

Écologie fonctionnelle et reconstitution des paléoenvironnements paraliques : cas des formations tertiaires de la localité de Bassam, Sud - Est de la Côte d'Ivoire

Jonas Amani ALLA^{1*}, Jean-Paul N'goran YAO¹, René Goha BIE² et Bruno Zéli DIGBEHI¹

¹ *Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), Abidjan, Côte d'Ivoire*

² *Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 25 Août 2023 ; Accepté le 02 Novembre 2023)

* Correspondance, courriel : amienraessou@gmail.com

Résumé

Ce travail a pour objectif la reconstitution des paléoenvironnements paraliques à Bassam. Pour éclaircir le matériel palynologique, les déblais argileux du forage ont subi d'abord une attaque à l'acide chlorhydrique, ensuite à l'acide fluorhydrique et enfin à l'acide nitrique. Ces attaques ont permis de dissoudre les carbonates, les nitrates, les silicates et les fluosilicates néoformés. Des lames palynologiques ont été montées et observées au microscope électronique à balayage. Les palynomorphes sont déterminés sur la base des travaux antérieurs. Les résultats montrent une palynostratigraphie allant du Paléocène au Mio-Pliocène. L'écosystème était une mangrove à forte influence marine au Paléocène-Eocène inférieur avec une prédominance d'angiospermes et d'algues puis une forêt dense côtière partiellement inondée de l'Oligocène au Miocène inférieur. Les algues ont alors diminué au profit des ptéridophytes et des angiospermes. L'écosystème est passé d'une mangrove marginale du Miocène inférieur à moyen à une forêt arborescente ombrophile du Miocène moyen à Pliocène. Le milieu est devenu marin ouvert avec une transgression marine. Les microforaminifères se sont métamorphosés selon des stratégies « r » ou « K » pour s'adapter aux changements environnementaux. Ce travail aide à connaître les paléoenvironnements dans un contexte paléobiogéographique ainsi que l'écologie fonctionnelle qui est la relation entre les organismes et leurs milieux.

Mots-clés : *paléoenvironnements, paraliques, Bassam, stratégie, écologie fonctionnelle, tertiaire.*

Abstract

Functional ecology and reconstruction of paralic paleoenvironments : the case of the Tertiary formations of the Bassam locality, Southeastern Ivory Coast

The objective of this work is to reconstruct paralic paleoenvironments in Bassam. To prepare the palynological material, the clayey drill cuttings underwent sequential treatments with hydrochloric acid, followed by hydrofluoric acid, and finally nitric acid. These treatments dissolved carbonates, nitrates, silicates, and newly formed fluosilicates. Palynological slides were prepared and examined using a scanning electron microscope. Palynomorphs were identified based on previous research. The results reveal a

palynostratigraphy spanning from the Paleocene to the Mio-Pliocene. The ecosystem during the Paleocene-Lower Eocene was a mangrove with a pronounced marine influence, characterized by a prevalence of angiosperms and algae. Subsequently, from the Oligocene to the Lower Miocene, it transitioned into a densely forested coastal area that was partially inundated. During this period, there was a decline in algae and an increase in pteridophytes and angiosperms. The ecosystem evolved from a marginal mangrove in the Lower to Middle Miocene into a rainforest environment from the Middle Miocene to Pliocene. This transition coincided with a shift to an open marine environment with a marine transgression. Microforaminifera underwent metamorphosis, employing either “r” or “K” strategies to adapt to environmental changes. This work contributes to a better understanding of paleoenvironments within a paleobiogeographic context and functional ecology which is the relationship between organisms and their habitats.

Keywords : *paleoenvironments, paralic, Bassam, strategies, functional ecology, tertiary.*

1. Introduction

Les changements environnementaux engendrés par les changements climatiques eux-mêmes provoqués par le réchauffement de la planète « Terre » ont des conséquences négatives indéniables sur les milieux naturels posant ainsi un problème écologique. Cette observation fait réagir le monde scientifique qui, par la détermination des environnements de dépôts basée sur les palynomorphes, tente de comprendre le dynamisme des changements paléoenvironnementaux et paléoécologiques survenus dans le temps. Au Quaternaire, des variations paléoenvironnementales (Pléistocène et Holocène) sont décrites dans le Golfe de Gabès au Sud de la Tunisie [1]. Le genre *Spiniferites* est utilisé pour déterminer des environnements de dépôt au Cénozoïque [2]. Dans la région du lac Bras d'Or, île du Cap-Breton en Nouvelle-Ecosse, au Pléistocène supérieur, trois grandes unités palynostratigraphiques indiquant une alternance de climat plus chaud et sec et de climat humide plus froid que l'Actuel sont distingué [3]. Par une approche botanique de l'analyse pollinique, des reconstitutions de végétation sans précédent dans le Sud-Est Européen pour le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur sont établies [4]. Des études révèlent que les faunes de mammifères au Nord-Ouest de l'Europe ont un niveau de renouvellement plus élevé à la limite Paléocène-Éocène [5]. Les paléoenvironnements des formations oligocènes de Bingerville (Côte d'Ivoire) sont caractérisés à partir de l'analyse des palynofaciès [6]. Un recueil raffiné de la marge ouest-africaine sur la taxonomie et la phytoécologie des palynomorphes et des palynomorphes sans pollen est produit [7]. Le passage Paléocène-Eocène au Cameroun correspond à un renouvellement de la faune et de la flore [8, 9]. Cependant, en Côte d'Ivoire, des changements significatifs de la flore au Tertiaire (passage Paléocène-Eocène) ne sont pas observés [10]. Cet auteur stipule que le climat serait froid au Paléocène inférieur, légèrement chaud au Paléocène supérieur, de type tropical chaud et sec de l'Eocène inférieur à moyen tandis qu'à l'Eocène supérieur, le climat est chaud et humide. La localité de Fresco est paléogéographiquement attribuée, à une province tropicale à subtropicale [11]. Des études montrent que l'Est de la marge d'Abidjan est gouverné par un climat subtropical à tropical humide [12]. L'évolution paléoécologique au cours du Néogène indique le passage d'un écosystème marin côtier au Miocène inférieur à un écosystème continental à littoral au Mio-Pliocène et au Plio-Quaternaire [13]. La reconstitution des environnements de dépôt au Sud-Ouest de la France [14] et l'analyse biostratigraphique ayant abouti à une reconstruction paléoenvironnementale de la limite Cénomanien-Turonien en Côte d'Ivoire [15] sont respectivement établies. Si les résultats de ces nombreux travaux de recherches sont fructueux pour la détermination des paléoenvironnements en générale, ils ne sont pas suffisants pour la reconstitution des paléoenvironnements paraliques qui sont en particulier le lieu de développement des mangroves [16]. Cet article vient aider à comprendre le fonctionnement des milieux côtiers (Bassam). L'objectif étant de révéler le fonctionnement et la succession des différents écosystèmes survenus depuis le passage Paléocène-Eocène jusqu'au Mio-Pliocène.

2. Méthodologie

Ce présent travail est réalisé à partir d'échantillons de forage de 158 m de profondeur (W3°41'7.77" ; N 5°11'34.49") exécuté dans la localité de Grand-Bassam (*Figure 1*).

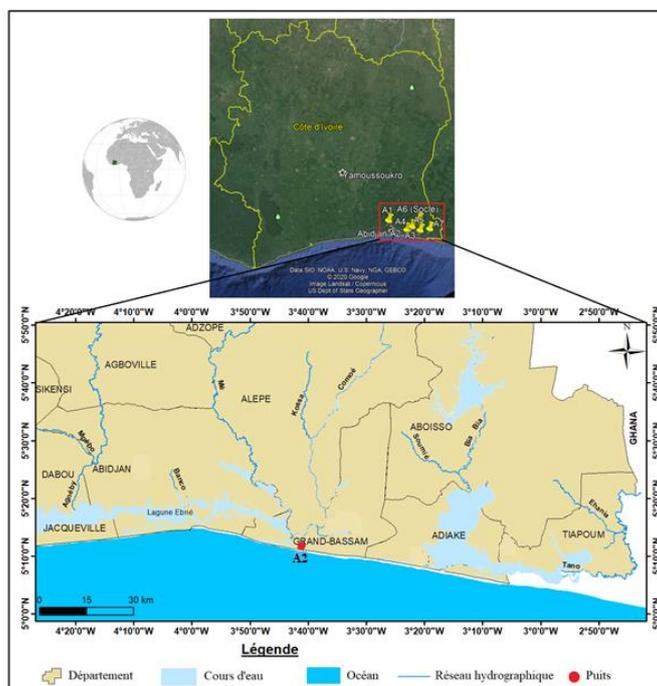


Figure 1 : Situation géographique du forage A2

Des échantillons sélectionnés ont subi un traitement chimique selon une série d'attaques successives : une attaque à l'acide chlorhydrique (HCl) à 37 % à froid pour dissoudre les carbonates, les nitrates et une bonne partie des roches salines contenus dans les sédiments. Une attaque à l'acide fluorhydrique (HF) à 70 % à froid pour dissoudre tous les silicates. Une attaque à l'acide chlorhydrique (HCl) à 37 % à chaud pour dissoudre les fluosilicates formés au cours de la précédente attaque et une attaque à l'acide nitrique (HNO₃) à 68 % à froid ayant pour but d'éclaircir le matériel palynologique et le contenu en rétine organique afin de confectionner des lames palynologiques. Le dispositif d'observation est un microscope de marque Motic. La position des espèces sur les lames est donnée à l'aide d'une lame repère (le graticule England Finder). Les palynomorphes observés ont fait l'objet d'analyses paléoenvironnementales et paléocéologiques.

2-1. Palynostratigraphie et paléoenvironnements

La palynostratigraphie est établie grâce à des palynomorphes caractéristiques mais surtout des associations palynologiques (Paléocène au Mio-Pliocène) utilisées par des auteurs pour déterminer les étages. *Kallosphaeridium yorubaense* est utilisé pour marquer le passage Maastrichtien supérieur-Paléocène inférieur dans les formations d'Ouled Haddou au Sud-Est du Maroc [17] et le Paléocène en Côte d'Ivoire, Ghana, Nigéria et Gabon [5, 15]. *Retitricolporites irregularis* apparaît à l'Eocène au Ghana [18], au Paléocène supérieur au Nigeria [19] et à l'Eocène inférieur au Cameroun [20]. L'association de *Lejeunecysta globosa*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Magnastriatites howardii*, *Selenopemphix nephroides* et *Verrucatosporites usmensis* caractérise l'Oligocène [15]. *Magnastriatites howardii* indique le passage Oligocène-Miocène inférieur [21]. *Cordosphaeridium sp.* et *Tuberculodinium vancomampoeae* indiquent le Miocène inférieur [10]. L'abondance de *Batiacasphaera (bergernensis ?)* marque le passage du Miocène

inférieur à moyen [22]. L'identification des différents palynomorphes permet de déterminer les environnements de dépôt ainsi que les variations paléoclimatiques suggérées. Les éléments du résidu palynologique sont d'origines diverses [23] : Continental : débris végétaux cuticulaires de bois ou lignites, spores, grains de pollen, débris de carapace d'Euryptérides ; Lacustre : spores de plantes aquatiques, débris d'algues, phytoplanctons d'eau douce ; Lagunaire ou marine : phytoplancton marin (Péridiniens), acritarches, chitinozoaires, sicules de graptolites, scolecodontes, test chitineux de foraminifère, diatomées etc.

2-2. Évolution et stratégie adaptative de vie

Pour survivre, les organismes adoptent deux types de stratégies « r » et « K » (Figure 2) de vie [24 - 27]. Un groupe peut changer de stratégie dans l'espace et dans le temps pour assurer sa survie.

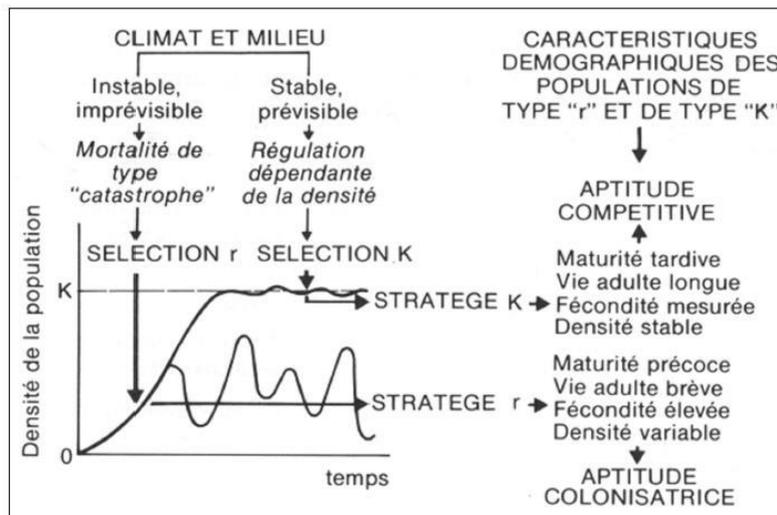


Figure 2 : Résumé des stratégies adaptatives de vie

2-3. Organismes et crises écologiques

Les diverses stratégies (Figure 3) sont bien exprimées au moment des crises qui rythment l'évolution. On peut distinguer cinq groupes d'espèces [29] : les exterminées qui sont toutes les populations éliminées de stratégie « K », les profiteurs qui sont rares et exceptionnellement adaptés aux conditions survenues lors de la crise mais ne survivant pas à la crise, les survivants pré-adaptés qui ont un caractère leur permettant de franchir la crise (stratégie « K »), les survivants généralistes qui sont tolérants pour leurs conditions de vie et vivant dans n'importe quelles conditions (stratégie « r ») et les survivants taxons « Lazare » qui semblent disparaître pendant la crise mais qui réapparaissent ensuite lorsque les conditions néfastes ont disparu. Les formes de stratégie « K » trouvent localement un refuge qui leur permet de laisser passer la crise et les formes de stratégie « r » par la progénèse créent des lignées nouvelles en reprenant progressivement une stratégie « K ».

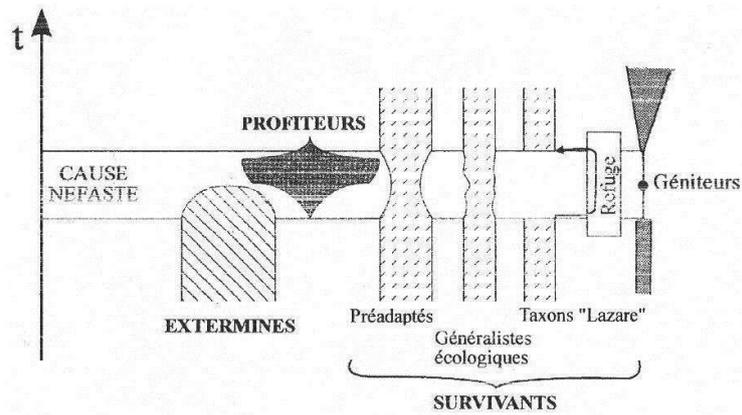


Figure 3 : Divers comportements des organismes vivants lors d'une crise écologique

3. Résultats

3-1. Contenu palynologique des sédiments

Les spores et grains de pollens identifiés dans le forage sont : *Retitricolporites irregularis*, *Momipites* sp., *Retistephanocolpites williamsii*, *Pachydermites diderixii*, *Laevigatosporites ovatus*, *Baculatisporites* sp., *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Verrucatosporites usmensis*, *Polypodiaceoisporites regularis*, *Magnastriatites howardii*, *Spinizonocolpites* sp., *Longapertites inortatus*, *Michrystridium* sp., *Spirosyncolpites spiralis*, *Triorites* sp., *Retitriporites* sp., *Psilastephanocolporites puntatus*, *Psilastephanocolporites perforatus*, *Spirosyncolpites brunii*, *Psilatricolporites* sp1., *Psilatricolporites* sp2., *Deltoidosporites minor*, *Chromotriletes* et *Monosulcites* sp. Les dinokystes rencontrés sont : *Kallosphaeridium yorubaense*, *Spiniferites ramosus*, *Operculodinium centrocarpum*, *Batiacasphaera bergernensis?*, *Leiosphaeridia* sp., *Lejeunecysta globosa*, *Selenopemphix nephroides*, *Cordosphaeridium* sp., *Tuberculodinium vancamampoe*, *Paleocystodinium golzowensis* et *Polysphaeridium* sp. Les microforaminifères rencontrés sont : *Trochiliascia* et *Rhodonascia* Les autres formes associées sont : mollusques (gastéropodes), cuticules, résines, *Pluricellaesporites* sp. *Pediastrum* (algues d'eau douce).

3-2. Palynostratigraphie

Quatre étages sont identifiés grâce à des espèces dites caractéristiques généralement associées à de nombreux autres taxons. En absence de palynomorphe caractéristiques, l'étage est déterminé sur la base des associations palynologiques d'une part et sur la disparition et/ou réapparition de certains palynomorphes d'autre part.

3-2-1. Paléocène - Eocène inférieur (158 m - 140 m)

Kallosphaeridium yorubaense est caractéristique du passage Paléocène-Eocène inférieur. Il est ici associé à *Psilatricolporites crassus*, *Paleocystodinium golzowense*, *Spirosyncolpites brunii*, *Retitricolporites irregularis*, *Polydiaceoisporites regularis*, *Leiosphaeridia* et au groupe *Momipites*.

3-2-2. Oligocène (140 m - 121 m)

Lejeunecysta globosa est l'espèce caractéristique de l'Oligocène. Elle est ici associée à *Spirosyncolpites spiralis*, *Magnastriatites howardii*, *Selenopemphix nephroides* et *Verrucatosporites usmensis*. L'Oligocène repose en discordance sur l'Eocène inférieur.

3-2-3. Miocène inférieur (121 m - 81 m)

L'association *Polysphaeridium sp.*, *Selenopemphix nephroides*, *Cordosphaeridium sp.*, *Tuberculodinium vancamampoae*, *Magnastriatites howardii* et d'*Operculodinium centrocarpum* ainsi que la disparition de *Spinizonocolpites sp.*, indiquent le Miocène inférieur.

3-2-4. Miocène moyen - Pliocène (81 m - 36 m)

L'association de *Crassoretitriteles vanraadshooveni*, *Selenopemphix nephroides*, *Tuberculodinium vancamampoae* et *Batiacasphaera (bergernensis ?)* est considéré comme caractéristique du Miocène moyen à Pliocène.

3-3. Évolution paléobotanique et paléophytoécologie

Trois paléobotaniques (A, B et C) majeures étroitement liés aux phénomènes de transgressions et régressions marines ont été déterminées en fonction des palynomorphes rencontrés.

3-3-1. Paléobotanique A (158 m - 59 m)

Elle a évolué du Paléocène au Miocène inférieur et comprend trois stades A1 (158 m – 140 m), A2 (140 m-81 m) et A3 (81 m-59 m). Le stade A1 (mangrove à forte influence marine) comprend les ptéridophytes (*Baculatisporites sp.*; *Laevigatosporites ovatus*), les algues d'eau douce (*Pediastrum*), les gymnospermes (dont les résines) et les angiospermes (*Pachydermites diderixii*) mais aussi des cuticules. Les ptéridophytes sont toutes des plantes hygrophiles des zones bordières des marécages salins, saumâtres et d'eau douce, *Baculatisporites* étant un végétal cosmopolite. *Pachydermites diderixii* est une plante des marécages côtiers appartenant aux Guttiféracées. Cette zone est donc dominée par des plantes hygrophiles. Les proportions sensiblement égales (**Figure 4**) montrent qu'il s'agit d'une mangrove. Les cuticules proviendraient des Ptéridophytes en décomposition. Les gymnospermes et les ptéridophytes sont en régression au profit des algues et des angiospermes qui prolifèrent.

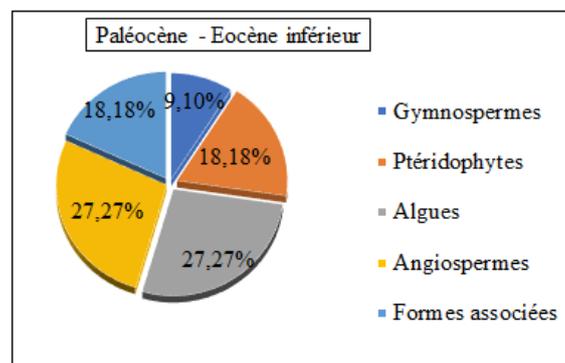


Figure 4 : Proportion relative des végétaux au stade A1

Le stade A2 (Mangrove à forêt dense côtière) est marqué par la croissance exponentielle de *Pachydermites diderixii* et la disparition brutale de *Baculatisporites sp.* Par ailleurs, les ptéridophytes (*Verrucatosporites usmensis*, *Crassoretitriteles vanraadshooveni* et *Magnastriatites howardii* (fougère)) et le gymnosperme (*Spinizonocolpites sp.*) font leurs apparitions. La proportion des algues (*Pediastrum*, *Chromotriteles*) diminue régulièrement. On a également *Longapertites inortatus* ainsi que d'autres formes associées que sont *Michrystridium sp.*, et les cuticules. Les cuticules proviendraient des angiospermes en décomposition. Pendant ce stade intermédiaire A2 (Oligocène-Miocène inférieur), les espèces végétales qui ont initié la paléobotanique A, connaissent un épanouissement. Deux groupes (1 et 2) d'espèces végétales sont

distingués : Le groupe 1 (**Figure 5A**) concerne les espèces dont la proportion augmente rapidement pour atteindre sa valeur maximale à 121 m (fin Oligocène) avant de décroître jusqu'à 104 m (mi Miocène inférieur) pour les ptéridophytes (*Verrucatosporites usmensis* et *Magnastriatites howardii*) ou à 81 m (fin Miocène inférieur) pour les angiospermes (*Pachydermites diderixii*) avant de disparaître. La présence de *Pachydermites diderixii* et de cuticules montre le passage d'un milieu marin côtier à un milieu continental. La présence de *Magnastriatites howardii*, *Verrucatosporites usmensis*, de l'angiosperme *Psilastephanocolporites perforatus* indique une forêt dense humide ou littorale partiellement inondée à l'Oligocène. La disparition de ces espèces a été progressive. Le groupe 2 (**Figure 5B**) concerne les espèces dont la proportion augmente exponentiellement à partir de 121 m (début Miocène inférieur) pour atteindre leurs pics à 81 m (fin Miocène inférieur). Il s'agit des ptéridophytes (*Crassoretitriletes vanraadshooveni* et *Laevigatosporites ovatus*), de l'angiosperme *Spirosyncolpites brunii* ainsi que les résines qui suggèrent la présence d'un gymnosperme aux canaux sécréteurs (*Pinus halepensis*). Le développement de mangroves est favorisé par des fougères d'eau douce (*Crassoretitriletes vanraadshooveni* et *Laevigatosporites ovatus*) et certaines algues dont *Pediastrum*. On y trouve *Psilatricolporites sp1.*, *Psilatricolporites sp2* associés à *Pachydermites diderixii*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Magnastriatites howardii* *Spirosyncolpites brunii* et *Spinizonocolpites sp.* caractérisant un écosystème de plaine côtière marécageuse. La présence de *Pachydermites diderixii* et de *Spinizonocolpites* (palmiers de type *Nypa*) montre un écosystème de type mangrove dans un environnement marin marginal. L'eau marine serait à l'origine des inondations périodiques. Le retrait de la mer laisse des marres favorisant la biodiversité floristique dont la disparition a été brusque.

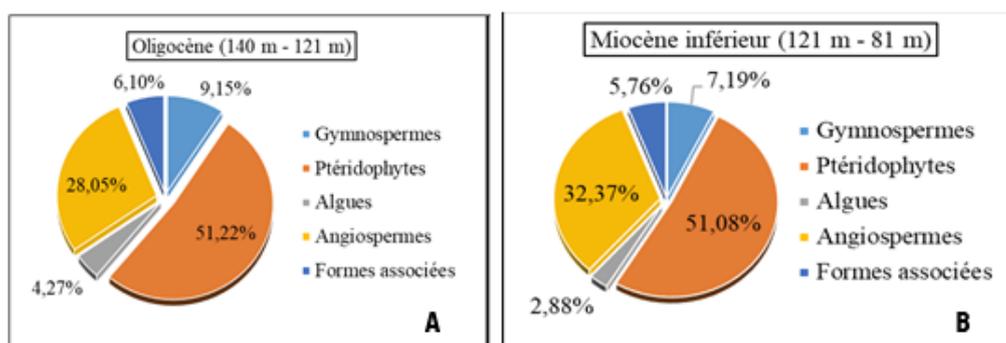


Figure 5 : Proportion relative des végétaux du premier (A) et deuxième (A) groupe du stade A2

Le stade A3 (mangrove marginale) qui débute avec la disparition brutale de 66,67 % des espèces végétales à la fin du Miocène inférieur marque la fin de la paléobotanique A. seuls les ptéridophytes représentés par *Laevigatosporites ovatus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Spinizonocolpites* ou *Nipa* (ancêtres de palmiers actuels) et les algues représentées par l'espèce *Pediastrum* y sont rencontrés. Les angiospermes et les gymnospermes n'y figurent plus. Cette disparition massive et brutale de certaines espèces végétales traduit des changements environnementaux.

3-3-2. Paléobotanique B (59 m-47 m)

C'est une forêt ouverte arborescente et ombrophile (Miocène moyen – Pliocène) qui débute par la réapparition de *Verrucatosporites usmensis* et *Chromotriletes* (algue verte planctonique). Ces deux espèces connaissent une disparition brutale. Les espèces *Pachydermites diderixii* et *Baculatisporites sp.*, ainsi que les deux premières espèces ont disparu brusquement marquant ainsi la fin de la paléobotanique B. *Chromotriletes* constitue la couche au sol de la végétation présente. Les ptéridophytes (*Verrucatosporites usmensis* et *Polypodiaceoisporites irregularis* ou *Pétris*) sont les plus dominants (**Figure 6**) et indiquent une forêt ouverte arborescente et ombrophile dans un milieu continental.

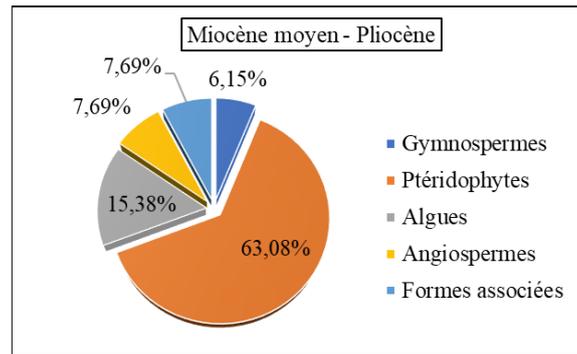


Figure 6 : Proportion relative des végétaux de la paléobotanique B

3-3-3. Paléobotanique C (47 m-36 m)

Cette dernière paléobotanique est un milieu marin ouvert qui se particularise par l'absence totale des palynomorphes continentaux. Il s'est produit une transgression marine. La proportion de *Spiniferites ramosus* y abonde (19,05 %) mais celle des microforaminifères reste dominante (71,43 %). Considérant l'écologie des microforaminifères et celle du groupe *Spiniferites* (traceur de salinité), il est possible de confirmer ici un environnement marin ouvert dans un climat chaud.

3-4. Crises écologiques et comportements des organismes

La détermination de ces différents types de comportements (Figure 7) ou écologie fonctionnelle est faite en considérant le Paléocène-Eocène (fond du forage) comme le début de l'évolution.

3-4-1. Les exterminés

Ces organismes apparus au Paléocène-Eocène ont disparu soit à la fin de l'Eocène (*Psilatricolporites crassus*, *Kallosphaeridium yorubaensis*, *Paleocystodinium golzowense* et *Momipites sp.*), soit à l'Oligocène (*Spirosyncolpites spiralis* et *Leiosphaeridia sp.*) ou encore à la fin du Miocène inférieur (*Spirosyncolpites brunii*) et ne réapparaissent plus dans les étages suivants leur disparition.

3-4-2. Les profiteurs

Ils ont profité des conditions environnementales défavorables ayant présidé à la disparition des premiers organismes pour faire leur apparition à l'Oligocène. Il s'agit de *Lejeunecysta globosa*, *Deltoidosporites minor*, *Psilastephanocolporites punctatus*, *Psilastephanocolporites perforatus* et *Retitriporites sp.* Cependant, ces organismes n'ont pas survécu à cette crise.

3-4-3. Les survivants taxons « Lazare »

Les dinokystes *Batiacasphaera*, *Selenopemphix nephroides*, *Polysphaeridium sp.*, *Cordosphaeridium sp.*, *Spiniferites ramosus*, *Operculodinium centrocarpum* et les spores et pollens tels que *Tuberculodinium vancampopae*, *Laevigatosporites ovatus*, *Pachydermites diderixii*, *Polypodiaceoisporites irregularis*, *Verrucatosporites usmensis*, *Baculatisporites sp.*, *Magnastriatites howardii*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Spinizonocolpites sp.* et *Retitricolporites irregularis* qui disparaissent (ils se sont réfugiés) dans certains étages lorsque les conditions environnementales leurs sont défavorables et réapparaissent lorsque les conditions de vie sont rétablies dans d'autres étages sont dits taxons « Lazare ». Ils apparaissent dans plusieurs étages car ils ont survécu aux changements environnementaux en développant des stratégies r ou K.

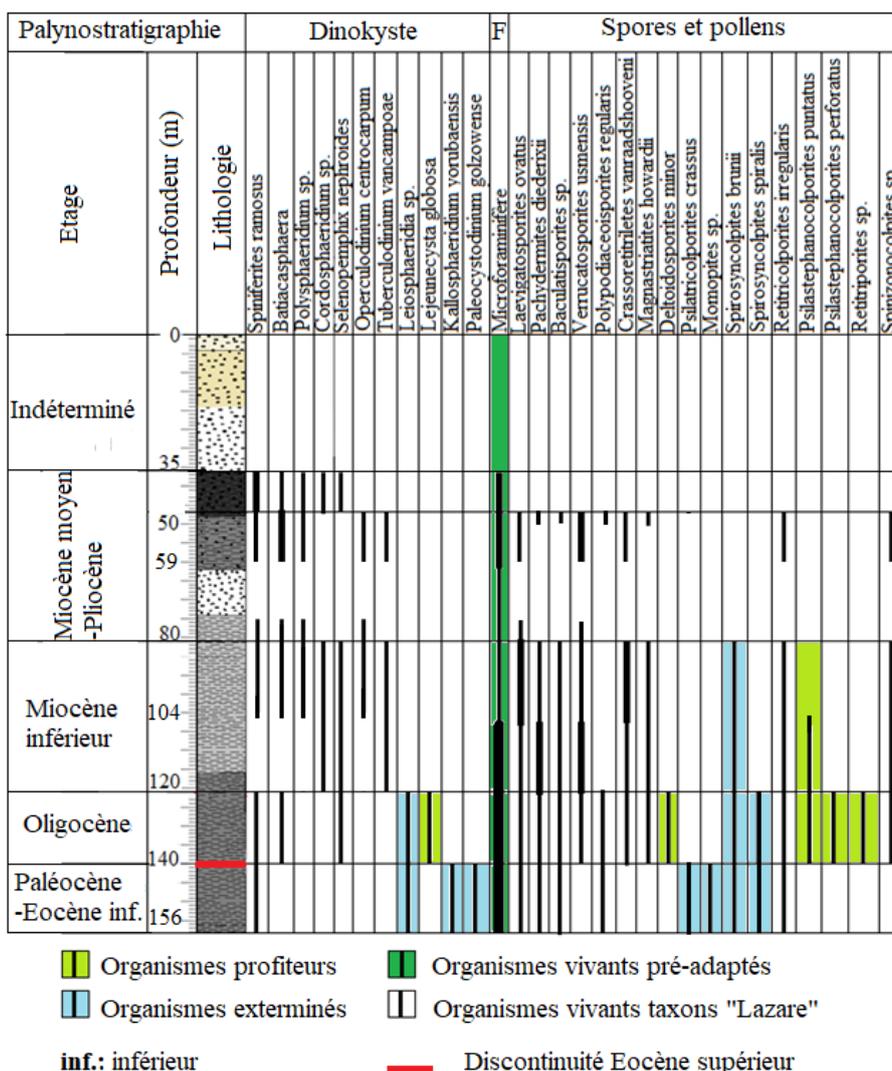


Figure 7 : Comportements des organismes vivants face aux crises écologiques

3-4-4. Les survivants « pré-adaptés »

Du Paléocène-Eocène jusqu'au Miocène inférieur, les microforaminifères dont l'évolution (Figure 8) n'est pas interrompue ont adopté des stratégies de vie pour survivre aux changements environnementaux. Ils sont de petites tailles et très nombreux entre 150 m et 59 m de profondeur. Cette forte mortalité montre que ces populations sont dans un milieu instable. Les survivants pré-adaptés ont adopté une stratégie « r » face à une eutrophisation alguaire à l'origine de la forte mortalité des microforaminifères. A partir de 59 m jusqu'à 36 m, les microforaminifères sont de grandes tailles et moins nombreux. Il y a une faible mortalité montrant ainsi que les conditions environnementales du milieu sont devenues stables : il s'agit d'une stratégie « K ».

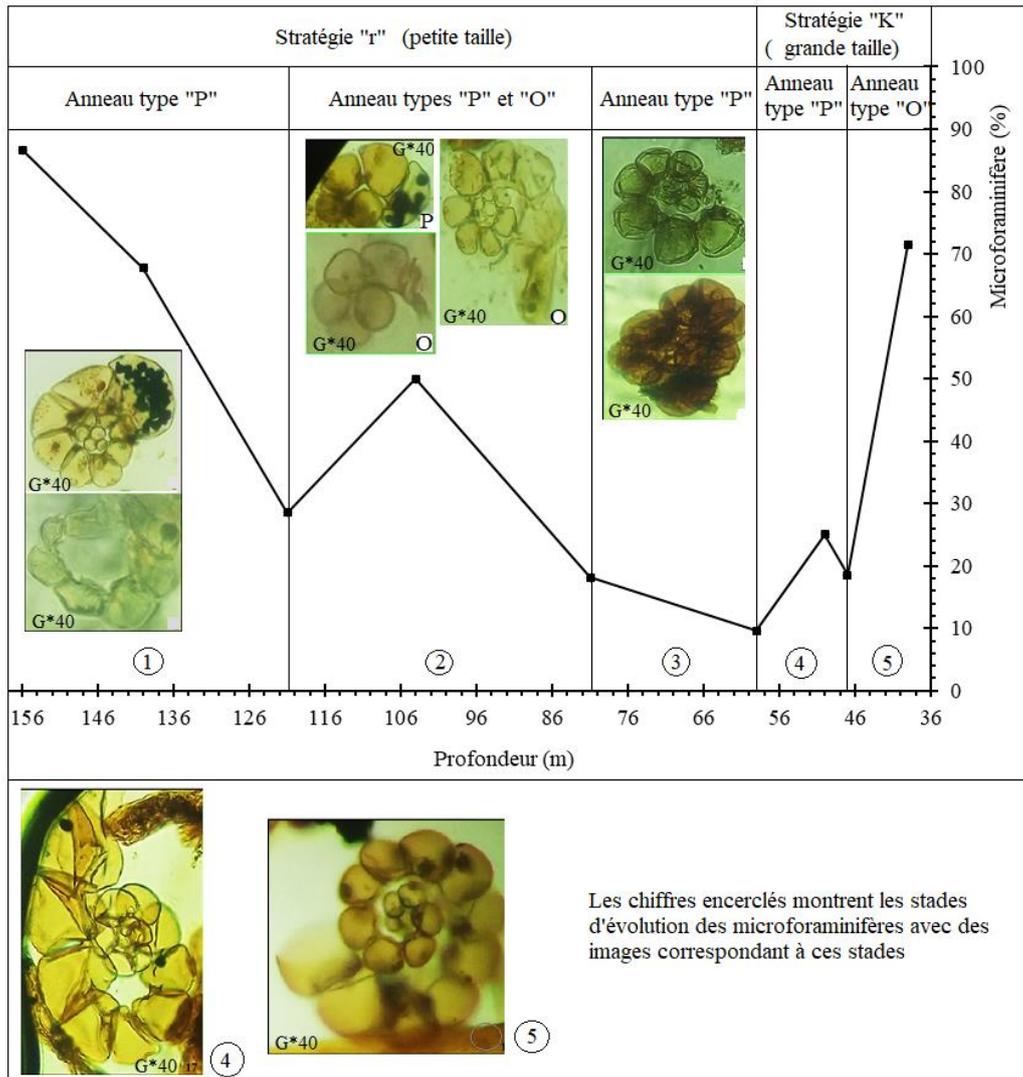


Figure 8 : Caractère morphofonctionnel et évolution des microforaminifères

Certains végétaux dont *Laevigatosporites ovatus* (Figure 9) ont pu développer des aptitudes adaptatives et survivre à ces changements. Il est passé d'une stratégie de type « r » de condition instable (A et B) suite aux changements environnementaux à une stratégie de type « K » de condition plus stable (C). Ce changement est matérialisé par la fente et la taille identifiées au niveau de cette forme palynologique.

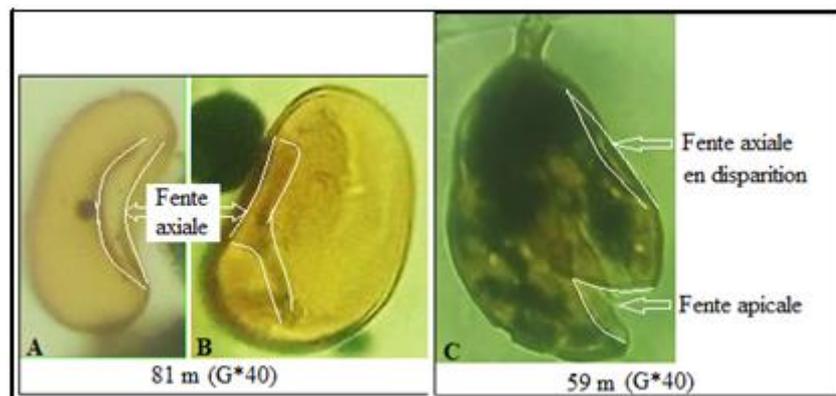


Figure 9 : *Laevigatosporites ovatus* avant (A et B) et après (C) la crise écologique

Sur l'ensemble des organismes considérés (28), on distingue 17,2 % de profiteurs, 24,1 % d'exterminés, 3,4 % de survivants pré-adaptés et 55,2 % de survivants taxons « Lazare ». Dans la nature, les organismes vivants adoptent donc des comportements de type taxons « Lazare » pour survivre aux conditions de vie précaires. Ils se cachent et ne réapparaissent que lorsque les conditions de vie sont rétablies. Le constat à nos jours est l'exemple typique des escargots en saison sèche.

4. Discussion

4-1. Palynostratigraphie locale

4-1-1. Paléocène-Eocène

Kallosphaeridium yorubaense est utilisé pour marquer le passage Maastrichtien supérieur-Paléocène inférieur dans les formations d'Ouled Haddou au Sud-Est du Maroc [17] et le Paléocène en Côte d'Ivoire, Ghana, Nigéria et Gabon [5, 15, 30]. Il est encore connu comme datant le Paléocène supérieur jusqu'à l'Eocène inférieur au Nigeria [31]. *Palaeocystodinium golzowense* caractérise l'Eocène [27], *Polydiaceoisporites regularis* caractérise l'Eocène et *Spirosyncolpites brunii* caractérise l'Eocène inférieur [10]. *Retitricolporites irregularis* apparaît à l'Eocène au Ghana [18], au Paléocène supérieur au Nigeria [19] et à l'Eocène inférieur au Cameroun [20]. Le passage Paléocène supérieur-Eocène inférieur au Cameroun est matérialisé par *Spirosyncolpites spiralis* et *Retitricolporites irregularis* [5]. *Spirosyncolpites spiralis* apparaît au Paléocène au Soudan [33] et à l'Eocène au Cameroun [28]. Au Cameroun, *Psilatricolporites crassus* est catalogué Eocène inférieur et moyen [28]. Dans les Caraïbes et au Nigeria, cette espèce semble caractériser l'intervalle Paléocène terminal-Pléistocène [34]. En Amérique du Sud, elle est cataloguée Eocène inférieur-Eocène moyen [35]. *Leiosphaeridia* et le groupe *Momipites* sont datés Eocène supérieur (Bartonian ou Priabonien)-Oligocène inférieur (Rupélien) [36]. Ce passage Paléocène-Eocène a été identifié à Fresco (Côte d'Ivoire) [11]. Les angiospermes constituent l'espèce végétale dominante (27,27 %). Les insectes (*Ascaridae*) rencontrés dans cette formation auraient contribué à leur prolifération [37]. Ces résultats sont identiques à d'autres travaux [10]. L'auteur ajoute que le passage Paléocène-Eocène correspond au PETM estimé à 5°C dans les eaux profondes [38]. La présence de *Palaeocystodinium golzowense* (Eocène inférieur) mentionnée qu'en Côte d'Ivoire [15] atteste ce réchauffement. Au Paléocène supérieur, l'influence marine se faisant moins importante [9].

4-1-2. Oligocène

L'association de *Lejeunecysta globosa*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Magnastriatites howardii*, *Selenopemphix nephroides* et *Verrucatosporites usmensis* caractérise l'Oligocène [6, 15]. *Magnastriatites howardii* indique le passage Oligocène-Miocène inférieur [21].

4-1-3. Miocène inférieur

Polysphaeridium sp., est utilisé pour déterminer le Miocène inférieur [39]. On observe également une abondance d'*Operculodinium centrocarpum* et une présence de *Selenopemphix nephroides* caractérisant le Miocène inférieur [40, 41]. *Cordosphaeridium sp.* et *Tuberculodinium vancampae* indiquent le Miocène inférieur [10]. La disparition de *Spinizonocolpites sp.* ou *Nipa* tout comme la présence de *Magnastriatites howardii* indiquent le Miocène inférieur [42].

4-1-4. Miocène moyen – Pliocène

L'abondance de *Batiacasphaera (bergensis ?)* marque le passage du Miocène inférieur à moyen [43]. Cette formation renferme également *Crassoretitrites vanraadshooveni* caractérisant le Miocène moyen au Nigéria [32]. *Selenopemphix nephroides* considéré comme indicateur du passage de l'Eocène moyen à l'Holocène [44], son association avec *Tuberculodinium vancammpoae* est souvent tributaire à la période allant du Miocène supérieur au Pliocène [45]. Le dinokyste *Batiacasphaera* s'étend du Crétacé au Miocène supérieur [32].

4-2. Paléoenvironnement

Au Paléogène, en Europe centrale comme en Louisiane aujourd'hui, des forêts marécageuses (mangroves) sont également observées avec des arbres à feuilles caduques et persistantes dont les Pinacées (Pins) [3, 46]. La forte présence de résines atteste l'existence de Pins (*Pinus*) au Tertiaire et rend nos résultats conformes à ceux de ces auteurs. Certains travaux confirment que l'Eocène inférieur est dominé d'angiosperme, avec un climat chaud tropical humide [10]. Nos résultats l'attestent avec la présence de *Pachydermites diderixii* et *Spirosyncolpites spiralis*. Des travaux antérieurs montrent que les ptéridophytes se sont développés à l'ombre des angiospermes [11, 46]. Ici, la forte proportion des fougères (ptéridophytes) et des angiospermes atteste ces observations. Nos résultats indiquent que la paléoécologie du Miocène inférieur serait un écosystème de type mangrove dans un environnement marin marginal avec un climat chaud et humide. Ils se confirment avec d'autres travaux qui évoquent un écosystème marin côtier [13, 21, 47].

4-3. Mécanismes d'adaptation des organismes aux changements paléoenvironnementaux

L'étude paléoécologique a révélé des stratégies « r » et « K » développées par les organismes dans la nature [20, 28, 48] comme mécanismes d'adaptation aux changements environnementaux. On distingue les plantes dites « en équilibre stationnaire » à stratégie « K », des plantes colonisatrices ou opportunistes à stratégie « r » [45]. Ce travail montre que les microforaminifères ont observé la stratégie « r » du Paléocène-Eocène au Miocène inférieur puis la stratégie « K » au Miocène moyen-Pliocène. Les individus à stratégie « r » sont nombreux et de petites tailles tandis que ceux à stratégie « K » sont de grandes tailles et moins nombreux [18, 20, 24, 44]. L'évolution paléoécologique est soit primaire (Paléocène-Eocène jusqu'au Miocène inférieur), soit secondaire (Miocène moyen-Pliocène) [44]. Des espèces entretiennent des relations de types amensalisme par télétoxie avec d'autres espèces partageant le même milieu de vie [27]. Ce type de relation est observé dans les forêts de pin d'Alep [27]. L'auteur explique que les aiguilles des pins tombées par terre secrètent des substances toxiques empêchant ainsi la formation des strates arbustives et herbacées. Le cas révélé dans ce travail concerne certaines algues (*Pediastrum*) et des pins (producteurs de résines) qui secrètent des toxines tuant des microforaminifères et des escargots. La flore et la faune connaissent un renouvellement au passage Paléocène-Eocène inférieur comme au Cameroun [8, 9]. L'évolution écologique a atteint le stade climacique à l'Oligocène après une perturbation environnementale majeure (régression marine) à l'Eocène moyen et supérieur [44]. Les profiteurs [29, 46] ou opportunistes [29, 45] sont *Lejeunecysta globosa*, *Deltoidosporites minor*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Psilastephanocolporites puntatus*, *Psilastephanocolporites perforatus*, *Retitriporites sp.*, *Spinizonocolpites sp.*

5. Conclusion

Il ressort de ce travail qu'au Tertiaire, les ptéridophytes se sont développés à l'ombre des angiospermes qui ont connu une prolifération significative. Les gymnospermes ont par contre régressé. L'écosystème était de type mangrove à forte influence marine au Paléocène-Eocène avec une abondance d'angiospermes et d'algues. Les

algues ont considérablement diminué au profit des ptéridophytes et des angiospermes qui prolifèrent jusqu'au Miocène inférieur. L'écosystème devient une forêt dense côtière partiellement inondée à l'Oligocène puis une mangrove marginale du Miocène inférieur à moyen et une forêt ouverte arborescente ombrophile du Miocène moyen à Pliocène. L'évolution révèle trois types de comportements des organismes. Ce sont les exterminés, les profiteurs et les survivants dont les pré-adaptés et les taxons « Lazare ». Ces derniers sont dominants dans la nature. Les microforaminifères sont des survivants pré-adaptés capables de se métamorphoser selon des stratégies « r » ou « K » pour s'adapter aux nouvelles conditions du milieu.

Références

- [1] - B. R. SOUMAYA, "Reconstitution des paléoenvironnements et des événements extrêmes au cours du Quaternaire à l'oued El Akarit (Golfe de Gabès, Sud de la Tunisie), Océanographie". Thèse unique, Université de Perpignan ; Université de Sfax (Tunisie), (2016) 209 p.
- [2] - L. LONDEIX, "Quantitative biostratigraphical ranges of some late Cenozoic species of the dinoflagellate genus *Spiniferites* and taxonomic considerations", *Palynology*, Vol. 42, (2018) 17 p.
- [3] - A. DE VERNAL et R. J. MOTT "Palynostratigraphie et paléoenvironnements du Pléistocène supérieur dans la région du lac Bras d'Or, île du Cap-Breton, Nouvelle-Écosse", *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 23, (2011) 491 - 503 p.
- [4] - S-M POPESCU, "Végétation, climat et cyclostratigraphie en Paratéthys centrale au Miocène supérieur et au Pliocène inférieur d'après la palynologie", Thèse, Université Claude Bernard - Lyon I, (2001) 234 p.
- [5] - J. J. HOOKER et M. E. COLLINSON, "Mammalian faunal turnover across the Paleocene-Eocene boundary in NW Europe: the roles of displacement, community evolution and environment", *Austrian Journal of Earth Sciences*, Vol. 105/1, (2012) 17 - 28 p.
- [6] - G. R. BIE, N. J-P. YAO, J. M. GBANGBOT, F. FOFANA, M. DOUKOURE et Z. B. DIGBEHI, "Caractérisation paléoenvironnementale des formations de l'Oligocène de Bingerville, Côte d'Ivoire, à partir de l'analyse des palynofaciès", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, Vol. 26, (2015) 24 p.
- [7] - A. ONEMA, F. MARRET, R. DULLER et P. OSTERLOFF, "Taxonomy and phytoecology of palynomorphs and non-pollen palynomorphs : a refined compendium from the West Africa Margin", *Biodiversity Int J. Vol.*, 3 (5) (2019) 188 - 200 p.
- [8] - C-O. MBESSE, E. ROCHE et S. NGOS, "La limite Paléocène-Eocène dans le Bassin de Douala (Cameroun), Biostratigraphie et essai de reconstitution des paléoenvironnements par l'étude des Dinoflagellés, Université de Douala, Cameroun", *Geo-Eco-Trop.*, (2012) 83 - 119 p.
- [9] - C. O. MBESSE, "La limite Paléocène Eocène dans le bassin de Douala : Biostratigraphie et essai de reconstitution des paléoenvironnements, Palynostratigraphie du Tertiaire inférieur", Thèse PhD, Univ. de Yaoundé I, (2014) 221 p.
- [10] - G. R. BIE, "Evolution des microflores du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire (marge d'Abidjan) au cours du Cénozoïque : Palynostratigraphie, Paléobotanique, Evolution des environnements de dépôt et maturation de la matière organique", Thèse Doctorat, Univ. Félix Houphouët Boigny, (2012) 218 p.
- [11] - K. E. GUEDE, "Etude comparée de la palynoflore (kystes de dinoflagellés) aux passages Crétacé-Paléogène (K-Pg) et Paléocène-Eocène (P-E) du Nord-Ouest du Maroc et du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire : Systématique, Biostratigraphie, Paléoenvironnements et Paléobiogéographie", Thèse de Doctorat, Université MOHAMMED V, Rabat, (2016) 351 p.
- [12] - B. I. OUATTARA, "Impacts de la crise biologique intermédiaire du Cénomanién-Turonien dans Le golfe de Guinée : Cas du bassin sédimentaire de Côte D'ivoire, A partir des études Sédimentologique, Géochimique, Chimiostatigraphique et palynostratigraphique", Thèse Doctorat, Univ. Félix Houphouët Boigny, (2017) 287 p.

- [13] - Z. D. A. BEHI, N. J-P. YAO, K. A. KOUASSI et Z. B. DIGBEHI, "Etude des formations Néogènes traversées dans un puits d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Biostratigraphie et Paléoenvironnement", *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, Vol. 7, (2017) 526 - 538 p.
- [14] - D. PEYROT, D. JOLLY et E. BARRON, "Apport de données palynologiques à la reconstruction paléoenvironnementale de l'Albo-Cénomaniens des Charentes (Sud-Ouest de la France)", Elsevier SAS, *Palevol*, 4 (2005) 151 - 165 p.
- [15] - Z. B. DIGBEHI, K. K. K. TOÉBI, K. L. ADOPO, K. E. GUÉDÉ, I. TAHI et K. R. YAO, "Palynologie et environnements de dépôt des sédiments d'âge cénomaniens supérieur-maastrichtien inférieur dans le bassin offshore de Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)" *Sciences & Nature*, Vol. 8, (2011) 95 - 105 p.
- [16] - A. O. OMOBORIOWO, K. C. CHIADIKOBI et O. I. CHIAGHANAM, "Depositional Environment and Petrophysical Characteristics of "LEPA" Reservoir, Amma Field, Eastern Niger Delta, Nigeria", *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.*, 10 (2) (2012) 38 - 61 p.
- [17] - S. HAMID, S. LOUWYEB et T. ABDELKABIR, "Dinoflagellate cysts from the Cretaceous—Paleogene boundary at Ouled Haddou, southeastern Rif, Morocco : Biostratigraphy, Paleoenvironments and Paleobiogeography", *Scientific Institute*, Vol. 34, N°1 (2010) 90 - 124 p.
- [18] - D. ATTA-PETERS et M. B. SALAMI, "Late Cretaceous to Early Tertiary pollen grains from offshore Tano Basin, Southwestern Ghana", *Revista Española de Micropaleontología*, Instituto Geológico y Minero de España, 36 (3) 2 (004) 451 - 465 p.
- [19] - J. H. GERMERAAD, C. A. HOPPING et J. MULLER, "Palynology of Tertiary sediments from tropical areas", *Review of Palaeobotany and Palynology*, Vol 6, N°3-4 (1968) 189 - 348 p.
- [20] - M. SALARD-CHEBODAEFF, "Palynologie Maestrichtienne et Tertiaire du Cameroun. Etude Qualitative et répartition verticale des principales espèces", *Review of Palaeobotany and Palynology*, Vol. 32, Issue 4, (1979) 401 - 439
- [21] - A. N. ASADU et W. N. OFUYAH, "Palynological investigation of Oligocene-lower Miocene sediments in well Z, offshore Niger delta, Nigeria", *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, Vol. 5, Issue 3 Ver. I (2017) 14 - 20 p.
- [22] - O. C. ADEIGBE, A. O. OLA-BURAIMO, A. O. MORONHUNKOLA, "Palynological characterization of the Tertiary offshore emi-1 well, Dahomey basin, Southwestern Nigeria", *International Journal of Scientific and technology research*, Vol. 2, (2013) 13 p.
- [23] - J. J. CHATEAUNEUF & Y. REYRE, "Eléments de palynologie Applications géologiques, Cours de 3ème cycle en Sciences de la terre", Lab. de paléontologie, Univ. de Genève, Vol. 1, (1974) 345 p.
- [24] - R. BARBAULT, P. BLANDIN, et J. A. MEYER, "Recherches d'écologie théorique, les stratégies adaptatives", Paris, *Maloine S. A. Revue d'Écologie*, tome 35, N°1 (1981) 150 - 152 p.
- [25] - R. BARBAULT, "La vie, un succès durable", Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, *Sciences Naturelles et Sociétés*, Vol. 8, N°1 (2000) 26 - 32 p.
- [26] - F. TARDY, "Caractérisation fonctionnelle des stratégies de compétition pour les ressources aériennes et souterraines au sein d'une gamme d'espèces végétales : application à la régulation biologique des adventices par les plantes de services dans l'agrosystème bananier antillais", Thèse unique, Université de Montpellier, (2015) 180 p.
- [27] - K. E. A SEGARRA, F. SCHUBOTZ, V. SAMARKIN, M. Y. YOSHINAGA, K-U HINRICHS et S. B. JOYE, "High rates of anaerobic methane oxidation in freshwater wetlands reduce potential atmospheric methane emissions", *Nature Communications*, Vol. 6, (2015) 8 p.
- [28] - F. LETHIERS, "Evolution de la biosphère et événement géologique", Editions scientifiques GB - Gordon and Breach, (1998) 321 p. <https://www.amazon.fr/Evolution-biosph%C3%A8re-%C3%A9v%C3%A8nements-g%C3%A9ologiques-Lethiers/dp/9056991248>. Consulté le 03/11/2023

- [29] - SAUCEDE, (2015), consulté le 22-08-2023
<https://biogeosciences.ubourgogne.fr/francais/recherche/publications/publications-2015.html>
- [30] - E. MASURE, J. RAUSCHER, M. JEJAX, M. SCHULER et B. FERRE, “Cretaceous-Paleocene palynology from the Côte d’Ivoire-Ghana transform margin, sites 956, 960, 961 and 962”, *Proceedings of the ocean drilling program, Scientific results*, Vol. 159, (1998) 253 - 276 p.
- [31] - R. E. JAN DU CHENE et S. A. ADIDERAN, “Late Paleocene to early Eocene dinoflagellates from Nigeria. *Cahiers de Micropaléontologie*”, Vol. 481, 1 (9) (1985) 29 - 43 p.
- [32] - J. K. LENTIN et G. L. WILLIAM, “Fossil dinoflagellates, Index to Genera and species”, *Home Canadian Journal of Botany*, Vol. 53, N° 19 (1975) 650 p.
- [33] - D. T. STEAD et M. Z. AWAD, “Tertiary palynology of non-marine sediments, Muglad basin, Sudan”, *Palynology*, Vol. 27, (2003) 247 p.
- [34] - S. I. BANKOLE, E. SCHRANK et B-D. ERDTMANN, “Palynology of the Paleogene Oshosun Formation in the Dahomey Basin, southwestern Nigeria”, *Revista Española de Micropaleontología*, Vol. 39, (2007) 29 - 44 p.
- [35] - A. PARDO-TRUJILLO, C. A. JARAMILLO et F. E. OBOH-IKUENOBE, “Paleogene palynostratigraphy of the Eastern middle Magdalena valley, Colombia”, *Palynology*, 27 (1) (2003) 155 - 178 p.
- [36] - E. RAMIREZ-ARRIAGA, M-H. ENRIQUE, F-O HILDA, O. HELGA, B. P. MERCEDES, “Correlation of the late Eocene—early Oligocene izúcar de Matamoros evaporites (Cuayuca formation) in Mexico based on parsimony analysis of endemicity”, *Palynology*, 32 (2008) 231 - 252 p.
- [37] - V. PERRICHOT, “Environnements paraliques à ambre et a végétaux du Crétacé Nord-Aquitain (Charentes, Sud-Ouest de la France)”, Unpublished thesis, University of Rennes 1, (2003) 191 p.
- [38] - N. J-P. YAO, “Caractérisation sédimentologique, minéralogique, géochimique et biostratigraphique des falaises vives de Fresco : région de Grand-Lahou (Côte d’Ivoire)”, Thèse Doctorat, Univ. Félix Houphouët Boigny, (2012) 239 p.
- [39] - M. L. JOSHUA, “Biostratigraphy and palynofacies of four exploration wells from the albertine graben, Uganda, (2009), consulté le 25/10/2023.
https://www.searchanddiscovery.com/documents/2009/50169lukaye/ndx_lukaye.pdf29p.
- [40] - I. N. OLOTO et C. E. IHUNDA, “Data Acquisition For Forensic And Palynological Studies : A case study From Nigeria”, *inter. journal of Scientific et tech. research*, Vol. 2, (2013) 7 p.
- [41] - M. PALZER-KHOMENKO, M. WAGREICH, M-E. KALLANXHI, A. SOLIMAN, W. KNIERZINGER, M. MESZAR et S. GIER, “Facies, Palaeogeography and stratigraphy of the lower Miocene Traisen, Formation and Wildendürnbach formation (former “Oncophora Beds”) in the molasse zone of lower Austria, *Austrian Journal of Earth Sciences*, Vol. 111/1, (2018) 17 p.
- [42] - N. I. OKECHUKWU et P. U. OBIANUJI, “Palynological age and palaeoenvironment of deposition of Mid- Cenozoic sediments around Umuahia, Niger delta basin, southeastern Nigeria”, *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 117, (2016) 160 - 170 p.
- [43] - O. A. OLA-BURAIMO, O. A. OLUWAJANA, A. OLANIYAN et A. O. OMOBORIOWO, “Palynological Investigation of a Type Section of Early Maastrichtian Arimogija, Okeluse Shale Sequence, Dahomey (Benin) Embayment, Southwestern Nigeria”, *Int. J. of Sce and Emerg. Tech.*, Vol. 3, N°1 (2012) 10 p.
- [44] - O. MAIRE, “Les successions écologiques”, <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/forets-preservation-restoration/successions-ecologiques/Les-successions-ecologiques.pdf>, (2011). Consulté le (18/10/2023)
- [45] - L. SANDRA, J-D LEBRETON et Y. LE MAHO, “Les mécanismes d’adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites”, in “*Rapports, ouvrages, avis et recommandations*”, Académie des sciences, (27 juin 2017) 157 p.

- [46] - Faune et flore des bassins paraliques”, [http://france.elsevier.com /direct /PALEVO/](http://france.elsevier.com/direct/PALEVO/). *Palevol*, 4 (2005) 1 - 6. Consulté le (18/10/2023)
- [47] - G. R. BIE, Z. B. DIGBEHI, K. R. YAO, Y. J. TEA, K. D. KANGAH et I. TAHI, “Stratigraphie palynologique du Maastrichtien Supérieur-Éocène Supérieur du bassin sédimentaire offshore de Côte d’Ivoire, Afrique de l’ouest”, *Inter. Journal of African Studies*, Issue 6, (2012) 40 - 57 p.
- [48] - S. CRASQUIN-SOLEAU, L. CARCIONE et R. MARTINI, “Permian ostracods from the Lercara Formation (Middle Triassic-Carnian?), Sicily, Italy”, *Palaeontology*, Vol. 51, Part 3 (2008) 24 p.