables. Dans la partie occidentale du bassin, cette série se subdivise en deux membres : un membre phosphaté entrecoupé par des calcaires très phosphatés et un membre marno-phosphaté ;
- une série cherteuse épaisse caractérisée par une alternance monotone de marnes blanches ou jaunes, de passées siliceuses continues et de passées en général brunes souvent beiges, comportant de nombreuses concrétions de silex ménilite ;
- une épaisse série de roches carbonatées fossilifères constitue la partie sommitale de la série phosphatée des Ganntour. Elle livre de nombreuses espèces de gastéropodes et de lamellibranches où dominent différentes espèces du genre *Thersitea*. Elle constitue un niveau-repère surmontant l'ensemble des gisements marocains. Dans cette série, le carbonate est le plus souvent représenté par la dolomie associée à des traces de calcite et quelques récurrences de phosphate.

Au point de vue paléontologique, [12] précise, sur la base de vertébrés tels que poissons et reptiles, que la série phosphatée du Maroc s'étend du Maastrichtien au Lutétien. Sur la base d'invertébrés, Salvan *in* [13] confirme les travaux de [12].

III-1-5. Les phosphates du Sud de la Namibie

Ce gisement de phosphate de 70 à 90 km de large s'étend au large de Lüderitz et de Walvis Bay, sur la marge passive continentale namibienne formée lors de l'éclatement du Gondwana au Crétacé [2]. Selon ces mêmes auteurs, ce gisement présente une séquence négative différenciée en cinq principales unités (**Figure 6**) qui sont dans le sens stratigraphique :

- une argile terrigène (unité 1) de couleur grise olive foncée, avec peu de sable phosphaté, des granulés fécaux et du matériel squelettique comme des vertèbres du poisson. Par endroits, elle contient des grains biogéniques remaniés (coquilles calcaires et tests foraminifères).
- une argile sableuse phosphatée (unité 2) passe à du sable phosphaté légèrement graveleux (moins de 12% de graviers) représentant l'unité 3. Celle-ci s'enrichit en graviers (10 à 25 %) et forme l'unité 4.
- un sable phosphaté davantage riche en graviers (30–60 %) occupe le sommet de cette séquence et constitue l'unité 5.

Au point de vue paléontologique, la boue argileuse (unité 1) est d'âge Miocène terminal à Pliocène, selon l'association de foraminifères comprenant, entre autres, *Epistominella pulchella*, *Plectofrondicularia* sp et *Siphonodosaria* sp. Quant aux unités 2 à 5, elles sont d'âge Pléistocène selon les foraminifères *Globorotalia inflata* et *Globorotalia truncatulinoides* [2].

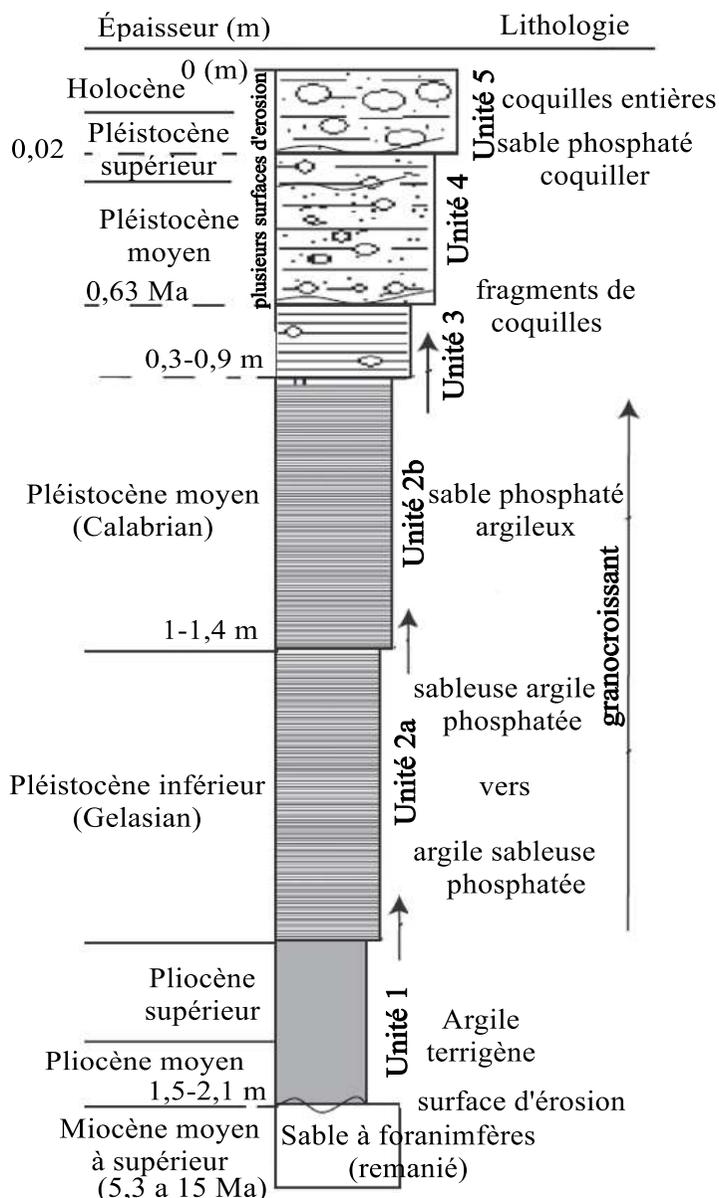


Figure 6 : Coupe synthétique de la série phosphatée de Lüderitz–Walvis Bay, Sud Namibie [2]

L'analyse de ces différentes séries phosphatées permet de constater que malgré la diversité des unités décrites de chaque série, elles peuvent toutefois être rassemblées en trois principales formations qui sont de bas en haut :

- une formation préphosphatée marquée par des dépôts chimiques ou biochimiques (notamment des calcaires) ;
- une formation phosphatée caractérisée par la prédominance de la fluorapatite ;
- une formation postphosphatée dans laquelle domine les minéraux d'altération.

Cette évolution minéralogique notée de bas en haut des séries est le résultat de processus d'altération différentielle suite à la réduction des influences marines, mais également l'émersion de la formation sommitale [4].

Au point de vue paléontologique, la microfaune associée à la macrofaune ont livré des âges allant du Maastrichtien au Maroc, au Pléistocène en Namibie. Ceci suggère que les phosphates côtiers ouest africains se sont mis en place progressivement et ce, du Nord au Sud.

III-2. Géochimie

III-2-1. Phosphates de Tobène

Au point de vue chimique, la teneur moyenne en P_2O_5 de la série phosphatée de Tobène est de 28 %. Elle diminue de bas en haut de la série phosphatée et peut atteindre 35 % notamment dans la formation phosphatée. Les bordures ouest et sud de la formation phosphatée sont moins riches en P_2O_5 avec respectivement 20 à 25 % et 10 à 20 % [14]. La moyenne des rapports CaO/P_2O_5 est de 1,38 à Tobène. Cependant, cette valeur peut dépasser 3 notamment en zone nord-ouest de Tobène, indiquant la nature calciteuse du minerai de cette zone [14]. Inversement au P_2O_5 , le Feral augmente de bas en haut de la série phosphatée. Il présente une moyenne de 3,5 %, mais est relativement élevé dans le niveau silico-ferrallitique où il atteint 32 %. Ceci indique une ferrallitisation plus intense de la partie sommitale de la série phosphatée [14]. La silice bien que variable en fonction des faciès est en moyenne de 23,1 %. Par ailleurs, les plus fortes teneurs en SiO_2 (40 – 84 %) s'observent dans les zones à fortes teneurs en Feral et faiblement riches en P_2O_5 . Ceci confirme bien l'évolution antagonique entre P_2O_5 et SiO_2 décrite par les travaux de [26].

III-2-2. Phosphates de Matam

Les gisements de phosphates de Ouali Diala et de Ndiendouri ont des teneurs moyennes en P_2O_5 proches de celle de Tobène, soit respectivement 28 et

28,9 % [27]. La carte des courbes d'isoteneur en P_2O_5 montre une diminution centrifuge corrélative à une augmentation de la fraction détritique et argileuse. Pour l'ensemble du domaine phosphaté, la moyenne des rapports CaO/P_2O_5 est voisine de 1,55 [23]. Le Feral, faible environ 3 % [27], est relativement important en lisière du domaine minéralisé où il varie entre 5 et 17 %. Ce fait résulte d'une altération et d'une ferruginisation secondaires. Ailleurs, ces mêmes oxydes correspondent habituellement à moins de 3 % et sont surtout liés aux argiles de l'exogangue. La silice primaire constitue une part fort variable de 3 à 30 % des dépôts. Elle est surtout abondante en lisière orientale des gîtes. Dans le minerai, elle est en moyenne de 7 à 8 % surtout sous forme détritique fine et accessoirement présente dans les silicates argileux avec 2 à 3 % [23].

III-2-3. Phosphates du Togo

Le minerai phosphaté du Togo est relativement riche en P_2O_5 avec une moyenne 30,04 % selon Slansky (1962) *in* [8]. La valeur moyenne du rapport CaO/P_2O_5 (1,33), de même que les teneurs en Al_2O_3 et Fe_2O_3 (respectivement 1 et 1,50 %) témoignent d'une faible altération de ce minerai [8, 14]. La silice est généralement faible avec une teneur moyenne de 3,76 %.

III-2-4. Phosphates des Ganntour

Dans les phosphates des Ganntour, [11] indique que la teneur moyenne en P_2O_5 de la couche phosphatée est de 29,80 %. Toutefois, selon l'intensité de la phosphatogenèse, cette teneur peut être très faible, notamment dans la série préphosphatée (3 et 8 %). Le rapport élevé CaO/P_2O_5 (1,63) indique une présence importante de la calcite [14], sous forme libre ou combinée. Ces phosphates se caractérisent aussi par des teneurs moyennes en silice (4,3 %) et Feral (0,85) faibles. Il est important de noter que dans la série chertreuse des Ganntour, la teneur en P_2O_5 peut être élevée (33 %) du fait de récurrences phosphatées [11].

III-2-5. Phosphates de Lüderitz-Walvis Bay

Les analyses XRD révèlent que le principal minéral phosphaté de ce gisement est la francolite et plus précisément la carbonate-fluorapatite. Aussi, les diverses études réalisées sur ces phosphates namibiens ont indiqué une teneur en P_2O_5 comprise entre 27 et 33 % [2, 18]. À l'image de la plupart des gisements sédimentaires phosphatés, ceux-ci montrent aussi que les sables, entre autres, sont beaucoup moins riches en P_2O_5 avec des teneurs variant entre 18 à 27 %. Les données géochimiques confirment bien celles minéralogiques, en ce sens que les différents gisements présentent des teneurs en P_2O_5 supérieures à 27 %. Toutefois, dans les niveaux sableux et argileux, donc

moins riches en phosphate, cette valeur baisse considérablement [2, 14]. Il est aussi important de noter que l'altération du phosphate de chaux, bien que globalement faible, varie d'un gisement à l'autre. Cette faible altération des gisements de phosphates ouest africains est confirmée par le rapport K qui est au moins égal à 1,33.

III-3. Paléoenvironnement

Les corrélations des données paléontologiques avec les indices sédimentologiques ont permis de reconstituer les environnements dans lesquels les phosphates se sont déposés.

III-3-1. Phosphates de Tobène

À Tobène, le minerai phosphaté présente une grande diversité d'éléments figurés composés d'éléments biogènes (essentiellement des foraminifères dominés par les benthiques, mais aussi des gastéropodes, des échinodermes, des cirripèdes, des algues calcaires et des ossements de poissons) et lithogènes (oolithes, souvent accompagnés de coprolithes et de péloïdes). Ces éléments auxquels s'ajoutent des grains de quartz anguleux, témoin d'un remaniement du dépôt phosphaté, indiquent que la phosphatogenèse à Tobène a eu lieu dans un environnement marin agité, peu profond et de climat chaud [16, 28]. Toutefois, l'accumulation et la conservation du phosphate ont été favorisées par la position du site occupant une ride synclinale dont le cœur correspond à une gouttière résultant d'un fossé d'effondrement. Cette zone correspond vraisemblablement au piège structural ayant permis la formation de ce gisement [26]. Par ailleurs, l'évolution verticale de faciès, avec passage des argiles à attapulгите aux phosphates de chaux, indique un changement d'environnement sédimentaire devenant plus soumis aux influences marines. Ce fait est corroboré par l'évolution de l'indice de pélagisme qui montre de faibles valeurs (moins de 3 %) dans les argiles à attapulгites, indiquant un milieu plus confiné de type plate-forme interne et peu ouvert aux influences marines [14]. Dans la formation phosphatée ainsi qu'à la base de la formation à phosphate d'alumine, ce paramètre, bien que fluctuant, augmente et atteint ses plus fortes valeurs (60 à 64 %). Cette évolution traduit un milieu plus ouvert instable, alternant entre la plate-forme interne d'où venaient les apports détritiques et la plateforme moyenne à externe favorable au dépôt des phosphates de chaux [14]. Au sommet de la formation à phosphate d'alumine, la forte diminution de l'indice de pélagisme, pouvant atteindre 0, indique une forte réduction des influences marines. Ceci expose le dépôt à l'altération marquée par la présence des minéraux d'altération tels que la millisite, la wavellite, la crandallite, l'analcime et la goethite) [4].

III-3-2. Phosphates de Matam

Dans les phosphates de Matam, la présence de dents Sélaciens et la mise en place de sédiments détritiques (Formation de Gorgol) témoignent d'un environnement marin aux influences marines limitées, donc de faible profondeur. À la limite Thanétien terminal à Yprésien voire Lutétien inférieur, la Formation de Matam succède directement à celle de Gorgol, formant une séquence positive. Cette variation verticale de faciès, avec passage des sédiments détritiques à des sédiments chimiques ou biochimiques (calcaires argileux et calcaires dolomitiques), caractérise naturellement un changement brusque des conditions sédimentaires. Ce dernier est la conséquence d'un léger approfondissement du bassin dû à une subsidence [23, 29] couplée à une transgression [30]. Ces phénomènes ont ainsi contribué à la réduction considérable des apports terrigènes et par conséquent à la sédimentation argileuse voire même carbonatée vers les plus grandes profondeurs [31]. Aussi comme à Tobène, la présence non négligeable de pellets et parfois de glauconie traduit un milieu marin peu profond. Au début du Miocène, c'est-à-dire à la base de la Formation du Saloum, il y a un changement de la composition minéralogique argileuse avec l'apparition de la kaolinite. Ce minéral, issu de l'altération de l'attapulgitite et des montmorillonites [32], traduit une diminution des influences marines [30] favorisant la formation de minéraux d'altération.

III-3-3. Phosphates du Togo

La sédimentation phosphatée du Togo s'est annoncée avec le passage brusque de dépôts détritiques à des dépôts chimiques (calcaires de Tabligbo). Ces derniers, comprenant des grains phosphatés isolés, se sont mis en place dans un environnement transgressif, peu profond et infralittoral. Mais cette sédimentation a commencé à s'intensifier à l'Yprésien dans la formation marno-phosphatée où les éléments phosphatés peuvent constituer jusqu'à 30 % des éléments figurés. La silice, la pyrite et la matière organique bien conservée, notées dans la partie inférieure de cette formation, renvoient à un environnement confiné. Ce dernier serait aussi confirmé par la disparition, vers le haut, des foraminifères planctoniques laissant penser à des influences marines moins fréquentes [5]. La position du site, entre des fractures servant de piège structural, a pu favoriser au Lutétien le dépôt de la formation phosphatée passant latéralement à des faciès carbonatés. Cette variation latérale de faciès, conduisant à des faciès hétéropiques, reflète des environnements de dépôts contemporains [5]. Cependant, le passage vertical à la formation argilo-phosphatée témoigne d'un changement d'environnement calme propice au dépôt argileux, mais recevant par moments des apports phosphatés par eaux agitées, comme l'indique la présence de coprolithes.

Enfin, la présence de minéraux d'altération (crandallite et wavellite) au détriment de la fluorapatite et de goethite est le signe d'une altération météorique différentielle [4], comme c'est le cas dans les gisements de phosphates du Sénégal (Tobène et Matam).

III-3-4. Phosphates des Ganntour

À l'égard des gisements de phosphates du Sénégal et du Togo, la série phosphatée des Ganntour représente une séquence positive caractérisée par des dépôts détritiques fins (grès et argiles) suivis des calcaires de la « dalle à Thersitées » [11]. La présence de coprolithes et d'oolithes associés à des invertébrés (gastéropodes et mollusques) et des vertébrés (poissons) indique clairement que cette série s'est également mise en place dans un environnement chaud et de faible profondeur [3, 30]. Dans cet environnement, alternaient aussi des périodes calmes et des périodes agitées, comme en atteste l'alternance de niveaux argileux et de sables phosphatés. Par ailleurs, l'évolution minéralogique latérale, caractérisée par le pôle phosphate-calcaire au Nord-Ouest et le pôle phosphate-dolomite au Sud-Est, reflète un environnement de plus en plus confiné et moins aéré, témoin de la configuration en golfe du bassin des Ganntour selon [11]. Même si ce dernier auteur considère que les phosphates des Ganntour résulteraient plutôt d'une évolution géochimique, les résultats de l'étude des autres bassins phosphatés marocains [13] laissent dire que les Ganntour ont, tout de même, subi des influences marines dont l'intensité se réduisait vers le Sud-Est.

III-3-5. Phosphates de Lüderitz-Walvis Bay

La série phosphatée de Lüderitz-Walvis Bay débute par une séquence négative caractérisée par des sédiments fins (boue argileuse) à la base auxquels font suite des sédiments à granulométrie croissante [2]. La présence, par endroits, de grains biogéniques remaniés au sein de la boue argileuse indique que l'environnement de dépôt était agité par moments. En plus, la présence, dans les unités supérieures (3 à 5), entre autres, de gastéropodes, lamellibranches, débris de poissons associés à des foraminifères planctoniques et benthiques, mais aussi la présence de quartz angulaires et d'intraclastes [2] prouvent que la série phosphatée de Lüderitz-Walvis Bay s'est déposée dans un environnement marin de faible profondeur et de haute énergie [16]. De plus, la diversification notée chez les espèces de foraminifères reflète une soumission aux influences marines. Par ailleurs, la présence de la glauconie, minéral marin authigène fréquemment associé aux phosphates et remplissant certaines loges de foraminifères, indique un environnement marin de type plateau continental ouvert peu profond, à faible vitesse de sédimentation avec un apport terrigène

limité [33]. D'autre part, cette fréquente association indique que l'environnement du plateau est à proximité d'un site d'upwelling profond [34]. Les données paléoenvironnementales confirment que les gisements de phosphates de la côte ouest africaine se sont mis en place dans un environnement soumis à des upwellings avec l'ouverture de l'océan Atlantique sud au Crétacé, à la suite de vastes jeux de failles entre l'Afrique et l'Amérique au Jurassique [35, 36]. Ceci fait dire que, suite à cet événement majeur, ladite côte a été le siège d'importantes influences marines au cours desquelles les upwellings, riches en éléments nutritifs dont le P, ont engendré la prolifération du phytoplancton dans la zone du plateau continental peu profonde et oxygénée. La mort d'une telle faune conduirait à une zone de matière organique en décomposition sur le fond marin. Ceci créerait, à son tour, un environnement réduisant les eaux peu profondes (Kazakov in [28]). La production de phosphate dérive alors de la dégradation microbiologique de la matière organique [37, 38]

IV - CONCLUSION

En définitive, cette étude portant sur cinq gisements phosphatés alignés le long de la côte ouest-africaine a permis de mettre en évidence des particularités sédimentologiques étroitement liées aux caractéristiques paléoenvironnementales des bassins. Malgré ces particularités, ils ont tout de même révélé des caractéristiques géologiques comparables. La sédimentation phosphatée s'annonce le plus souvent avec des dépôts chimiques ou biochimiques, notamment des calcaires. Quant aux données paléontologiques, elles ont révélé que la mise en place des gisements de phosphates, le long de la côte ouest africaine, s'est amorcée dès le Crétacé terminal, précisément au Maastrichtien, avec la formation des phosphates marocains et s'est poursuivie jusqu'au Pléistocène en Namibie. Les divers éléments figurés biogènes (gastéropodes, lamelibranches, ossements de poissons, etc.) et lithogènes (coprolithes, oolithes, péloïdes et lithoclastes) trouvés dans ces différents gisements indiquent clairement que la phosphatogenèse a eu lieu dans des environnements peu profonds, de forte énergie c'est-à-dire agités et de climat chaud. Toutefois, la sédimentation phosphatée est d'autant plus importante que ces conditions paléoenvironnementales sont restées stables dans le temps. Au point de vue minéralogique, le principal minéral phosphaté de ces gisements est la fluorapatite. Ce minéral caractéristique des phosphates de chaux disparaît dans les niveaux phosphatés supérieurs altérés au profit des minéraux d'altération tels que la crandallite, la millisite, la wavellite, l'analcime, la goethite, la kaolinite, etc. La présence de glauconie notée dans certains gisements phosphatés témoigne d'un environnement de plateau continental peu profond, ouvert aux influences marines et soumis à des upwellings. Elle corrobore ainsi les données pétrographiques. Ces différentes

caractéristiques relevées dans les gisements de phosphates du Maroc, du Sénégal, du Togo et de la Namibie montrent que la phosphatogenèse, le long de la côte ouest africaine, a lieu suite à l'ouverture de l'Océan Atlantique sud, dans des environnements transgressifs soumis à des upwellings impliquant un certain nombre d'évènements pétrographiques, paléontologiques, minéralogiques et géochimiques qui peuvent servir d'indices dans la recherche de phosphates. Par ailleurs, ces environnements ont fonctionné comme des pièges structuraux ayant permis l'accumulation et la conservation des phosphates.

RÉFÉRENCES

- [1] - L. CASTELAIN, "Aperçu Stratigraphique et Micropaléontologique du Bassin du Sénégal. Historique de la Découverte Paléontologique. In : « Colloque International de Micropaléontologie » (Dakar, 1963).", *Mém. BRGM*, Vol. 32 (1965) 135 - 159
- [2] - J. S. COMPTON and E. W. BERGH, "Phosphorite deposits on the Namibian shelf.", *Mar. Geol.*, Vol. 380 (2016) 290 - 314, DOI: 10.1016/j.margeo.2016.04.006
- [3] - M. DIAGNE, M. FALL, R. SARR, M. B. DIOUF, and N. P. DIONE, "Biostratigraphic and Palaeoenvironmental Study of the Tobène Phosphatic Series (Western Senegal).", *Int. J. Sci. Res.*, Vol. 4, N°11 (2015) 303 - 315
- [4] - M. DIAGNE, M. FALL, M. B. DIOUF, N. P. DIONE, and E. H. M. SAMB, "Mineralogical Characterisation of the Sedimentary Phosphate Deposit of Tobène (Western Senegal).", *J. Shipp. Ocean Eng.*, Vol. 6 (2016) 226 - 240, DOI:10.17265/2159-5879/2016.04.005
- [5] - A. K. JONHSON, P. RAT, and J. LANG, "Le bassin Sédimentaire à Phosphates du Togo (Maastrichtien-Eocène): Stratigraphie, Environnements et Evolution.", *J. Afr. Earth Sci.*, Vol. 30, N°1 (2000) 183 - 200
- [6] - P. MARIE, "Sur l'Age des Phosphates de Chaux de Lam-Lam (Région de Thiès, Sénégal).", Dakar, 1963, Vol. 32 (1965) 161 - 177
- [7] - P. PHILLIPART, "Contribution à l'Etude Géostatistique du Gisement de Phosphate de Taïba (Sénégal).", Mém. Fin d'Etudes d'Ingénieur Civil des Mines, Université Liège (Belgique) (1995)
- [8] - M. SLANSKY, "The Eocene Phosphate Deposits of Togo.", in *Phosphate Deposits of the World: Phosphate rock resources.*, Vol. 2, Cambridge Univ. Press. (1989) 258–261. [Online]. Available at: <https://books.google.dj/books?id=nw230cCn2EoC&lpg=PA225&dq=g%C3%A9ochimie%20des%20phosphates%20du%20togo&hl=fr&pg=PA261#v=onepage&q=Togo&f=true>, Consulted June 17, 2019

- [9] - A. SPENGLER, J. CASTELAIN, J. CAUVIN, and M. LEROY, "Le bassin secondaire-tertiaire du Sénégal. Symposium New Delhi 1964, Coord. D. Reyre.", *Assoc Serv Géol Afric Paris* (1966) 80 - 94
- [10] - T. TESSIER, "Contribution à la Stratigraphie et à la Paléontologie de la Partie Ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). 1ere et 2eme parties : Historique et Stratigraphie.", Thèse Sci., Univ. Marseille et Bull. Dir. Mines Géol., A.O.F., 14 (1952)
- [11] - A. BOUJO, "Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate crétacé-éocène des Ganntour (Maroc occidental).", Strasbourg: Institut de Géologie – Université Louis-Pasteur (1976). [En ligne]. Disponible sur https://www.persee.fr/doc/sgeol_0302-2684_1976_mon_43_1, Consulté le 31 Janvier 2019
- [12] - C. ARAMBOURG, "Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc Algérie Tunisie)", Service Géologique Maroc, Notes et Mémoires 92 (1952). [En ligne]. Disponible sur http://mmtk.ginras.ru/pdf/arambourg1952_vertébres_de_phosphate.pdf, Consulté le 3 Septembre 2021
- [13] - H. EL HADDI, "Les silicifications de la série phosphatée des Ouled Abdoun (Maastrichtien-Lutétien, Maroc): Sédimentologie, Minéralogie, Géochimie et Contexte Génétique.", Thèse de Doctorat en Géologie, El Haddi (2014). [En ligne]. Disponible sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01121950/document>, Consulté le 27 Février 2019
- [14] - M. DIAGNE, "Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Minéralogie et Géochimie des Phosphates Eocènes de Tobène.", Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Univ. Ch. A. Diop, Dakar (2011)
- [15] - B. S. SAMBOU, R. SARR, L. HAUTIER, H. CAPPETTA, and S. ADNET, "The selachian fauna (sharks and rays) of the phosphate series of Ndendouri-Ouali Diala (Matam, Western Senegal): Dating and paleoenvironmental interests.", *Neues Jahrb. Für Geol. Paläontol. - Abh.*, Vol. 283, N° 2 (2017) 205 – 219, DOI: 10.1127/njgpa/2017/0637
- [16] - N. P. DIONE, M. DIAGNE, M. B. DIOUF, M. FALL, and P. GIRESSE, "Petrography and Mineralogy of the Eocene Phosphate Deposit of Tobène (Taïba, Senegal)", *J. Geosci. Environ. Prot.*, Vol. 06, N° 05 (2018) 193 - 209, DOI: 10.4236/gep.2018.65016
- [17] - S. COULIBALY and R. SARR, "Biostratigraphie et paléoenvironnement de la formation de Matam (Eocène inférieur et moyen) dans le secteur d'Ourossogui-Tiambé (Matam, Nord-Est du Sénégal).", *BIOTERRE Rev Inter Sci Vie Terre*, Vol. 19, N° 2 (2019), [En ligne]. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/340814025>, Consulté le 21 Aout 2020
- [18] - J. M. BREMNER and J. ROGERS, "Phosphorite Deposits on the Namibian Continental Shelf.", in *Phosphate Deposits of the World: Neogene to Recent Phosphorites*, Vol. 3, Cambridge University Press (1990) 143 - 152. [Online]. Available at:

- https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=OHKCPJfFbY4C&oi=fnd&pg=PA143&dq=sedimentation+de+concretions+phosphatees+du+plateau+namibien&ots=vNLwsypNVK&sig=_ApVYU5a4jpQNksJASHJd-XxFts#v=onepage&q&f=false, Consulted April 9, 2020
- [19] - J. ROGER, B. J. NOËL, J. P. BARUSSEAU, O. SERRANO, P. NEHLIG, and C. DUVAIL, "Notice Explicative de la Carte Géologique du Sénégal à 1/500,000, Feuilles Nord-Ouest, Nord-Est et Sud-Ouest.", Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar (2009)
- [20] - J. P. BARUSSEAU, J. ROGER, B. J. NOËL, O. SERRANO, and C. DUVAIL, "Notice Explicative de la Carte Géologique du Sénégal à 1/200 000, Feuilles de Saint-Louis - Dagana, Podor - Saldé, Matam - Semmé.", Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar (2009)
- [21] - M. SAMB, "Géologie, Minéralogie, Pétrographie et Géochimie Minérale des Phosphates Sédimentaires du Gisement de Tobène (Sénégal). Application à une Exploitation Industrielle.", Thèse de Doctorat d'Etat, U.C.A.D., I.S.T., Sénégal (2008)
- [22] - W. A. BERGGREN and P. N. PEARSON, "A revised tropical to subtropical Paleogene planctonic foraminiferal zonation.", *J. Foraminifer. Res.*, Vol. 35, N° 4 (2005) 279 - 298
- [23] - M. PASCAL, "Nouvelles Découvertes de Minéralisations Phosphates au Sénégal : les Gisements de N'Diendouri - Ouali Diala (Département de Matam, Région du Fleuve).", *Chron. Rech. Minière*, Vol. 486 (1987) 3 - 24
- [24] - A. GORODISKI, "Miocène et Indices Phosphatés de Casamance (Sénégal).", *C. r. Somm. Séances Société Géologique Fr.* (1958) 293 - 297
- [25] - J. R. LAPPARTIENT, "Le « Continental Terminal » et le Pléistocène Ancien du Bassin Sénégal-Mauritanien.", Thèse Sc., Marseille St-Jérôme, 272 (1985)
- [26] - Y. PANNATIER, "Etude Géologique et Géostatistique du Gîte de Phosphate de Taïba (Sénégal).", Thèse Doct., Lausanne (1995)
- [27] - J. P. PRIAN, "Phosphate deposits of the Senegal-Mauritania-Guinea Basin (West Africa) : A review. SYMPHOS 2013, 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry, May 2013, Agadir, Morocco.", *Procedia Eng.*, Vol. 83 (2015) 27 - 36
- [28] - M. J. REEVES and T. A. K. SAADI, "Factors Controlling the Deposition of Some Phosphate Bearing Strata from Jordan.", *Econ. Geol.*, Vol. 66 (1971) 451 - 465
- [29] - M. ATGER, "Données sur la Géologie du Gisement de Phosphate de Taïba et les Gisements d'Origine Sédimentaire.", Rapport Interne C.S.P.T. (1970)
- [30] - A. Ly and R. Anglada, "Le Bassin Sénégal-Mauritanien dans l'Evolution des Marges Péri-Atlantiques au Tertiaire.", *Cah. Micropaléontologie*, Vol. 6, N° 2 (1971) 23 - 57

- [31] - M. SLANSKY, "Géologie des Phosphates Sédimentaires.", Mémoire du B.R.G.M., N° 114, Université Orléans (1980)
- [32] - R. FLICOTEAUX, "Genèse des Phosphates Alumineux du Sénégal Occidental. Etapes et Guides de l'Altération.", Mémoire N° 67, Institut de Géologie, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1982. [En ligne]. Disponible sur https://www.persee.fr/doc/sgeol_0302-2684_1982_mon_67_1, Consulté le 17 Juin 2019
- [33] - R. HESSE and U. SCHACHT, "Early Diagenesis of Deep-Sea Sediments.", in *Developments in Sedimentology*, Vol. 63 (2011) 557 - 713. [Online]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/glaucinite>, Consulted September 24, 2020
- [34] - B. VELDE, "Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks.", in *Treatise on Geochemistry*, Vol. 7 (2003) 309 - 324. [Online]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/glaucinite>, Consulted September 24, 2020
- [35] - A. GUILCHER, "Travaux récents sur la formation de l'océan Atlantique.", in *Anales de géographie*, Vol. 78 (1969) 701-703. [En ligne]. Disponible sur https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1969_num_78_430_15957, Consulté le 19 Aout 2020
- [36] - D. NÜRBERG and R. D. MÜLLER, "The tectonic evolution of the South Atlantic from Late Jurassic to present.", *Tectonophysics*, Vol. 191, N° 1 - 2 (1991) 27 - 53
- [37] - C. JEHL and F. ROUGERIE, "Phosphatogenèse en atolls polynésiens : la filiation mattes cyanobactériennes - phosphorites.", *Oceanol. Acta*, Vol. 18, N° 1 (1995) 79 - 93
- [38] - S. J. SCHENAU, C. P. SLOMP, and G. J. DE LANGE, "Phosphogenesis and active phosphorite formation in sediments from the Arabian Sea oxygen minimum zone.", *Int. J. Mar. Geol. Geochem. Geophys. Mar. Geol.*, Vol. 169, N° 1 - 2 (2000) 1 - 20, DOI:10.1016/S0025-3227(00)00083-9