

Biodiversité des foraminifères planctoniques du Cénozoïque de la marge continentale ouest-africaine au Sénégal : implication paléoenvironnementale

Malick Thiam

Résumé

A travers une approche basée sur des analyses multivariées, nous avons caractérisé la diversité des foraminifères planctoniques du Paléocène supérieur (biozone P4a) à l'Eocène supérieur (biozone E₁₆). Leur forte répartition dans les sédiments détritiques (argile, sable, sable argileux) et carbonatés (calcaire et marne) au Sud du bassin Sénégal-Mauritanien en Casamance a permis de suivre les variations de la biodiversité. Un clustering des échantillons réalisé sur la base des foraminifères planctoniques a donné 4 groupes d'associations réparties dans les différentes unités lithologiques. Les résultats obtenus avec l'Analyse Factorielle des Composantes Redressées (AFCR) montrent que le Paléocène supérieur est caractérisé par les genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina* et *Parasubbotina*. L'Eocène est surtout marqué par les genres *Subbotina*, *Acarinina*, *Turborotalia*, *Paragloborotalia*, *Globoturborotalita* et *Globigerina*. Des corrélations basées sur le pourcentage de foraminifères planctoniques ont permis de déterminer les variations des paléop profondeurs et les indices de diversité.

Mots clés : Foraminifères planctoniques, Analyse factorielle des composantes redressées, Biodiversité, Paléoenvironnements, Paléocène, Eocène, Casamance, Sénégal.

Abstract

Planktonic foraminiferal biodiversity in Cenozoic West African Continental margin deposits in Senegal: paleoenvironmental implication

Through an approach based on multivariate analyses, the diversity of planktonic foraminifera from the Upper Paleocene (biozone P4a) to the Upper Eocene (biozone E16) was characterised. Their high distribution in detrital (clay, sand, clayey sand) and carbonate (limestone and marl) sediments in the southern region of the Senegalo-Mauritanian basin in Casamance made it possible to monitor biodiversity variations. Samples clustering based on planktonic foraminifera distribution gave 4 faunal associations distributed in the different lithological units. The results obtained with the Detrended Correspondent Analysis (DCA) show that the Upper Paleocene is characterised by the genera *Morozovella*, *Pseudohastigerina* and *Parasubbotina*. The Eocene is mainly marked by the genera *Subbotina*, *Acarinina*, *Turborotalia*, *Paragloborotalia*, *Globoturborotalita* and *Globigerina*. Correlations based on percentage of planktonic foraminifera have made it possible to determine the palaeodepth changes and diversity index.

Keywords: Planktonic foraminifera, Detrended Correspondance Analysis, Biodiversity, Paleoenvironments, Paleocene, Eocene, Casamance.

Département de SVT, Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal - Email : malick22.thiam@ucad.edu.sn

1. Introduction

La région de Casamance est située au Sud du bassin Sénégal-Mauritanien (Fig. 1). Ce bassin est caractérisé par une épaisse série sédimentaire méso-cénozoïque dont les caractères lithologiques et micropaléontologiques mettent en évidence une ouverture océanique progressive. Les études lithologiques et micropaléontologiques effectuées dans les différents secteurs du bassin (Tessier, 1952 ; Monciardini, 1966 ; Spengler et al., 1966 ; Castelain, 1965 ; Diop et al., 1982 ; Ly, 1985 ; Prian, 1986 ; Sarr, 1995 ; Thiam, 2007, Thiam, 2014 ; Thiam & Sarr, 2014) montrent un Paléogène quasi complet caractérisé par des dépôts chimiques et biochimiques (calcaire, calcaire marneux et marnes) qui se rajeunissent en direction de l'Est (Ly, 1985 ; Thiam, 2014). L'Eocène est dominé par une sédimentation carbonatée (calcaire et marnes). Les foraminifères sont très diversifiés dans le bassin avec des formes planctoniques très riches à l'Ouest qui passent à l'Est à des formes benthiques (Ly, 1985 ; Carbonnel, 1986 ; Thiam, 2014). Le présent travail a pour but d'étudier la biodiversité des foraminifères planctoniques durant la période Paléocène-Eocène à partir d'indices de biodiversité et d'associations de foraminifères planctoniques. Leur interprétation permet de déterminer l'évolution des paléoenvironnements. L'utilisation d'une analyse factorielle des correspondances redressées (AFCR) a permis de minimiser les écarts liés à la grande variabilité taxonomique des foraminifères planctoniques.

2. Matériel et méthode

L'étude a porté sur les foraminifères planctoniques triés à la suite d'un traitement micropaléontologique de 57 échantillons provenant du sondage de référence situé à Bounkiling (Longitude 15° 41' 25" W; Latitude 13° 02' 35" N, Profondeur 403m) en Casamance (Fig. 2). Pour chaque échantillon nous avons déterminé l'indice de pélagisme sur la base du pourcentage de foraminifères planctoniques par rapport au nombre total de foraminifères (Murray, 1976). Par ailleurs, le calcul de l'indice de Shannon (HS) et du nombre d'individus par gramme de sédiment (n/g) nous permet d'interpréter les variations de la diversité des foraminifères planctoniques au cours du temps. Environ 300 spécimens de foraminifères planctoniques ont été utilisés pour le clustering et l'analyse factorielle. Nous avons utilisé la méthode d'analyse factorielle des correspondances Redressées (AFCR) développées par Benzecri (1983) ; Hill et Gauch (1980) ; Oxanen et Minchin (1997) qui permet de caractériser la distribution des variables espèces dans un échantillon. Les axes factoriels [AF] retenus, rendent compte de la contribution des variables espèces par rapport à l'inertie totale obtenue. Pour caractériser les paléobathymétries, nous avons utilisé les subdivisions bathymétriques de Van Morkhoven et al. (1986) : néritique (0-200m), supra-bathyal (200-600m), moyen bathyal (600-1000m), infra-bathyal (1000-2000m) et abyssal (> 2000m).

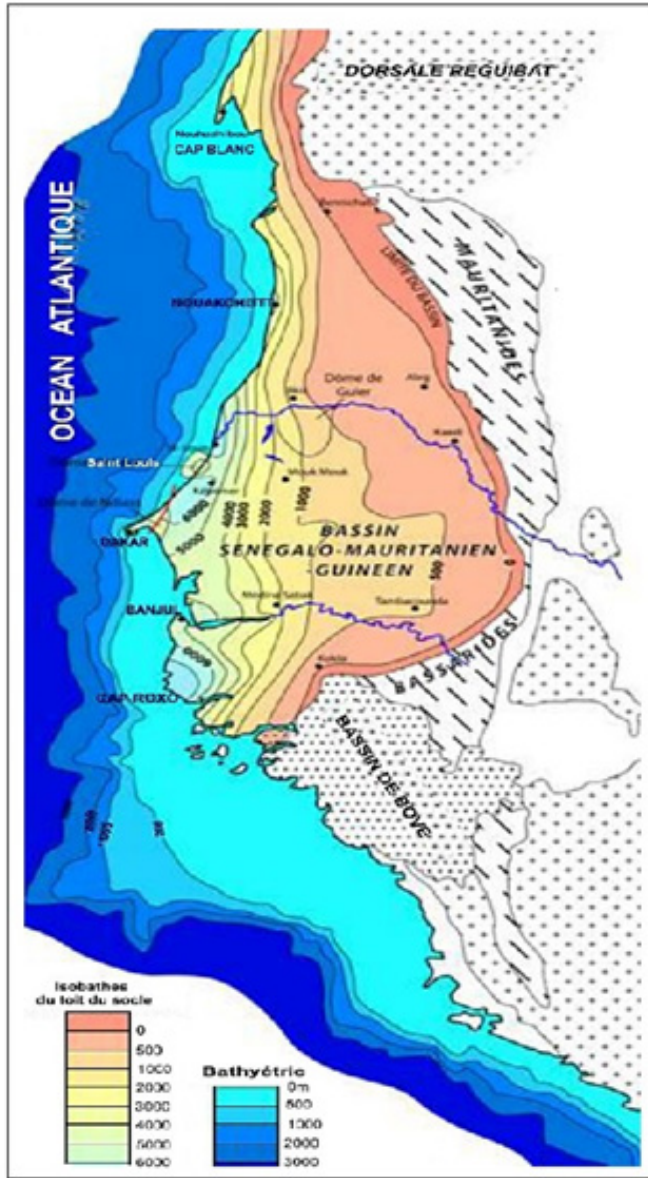


Figure 1 : Le Bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien dans son cadre régional (Liger, 1979 ; Ly, 1985 ; Roger *et al.*, 2009).

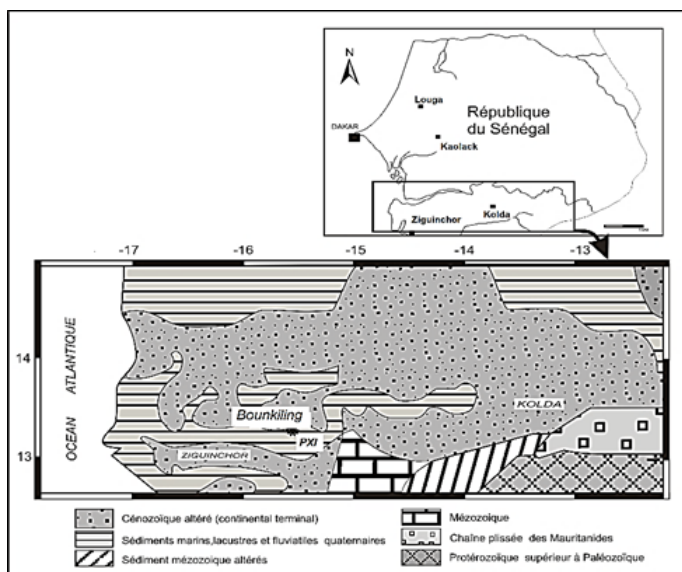


Figure 2 : Carte géologique de la zone étudiée.

3. Résultats et discussions

3.1. Biostratigraphie

Les 59 espèces de foraminifères planctoniques répertoriées ont permis de définir des biozones allant du Paléocène supérieur à l'Oligocène inférieur (*in* Thiam 2014). Les taxons index répertoriés dans deux unités lithologiques dénommées UA et UB sont présentés dans le Tableau 1. L'unité A (UA) est datée du Paléocène supérieur (P4a-P5) et l'unité B englobe les biozones de l'Éocène inférieur (SUB1), de l'Éocène moyen (SUB2) et de l'Éocène supérieur à Oligocène inférieur (SUB3).

4. Analyse multivariée

4.1. Clustering

Il a permis de mettre en évidence les groupes A, B1a et B1b qui se trouvent dans la sous-unité B1 [SUB1] datée du sommet de l'Éocène inférieur. L'unité lithologique [UA] ne renferme qu'une partie du groupe A d'âge Paléocène supérieur. La sous-unité B2 [SUB2] est représentée par le groupe B1c alors que les groupes B2, C et D caractérisent la sous-unité B3 [SUB3] (Fig. 3). Les groupes sont d'âge Éocène moyen à Oligocène inférieur. Les limites des unités lithologiques sont bien corrélées à celles des groupes à l'exception de [UA] (Fig. 3).

Tableau 1 : Répartition des espèces marqueurs de biozones foraminifères planctoniques dans les unités lithologiques

Profondeur (m)	Unité lithologique	Sous-unité lithologique	Espèces répertoriées	Biozones de foraminifères planctoniques	Age	
403 à 382m	UA	SUB1	<i>Globobulborotalia granuchi</i>	P4a - P5	Paléocène supérieur	
382 à 142m			SUB2			<i>Globobulborotalia angulioffensis</i>
						<i>Paraglobobulborotalia griffinoidea</i>
382 à 142m	UB	SUB3	<i>Subotina yeguiensis</i>	E1 - E7	Éocène inférieur	
			<i>Turbotalia cervozilensis</i>			
			<i>G. praebulloidis</i>			
			<i>Globigerina officinalis</i>			
382 à 142m	UB	SUB2	<i>G. sellii</i>	E8 - E11	Éocène moyen	
			<i>Globobulborotalia quadrocamerata</i>			
			<i>Acanthina bulbrooki</i>			
			<i>Acanthina praetropilensis</i>			
			<i>Pylaeoxensis</i>			
382 à 142m	UB	SUB3	<i>Morozovella velascoensis</i>	E15 - O2	Éocène supérieur - Oligocène inférieur	
			<i>Morozovella formosa</i>			
			<i>Morozovella gracilis</i>			
			<i>Morozovella aequa</i>			
			<i>Morozovella marginulenta</i>			
			<i>Morozovella subbolinae</i>			
			<i>Acanthina pentacamerata</i>			
			<i>Acanthina canalicamerata</i>			
			<i>Subotina velascoensis</i>			
			<i>Subotina triangularis</i>			
<i>Subotina triloculinoidea</i>						
<i>Morozovella subbolinae</i>						
<i>Morozovella aequa</i>						
<i>Pseudolastigerina wilcoxensis</i>						

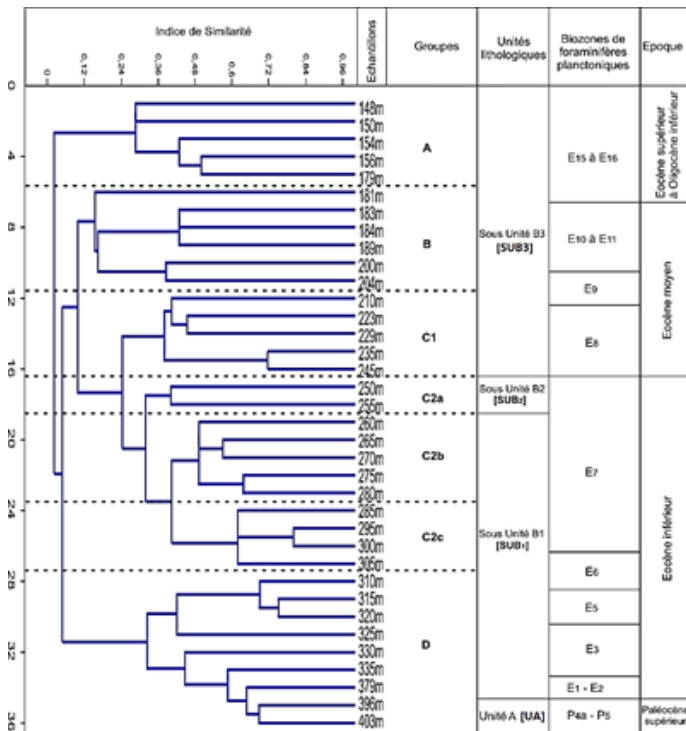


Figure 3 : Clustering des foraminifères planctoniques du sondage de Bounkiling.

4.2. Analyse factorielle des correspondances redressées (AFCR)

Les groupes sont bien individualisés entre eux et permettent de bien caractériser les biozones. L'AFRC des genres planctoniques (Fig. 4) montre que les groupes se succèdent suivant le gradient de l'axe factoriel 1 [AF1] qui exprime 93% de l'inertie totale. Suivant ce gradient, on a successivement le groupe A, les groupes B1 et B2, le groupe C et le groupe D.

Cette répartition des genres et des espèces, suit l'évolution des biozones de foraminifères planctoniques du Paléocène à l'Éocène supérieur (Fig. 4).

Nous remarquons que :

- le groupe A caractérise [UC] et [SUB3] (Fig. 3) et montre de fortes corrélations entre les échantillons du cluster et les genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina*, et *Parasubbotina*. Il contribue très peu à l'inertie de [AF1]. Par ailleurs, les espèces *Acarinina pseudotopilensis*, *A. nitida*, *Pseudohastigerina micra*, *Globanomalina chapmanni*, *Turborotalia carcosellensis* et *Subbotina cancellata* sont très isolées du groupe (Fig. 5), ce qui prouve qu'elles ont une incidence très faible ou nulle dans la biozotation du Paléocène. Cela signifierait que les genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina* et *Parasubbotina* caractérisent mieux les biozones P4a à E6 de Berggren et Pearson (2005) ;
- le groupe B a des contributions élevées sur [AF1] et [AF2] aussi bien au niveau des genres que des espèces (Fig. 4 et 5). Dans ce groupe B, on remarque des relations fortes entre les échantillons de B1a, B1b, B1c et B2 avec les espèces (Fig. 5). L'AFRC des genres planctoniques montre que les genres *Acarinina* et *Subbotina* ont des valeurs absolues très proches de celles du groupe B sur [AF1]. De plus, on note une corrélation positive des *Subbotina* avec les échantillons 250 à 265m [SUB2 et SUB1] (Fig. 4), alors que les *Acarinina* se rapprochent davantage des échantillons 201 à 229m (SUB3). Suivant l'axe factoriel 2 [AF2], on observe une faible contribution des échantillons. De plus, l'analyse des distances (similarités) entre les échantillons et les genres (Fig. 3) montre que les *Subbotina* caractérisent le groupe B1c alors que B2 est

plus marqué par les *Acarinina*. Il en résulte que les *Subbotina* caractérisent l'Éocène inférieur tandis que les *Acarinina* semblent plus typiques de l'Éocène moyen ;

- le groupe C, bien qu'ayant une forte contribution à l'inertie de [AF1], est mal caractérisé par les espèces planctoniques. En effet, la forte inertie sur [AF1] est surtout liée aux espèces du genre *Turborotalia* (Fig. 5). Sur [AF2], l'inertie résulte de la contribution de *S. eocaena*, *S. hagni*, *P. griffinoides* et *Globigerinatheka kugleri*. De ce fait, le groupe C est mieux caractérisé par les genres *Turborotalia*, *Subbotina* et *Paragloborotalia* (Fig. 4). Ces genres sont donc caractéristiques de l'Éocène moyen à supérieur ;
- le groupe D exprime la contribution la plus importante sur [AF1] mais participe faiblement à l'inertie de [AF2]. Les espèces caractéristiques de ce cluster appartiennent aux genres *Globigerina* (*G. officinalis*) et *Globoturborotalita* (*G. ouachitaensis*, *G. gnaucki*, *G. anguliofficialis*, *G. angustiumblicata*) et ont des scores très élevés sur cet axe. Ce groupe étant typique de la [SUB3] (Fig. 5), on en déduit que les espèces des genres *Globoturborotalita* et *Globigerina* définissent mieux l'Éocène supérieur.

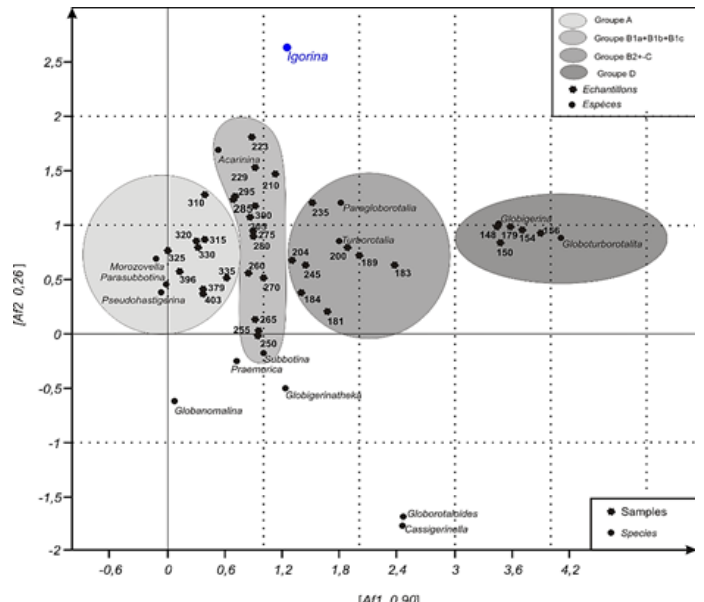


Figure 4 : Analyse factorielle de composantes redressées des genres de foraminifères planctoniques du sondage de Bounkiling.

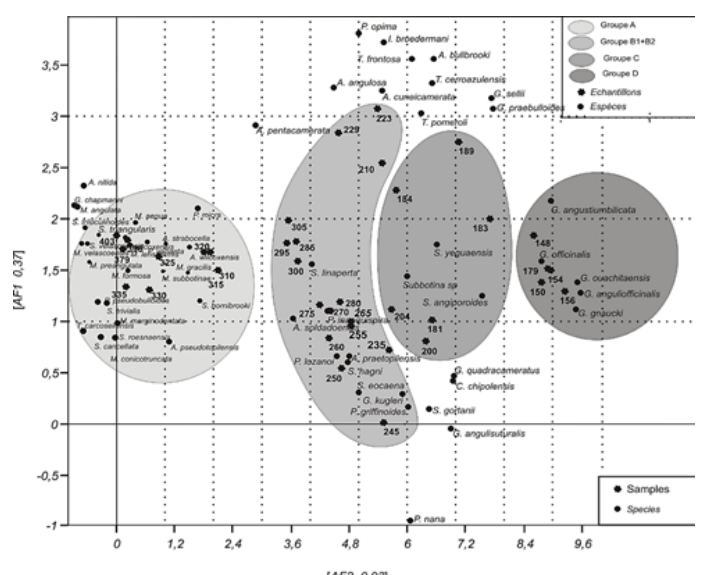


Figure 5 : Analyse factorielle de composantes redressées des foraminifères planctoniques du sondage de Bounkiling.

5. Étude de la biodiversité des foraminifères planctoniques

5.1. Au Paléocène

L'indice de pélagisme obtenu est relativement élevé (60%), ce qui indique un milieu marin de type plateforme externe et une profondeur d'environ 200m (Fig. 6). Cette valeur élevée de l'indice de pélagisme est liée à la transgression du Paléocène mis en évidence par Ly en Casamance (1985). Durant cette période, l'indice de Shannon H(S) reste élevé ce qui traduit une grande hétérogénéité des populations planctoniques. Cela s'expliquerait en partie par l'existence de conditions physico-chimiques favorables à la survie des espèces présentes durant la période (Fig. 6). La corrélation avec les résultats obtenus sur les AFCR montre que les espèces planctoniques des genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina* et *Parasubbotina* sont les mieux adaptées aux eaux chaudes des basses à moyennes latitudes (Thiam, 2013 ; Thiam, 2014). Ainsi, les argiles sableuses du Paléocène se sont déposées dans une mer profonde du milieu épibathyal supérieur où circulent les eaux chaudes (Thiam, 2014).

5.2. À l'Éocène

À l'Éocène inférieur et moyen, s'installe un milieu de dépôt mésobathyal avec un épisode néritique à la cote 303m. À l'Éocène inférieur, on assiste à une succession de transgression et de régression qu'on peut mettre en rapport avec les variations eustatiques mises en évidence à la même période en Californie, en Libye et dans le New Jersey (Vail et al., 1977). La transgression qui débute au Paléocène supérieur atteint son maximum au sommet de l'Éocène

inférieur (Yprésien). La biodiversité augmente globalement par rapport au Paléocène avec un renouvellement des faunes marqué par une extinction importante des genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina*, *Parasubbotina* et une diversification des genres *Subbotina* et *Acarinina*. Ce changement de microfaunes est lié à l'installation des eaux tempérées dans le bassin. La régression qui suit à partir de l'Éocène moyen provoque chez les foraminifères planctoniques la réduction du nombre d'individus bien que le nombre d'espèces augmente (Fig. 6). À l'Éocène supérieur, la population planctonique comprend en majorité des espèces des genres *Turborotalia* et *Paragloborotalia* associées à quelques espèces du genre *Subbotina* (*S. yeguaensis*). Aucune variation significative de la biodiversité n'est observée durant la seconde transgression marquée par un HS compris entre 1,2 et 1,4 et un nombre d'individu inférieur à 20/g (Fig. 6). Les espèces du genre *Acarinina* s'adaptent mieux aux dépens de ceux du genre *Subbotina*. À l'Éocène moyen (Lutétien), la baisse du niveau marin entraîne une baisse de la biodiversité en relation avec l'élévation de la température des eaux (Thiam, 2014).

Les eaux chaudes persistent jusqu'à l'Éocène supérieur avant d'être remplacées par des eaux plus froides à l'Oligocène (Thiam, 2014). Ce refroidissement des températures s'accompagne d'une extinction massive des foraminifères planctoniques. Seules subsistent les espèces des genres *Globoturborotalita* et *Globigerina* qui supportent les eaux froides (Molina et al., 2006 ; Wade et Pearson, 2008).

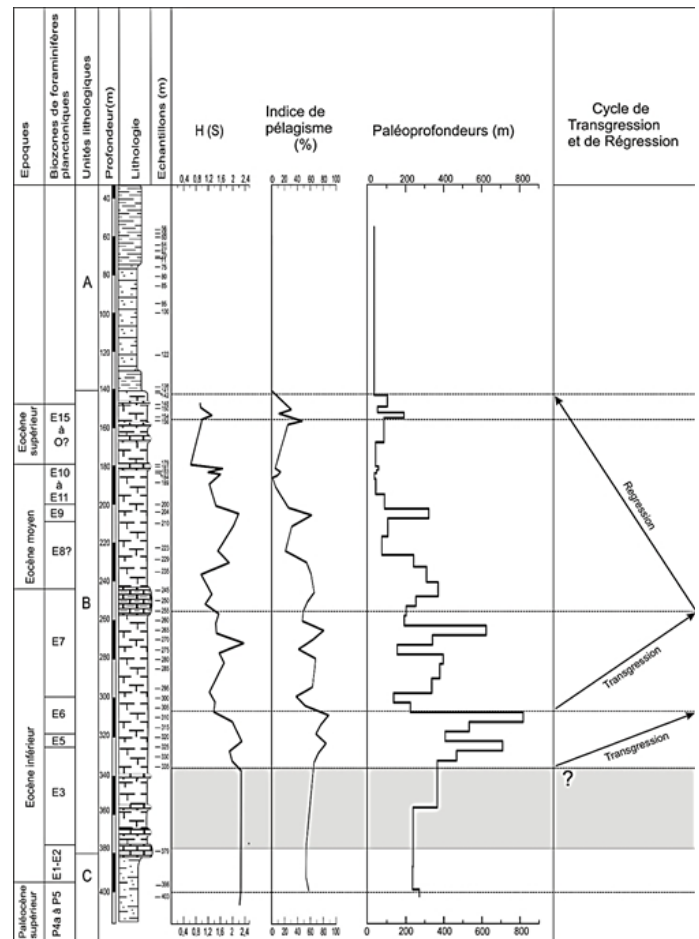


Figure 6 : Variation des indices de biodiversité et de pélagisme en fonction des paléoprofondeurs dans le sondage de Bounkiling.

Conclusion

Dans le bassin sénégalo-mauritanien, les analyses biostratigraphiques (foraminifères planctoniques) effectuées en Casamance permettent de dater la série sédimentaire étudiée dans le sondage de Bounkiling du Paléocène supérieur à l'Oligocène inférieur (P4a-O2). La lacune entre l'Éocène moyen et l'Éocène supérieur qui a été mise en évidence à l'Ouest (Ly, 1985) a été confirmée dans ce travail. Les études lithologiques mettent en évidence une sédimentation détritique au Paléocène et des dépôts carbonatés à l'Éocène. L'analyse factorielle des correspondances redressées permet de suivre la répartition des genres planctoniques dans les sédiments au cours du temps. Le degré de liaison entre les variables espèces et échantillons permet de déduire que :

- le Paléocène est caractérisé par les genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina* et *Parasubbotina* dont le maximum de diversité se situe au cours de la transgression ;
- l'Éocène inférieur est marqué par l'épanouissement des *Subbotina* et *Acarinina* en dépit des fluctuations du niveau marin. Le développement de ces genres est consécutif à la baisse de la diversité des genres *Morozovella*, *Pseudohastigerina* et *Parasubbotina* ;
- l'Éocène moyen se caractérise surtout par les genres *Turborotalia* et *Paragloborotalia* qui évoluent sous une faible tranche d'eau ;
- les genres *Globoturborotalita* et *Globigerina* caractérisent l'Éocène supérieur et la base de l'Oligocène.

L'analyse factorielle des correspondances redressées a permis de minimiser les écarts liés à la grande variabilité taxonomique

qui pose des problèmes dans la délimitation des biozones. Les résultats obtenus montrent que la méthode permet de réduire ces problèmes taxonomiques et par conséquent les problèmes liés à la biozonation. Par ailleurs, elle pourrait être utile dans l'étude des lignages pour les foraminifères planctoniques. La présente étude a mis en évidence un renouvellement faunistique dans le bassin du Paléocène supérieur à l'Éocène supérieur et ce renouvellement semble être contrôlé par les fluctuations du niveau marin et par la température des eaux.

Remerciements

Mes remerciements à l'Agence allemande d'échanges universitaires qui a entièrement financé les recherches. Ils s'adressent également au laboratoire de Biostratigraphie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et au laboratoire de micropaléontologie de l'Université Eberhards Karls de Tübingen.

Références

Benzecri J.P. (1983). Analyse de l'inertie intra classe par l'analyse d'un tableau de correspondance. *Les Cahiers d'Analyse des Données*, 8, 351-358.

Berggren W.A. and Pearson, P.N. (2005). A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation. *Journal of Foraminiferal Research*, 35, 279 -298.

Castelain J. (1965). Aperçu stratigraphique et micropaléontologique du bassin du Sénégal occidental : historique de la découverte paléontologique. *Bur. Rech. Géol. Min. (B.R.G.M), Mém. 32, Coll. Intern. Micropal., Dakar*, 135-161.

Carbonnel G. (1986). Ostracodes tertiaires (Paléogène à Néogène) du bassin sénégal-guinéen. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 101, 33-243.

Diop A., Guernet C. and Poignant A. (1982). Microfaune du Paléocène de quelques sondages du dôme du Sénégal occidental : observations sur les Ostracodes. *Geobios*, Lyon, 15, 19-31.

Hill M.O. and Gauch Jr. H.G. (1980). Detrended Correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetation*, 42, 47-58.

Liger J. L. (1979). Structure profonde du bassin côtier Sénégal-mauritanien interprétation de données gravimétriques et magnétiques. Thèse 3ème cycle, Marseille St. Jérôme, 156p.

Ly A. (1985). Le Tertiaire de Casamance (Sénégal) : biostratigraphie et sédimentologie d'après les données de subsurface. Thèse Doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 215p.

Molina E., Gonzalvo C., Ortiz S. and Cruz L.E. (2006). Foraminiferal turnover across the Eocene - Oligocene transition at Fuente Caldera, Southern Spain: no cause - effect relationship between meteorite impacts and extinctions. *Marine Micropaleontology*, 58, 270 -286.

Monciardini C. (1966). La sédimentation éocène du Sénégal. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Paris, 43, 1- 65.

Murray J.W. (1976). A method of determining proximity of marginal seas to ocean. *Marine Geology*, 22, 103-119.

Oxanen J. and Minchin P.R. (1997). Instability of ordination

results under changes in input data order: explanation and remedies. *Journal of Vegetation Science*, 8, 447- 454.

Prian J.P. (1986). Géologie de la bordure méridionale du golfe tertiaire de Casamance (Sénégal, Guinée Bissau). *Documents du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 101, 1-32.

Roger J., Nehlig P., Serrano O., Barusseau J.P., Duvail C., Sarr R., Dabo B., Diagne E. and Sagna R. (2009). Notice explicative des cartes géologiques à 1/200 000 du Bassin sédimentaire sénégalais. *Projet PASMI, Direction des Mines et de la Géologie*, p 121.

Sarr R. (1995). Étude biostratigraphique et paléoenvironnementale des séries d'âge Crétacé terminal à Éocène moyen du Sénégal occidental. *Systématique et migration des ostracodes. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Cheikh Anta Diop de Dakar*, 1- 406.

Spengler A., Castelain J., Cauvain J. and Leroy M. (1966). Le bassin secondaire et tertiaire du Sénégal. *Symposium New Dehli 1964, Ass. Ser. Geo. Afr. Dakar*, 163-193.

Tessier F. (1952). Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie Ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). *Thèse Doctorat ès Sciences, Université de Marseille et Bulletin de la Direction des Mines de l'Afrique Occidentale Française, Dakar*, 14, 1-570.

Thiam M. (2007). Le Paléogène dans la partie méridionale du Bassin Sénégal-mauritanien (Haute Casamance). *Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop Dakar*, 1-80.

Thiam M. (2013). Eocene-Oligocene planktic foraminifera of the West African margin in Casamance: biostratigraphy and paleoecology *in* Foraminifera: Aspects of Classification, Stratigraphy, Ecology and Evolution (Ed. Dan Georgescu) *Nova Sciences Publishers*, 189-208.

Thiam M. (2014). Étude biostratigraphique et paléoenvironnementale du cénozoïque de la marge continentale ouest africaine en Casamance (Sénégal) d'après les foraminifères et les ostracodes. *Thèse de Doctorat ès Sciences, Université Cheikh Anta Diop Dakar*, 1-207.

Thiam M. and Sarr R. (2014). Etude des paléoenvironnements du paléocène au miocène du bassin sédimentaire sénégalais (Casamance, Afrique de l'Ouest) par analyse factorielle des populations de foraminifères benthiques. *Revue de Paléobiologie, Genève*, 33 (1), 143-159.

Vail P.R., Mitchum R.M. and Thompson S. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: Global cycles of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologist Memory*, 26, 83-97.

Van Morkhoven F.P.C.M., Berggren W.A. and Edwards A.S. (1986). Cenozoic Cosmopolitan Deep-water Benthic Foraminifera. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine, Mémoire 11*, 421p.

Wade B.S. and Pearson P.N. (2008). Planktonic foraminiferal turnover, diversity fluctuations and geochemical signals across the Eocene/Oligocene boundary in Tanzania. *Marine Micropaleontology*, 68, 244 -255.