

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION

- 1.1 TRAVAUX ANTERIEURS
- 1.2 CADRE GENERAL
- 1.3 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

DEUXIEME PARTIE : BASES METHODOLOGIQUES

- 2.1 ECHANTILLONAGE
- 2.2 ANALYSE DES ECHANTILLONS POUR L'ETUDE DES MICROFOSSILES
- 2.3 ANALYSE GEOCHIMIQUE
- 2.4 METHODES QUANTITATIVES
- 2.5 REVISION SYSTEMATIQUE ET ESQUISSE PHYLOGENETIQUE

TROISIEME PARTIE : RESULTATS

- 3.1 LITHOSTRATIGRAPHIE
- 3.2 ANALYSE GEOCHIMIQUE
- 3.3 MICROFOSSILES
- 3.4 CLADOGRAMME DES FORAMINIFERES AU NIVEAU DE LA FAMILLE

QUATRIEME PARTIE : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

- 4.1 BIOSTRATIGRAPHIE
- 4.2 PALEOECOLOGIE
- 4.3 PALEOGEOGRAPHIE ET PALEOBIOGEOGRAPHIE

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

PREMIERE PARTIE :

INTRODUCTION

Madagascar fait partie de la zone pétrolifère de l’Afrique de l’Est. Plusieurs études ont été menées dans les trois grands bassins, situés dans les parties Ouest et Nord-Ouest de Madagascar : bassins de Diégo, Mahajanga et Morondava. Et dans ce domaine, les microfossiles restent des marqueurs temporels et biostratigraphiques importants.

La région d’Andranomavo (bassin de Mahajanga) et la région d’Antsalova (bassin de Morondava) ont attiré beaucoup de chercheurs surtout les paléontologues par leur richesse en fossiles (macro et microfossiles).

Ces deux régions sont stratigraphiquement très importantes dans le cadre de l’exploration pétrolifère puisqu’ elles appartiennent aux blocs d’exploration pétrolière de Madagascar.

L’étude des microfossiles est un élément primordial dans l’exploration pétrolière surtout pour la prospection et l’étude des diagraphies de forages car leur petite taille permet l’observation d’un grand nombre d’individus à partir des petits échantillons. Par conséquent, la connaissance et la détermination des microfossiles dans les couches traversées par le forage permettent d’attribuer l’âge et les différentes caractéristiques des couches (milieu de dépôt, indication sur l’environnement du passé,...).

L’étude biostratigraphique et paléoécologique des Formations du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur des régions d’Andranomavo et d’Antsalova contribue à renforcer les recherches pétrolières ainsi que leur exploitation.

Le principe consiste à : inventorier les microfossiles, à étudier les associations faunistiques avec considération du principe de l’actualisme (J. HUTTON, 1726-1797) et à effectuer une étude géochimique des sédiments marneux pour compléter les renseignements paléoécologiques.

Dans le cadre de cette thèse, les diverses parties sont résumées par les points suivants :

- identification des Microfossiles (Foraminifères, Ostracodes,...),
- délimitation stratigraphique de la formation du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur des régions d’Andranomavo et d’Antsalova,
- interprétations biostratigraphiques,
- reconstitution de la Paléoécologie et de la Paléogéographie du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur de ces deux régions.

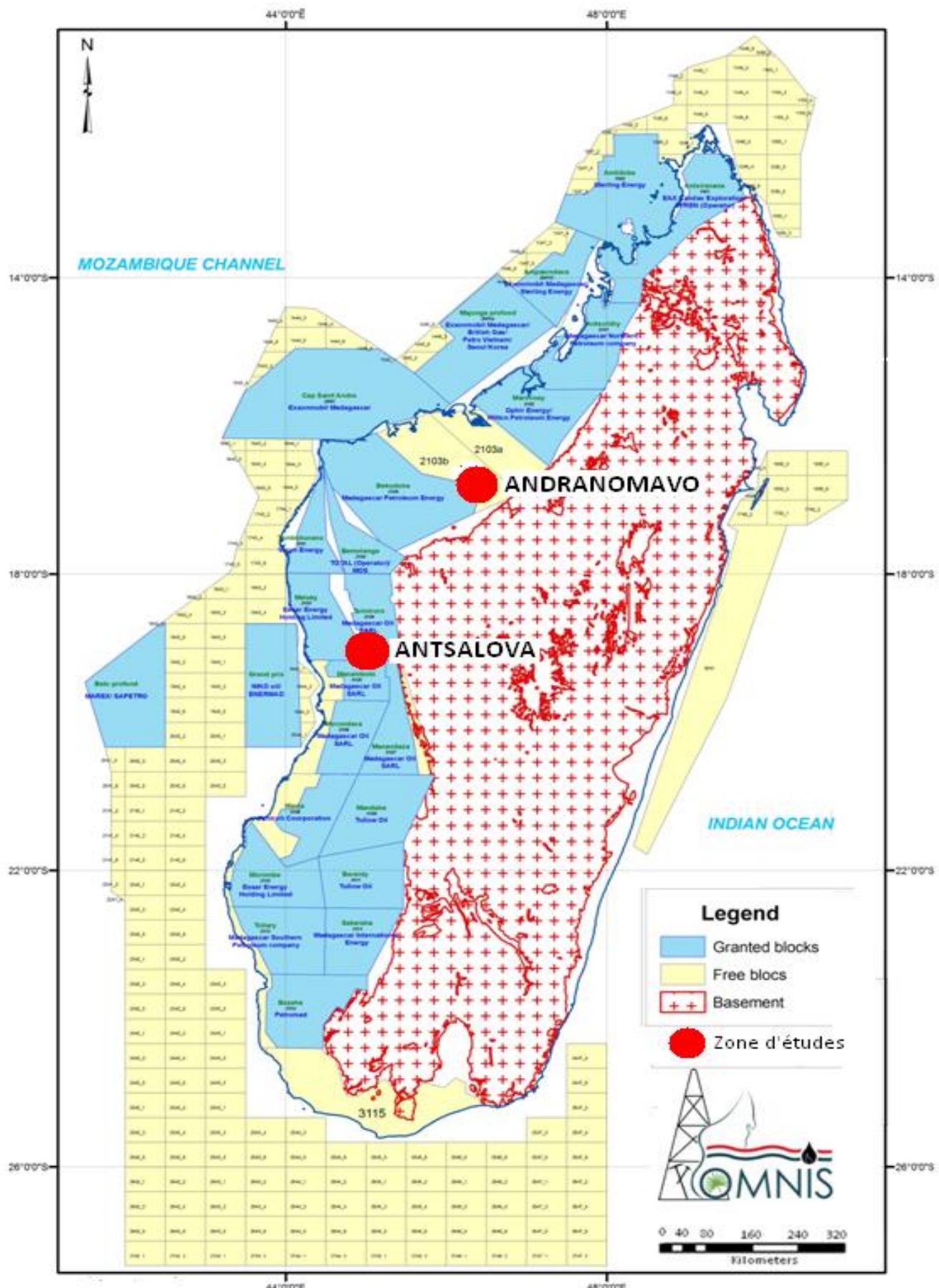


Figure 1 : Carte des divisions des blocs pétroliers de Madagascar (Source : OMNIS, 2013)

1.1 TRAVAUX ANTERIEURS

Des chercheurs géologues et/ou paléontologues, universitaires et/ou pétroliers ont effectué des travaux concernant l'inventaire des fossiles (macro et microfossiles) du Jurassique et du Crétacé dans la partie Sud du bassin de Mahajanga et dans la partie Nord du bassin de Morondava.

1.1.1 Bassin de Mahajanga

Des études géologiques et paléontologiques ont été faites dans le bassin de Mahajanga :

- première description d'ensemble pour le Sud du bassin de Mahajanga (L. BARRABE, 1929);
- leviers de cartes géologiques avec des indications nouvelles par V. HOURCQ (1934), H. BESAIRIE (1938), J. de Saint- OURS et M. COLLIGNON (1952) ;
- études dans le cadre de la recherche pétrolière par l'IFP (HINDERMEYER, 1959) ; la S.P.M. (B. GUENOT, E. RAZAFIMBELO, A. de VENDEGIES, 1964) ;
- identification sur les Foraminifères du Jurassique supérieur et du Néocomien du bassin de Mahajanga (J. ESPITALIE & J. SIGAL, 1963) qui a permis de regrouper les microfaunes en cinq Cénozones :
 - cénozone A et B,
 - domaine commun AB/CD,
 - cénozone C/D,
 - domaine commun CD/EF,
 - cénozone E et F,
- description de 55 formes d'Ostracodes du Mésozoïque moyen (Bathonien-Valanginien) du bassin de Mahajanga (GREKOFF N., 1963) ;
- recensement des microfaunes du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur du Sud du Bassin de Mahajanga (RASOANAIIVO W., 1964).

1.1.2 Bassin de Morondava

Des travaux sur le Jurassique et le Crétacé ont été faits dans le bassin de Morondava :

- descriptions sur les Ammonites caractéristiques de Madagascar (COLLIGNON M., 1959) ;
- synthèse des études géologiques et paléontologiques des terrains sédimentaires de Madagascar (BESAIRIE H. et COLLIGNON, 1966 – 1971) ;
- étude biostratigraphique et sédimentologique de la région d'Antsalova, bassin de Morondava du Callovien-Cénomanien, indiquant les séquences stratigraphiques (RANARISON S., 1988);

- identification des microfossiles du Jurassique du Bassin de Morondava (ANDRIAMALALA F., 1995) ;
- étude stratigraphique des Phylloceratidae d'Ankilizato – Soaravikely (VOAHANGINIRINA H., 1993) ;
- étude de l'évolution de la marge Ouest malgache au Jurassique dans le bassin de Morondava entre les fleuves Tsiribihina et Mangoky concernant le déplacement progressif de Madagascar de l'Afrique de l'Est (LALAOHARIJAONA R.).

1.2 CADRE GENERAL

Les bassins sédimentaires de Madagascar longeant la côte Ouest de l'île, se repartissent en trois bassins : bassin de Diégo, bassin de Mahajanga et le bassin Morondava.

Le bassin de Diégo occupe l'extrême Nord de Madagascar. Il est limité à l'Ouest par la presqu'île d'Ampasindava qui le sépare du bassin de Mahajanga et, à l'Est par l'Océan Indien.

Le bassin de Mahajanga s'étend sur la côte Nord-Ouest de Madagascar entre la presqu'île d'Ampasindava et l'anticlinal cristallin du Cap Saint-André.

Le bassin de Morondava s'allonge sur 1000 kilomètres entre le Cap Saint-André au Nord et le Cap Sainte-Marie au sud.

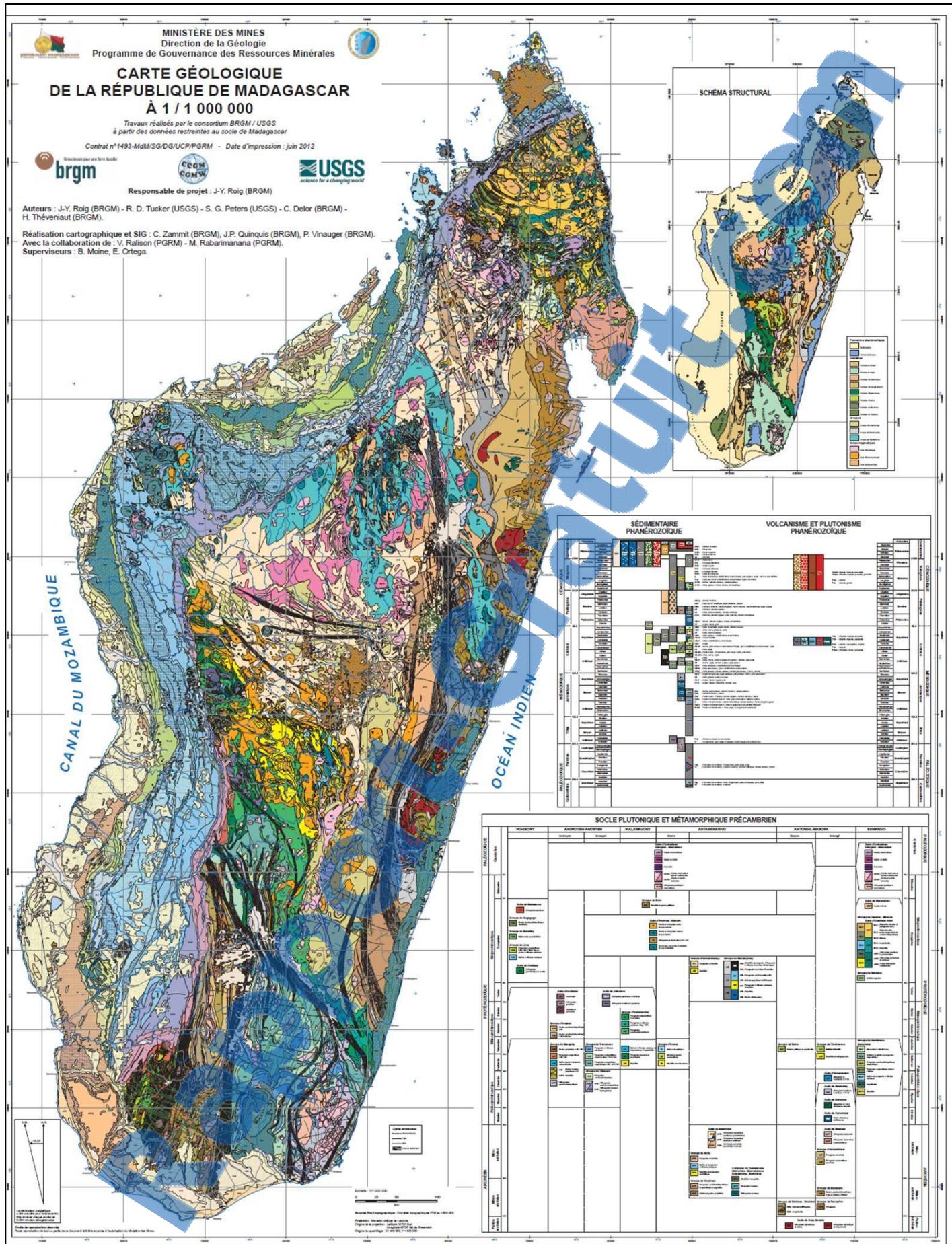


Figure 2 : Carte géologique de Madagascar

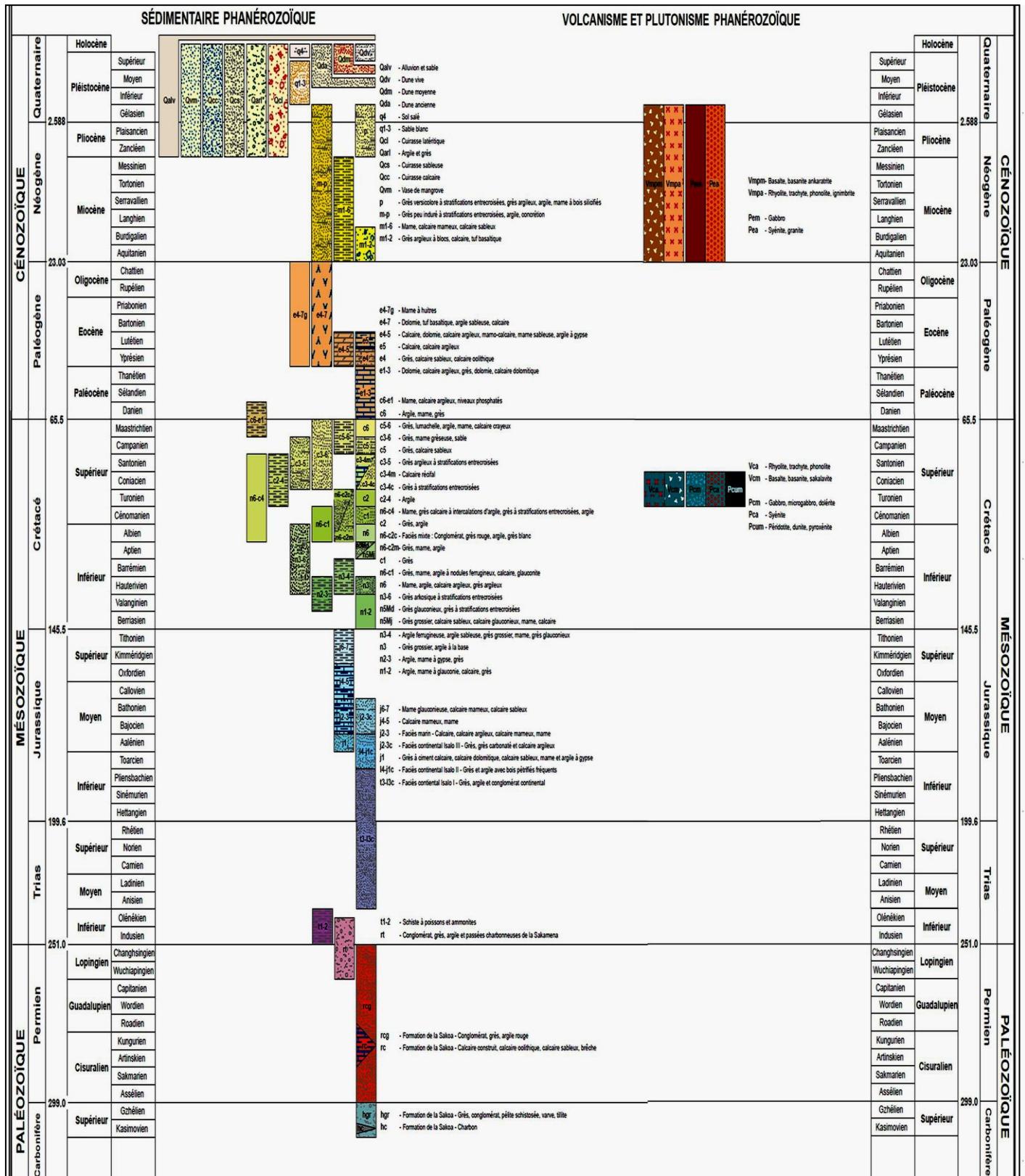


Figure 3: légende de la carte géologique de Madagascar

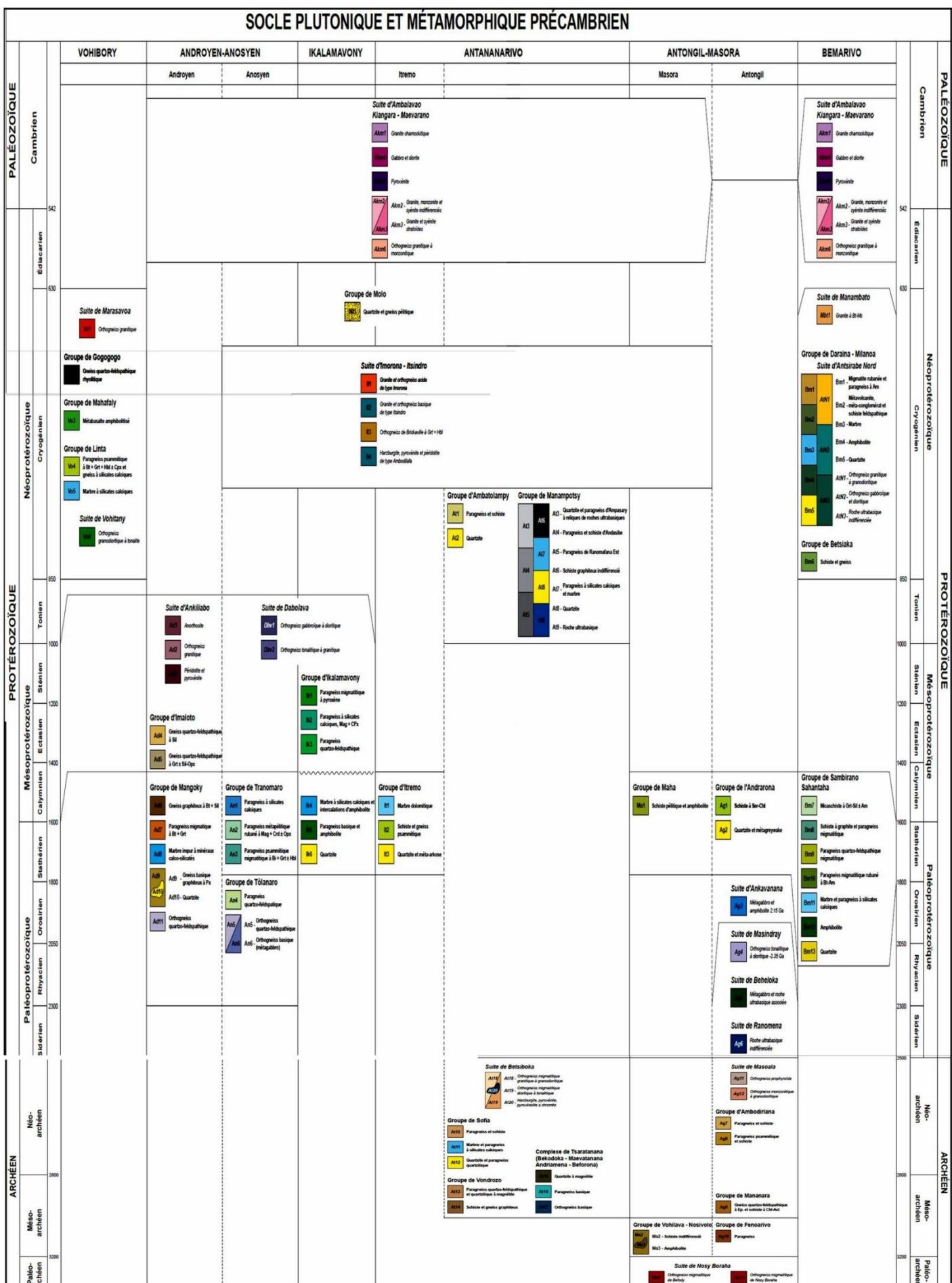


Figure 4: légende de la carte géologique de Madagascar

1.2.1 Bassin de Mahajanga

Les limites du bassin de Mahajanga sont parfois soulignées par une falaise bordière des hauts plateaux. Ce bassin se présente comme un empilement d'assises sédimentaires s'étendant du Cap Saint-André au Sud-Ouest à l'Océan Indien au Nord-Est, soit sur plus de 600 km. La surface actuelle des terrains émergés est de 7000 km² environ. Le bassin se prolonge sous le canal de Mozambique par un shelf étroit sauf à l'extrême Ouest (Cap Saint-André) et au Nord (entre Nosy-Be et la presqu'île de Diego).

1.2.1.1 Cadre géographique

- Les fleuves sont de très basses altitudes à la sortie du socle cristallin. Les fleuves traversent les cuestas par des chenaux très étroits qui ne peuvent écouler les crues violentes de la saison des pluies et des cyclones entraînant la vaste plaine d'alluvions. Cinq grands fleuves recoupent les terrains sédimentaires : Loza, Sofia, Mahajamba, Betsiboka et Ikopa avec leurs affluents qui drainent cette région.

1.2.1.2 Cadre structural

Le bassin sédimentaire de Mahajanga est constitué par une succession de formations monoclinales s'étendant de l'Isalo à l'actuel et dessinant une série d'auréoles concentriques concaves vers Nord-Ouest. Dans ces auréoles, les formations indurées déterminent les lignes parallèles des cuestas bordant des zones déprimées avec des revers formant des bandes de plateaux doucement inclinés vers la mer. Hormis quelques intrusions volcaniques, les altitudes ne sont jamais très élevées. Des cuestas majeures de l'Ankara et du Kelifely qui montent respectivement à 600 et 850 mètres, et d'autres cuestas s'échelonnent entre 200 et 400 mètres.

Les cuestas les plus marqués sont formés par le Lias supérieur et le Bajocien dans le sud du bassin, par les grès du Crétacé et les coulées basaltiques, puis par le talus Maestrichtien.

On assiste à un mouvement de subsidence, abaissement très lents du bassin. Ce mouvement est dû à la flexure interne et externe.

Les failles sont généralement à regard Nord-Ouest et localisées dans la série anté-Crétacé.

De mouvements épirogéniques post- triasiques inférieurs et anté-Isalo ont été identifiés, qui mettent en évidence dans l'extrême nord du bassin la discordance de l'Isalo sur le Permo-Trias marin.

La discordance des « grès supérieurs continentaux » sur les formations sous-jacentes dans la partie Ouest du bassin de Mahajanga et la partie Nord du bassin de Morondava témoigne le mouvement épirogénique du Cénomanien. Ce mouvement a provoqué le bombement de la

dorsale du Cap Saint André, en individualisant le bassin de Mahajanga qui a été confondu avec le Nord du bassin de Morondava depuis le milieu du Dogger (BESAIRIE H., 1957). La série d'Andranomavo a été appliquée aux calcaires crayeux et marnes à Bélemnites (L. BARRABE, 1929) et marnes jaunes et calcaires marneux blancs du Jurassique supérieur. Cette formation repose au-dessus du Callovien avec deux types de faciès : d'une part des marnes jaunes claires, et d'autre part des calcaires marneux blancs.

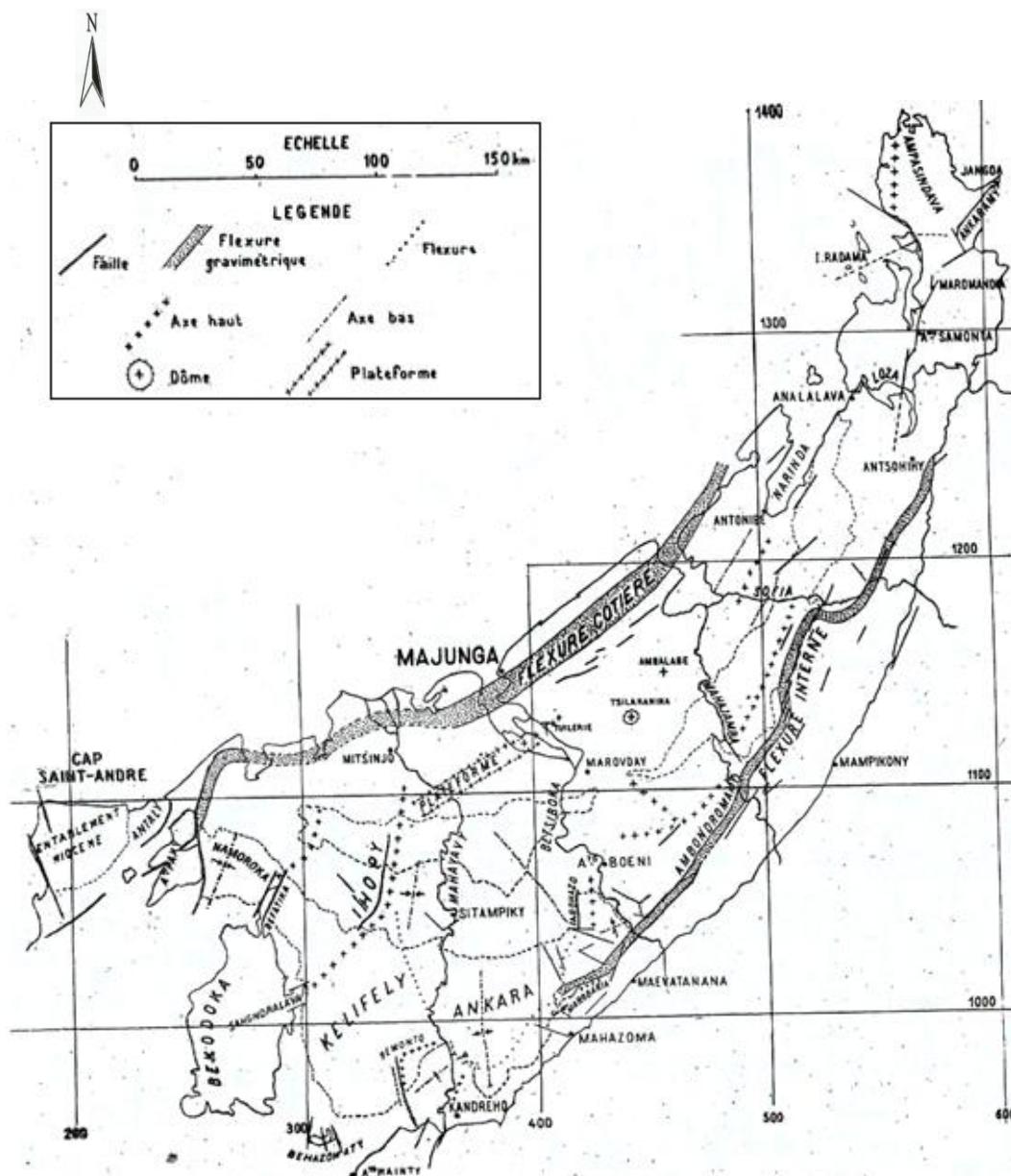


Figure 5 : Schéma structural du bassin de Mahajanga (H. BESAIRIE et M. COLLIGNON, 1971)

1.2.2 Bassin de Morondava

Le bassin de Morondava s'étend sur 1000 kilomètres entre le Cap Saint-André au nord et le Cap Sainte-Marie au sud. Il est limité à l'Est par la falaise de Bongolava, et à l'Ouest par le canal de Mozambique. Il constitue le bassin plus étendu car il correspond aux deux tiers de la surface totale des terrains sédimentaires de Madagascar.

1.2.2.1 Cadre géographique

La région sédimentaire est limitée à l'Est par une falaise ininterrompue de terrains cristallins, haute de plus de 1000 mètres et que l'on nomme Bongolava.

En général, la zone basse, souvent marécageuse, large d'une vingtaine de kilomètres, qui borde cette falaise immédiatement à l'Ouest, correspond à la dépression Permo-Triasique.

1.2.2.2. Cadre structural

Dans la partie Nord du bassin, les séries sédimentaires prolongent parallèlement le socle d'une direction NNW-SSE. Leur contact est généralement normal, à l'exception de quelques zones faillees.

La division du bassin en deux sous bassins nord et Sud est témoignée par les faisceaux des failles de l'Ilovo et de Mandabe pour la partie Sud et la faille de Bekopaka Bemaraha dans la zone Nord (RAZAFIMBELO E., 1972).

Dans la partie Sud du bassin, le contact des séries sédimentaires avec le socle est faillé, d'une direction majeure NNE-SSW. Dans cette partie, la structure sédimentaire affectée par les failles est essentiellement liée à la tectonique du socle dont les panneaux sont effondrés et s'abaissent progressivement vers le Nord-Ouest. Cet effondrement est témoigné par un épaississement des dépôts. Dans l'ensemble, la partie sud du bassin de Morondava présente une géomorphologie relativement plane, marquée par des cotes correspondant à la falaise d'érosion ou tectonique à regard de l'Est et dont les altitudes diminuent progressivement vers l'Ouest. La morphologie générale de ce bassin est en rapport avec son style tectonique.

Antsalova forme une série de petites collines dans la dépression de l'Antsingy et le plateau Crétacé. Cette formation est caractérisée par des marnes glauconieuses et des marnes à *Duvalia* qui sont souvent très argileuses.

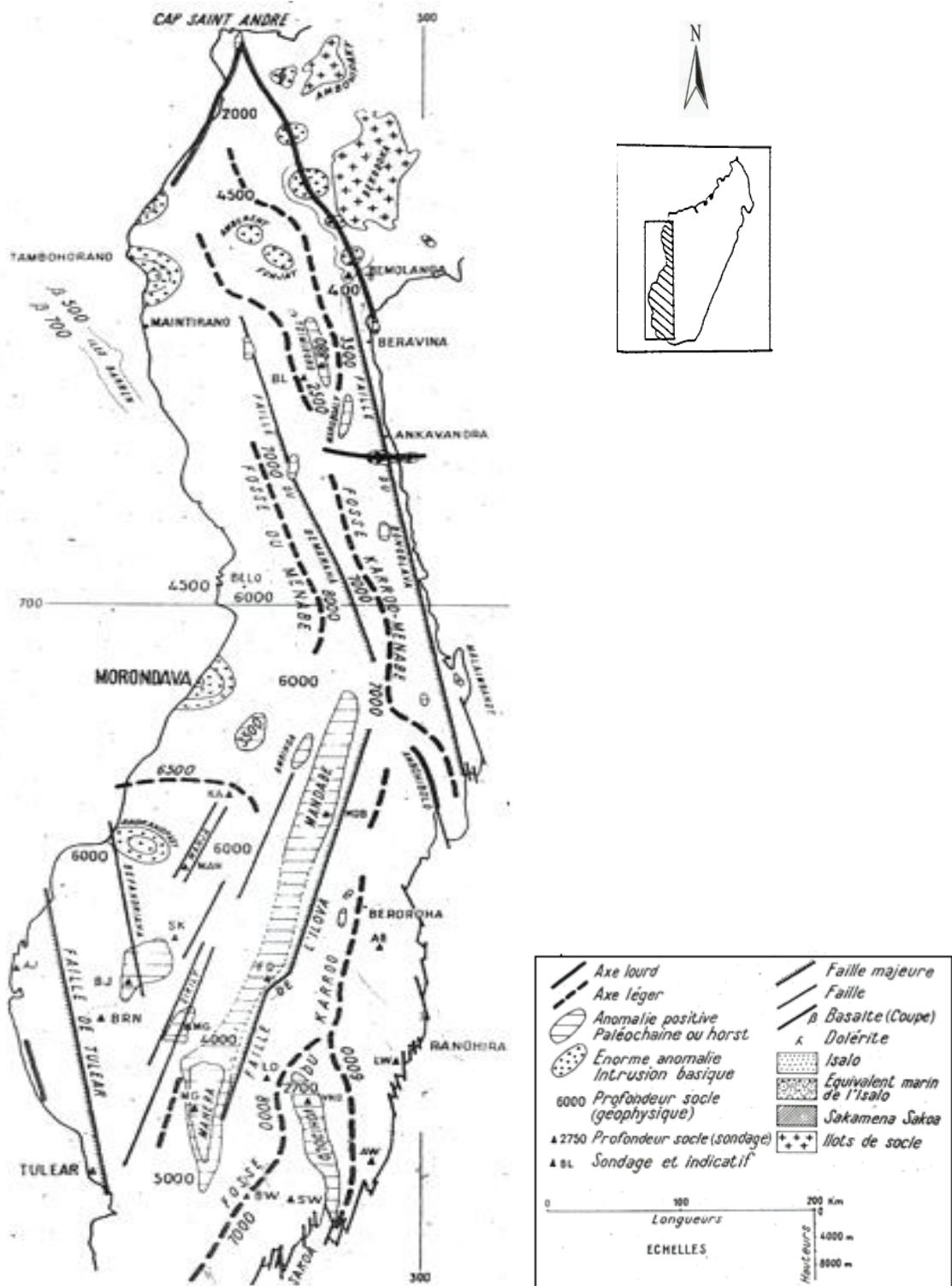


Figure 6 : Schéma structural du bassin de Morondava (H. BESAIRIE et M. COLLIGNON, 1971)

1.2.3 Le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur du bassin de Mahajanga

1.2.3.1 Le Jurassique supérieur

D'une manière générale, le Jurassique supérieur débute par les couches à *Macrocephalites* transgressives sur les grès continentaux ou sur les faciès saumâtres à *Corbula* du Karroo supérieur ou encore recouvrant les calcaires bathoniens.

- Dans la région Nord du bassin de Mahajanga, jusqu'à l'anticlinal cristallin du Cap Saint-André, le Jurassique supérieur est complet avec un faciès marin calcaire et souvent oolithique pour les couches à *Macrocephalites*, marneux et fréquemment gypsifère pour l'Oxfordien et les étages supérieurs
- La série Jurassique supérieure est très complète et abondamment fossilifère dans le bassin de Sitampiky, qui s'étend entre la Betsiboka à l'Est et l'Anticlinal cristallin du Cap Saint-André à l'Ouest (BESAIRIE H., 1957).

1.2.3.2. Le Crétacé inférieur

Au Nord de la Betsiboka, le Crétacé inférieur est surtout marin et forme une bande continue, d'une épaisseur moyenne de 300 mètres, très fossilifères dans la partie basale, en particulier dans la région d'Antsohihy.

A l'Ouest de la Betsiboka, les facies changent et s'introduit dans la série marine, d'épaisses formations continentales des grès montrant souvent la stratification oblique ou entrecroisée.

A l'Ouest d'Andranomavo, près du Cap Saint André, les épaisseurs diminuent beaucoup et la série comprend à la base des grès marneux Infravalanginiens à *Garniera* puis des grès continentaux, épais de 50 cm recouvert par l'Albien fossilifère (BESAIRIE, 1957).

1.2.4. Le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur du bassin de Morondava

1.2.4.1 Le Jurassique supérieur

Au Sud du Cap Saint André et jusqu'à la Tsiribihina, le Jurassique supérieur, tronqué par des failles, n'apparaît que sporadiquement, mais toujours avec un faciès marin ; il est incomplet avec des lacunes dans sa partie moyenne.

Pour le Sud, dans le secteur Nord et Sud de Mangoky, la base du Jurassique supérieur est souvent envahie par des facies Karoo et le régime marin ne s'établit entièrement qu'au Callovien

supérieur. De plus, l'Argovien présente un faciès continental à bois silicifiés comportant parfois une intercalation marine. Au Sud de Fiherenana le Jurassique supérieur débute avec les couches à *Macrocephalites*, directement recouvertes par le Néocomien transgressif. Le Jurassique supérieur présente généralement des facies marneux (BESAIRIE, 1957).

1.2.4.2 Le Crétacé inférieur

Dans le Sud de Maintirano, le Crétacé inférieur fait suite en continuité au Tithonique et comprend la série marneuse d'Antsalova, souvent glauconieuse, épaisse d'environ 800 mètres, qui s'étend de l'Infravalanginien à l'Aptien (V. HOURCQ, 1950) :

- Aptien : marnes blanches d'Antanatamirafy à *Phylloceras* et *Ancathoplites*.
- Barrémien : calcaire d'Ampasimbe et d'Antamanga à *Crioceras*.
- Hauterivien : marnes et calcaires glauconieux à *Duvalia dilatata*.
- Valanginien : marnes et calcaires glauconieux à *Duvalia* à *Belemnopsis*.
- Infravalanginien : calcaires glauconieux à *Spiticeras*.

Dans le secteur de Morondava, un lambeau de Valanginien supérieur marneux renferme de *Rogersites* et de *Neocomites* à l'Ouest d'Ankilizato.

Dans le secteur Mangoky-Onilahy, Valanginien marneux, parfois glauconieux à *Belemnopsis* sur le Tithonique en continuité. Sa partie supérieure est généralement érodée par la transgression Aptienne. L'Hauterivien n'a été mis en évidence qu'au Sud de l'Onilahy ou une bande de grès verts glauconieux repose directement sur les couches à *Macrocephalites*. Ces grès montent vraisemblablement dans le Barrémien.

1.2.5 Le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur du secteur d'Andranomavo et d'Antsalova

Ces deux régions sont constituées en général par des formations marneuses du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur qui se reposent au dessus du Callovien.



Photo 1 : la formation au Nord d'Andranomavo I (*source : Auteur*)



Photo 2 : la formation au Sud d'Antsalova II (*source : Auteur*)

1.3 LOCALISATION DES ZONES D'ETUDE

Les zones d'étude se localisent dans les régions d'Andranomavo et d'Antsalova :

- le site d'Andranomavo se situe à 60 kilomètres au Sud – Est de Soalala,
- le gisement fossilifère d'Antsalova se trouve à 17 kilomètres au Sud du village d'Antsalova, proche du Parc National du Tsingy de Bemaraha.

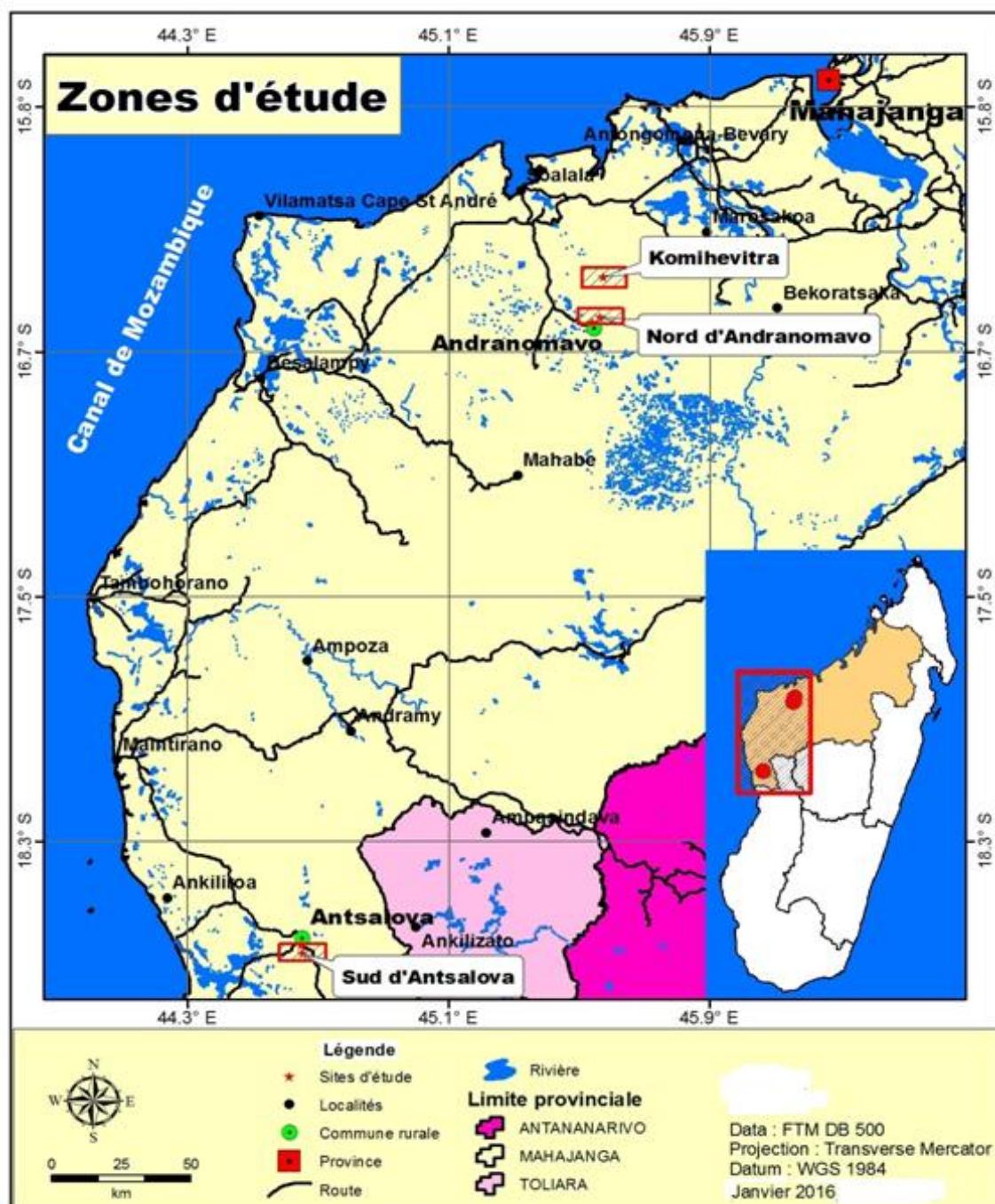


Figure 7 : Localisation des zones d'études (Data FTM, BD 500).

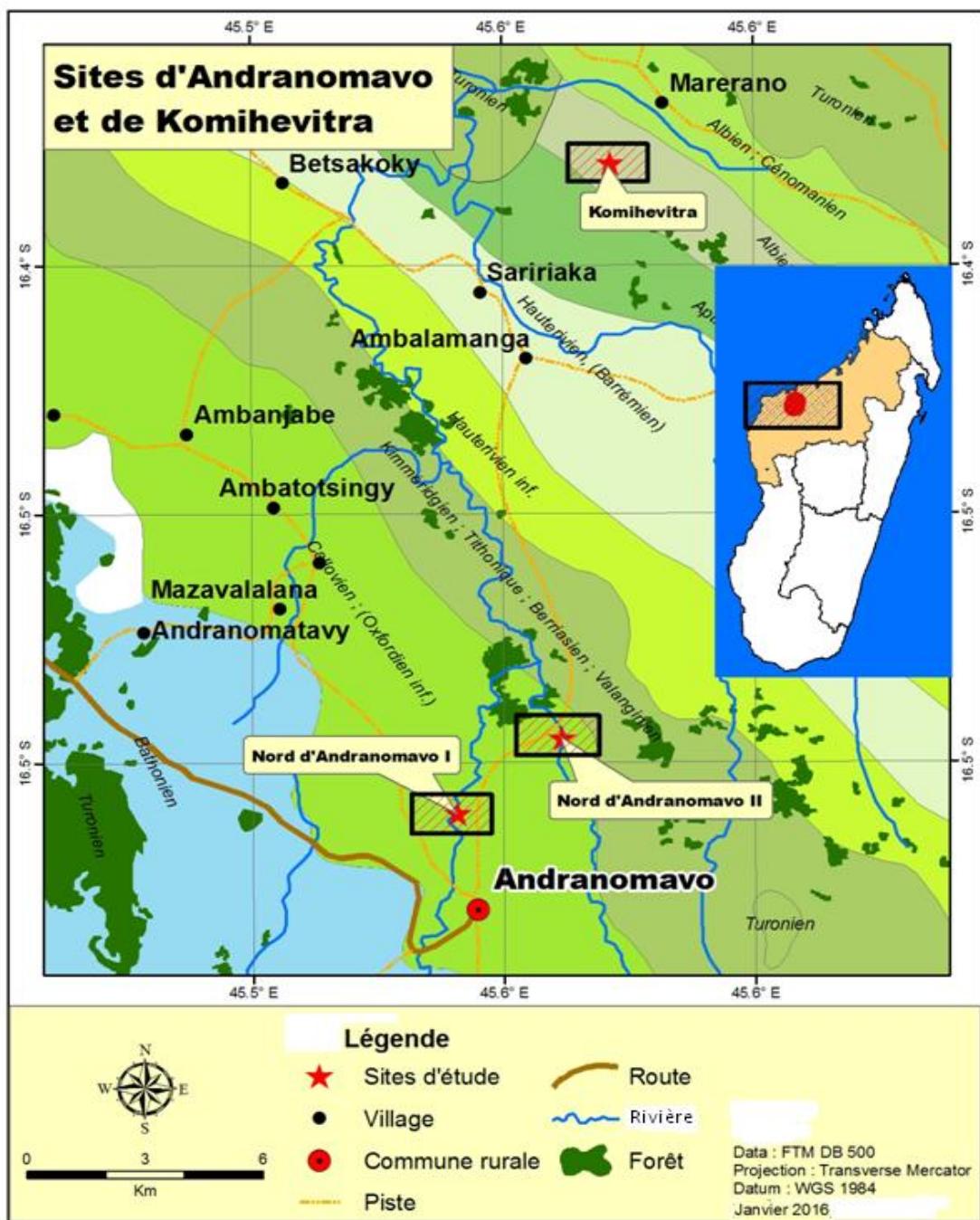


Figure 8 : Localisation des sites d'études dans la région d'Andranomavo (Data FTM, BD 500).

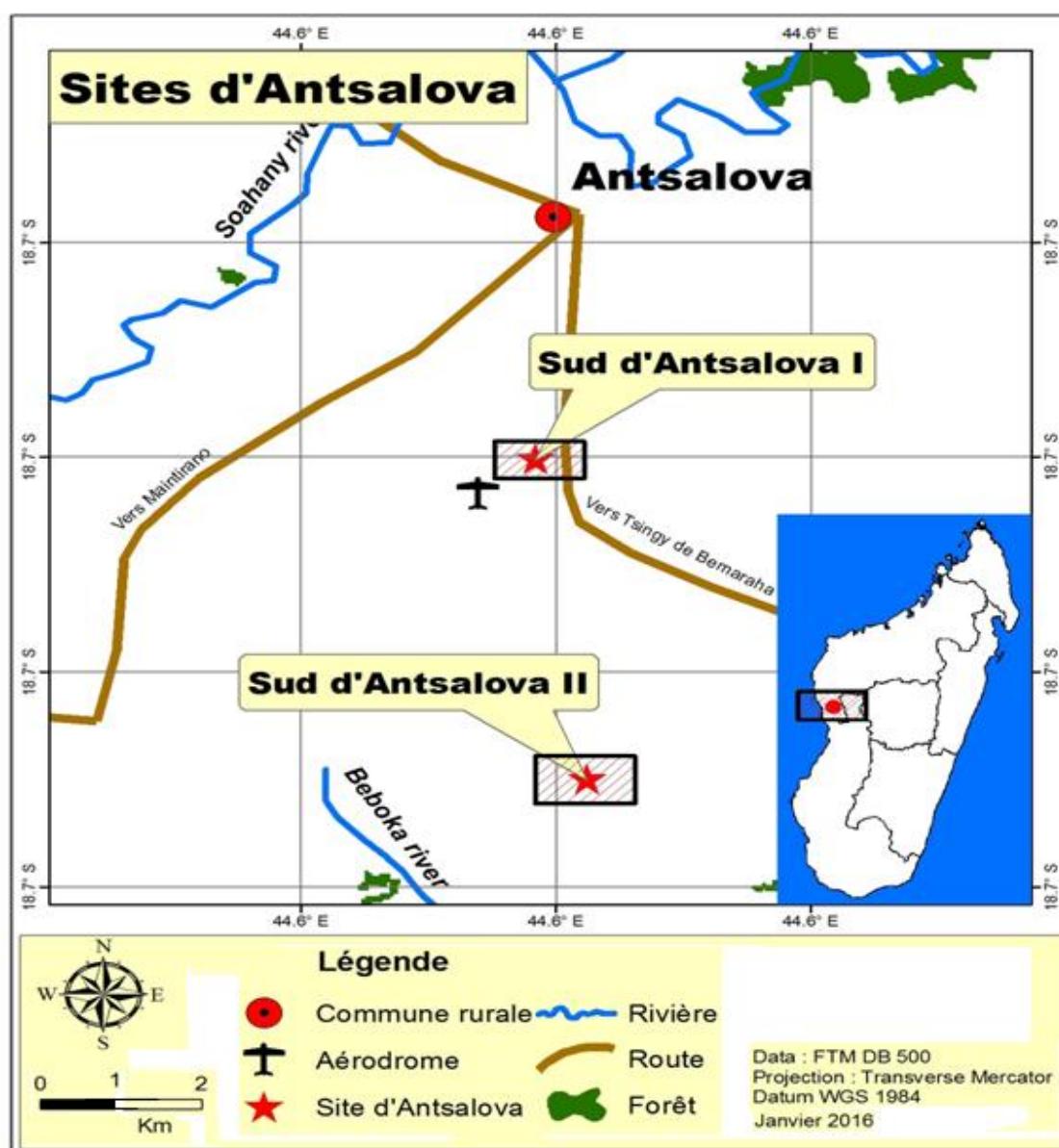


Figure 9 : Localisation des sites d'études dans la région d'Antsalova (Data FTM, BD 500).

La végétation au Nord d'Andranomavo est formée en général par des savanes et des forêts sèches constituées par les jujubiers (*Ziziphus spinachristi*, famille des Rhamnaceae).



Photo 3 : le paysage Nord d'Andranomavo (source : Auteur)



Photo 4 : le paysage Sud d'Antsalova (source : Auteur)

La végétation d'Antsalova est essentiellement composée par des forêts sèches et des savanes boisées à jujubiers (*Ziziphus spinachristi*, famille des Rhamnaceae).

Trois coupes ont été effectuées dans la région d'Andranomavo :

- Nord d'Andranomavo I et II, situées respectivement à 6 et à 9 kilomètres au Nord du village d'Andranomavo ;
- Komihevitra à 11 kilomètres au Nord d'Andranomavo ;

Deux coupes lithologiques ont été faites dans le site d'Antsalova, situées à 11 et à 14 kilomètres au Sud du village d'Antsalova.

DEUXIEME PARTIE :

BASES

METHODOLOGIQUES

2.1 Echantillonnage

Le matériel étudié provient des échantillonnages effectués dans les formations marneuses d'Andranomavo (bassin de Mahajanga) et d'Antsalova (bassin de Morondava).

Les coordonnées géographiques ont été prises par G. P.S. (Geographical Positioning Systeme)

Les prélèvements des échantillons et les coupes ont été faits dans trois sites de la région d'Andranomavo (Nord d'Andranomavo I, II et Komihevitra) et dans la région d'Antsalova (Sud d'Antsalova I et II).

2.1.1 Echantillonnage des sédiments meubles

La prise des échantillons a été faite sur des sédiments en place et non altérée, donc nous avons prélevé à des profondeurs suffisantes pour obtenir des échantillons frais.

Le prélèvement, environ 400 g, a été répertorié par un numéro inscrit sur le sachet plastique. Une étiquette portant le numéro a été glissée également à l'intérieur du sachet. Les notes et les observations concernant les coupes étudiées ont été enregistrées dans un carnet de terrain.

2.1.2 Echantillonnage des sédiments indurés

Pour éliminer les parties superficielles de l'affleurement altéré et contaminé, il faut provoquer des cassures fraîches à l'aide d'un marteau avant chaque prélèvement de l'échantillon. L'échantillon prélevé est orienté et numéroté à l'aide d'un stylo marqueur indélébile. Les observations sur place concernant chaque plaque ou banc de calcaire ont été notées dans le carnet de terrain et précédées du numéro correspondant.

2.2. Analyse des échantillons pour l'étude des microfossiles

2.2.1. Cas des sédiments meubles

➤ Traitement physico-chimique des sédiments

Des échantillons de sédiments ont été trempés dans du pétrole. Après une heure, le pétrole a été remplacé par de l'eau bouillante, on a ainsi obtenu une sorte de boue.

Le lavage des sédiments a été réalisé dans des séries de tamis à mailles croissantes : 100 μ , 200 μ , 500 μ , sous un jet d'eau du robinet, jusqu'à l'obtention du filtrat clair. Quand le lavage est terminé, le résidu a été récupéré dans trois boîtes de pétris différentes qui porteront les numéros des échantillons ; puis séchés à l'étuve à 70°C pendant 2 heures ou à l'air libre pendant 48 heures.

Une fois séché, le résidu a été versé dans un pilulier ou dans des flacons bien identifiés avec leur code respectif.

Il faut noter qu'après chaque lavage, il est important de brosser les tamis, puis les plonger dans une solution de bleu de méthylène 5% pendant une ou 2 minutes afin de marquer les résidus coincés entre les mailles susceptibles de se mélanger aux lavages ultérieurs.

La série de tamis a été enfin rincé à l'eau à grande pression, 25 lavages ont été réalisés dans le cadre de cette étude.

➤ **Triage et comptage**

Le tri et le comptage des microfossiles ont été réalisés pour la sélection des tests :

- nature du test : agglutiné, hyalin, porcelané,
- forme : planctonique, benthique.

Le tri de 300 à 400 individus s'avère nécessaire et important pour l'établissement des fréquences relatives des différents taxons et pour les calculs statistiques.

2.2.2 Cas des sédiments indurés

Pour observer, et par la même de déterminer les microfossiles pris dans un sédiment induré, il est nécessaire d'en faire des lames minces.

La confection des lames minces comporte plusieurs étapes :

➤ **Sciage de l'échantillon**

- tailler l'échantillon à la dimension de la lame porte objet et scier à l'épaisseur voulue (2 à 4 mm),
- passer ensuite au tour lapidaire pour réduire l'épaisseur à moins de 1mm.

➤ **Séchage et collage de l'échantillon**

- sécher l'échantillon sur la plaque chauffante, puis la plaque sur la platine,
- poser ensuite la lame porte objet sur la plaque chauffante,
- prendre l'échantillon chauffé et passer sur la surface plane une légère couche de Baume de Canada, faire de même sur le porte objet.
- accoler la lame sur l'échantillon tout en évitant les bulles d'air entre la roche et la lame porte objet.

➤ **Finition**

- réduire l'épaisseur de la lame à la rectifieuse jusqu'à la plus faible possible suivant l'estimation de l'opérateur,
- passer ensuite sur le tour lapidaire avec l'émeri 320 et finir avec le carborundum 180.

➤ **Recouvrement de la lame**

- chauffer la lamelle sur la platine en mettant une grosse goutte de Baume de Canada et on laisse chauffer,
- prendre ensuite la lamelle et l'accorder sur la plaque mince en prenant la précaution de chasser les bulles d'air lors de la pose,
- laisser sécher ensuite et nettoyer à l'essence

Remarque :

- L'identification en lame mince des microfossiles ne permet pas d'aboutir avec assurance à toute les déterminations spécifiques, particulièrement pour les Foraminifères puisque la plupart des espèces ont été décrites sous forme dégagée (LEFORT A., 2011).
- Les lames micropaléontologiques sont d'ordinaire un peu plus épaisses que les lames pétrographiques car un amincissement trop poussé de l'échantillon masquerait les détails de structure de certains microfossiles.

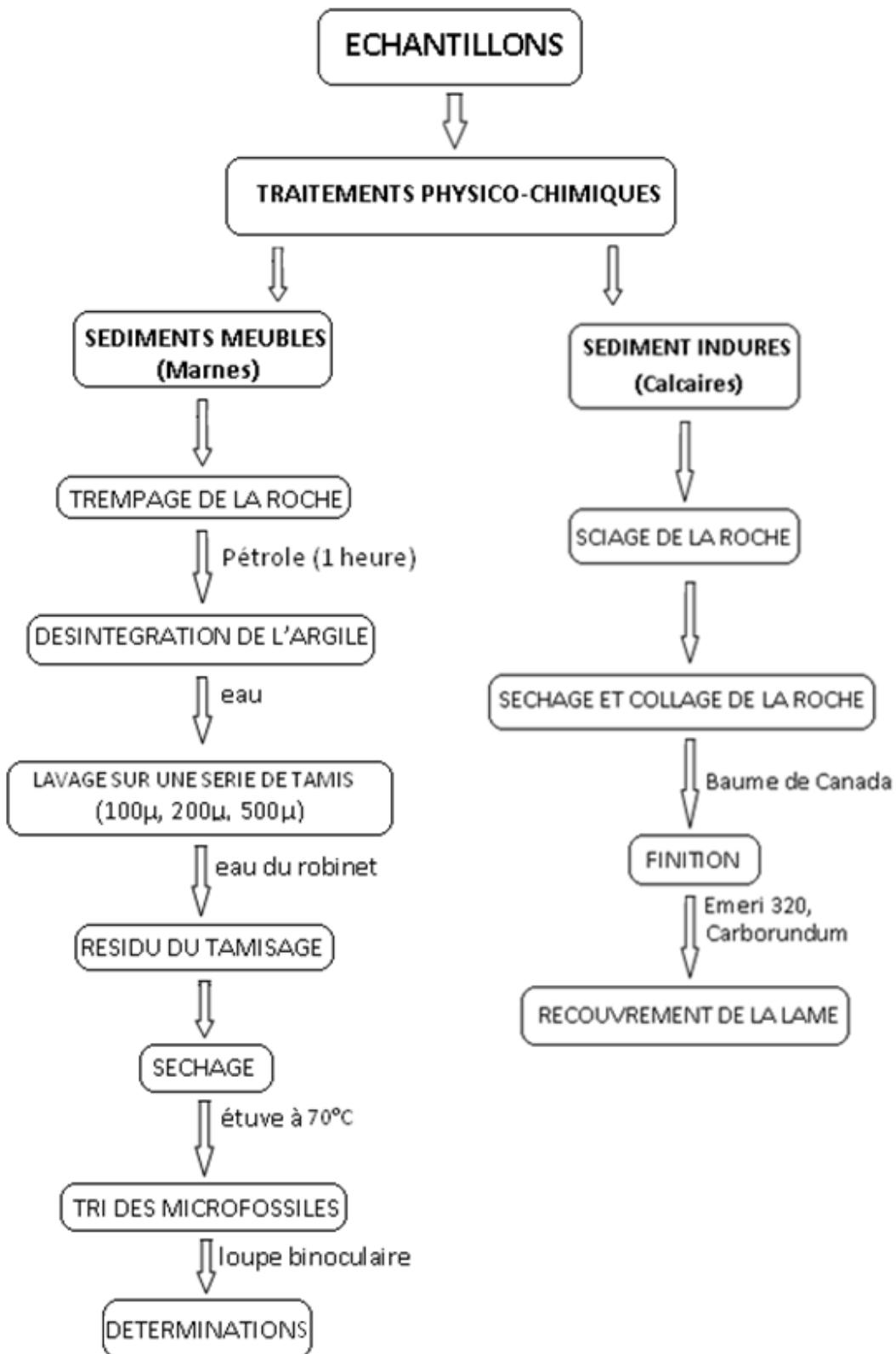


Figure 10 : Traitements physico – chimiques des sédiments meubles et indurés

2.3 Analyse géochimique

Il est indispensable d'étudier le matériel accompagnant les faunes (matériels non biogéniques) pour compléter les renseignements paléoécologiques des Foraminifères. Citons le Quartz, la teneur en Carbonate et en Silice du matériel.

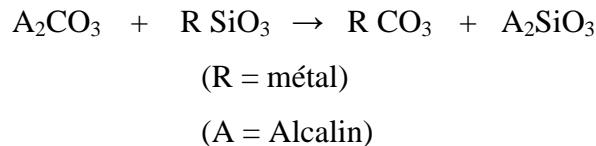
L'analyse géochimique est très importante puisqu'elle peut donner des indications sur la nature des sédiments, la profondeur et la température du milieu.

2.3.1 Fusion alcaline

La fusion alcaline précède la détermination des pourcentages des divers oxydes qui constituent l'échantillon.

➤ Principes

Les silicates constituent avec la silice libre généralement sous forme de quartz, la majorité constitutives des roches. Ils sont très difficilement attaqués par les agents classiques, tels les acides. D'une manière très schématique, la réaction serait la suivante :



Si on prend par un acide minéral étendu le produit de cette réaction, on aboutit à la décomposition des carbonates en sels métalliques avec dégagement de CO₂, et à la décomposition des silicates alcalins en sels alcalins, et SiO₂ qui est très peu soluble.

➤ Mode opératoire

Peser exactement 0,5g d'échantillons dans un creuset de platine. Ajouter environ 8g de carbonate double de sodium et de potassium (4 parties en poids Na₂CO₃: 20 g et 5 parties en poids de K₂CO₃: 25 g), [CO₃NaK] qui sera le fondant. Ce carbonate est choisi en raison de son point de fusion qui est le plus bas que celui de K₂CO₃ ou NaCO₃.

Bien mélanger à l'aide d'une spatule, chauffer sur bec Mecker à feu doux au début pour éviter des pertes par projection ou boursouflement de la masse, puis augmenter le chauffage au maximum pendant au moins une demi- heure jusqu'à la cessation de dégagement de CO₂.

L'attaque est terminée, laisser refroidir.

Introduire ensuite le creuset dans un bêcher de 200 ml préalablement numéroté et contenant 50 ml de HCl 1/2. Recouvrir le bêcher d'un verre de montre. Laisser attaquer jusqu'à disparition du bouillonnement. Enlever le creuset à l'aide d'une baguette de verre. Rincer le creuset et le verre de montre par un jet d'eau distillée.

2.3.2 Dosage de la silice

➤ Principe

Une partie de la silice se trouve sous forme colloïdale, il est donc impossible de la filtrer. Pour récupérer la totalité de la silice, l'évaporer à sec de résultat de la fusion alcaline est nécessaire. La résolubilisation ultérieure des sels métalliques aboutit à une silice non colloïdale qui peut être filtrée.

➤ Mode opératoire

Porter le bêcher contenant la liqueur précédente au bain de sable à 90° C et aller à sec une première fois jusqu'à fin de dégagement de vapeur chlorhydrique. Il faut éviter les pertes par projection.

Reprendre avec 25 ml d'HCl concentré et aller à sec une seconde fois.

Après refroidissement, ajouter dans le bêcher contenant le résidu sec 5 ml d'HCl concentré et abandonner 1/4 d'heure à froid. Reprendre ensuite par 50 ml d'eau bouillante. Les sels métalliques se solubilisent, la silice reste insoluble. Filtrer à chaud sur filtre lent sans cendres, laver le bêcher et filtrer abondamment à l'eau chaude.

Soit F1 le filtrat et R1 le résidu.

R1+ filtre à placer dans un creuset de platine préalablement calciné et taré. Après calcination sur bec, on place le creuset + résidu au four 1000°C pendant au moins 2h 30 mn.

Soit p le poids du creuset vide en g.

P le poids du creuset + R1 après calcination à 1000°C

$$\% \text{ SiO}_2 = \frac{P-p}{0,5} \times 100$$

2.3.3 Dosage des hydroxydes

Les éléments à doser sont : Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO.

Principe

Après séparation de la silice, la somme des hydroxydes est isolée par précipitation dans le filtrat: $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$. Cette précipitation se fait par addition d'ammoniaque. Les ions Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ , K^+ restent en solution.

➤ Mode opératoire

F_1 est chauffé jusqu'au début d'ébullition. Ajouter 5,7 ml de chlorure d'Ammonium (NH_4Cl) = 10% et quelques gouttes de bleu Bromothymol : pH 6 = jaune ; pH 7,5 = bleu ;

Rouge phénol : pH 6,8 = jaune orangé ; pH 8,0 = rouge ou rose violacé.

Précipiter les hydroxydes par l'ammoniaque concentré jusqu'au virage de l'indicateur au bleu.

Filtrer sur filtre rapide ; soit R_2 le précipité, F_2 le filtrat. Laver R_2 à l'eau chaude. Quand le précipité est bien égoutté sur le filtre, le remettre dans le bêcher d'origine avec 50 ml d'eau et 5 ml d'HCl concentré. Porter à l'ébullition pour dissoudre complètement le précipité.

Effectuer une deuxième précipitation à l'ammoniaque. Filtrer, laver à l'eau bouillante. Soit R_3 le précipité. Ajouter le deuxième filtrat à F_2 . Soit F_3 le filtrat ainsi obtenu.

R_3 est calciné dans un creuset de platine préalablement taré ; d'abord sur bec, puis à 1000°C pendant au moins 2h 30 mn. Peser ; soit P_3 (g) le poids du précipité obtenu, le pourcentage de la somme des hydroxydes s'exprime par :

$$\% \sum \text{MOH} = \text{P}_3 \times \frac{100}{0,5} \quad \text{ou} \quad \sum \text{MOH} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Le résidu R_3 calciné est attaqué sur bec Mecker dans un creuset de platine par du sulfate acide de potassium (HK SO_4) au 1/3 de la hauteur du creuset, soit 4 g environ.

Chauffer à feu doux au début pour éviter les pertes par projection. Lorsque la solution est limpide, la fusion est terminée.

Reprendre par l'acide sulfurique 10% et jauger dans une fiole 200 ml. Cette solution S_1 servira au dosage du Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 .

- Dosage Fe_2O_3

Le dosage a été effectué par volumétrie à l'EDTA (Éthylène Diamine Tétra-Acétique) en utilisant un pH-mètre pour le contrôle du pH pendant le dosage.

➤ Mode opératoire

Prendre 20 ml de la solution à doser (10ml pour les solutions riches en fer et 20 ml pour les solutions presque incolores pauvres en fer)

Les mettre dans un bécher de 250 ml. Emmener le volume à 100 ml avec de l'eau distillée.

Plonger les électrodes du pH-mètre dans le bécher.

Ajouter de l'acéate d'Ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$), ou à défaut de l'acéate de sodium (CH_3COONa) 30%, jusqu'à l'obtention de pH 2,2 ; 5ml d'acide acétique concentré et 2 gouttes d'acide sulfosalisylique 4% dans l'eau.

Doser lentement par le complexon 0,01M préalablement étalonné jusqu'à disparition complète de la coloration rose. Vers la fin du dosage, attendre 10 à 15 secondes entre chaque addition.

La solution devient incolore à jaune paille selon la concentration en fer de la solution.

Remarque :

Ne pas ajouter un excès de complexon III quand le virage est atteint, retirer les électrodes du bécher.

Calcul :

1mole d'EDTA complexe, 1 atome de Fer ; soit 80 g de Fe_2O_3 ; soit V ml le volume de complexon III, 0,01M (EDTA)

$$\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 = \frac{80 \times 0,01 \times V \times 200}{1000 \times 10 \times 0,5} = 3,2 V$$

- Dosage TiO_2

Il a été effectué par colorimétrie visuelle.

Préparation de la solution d'étalon

Dans un creuset d'Olatine, faire fondre 250 mg de TiO_2 préalablement chauffé à 1000°C pendant ¾ d'heure avec 3g de HKSO_4 en chauffant d'abord lentement puis plus fort jusqu'attaque complète. Refroidir et dissoudre (cela demande plusieurs heures) dans un bécher contenant 75 ml H_2SO_4 2N ; compléter à 500ml dans une fiole jaugée de 500 ml d' H_2SO_4 2N.

On obtient une solution à 0,5 mg de TiO_2 /ml.

N.B. : Dissolution impossible de TiO_2 dans H_2SO_4 (2N, 10% ou 5%) à la reprise remplacée par HCL le H_2SO_4 .

➤ Mode opératoire

Mettre dans 2 fioles jaugées de 100 ml respectivement.

1. Fiole avec la solution à doser

- 50 ml de la solution à doser
- 5 ml H_3PO_4 1/3
- 5 ml d' H_2O_2 20%

2. Fiole avec la solution témoin

- 0,5 ml de sel de Morh 11,77 g/l
- 5 ml d' H_3PO_4 1/3
- 5 ml d' H_2O_2 20%

- Remplir avec H₂O jusqu'au trait de jauge
- Remplir jusqu'au trait de jauge par H₂SO₄ 10%

Doser la solution de la deuxième fiole (témoin) par la solution étalon de TiO₂ en comparant la coloration des 2 liqueurs.

Calcul : Soit V le volume en ml de la solution étalon versée.

$$\% \text{ TiO}_2 = \frac{V \times 0,5 \times 200 \times 10 - 3 \times 100}{50 \times 0,5} = 0,4 V$$

- Dosage Al₂O₃

Le pourcentage d'Al₂O₃ est déduit par différence

$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = \% \sum \text{MOH} - \% (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

2.3.4 Dosage CaO

➤ Principe

Le dosage de CaO est effectué à partir du filtrat F3 obtenu auparavant. Le calcium est précipité sous forme d'oxalate de calcium insoluble.

➤ Mode opératoire

F 3 est acidifié avec l'HCl jusqu'à virage de l'indicateur. Chauffer à 70 – 80°C. Ajouter 125 ml de solution d'oxalate d'Ammonium saturé 4%. Précipiter avec l'ammoniaque pure.

Laisser reposer une nuit. Le lendemain, filtrer le précipité sur filtre lent. Laver à l'eau froide. Soit F4 le filtrat et R4 le précipité, R4 est lavé sur filtre dans un bécher de 400 ml alternativement avec H₂SO₄ 10% froid et H₂O froide.

Ajouter 5 ml d'H₂SO₄ concentré. Chauffer à 70 – 80°C et doser à chaud avec du permanganate 0,1 N jusqu'à virage de la couleur.

Calcul

L'équation de la réaction est :



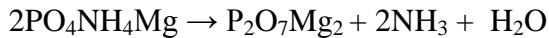
Si V est le volume de permanganate, on a :

$$\% \text{ CaO} = V \times 0,0028 \times \frac{100}{0,5} = 0,56 V$$

2.3.5 Dosage MgO

➤ Principe

Le magnésium est précipité sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien. Par calcination, cet orthophosphate est transformé en pyrophosphate selon la réaction



Par pesage du précipité obtenu, on a le rapport suivant:

$$\frac{2\text{MgO}}{\text{P}_2\text{O}_7\text{Mg}_2} \times 0,3621 \text{ d'où } P(\text{MgO}) = \frac{0,3621 \times P\text{P}_2\text{O}_7\text{Mg}_2}{2}$$

➤ Mode opératoire

Acidifier F4 avec HCl jusqu'à coloration jaune. Ajouter 1,5 ml de phosphate d'ammonium 10%. Précipiter à froid avec de l'ammoniaque sous agitation magnétique jusqu'au changement de la coloration en bleu. Laisser reposer une nuit. Filtrer sur filtre lent, rincer avec de l'eau ammoniaquée. Calciner dans un creuset de porcelaine taré sur bec puis à four 1000°C pendant 1h 30 mn.

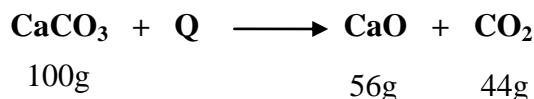
➤ Calcul

$$\% \text{ MgO} = P\text{MgO} \frac{100}{0,5} = 0,03621 \Delta P (\text{mg})$$

Calcul du pourcentage en CaCO₃

Le taux de pourcentage en CaCO₃ dans un sédiment est très nécessaire pour classer les roches et pour caractériser le milieu.

Le pourcentage de CaCO₃ est calculé à partir du résultat d'analyse géochimique de CaO. La calcination du carbonate pur conduit au dégagement de CO₂ et le reste de la combustion est la chaux.



En termes de pourcentage, dans une mole de CaCO₃ (100%) donnera une mole de CaO (56%) et une mole de CO₂ (44%).

$$\text{On a \%CaCO}_3 = \frac{100}{56} \% \text{CaO}$$

$$\boxed{\% \text{CaCO}_3 = 1,78 \% \text{CaO}}$$

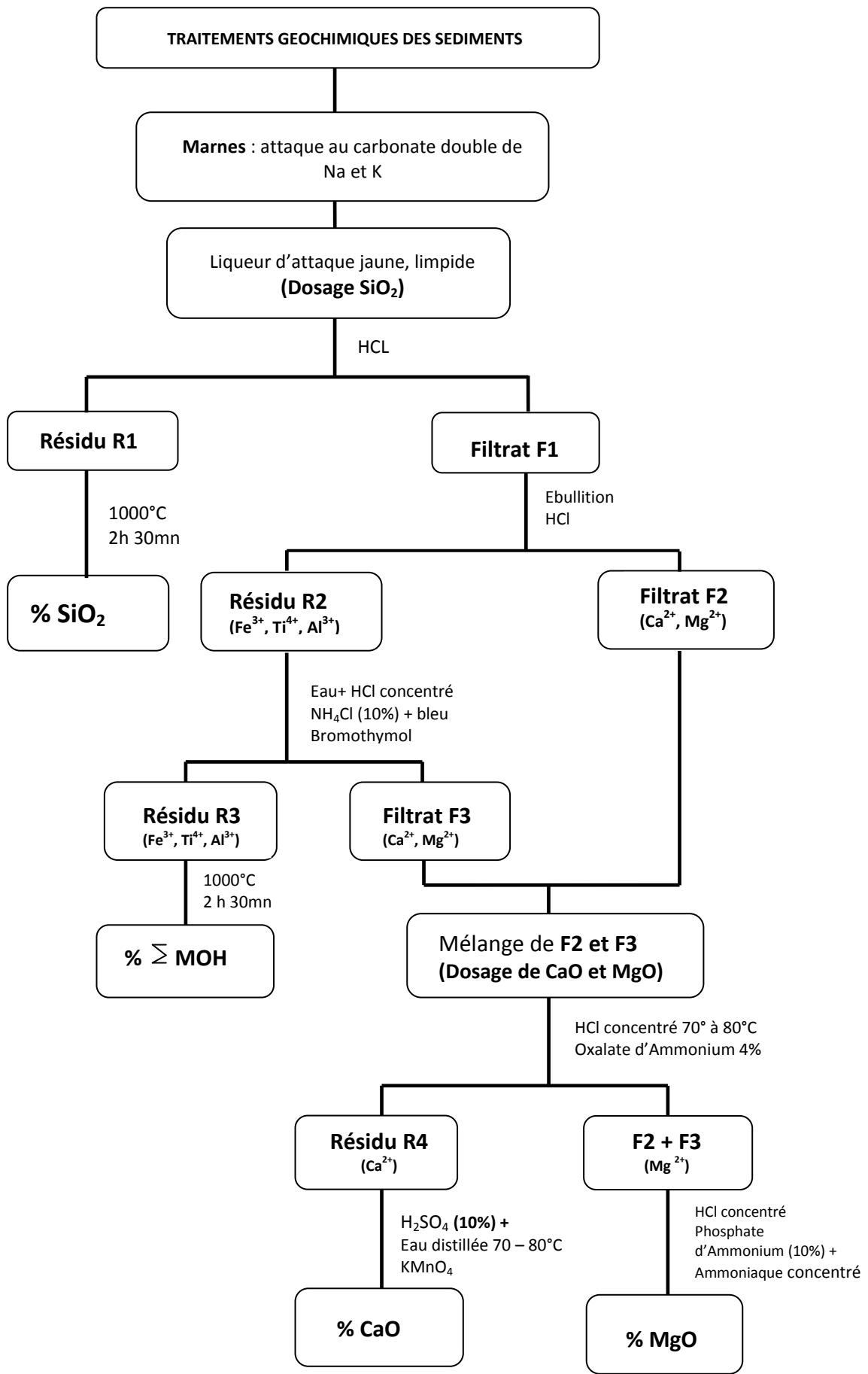


Figure 11 : Analyses géochimiques des sédiments

2.4 Méthode quantitative

Compte tenu des travaux effectués au laboratoire, nous avons utilisé l'Excel 2007 pour les analyses des données et le logiciel PAST 3.8 (Paleontological Statistics) pour le Cladistique.

2.4.1 Calcul des fréquences

L'étude des fréquences peut donner la possibilité d'étendre à l'époque Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur, l'utilisation des Foraminifères dans l'estimation de la paléobathymétrie et des variations eustatiques.

L'étude quantitative réalisée sur les Foraminifères planctoniques et benthiques est très importante pour caractériser les associations et en tirer des renseignements paléoécologiques.

- Les proportions relatives des microfaunes associées et des constituants non biogéniques (quartz,...) sont estimées dans chaque échantillon (lavage),
- La fréquence d'un groupe donné par rapport à l'ensemble de la faune sans faire de distinction entre les formes benthiques et planctoniques,
- Le rapport entre les formes hyalines et agglutinées,
- Les pourcentages des espèces caractéristiques du milieu.

Notre étude n'est pas basée sur la présence ou l'absence d'un individu pris séparément, mais sur des associations correspondant à un milieu ou à des conditions de vie déterminée.

Nous essayons d'analyser les variations du milieu grâce aux variations de la faune (surtout de la microfaune).

2.4.2 Test d'homogénéité

Ce test permet de vérifier l'homogénéité des deux régions étudiées.

Pour cela, nous avons intérêt à appliquer le test d'homogénéité pour chaque niveau (I, II, III) afin de nous assurer si les deux régions sont homogènes ou non.

Le test d'homogénéité ou d'égalité consiste à comparer les variances des deux populations.

- **Hypothèse :** les deux échantillons proviennent de 2 populations dont les variances sont égales à $H_0: S_1^2 = S_2^2$ c'est-à-dire que les deux niveaux des régions étudiées sont homogènes.

Pour ce test, deux cas peuvent se présenter :

1^{er} cas si : $S_1^2 < S_2^2$, la valeur de F se calcule de la façon suivante :

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

2^e cas si : $S_1^2 > S_2^2$, la valeur se calcule de F de la manière suivante :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

- Règle de décision

Voici la règle de décision que nous avons prise ; rappelons que le seuil de signification est de 0,05.

- Si F calculée est supérieure à F seuil lire dans la table de Fisher-Snedecor pour un risque d'erreur α fixé et (n_1-1, n_2-1) degrés de liberté, l'hypothèse nulle est rejetée.
- Si F calculée est inférieure à F seuil lire dans la table de Fisher-Snedecor pour un risque d'erreur α fixé et (n_1-1, n_2-1) degrés de liberté, l'hypothèse nulle est acceptée.

Avec F : valeur du test

n_1 : taille des échantillons de la population 1

n_2 : taille des échantillons de la population 2

n_1-1 : premier degré de liberté

n_2-1 : deuxième degré de liberté

S_1^2 : variance de l'échantillon 1

S_2^2 : variance de l'échantillon 2

2.4.3 Test d'indépendance

Le test de l'indépendance permet de vérifier l'indépendance entre les taxons (espèces) et les différents niveaux (I, II et III) des régions étudiées.

Ce test est destiné à comparer la valeur de X_c^2 calculée avec X_t^2 seuil lire dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur α fixé et $(r_1-1) (r_2-1)$ degrés de liberté.

- Hypothèse

H_0 : les distributions des taxons et les niveaux sont deux variables indépendants dans les différentes formations.

H_1 : les distributions des taxons et les niveaux ne sont pas indépendants dans les différentes formations.

- Règle de décision

Voici la règle de décision que nous avons prise ; rappelons que le seuil de signification est de 0,01.

- Si X_c^2 calculée est supérieure à X_t^2 seuil lire dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur α fixé et $(r_1-1) (r_2-1)$ degrés de liberté, l'hypothèse nulle est rejetée.
- Si X_c^2 calculée est inférieure à X_t^2 seuil lire dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur α fixé et $(r_1-1) (r_2-1)$ degrés de liberté, l'hypothèse nulle est acceptée.

Avec :

r_1 : modalité de site

r_2 : modalité de taxons par niveau

2.5 Révision systématique et esquisse phylogénétique

Les observations des microfossiles ont été réalisées sous une loupe binoculaire. Les déterminations des taxons (Familles, genres, espèces) ont été faites à travers la littérature caractéristique du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur.

Les Foraminifères ont une extension chronostratigraphique allant du Cambrien inférieur à l'époque actuelle (BIGNOT, 2001).

Les Foraminifères appartiennent à l'**Embranchement des Protozoaires**. Pour les paléontologues, un seul type de protiste (protozoaire) a été longtemps considéré comme fossilisable : le Rhizopode, animal à cytoplasme mou pourvu de pseudopodes, logé dans une coque solide fortement minéralisée. En fait, on n'a connu pendant longtemps que deux grandes

familles : Foraminifères, en grande majorité calcaires, et les Radiolaires, tous siliceux (J. PIVETAU, 1952).

Sous-Embranchement des Rhizopodes : ils sont caractérisés par le fait qu'ils vivent avec des pseudopodes, expansions de couche externe du cytoplasme (ectoplasme) servant à la locomotion et à la nutrition.

Classe des Granulo-reticulos : aux pseudopodes très fins, en réticulum, parcourus de courant de minuscules granules.

1^{er} Ordre : Athalamia, amibes nues.

2^e Ordre : Thalamia, à coque simple, organique ou sableuse, se reproduisant uniquement par division.

3^e Ordre Foraminifera (Foraminifères), à coque souvent complexe, calcaire, chitineuse, arénacée ou siliceuse.

Aucun Rhizopode nu n'est encore connu à l'état fossile et pour les paléontologues il est donc commode de diviser le sous embranchement en deux groupes.

1- Thécamoebiens, réunissant toutes les formes à coquilles, presque uniquement d'eau douce (quelques fossiles) ;

2- Foraminifères, pratiquement tous marins, parfois saumâtres, quelques rares formes vivantes adaptées aux eaux douces n'étant pas sûrement connues à l'état fossile.

La forme et la structure du test permettent de définir une systématique morphologique des Foraminifères (LOEBLICH R. et TAPPAN H., 1987). Les critères de détermination des Foraminifères pour la Famille est la suivante :

- 1- Nombre de loges
- 2- Arrangements des loges
- 3- Formes générales
- 4- Architecture de la paroi

TROISIEME PARTIE :

RESULTATS

3.1 LITHOSTRATIGRAPHIE

3.1.1 Les coupes au Nord d'Andranomavo

3.1.1.1 La coupe au Nord d'Andranomavo I

Les coordonnées géographiques sont : SUD : $16^{\circ}33' 14.7''$

EST : $45^{\circ} 33' 35.1''$

La coupe au Nord d'Andranomavo I se situe à 6 kilomètres au Nord du village d'Andranomavo.

Elle est constituée généralement de bas en haut par des marnes sur une épaisseur de 19,75 mètres (Figure 12) :

- marne jaune gréuseuse à *Bélemnites*,
- marne jaune tachetée de blanche,
- marne jaune à grains grossiers de quartz,
- marne jaune rouge finement gréuseuse,
- marne jaune à grise tachetée de blanche.

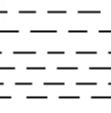
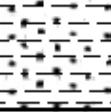
| AGE | EP. AISSEUR (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|-------------------|----------------------|------------------|---|--|
| CRETACE INFÉRIEUR | 2,30 | NAI ₅ |  | Marne jaune gréuseuse à <i>Bélemnites</i> et à Ammonites |
| | 9,25 | NAI ₄ |  | Marne jaune tachetée de blanche |
| | 2,75 | NAI ₃ |  | Marne jaune à grain grossier de quartz |
| | 3,5 | NAI ₂ |  | Marne jaune rouge finement gréuseuse |
| CALLOVIEN | 1,75 | NAI ₁ |  | Marne jaune à grise tachetée de blanche |

Figure 12 : Coupe lithologique au Nord d'Andranomavo I (Source : Auteur, échelle : 1/100)

3.1.1.2. La coupe au Nord d'Andranomavo II

Les coordonnées géographiques sont : SUD : $16^{\circ} 32' 09.8''$
EST : $45^{\circ} 35' 04.8''$

La coupe au Nord d'Andranomavo II a été réalisée à 8 kilomètres au Nord du village d'Andranomavo. Elle est composée en général par des marnes jaunes de bas en haut sur une épaisseur de 20 mètres (Figure 13) :

- marne gréuse jaune à blanche,
- marne jaune à *Bélemnites*,
- grès fin jaunâtre entrecroisé à *Bélemnites*,
- marne jaune blanchâtre (niveau tendre),
- marne jaune,
- marne silteuse jaune à *Bélemnites* et à *Ammonites*,
- marne jaune à grise à *Bélemnites*,
- marne argileuse jaune tachetée de blanche à *Bélemnites*,
- argile marneuse verdâtre ;
- argile marneuse grise en plaquette,
- argile silteuse grise indurée,
- argile grise (niveau mou).

| AGE | EPATISSEUR (mètre) | N° ÉCHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|-----------------------|--------------------|-------|---|
| CRETACE INFÉRIEUR | 1 | NAII ₁₂ | | Marne gréseuse jaune à blanche |
| | 0,25 | NAII ₁₁ | | Marne jaune à Bélemnites |
| | 1 | NAII ₁₀ | | Grès fin jaunâtre entrecroisé à Bélemnites |
| | 8 | NAII ₉ | | Marne jaune blanchâtre (partie tendre) |
| | 1 | NAII ₈ | | Marne jaune |
| | 1 | NAII ₇ | | Marne silteuse jaune à Bélemnites et à Ammonites |
| | 2 | NAII ₆ | | Marne jaune grise à Bélemnites |
| | 1,5 | NAII ₅ | | Marne argileuse jaune tacheté de blanche à Bélemnites |
| | 0,8 | NAII ₄ | | Argile marneuse verdâtre |
| | 2 | NAII ₃ | | Argile marneuse grise en plaquette |
| JURASSIQUE SUPERIEUR | 0,25 | NAII ₂ | | Argile silteuse grise indurée |
| | 0,75 | NAII ₁ | | Argile silteuse grise (niveau mou) |

Figure 13 : Coupe lithologique au Nord d'Andranomavo II (Source : Auteur, échelle 1/250)

NAII : Site au Nord d'Andranomavo II

3.1.1.3 La coupe de Komihevitra

Les coordonnées géographiques sont : SUD : $16^{\circ} 23' 52''$
EST : $45^{\circ} 35' 47''$

La coupe de Komihevitra débute à l'affleurement de la route vers Mitsinjo à 17 kilomètres au Nord d'Andranomavo. Elle est caractérisée par des marnes jaunes à vertes et sur une épaisseur de 9 mètres (Figure 14).

De bas en haut :

- marne verte tachetée de blanche à Ammonites,
- marne jaune verdâtre tachetée de blanche à Ammonites.

| AGE | EPATISSEUR (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|---------------------|----------------|-------|--|
| JURASSIQUE SUPERIEUR | 4 | K ₂ | | Marne jaune verdâtre tachetée de blanche à Ammonites |
| | 5 | K ₁ | | Marne verte tachetée de blanche à Ammonites |

Figure 14 : Coupe lithologique de Komihevitra (Source : Auteur, échelle : 1/100)

K : Site de Komihevitra

3.1.2 La coupe au Sud d'Antsalova

3.1.2.1 La coupe au Sud d'Antsalova I

Les coordonnées géographiques sont : SUD : $18^{\circ} 41' 507''$

EST : $44^{\circ} 37' 143''$

La coupe au Sud d'Antsalova I est formée en général par des marnes jaunes verdâtres à *Bélemnites* et à Ammonites, avec une épaisseur de 15,5 mètres environ (Figure 15).

Elle est constituée de bas en haut par :

- marne grise jaunâtre,
- marne jaune à verte,
- marne verdâtre tachetée de jaune,
- marne friable verdâtre à *Bélemnites* et à *Aptychus*,
- marne verdâtre à *Bélemnites* avec grains de sable à la surface supérieure.

| AGE | EPATÉAGE (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|-------------------|-----------------|-------|---|
| CRETACE INFÉRIEUR | 3,30 | AI ₅ | | Marne verdâtre à <i>Bélemnites</i> avec des grains de sable à la surface supérieure |
| JURASSIQUE SUPÉRIEUR | 6 | AI ₄ | | Marne friable verdâtre à <i>Bélemnites</i> et à <i>Aptychus</i> |
| CALLOMIEN | 1,5 | AI ₃ | | Marne verdâtre tachetée de jaune |
| | 2,10 | AI ₂ | | Marne jaune à verte |
| | 2,70 | AI ₁ | | Marne grise à jaune |

Figure 15 : Coupe lithologique au Sud d'Antsalova I (Source : Auteur, échelle : 1/100)

AI : Site d'Antsalova I

3.1.2.2 La coupe au Sud d'Antsalova II

Les coordonnées géographiques sont : SUD : $18^{\circ} 43' 348''$
EST : $44^{\circ} 37' 285''$

La coupe II au Sud d'Antsalova est caractérisée par des grès rouges à jaunes sur une épaisseur de plus de 10 mètres environ (Figure 16), qui est constitué des bas en haut par :

- grès grossier rouge,
- grès grossier rouge à jaune,
- grès moyen jaunâtre,
- grès moyen jaune.

| AGE | EPATTEUR (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|---------------|-------------------|------------------|-------|-----------------------------|
| CRETACE MOWEN | 2 | AII ₄ | | Grès moyen jaune |
| | 3,75 | AII ₃ | | Grès moyen jaunâtre |
| | 1,4 | AII ₂ | | Grès grossier rouge à jaune |
| | 3 | AII ₁ | | Grès grossier rouge |

Figure 16 : Coupe lithologique au Sud d'Antsalova II (Source : Auteur, échelle : 1/100)

AII : Site d'Antsalova II

La coupe au Nord d'Andranomavo I a été prise comme coupe de référence dans la région d'Andranomavo puisqu'elle est encadrée à la base par des marnes jaunes finement gréseuses (Callovien) et au sommet par des marnes jaunes gréseuses à *Bélemnites* (Crétacé inférieur). Elle

est considérée comme la plus complète parmi les trois coupes lithologiques effectuées dans la région d'Andranomavo.

La subdivision des coupes de référence (Nord d'Andranomavo I et Sud d'Antsalova I) est caractérisée suivant le faciès et la composition faunistique.

La coupe au Nord d'Andranomavo I (figure 17) est subdivisée en trois niveaux : à la base, le niveau I (NAI₁, NAI₂), surmonté par le niveau II (NAI₃, NAI₄) et au sommet le niveau III (NAI₅).

| ETAGE | NIVEAU | EPAISSEUR (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|--------|--------------------|------------------|-------|---|
| CRETACE INFÉRIEUR | III | 2,30 | NAI ₅ | | Marne jaune gréuese à Bélemnites et à Ammonites |
| JURASSIQUE SUPERIEUR | II | 9,25 | NAI ₄ | | Marne jaune tachetée de blanche |
| | | 2,75 | NAI ₃ | | Marne jaune à grain grossier de Quartz |
| Callovien | I | 3,5 | NAI ₂ | | Marne jaune rouge finement gréuese |
| | | 1,75 | NAI ₁ | | Marne jaune grise tachetée de blanche |

Figure 17 : Coupe lithologique de référence (Nord d'Andranomavo I) avec les différents niveaux. (Source : Auteur)

La coupe au Sud d'Antsalova I (figure 18) est subdivisée en trois niveaux dans la région d'Antsalova.

Elle est formée à la base par le niveau I (AI_1 , AI_2 , AI_3), surmontée par le niveau II (AI_4), et au sommet par niveau III (AI_5).

| ETAGE | NIVEAU | EPATIEUR (mètres) | N° ECHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|--------|---------------------|----------------------------|-------|---|
| CRETACE INFÉRIEUR | III | 3,30 | AI_5 | | Marne verdâtre à <i>Bélemnites</i> avec grain de sable à la surface supérieure |
| JURASSIQUE SUPÉRIEUR | II | 6 | AI_4 | | Marne friable verdâtre à <i>Bélemnites</i> et à <i>Aptychus</i> |
| CALLOVIEN | I | 1,5 2,10 2,70 | AI_3 AI_2 AI_1 | | Marne verdâtre tachetée de jaune Marne jaune à verte Marne grise jaunâtre |

Figure 18 : Coupe lithologique de référence (Sud d'Antsalova I) avec les différents niveaux
(Source : Auteur)

3.1.3 Abondance des microfossiles

3.1.3.1 La composition des résidus

L'estimation de la proportion relative des microfossiles et des constituants non biogéniques ont été faite pour chaque lavage de l'échantillon, ainsi que la proportion des différents groupes de microfossiles : Foraminifères et Ostracodes.

Tableau 1 : Répartition des matériels dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Andranomavo

| Niveau | Matières en % | |
|--------|---------------|--------------------------|
| | Microfossiles | Matières non biogéniques |
| I | 11 | 89 |
| II | 61 | 39 |
| III | 83 | 17 |

Le pourcentage des microfossiles augmente de bas en haut de la formation (niveau I : 11% et niveau III : 83%), alors que le pourcentage des matières biogéniques diminuent de bas en haut (niveau I : 89% et niveau III : 17 %).

Tableau 2 : Répartition des matériels dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Antsalova.

| Niveau | Matières en % | |
|--------|---------------|--------------------------|
| | Microfossiles | Matières non biogéniques |
| I | 8 | 92 |
| II | 36 | 64 |
| III | 72 | 28 |

Le pourcentage des microfossiles augmente de bas en haut de la formation (niveau I : 8% et niveau III : 72%). Par contre les matières non biogéniques diminuent de bas en haut (niveau I : 92% et niveau III : 28%).

Tableau 3 : Répartition des microfossiles dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Andranomavo.

| Niveau | Microfossiles en % | |
|--------|--------------------|------------|
| | Foraminifères | Ostracodes |
| I | 86 | 14 |
| II | 91 | 9 |
| III | 95 | 5 |

Ce tableau montre la prédominance des Foraminifères dans les différents niveaux de la région d'Andranomavo, car leur pourcentage est très élevé (86% à 95%) par rapport à celui des Ostracodes (5 à 14 %).

Tableau 4 : Répartition des microfossiles dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Antsalova.

| Niveau | Microfossiles en % | |
|--------|--------------------|------------|
| | Foraminifères | Ostracodes |
| I | 89 | 11 |
| II | 93 | 7 |
| III | 97 | 3 |

La répartition des microfossiles dans la région d'Antsalova est marquée par la prédominance des Foraminifères dans chaque niveau (89% à 97%) par rapport aux Ostracodes (3% à 11%).

3.1.3.2. La composition faunistique

La composition faunistique dépend de la variation du niveau de la mer (eustatisme). Elle change avec le temps et les caractéristiques des sédiments. Les Foraminifères sont très abondants dans les marnes. Par contre, ils sont très rares ou même absents dans les dépôts détritiques.

Les Foraminifères benthiques sont très abondants dans les trois niveaux considérés des deux régions étudiées (Niveau I, II, III).

Notons la prédominance des Foraminifères calcitiques hyalins par rapport aux agglutinés et aussi la présence de quelques nouvelles espèces de Foraminifères benthiques dans les niveaux II et III.

Tableau 5 : Répartition de quelques groupes de Foraminifères benthiques dans les sites de la région d'Andranomavo.

| Niveau | Foraminifères en % | | | | | | |
|--------|--------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-----------------|
| | Textulariidae | Nodosariidae | Epistomidae | Spirillinidae | Glandulidae | Vaginulidae | Polymorphinidae |
| I | - | 100 | - | - | - | - | - |
| II | 5.36 | 79.5 | 4.19 | 3.15 | 2.10 | 2.47 | - |
| III | - | 91.36 | - | 4.33 | - | - | 3.24 |

Le niveau I dans la région d'Andranomavo est dominé par la seule Famille des Nodosariidae. Le niveau II est marqué par la présence de quelques Familles comme les Textulariidae, les Epistomidae, les Spirillinidae, les Glandulidae et les Vaginulidae. Le niveau III ne présente que trois Familles à savoir les Nodosariidae, les Spirillinidae et les Polymorphinidae. La Famille des Nodosariidae prédomine par rapport aux autres Familles dans les trois niveaux de la région d'Andranomavo.

Tableau 6 : Répartition des Foraminifères et des Ostracodes au Nord d'Andranomavo I (NAI).

| Nombre de microfossiles | Échantillons | | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | NAI ₁ | NAI ₂ | NAI ₃ | NAI ₄ | NAI ₅ |
| Foraminifères benthiques | 96 | 102 | 151 | 183 | 213 |
| Formes hyalines | 96 | 102 | 151 | 183 | 213 |
| Formes Agglutinées | - | - | - | 27 | - |
| Nombre total de Foraminifères | 96 | 102 | 151 | 210 | 213 |
| Ostracodes | 19 | 12 | 37 | 42 | 52 |

Le site au Nord d'Andranomavo I est marqué par l'augmentation du nombre des microfossiles (Foraminifères et Ostracodes) allant de la base de la formation (échantillon NAI₁) jusqu'au sommet (échantillon NAI₅). Ce site est caractérisé par le nombre très élevé de Foraminifères (nombres des Foraminifères : 96 à 213), mais le nombre des Ostracodes est assez faible (nombres des Ostracodes : 19 à 52).

Tableau 7 : Répartition des Foraminifères benthiques au Nord d'Andranomavo II (NAII).

| Nombre de microfossiles | Echantillons | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | NAII ₁ | NAII ₂ | NAII ₃ | NAII ₄ | NAII ₅ | NAII ₆ | NAII ₇ | NAII ₈ | NAII ₉ | NAII ₁₀ | NAII ₁₁ | NAII ₁₂ |
| Foraminifères benthiques | 89 | 94 | 126 | 190 | 212 | 219 | 239 | 262 | 114 | 91 | 73 | 56 |
| Formes hyalines | 68 | 94 | 126 | 190 | 212 | 219 | 239 | 262 | 114 | 91 | 73 | 56 |
| Formes Agglutinées | 21 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Nombre total de Foraminifères | 89 | 94 | 126 | 190 | 212 | 219 | 239 | 262 | 114 | 91 | 73 | 56 |
| Ostracodes | 8 | 13 | 12 | 17 | 19 | 23 | 25 | 20 | 14 | 9 | 7 | 4 |

Ce tableau montre un grand nombre de diversification des Foraminifères dans les échantillons NAII₃ jusqu'à NAII₉ ; les Foraminifères agglutinés sont très rares et ne se trouvent que dans l'échantillon NAII₁.

La formation d'Andranomavo II est caractérisée par la prédominance des Foraminifères (nombre des Foraminifères : 56 à 239) et rareté des Ostracodes (nombre d'Ostracodes : 4 à 25).

Tableau 8 : Répartition des Foraminifères et des Ostracodes Komihevitra (K).

| Nombre de microfossiles | Echantillons | |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| | K ₁ | K ₂ |
| Foraminifères benthiques | 153 | 213 |
| Formes hyalines | 136 | 187 |
| Formes Agglutinées | 17 | 26 |
| Formes planctoniques | - | 9 |
| Nombre total de Foraminifères | 153 | 213 |
| Ostracodes | - | 24 |

Le site de Komihevitra est remarquable par la présence des Foraminifères planctoniques dans l'échantillon K₂, le nombre des Foraminifères est très élevé par rapport à celui des Ostracodes.

Tableau 9 : Répartition des Foraminifères benthiques et des Ostracodes d'Antsalova.

| Nombre de microfossiles | Échantillons | | | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | AI ₁ | AI ₂ | AI ₃ | AI ₄ | AI ₅ |
| Foraminifères benthiques | 69 | 88 | 169 | 315 | 298 |
| Formes hyalines | 69 | 88 | 169 | 315 | 239 |
| Formes Agglutinées | - | - | - | - | 59 |
| Nombre total de Foraminifères | 69 | 88 | 169 | 315 | 298 |
| Ostracodes | - | - | 21 | 42 | 34 |

Le nombre des Foraminifères dans le niveau inférieur dans la formation d'Antsalova est assez faible (nombre des Foraminifères de 69 à 88). Les Ostracodes sont encore absents. Le niveau supérieur de cette formation est marqué par un nombre très élevé des Foraminifères (nombres des Foraminifères de 169 à 315). Les Foraminifères agglutinés et les Ostracodes persistent aussi dans ce niveau. Les Formations de la région d'Antsalova sont encore caractérisées par la prédominance des Foraminifères benthiques.

3.2 ANALYSE GEOCHIMIQUE

L'analyse géochimique des échantillons prélevés dans la région d'Andranomavo (Nord d'Andranomavo I, II ; Komihetivitra) et dans la région d'Antsalova (Antsalova I) montre que les sédiments sont constitués en général par des marnes selon leurs aspects sur terrain. Leurs pourcentages en CaCO₃ sont situés entre 34,71% et 56,07%.

La marne est une roche sédimentaire, constituée par un mélange de calcaire (CaCO₃) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 %. Au-delà de 65% de calcaire il s'agit d'un calcaire argileux, tandis qu'en deçà de 35% de calcaire il est question d'argile calcaire. En effet, la marne a fait des effervescences avec l'Acide Chlorhydrique (réaction à chaud).

La marne est utilisée pour l'amendement des sols acides. Ainsi c'est un produit d'amendement des cultures afin de rendre les sols moins acides.

La marne avec sa composition calcaire élevée et son abondance est un ingrédient idéal pour les usages qui ne requiert pas en final une chaux d'un haut niveau de pureté, l'élaboration de mortier par exemple. Le ciment Portland d'aujourd'hui utilise toujours la marne comme ingrédient principal.

Tableau 10 : Résultats d'analyse géochimique des échantillons.

| | | Eléments chimiques en% | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|--------------|-------|
| | | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | CaCO ₃ | Perte au feu | |
| ANDRANOMAVO | Andranomavo I | NAI ₁ | 40.05 | 1.05 | 12.50 | 3.50 | 1.50 | 21.10 | 37.55 | 4.05 |
| | | NAI ₂ | 49.05 | 1.50 | 14.05 | 4.05 | 1.05 | 20.50 | 36.49 | 5.50 |
| | | NAI ₃ | 43.50 | 1.50 | 13.50 | 3.50 | 1.50 | 19.05 | 33.90 | 9.50 |
| | | NAI ₄ | 41.50 | 0.50 | 0.50 | 2.50 | 1.10 | 31.50 | 56.07 | 20.50 |
| | | NAI ₅ | 44.05 | 1.50 | 1.50 | 3.05 | 1.05 | 28.05 | 49.92 | 19.50 |
| ANDRANOMAVO II | Andranomavo II | NAII ₁ | 41.05 | 0.30 | 2.05 | 4.05 | 5.05 | 20.05 | 35.68 | 19.05 |
| | | NAII ₂ | 42.50 | 0.30 | 1.50 | 5.05 | 5.50 | 21.50 | 38.27 | 21.05 |
| | | NAII ₃ | 41.50 | 0.50 | 2.05 | 4.50 | 4.05 | 21.50 | 38.27 | 20.50 |
| | | NAII ₄ | 43.05 | 0.50 | 2.05 | 5.05 | 5.05 | 19.50 | 34.71 | 18.05 |
| | | NAII ₅ | 46.50 | 0.50 | 2.50 | 5.50 | 4.50 | 15.05 | 26.78 | 19.50 |
| | | NAII ₆ | 48.50 | 0.50 | 3.50 | 6.05 | 4.05 | 13.50 | 24.03 | 16.50 |
| | | NAII ₇ | 47.05 | 0.50 | 1.50 | 5.50 | 5.50 | 18.05 | 32.12 | 19.05 |
| | | NAII ₈ | 44.50 | 0.30 | 0.50 | 1.50 | 5.05 | 24.50 | 43.61 | 20.50 |
| | | NAII ₉ | 41.05 | 0.30 | 0.50 | 2.50 | 4.50 | 24.05 | 42.80 | 22.05 |
| | | NAII ₁₀ | 38.50 | 0.30 | 0.50 | 3.50 | 1.50 | 26.05 | 46.36 | 25.50 |
| | | NAII ₁₁ | 36.50 | 0.30 | 0.50 | 5.50 | 1.50 | 26.50 | 47.17 | 26.30 |
| | | NAII ₁₂ | 37.05 | 0.20 | 0.30 | 6.05 | 1.05 | 27.05 | 48.14 | 25.50 |
| ANTSALOVA | Komihé vitra | K ₁ | 31.50 | 0.30 | 11.05 | 6.50 | 1.05 | 11.50 | 20.47 | 19.05 |
| | | K ₂ | 30.05 | 0.20 | 13.50 | 7.05 | 2.50 | 12.50 | 22.25 | 20.50 |
| Sud d'Antsalova I | AI ₁ | AI ₁ | 38.50 | 0.50 | 13.50 | 5.50 | 3.50 | 20.50 | 36.49 | 10.50 |
| | AI ₂ | AI ₂ | 37.05 | 0.30 | 14.50 | 6.50 | 3.05 | 22.30 | 39.69 | 12.50 |
| | AI ₃ | AI ₃ | 33.50 | 0.50 | 10.50 | 5.50 | 2.50 | 25.50 | 45.39 | 10.50 |
| | AI ₄ | AI ₄ | 35.05 | 0.30 | 3.05 | 5.05 | 2.05 | 30.50 | 54.29 | 9.05 |
| | AI ₅ | AI ₅ | 44.50 | 0.50 | 1.50 | 6.05 | 2.50 | 19.50 | 34.71 | 7.50 |

Ce tableau montre que les teneurs en MgO sont très faibles dans toutes les Formations des deux régions étudiées.

3.2.1 Site d'Andranomavo

➤ Dans le site d'Andranomavo I, la teneur en CaCO₃ est très variée dans toute la formation, avec un pourcentage situé entre 33,90% et 56,07%.

Le pourcentage en SiO₂ est assez élevé avec une valeur moyenne de 43,63% alors que la teneur en MgO est très faible (1,33%).

- Dans le site d'Andranomavo II, le pourcentage de CaCO₃ varie entre 24,03% à 48,14% et celui de SiO₂ entre 37,05% et 48,50% dans toute la Formation. La teneur en MgO est assez élevée, avec une valeur moyenne de 3,81%.
- Dans le site de Komihevitra, la valeur moyenne du pourcentage est de 21,36% pour le CaCO₃ ; 1,75% pour le MgO et 30,77% pour SiO₂. La variation du pourcentage des éléments majeurs dans le sédiment n'est pas remarquable car ce site n'est composé que de deux échantillons.

3.2.2 Site d'Antsalova

- Dans le site d'Antsalova I, le pourcentage en CaCO₃ varie entre 34,71% et 54,29%, mais la teneur en MgO est assez faible aux environs de 3,81%. La teneur en SiO₂ élevée avec une valeur moyenne de 37,72%.

3.3 MICROFOSSILES

La plupart des sédiments dans les régions étudiées (Andranomavo et Antsalova) sont constitués par des marnes. Ils renferment une association des microfaunes diversifiées dont la conservation est plus ou moins complète.

Les compositions faunistiques varient en fonction du temps et des sédiments qui les caractérisent.

3.3.1 Dans la région d'Andranomavo

Dans le niveau I, les microfossiles ne constituent que 11 % des résidus obtenus, il est dominé par des Foraminifères benthiques (Figure 17, niveau I).

Les niveaux II et III sont très riches en espèces et en individus car ils sont constitués respectivement de 39 % et de 83% (Figure 19, niveau II et III).

3.3.2 Dans la région d'Antsalova

Au niveau I, les microfossiles sont dominés par des Foraminifères benthiques dont leurs associations ne constituent que 8% des résidus obtenus (Figure 20, niveau I). Mais au fur et à mesure qu'on monte de niveau, le pourcentage des microfossiles devient plus important.

Le niveau II et III présente un pourcentage assez élevé respectivement de 36 % et de 72% (Figure 20, niveau II et III).

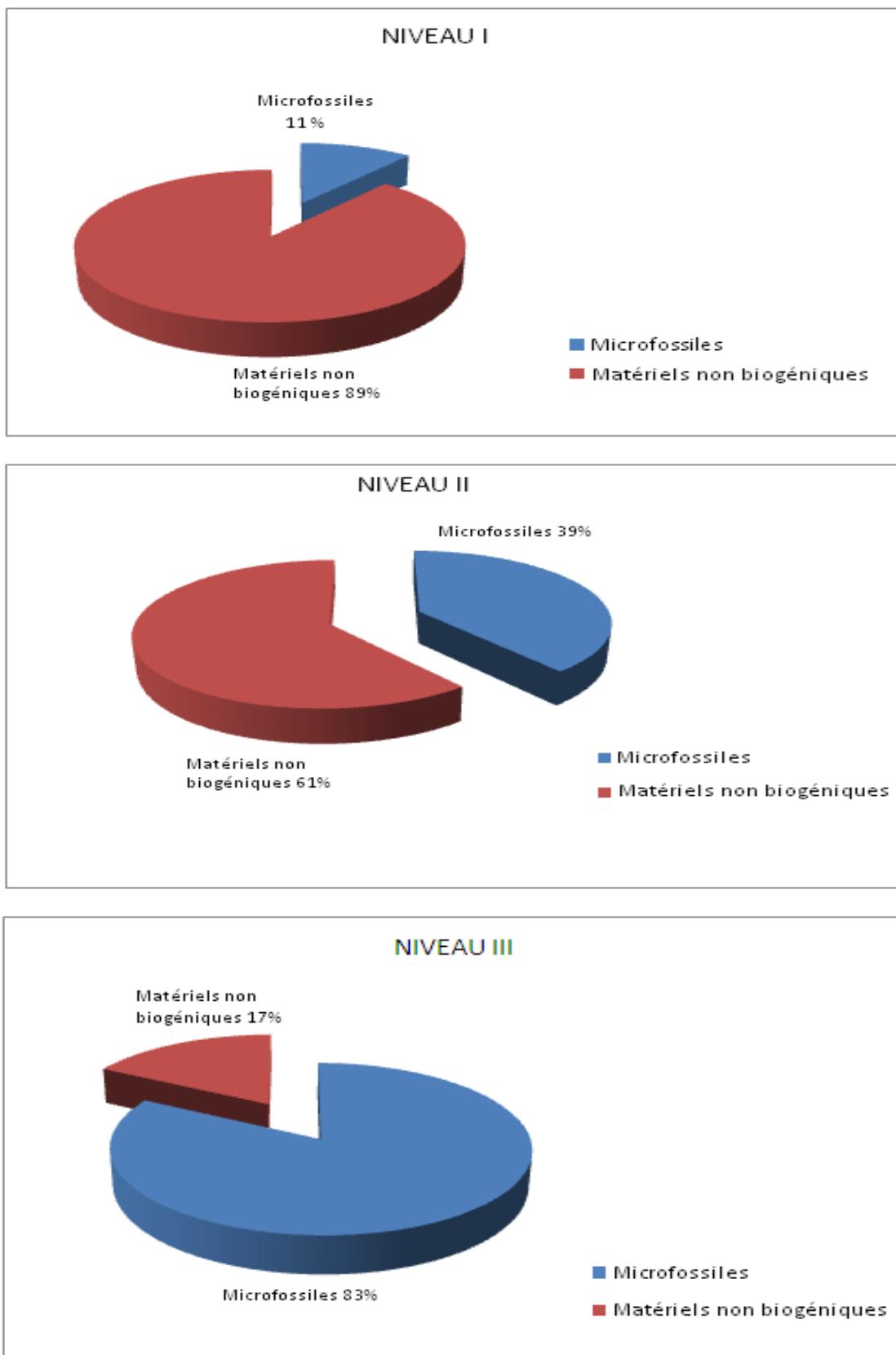


Figure 19 : Répartition des matériaux non biogéniques et des microfossiles dans la région d'Andranomavo (Niveau I, II, III).

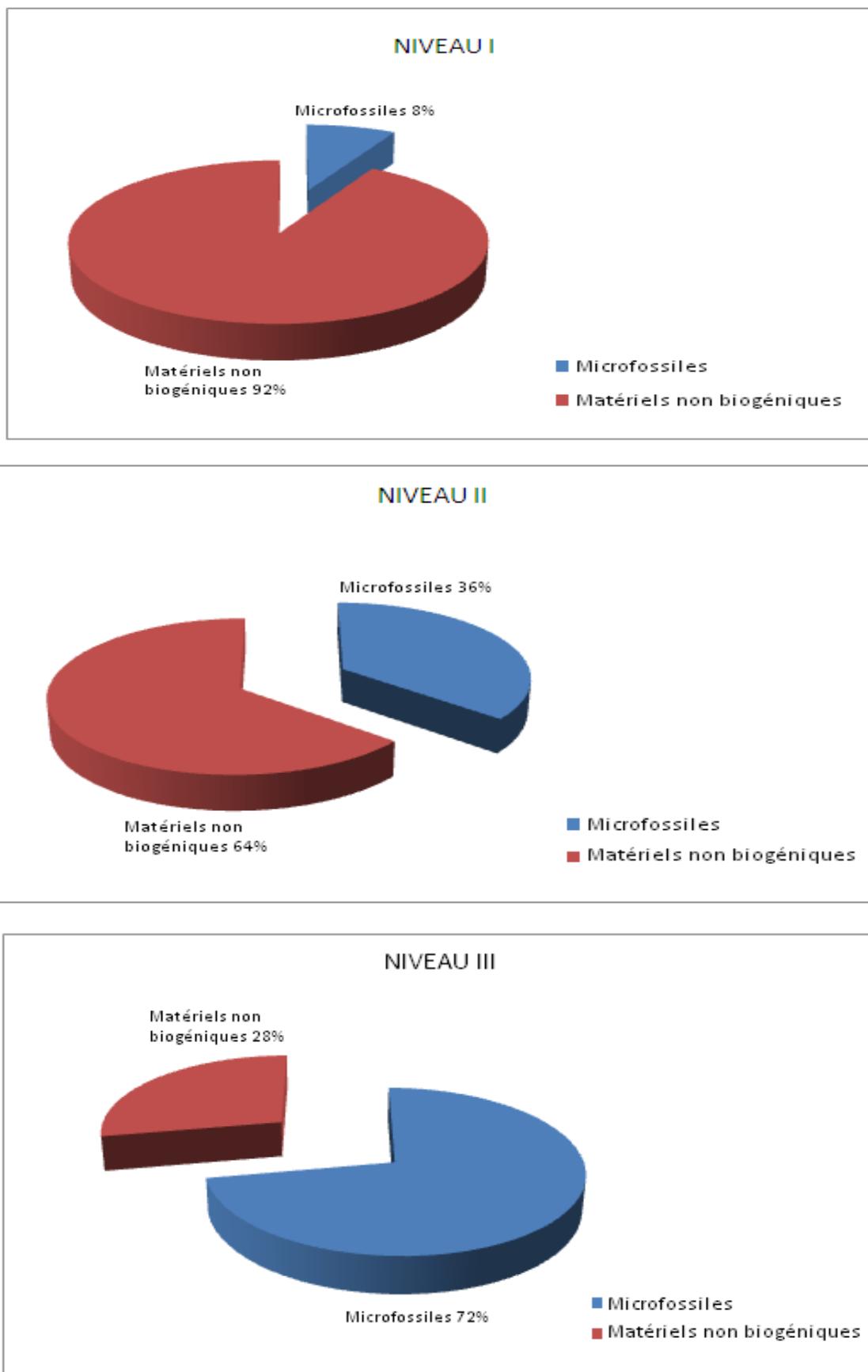


Figure 20 : Répartition des matériaux non biogéniques et des microfossiles dans la région d'Antsalova.

Les principaux microfossiles rencontrés sont :

- Les Foraminifères,
- Les Ostracodes,
- Spicules de Spongiaires.

3.3.3 Les Foraminifères

Les déterminations, les comparaisons des différentes formes observées ont été effectuées à partir des descriptions et figurations holotypiques. Plusieurs critères ont été utilisés pour leur classification. La classification a été établie sur les caractères morphologiques de leurs tests. Quelques espèces sont laissées en nomenclature ouverte par la présence des variations des caractères par rapport aux formes connues.

La classification adoptée est celle d'ESPITALIE & SIGAL (1963), LOEBLICH & TAPPAN(1964).

CLASSIFICATION :

Règne : ANIMAL

Embranchement des PROTOZOAires

Sous- embranchement des RHIZOPODES

Classe des GRANULO-RETICULOSA

Ordre des FORAMINIFERIDA EICHWALD, 1830

3.3.3.1 Les Foraminifères benthiques

➤ Caractéristiques générales

Les Foraminifères benthiques observés aux affleurements d'Andranomavo et d'Antsalova sont abondants et bien conservés. Les Foraminifères hyalins prédominent puis viennent ensuite les Foraminifères agglutinés. Dans chaque coupe, le pourcentage des Foraminifères à tests hyalins et agglutinés présentent une grande différence.

➤ Détermination systématique

Sous-ordre TEXTULARIINA DELAGE et HEROUARD, 1896

Famille TEXTULARIIDAE EHRENBURG, 1838

Sous-famille TEXTULARIINAE EHRENBURG, 1838

Genre *Textularia* DEFRENCE, 1824.

Test agglutiné, loges bisériées de taille croissante.

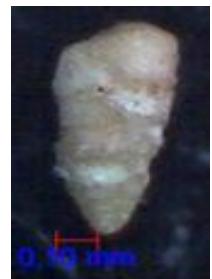
***Textularia* sp.**

photo 5.

Test agglutiné, forme triangulaire élancée, loges bisériées de taille croissante au nombre de 7 séparées par des sutures déprimées, ouverture en fente à la base de la dernière loge.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄, NAI₁) et d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Berriasiens.



5. *Textularia* sp.

Sous- famille GLOBOTEXTULARIA CUSHMAN, 1922

Genre *Dorothia* PLUMMER, 1931

Test agglutiné, légèrement comprimé, forme élancée, évasée, pointue à la base, surface rugueuse, loges bisériées plus larges que hautes, sutures distinctes, déprimées, ouverture en fente horizontale.

***Dorothia* sp.**

photo 6.

Test agglutiné, légèrement comprimé, forme évasée, pointue à la base, surface rugueuse, loges bisériées plus larges que hautes, sutures très distinctes, déprimées, ouverture en fente horizontale.

Gisement : marnes de Komihevitra (K₁, K₂)

Répartition stratigraphique : Oxfordien – Kimméridgien.



6. *Dorothia* sp.

Famille LITUOLIDAE REUSS, 1861

Sous-famille LITUOLINAE DE BLAINVILLE, 1825

Genre *Ammobaculites* CUSHMAN, 1910

Test agglutiné, portion initiale spiralée suivie d'une hampe unisériée, sutures déprimées et avec une ouverture terminale simple et arrondie.

***Ammobaculites* sp.**

photo 7.

Test agglutiné, portion initiale spiralée suivie d'une hampe unisériée, sutures assez déprimées et une ouverture terminale simple.

Gisement : marnes d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Tithonique supérieur – Berriasiens.



7. *Ammobaculites* sp.

Sous-ordre ROTALIINA DELAGE et HEROUARD, 1896

Super -famille NODOSARIACEA EHRENBERG, 1838

Famille NODOSARIIDAE EHRENBERG, 1838

Sous-famille de NODOSARIINAE EHRENBERG, 1838

Genre *Astacolus*

Test allongé, spire incomplète, loges terminales tendant à se dérouler reposant sur la périphérie du tour précédent, ouverture radiée.

***Astacolus mutilatus* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

photo 8.

Test hyalin, peu comprimé, périphérie subaiguë carénée, face orale triangulaire plane, loges au nombre de 10, séparées par des sutures régulièrement arquées et légères qui vont en s'accentuant vers le centre, ouverture radiée.

La variation se manifeste surtout au niveau de la taille et des sutures.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₄, NAI₇) ; d'Antsalova (AI₂)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Hauterivien.



8. *Astacolus mutilatus*

***Astacolus eritheles* LOEBLICH ET TAPPAN, 1950**

Photo 9.

Synonymie :

- *Vaginulinopsis eritheles* n. sp. LOEBLICH and TAPPAN, 1950, p. IX, pl. I, fig. 9-13.
- *Astacolus eritheles* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl.VI, fig.4.

Test hyalin, assez fortement renflé, avec 10 loges jusqu'au dernier tour de spire.

Les loges sont de forme régulièrement triangulaire, séparées par des sutures arquées, ouverture radiée. La variation est surtout dans le degré de déroulement, ne dépassant pas le stade *Astacolus* déroulé.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₇)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen - Oxfordien inférieur.



9. *Astacolus eritheles*

***Astacolus* sp. 3307 ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Synonymie :

- *Astacolus* sp. 3307 ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl.VI, fig.5.

Test hyalin, loges au nombre de 7, présence d'une hampe composée de 2 loges séparées par des sutures inclinées. C'est une espèce de plus petite taille.

Cette espèce diffère d'*Astacolus eritheles*, LOEBLICH ET TAPPAN, 1950, par des sutures qui ne touchent pas la périphérie.

Elle pourrait être voisine de *Cristellaria suprajurassica* WHAGGER, 1865, mais avec une spire bien moins riche en loges.

Gisement : marnes d'Antsalova (AI₅).

Répartition stratigraphique : Kimméridgien - Portlandien

***Astacolus dorsoacriatus*, WISNIOWSKI, 1890.**

Photo 10.

Synonymie :

- *Cristellaria dorsoacruata* n. sp. WISNIOWSKI, 1890, p.211, pl. IX, fig. 11.

Test hyalin, fortement arqué et dont la largeur augmente dans de plus grandes proportions. Loges au nombre de 5 séparées par des sutures inclinées et avec une ouverture radiée.

Gisement : Marnes d'Andranomavo (NAII₈)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Portlandien inférieur.



10. *Astacolus dorsoacriatus*

Astacolus aff. insecta SCHWAGER, 1865

Photo 11.

Synonymie :

- *Cristellaria insecta* n. sp. SCHWAGER, 1865, pl.VI, fig.1.
- *Cristellaria megastoma* KUBLER & ZWIGLA, 1870, p.1, pl. IV, fig.11.
- *Cristellaria convexa* n. sp. KUBLER& ZWIGLA, 1870, p.34, pl. IV, fig.10.
- *Lenticulina minuta* BORNEM, in ZIEGLER, 1939, pl.III, fig. 30.

Test hyalin, très simple, petite taille formé de 9 loges relativement renflées, séparées par des sutures arquées et déprimées profondément.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂, NAI₈, NAI₁₁, NAI₁₂)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Oxfordien inférieur.



11. *Astacolus aff. insecta*

Genre *Lenticulina* LAMARCK, 1804

Test lenticulaire à subcirculaire, enroulement planispiralé involute ou évolute, spire ou tour complet, fermé. Présence de carène, sutures en relief fin venant se souder autour de l'ombilic, ouverture radiée.

Lenticulina sp. 129 ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 12.

- *Lenticulina* sp. 129 ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. X, fig. 1-5.

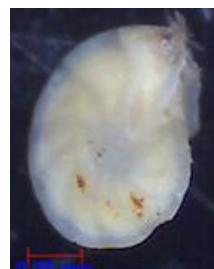
Test hyalin, lenticulaire épais, loges nombreuses (7-11) séparées par des sutures arquées, disposées tangentiellement par rapport au disque, ouverture radiée et une périphérie aigue.

La variation se traduit :

- dans le degré d'aplatissement latéral du test,
- dans le nombre de loges et même les sutures.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₄, NAI₄, NAI₇, NAI₈, NAI₈, NAI₁₂) ; de Komihevitra (K₁, K₂) et d'Antsalova (AI₂, AI₃, AI₄, AI₅).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen - Hauterivien



12. *Lenticulina* sp.

Lenticulina collignonii ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 13.

- *Lenticulina collignonii* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl VIII, fig. 8, pl. IX, fig. 1 – 14, pl. XXXVI, fig. 3.

Test hyalin à face latérale ornée de côtes longitudinales, un peu oblique s’arrêtant brusquement au dessus de la partie supérieure déprimée de la loge précédente. Loges au nombre de 6 séparées par des sutures déprimées. La variation essentielle est dans le mode d’ornementation c’est-à- dire plus ou moins rugueuse.

Gisement : marnes d’Andranomavo (NAI₃, NAI₆, NAI₇)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien inférieur.



13. *Lenticulina collignonii*

Lenticulina subtilis WISNIOWSKI, 1890

Photo 14.

Synonymie :

- *Cristellaria subtilis* n. sp. WISNIOWSKI, 1890, p. 226, pl. IX, fig. 29.
- *Lenticulina subtilis* WISNIOWSKI, 1890, pl. VI, fig. 12.

Test hyalin, petit, involute, ombiliqué, caréné, composé de 8 loges, séparées par des sutures fines arquées, puis légèrement déprimées. La variation se manifeste sur le degré d’involution, le déroulement jusqu’au stade *Astacolus*, d’ailleurs assez grande : sur la taille des dernières loges, surtout de l’ombilic plus ou moins fermé et occupé même par un umbo, déroulement jusqu’au stade *Astacolus*. Elle se différencie de *Cristellaria subtilis* var. 3260 n. var., avec qui elle est associée, par la présence de la carène et un test plus comprimé et plus évolutive.

Gisement : marnes d’Andranomavo (NAI₁, NAI₂) ; de Komihevitra (K₁) et d’Antsalova (AI₃)

Répartition stratigraphique : Callovien – Valanginien.



14. *Lenticulina subtilis*

Lenticulina fracta ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 15.

- *Lenticulina fracta* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. VI, fig. 2 et 3.

Test hyalin peu renflé, 8 loges régulièrement triangulaires séparées par des sutures faiblement arquées. Face orale de la dernière loge évasée et légèrement convexe, ouverture radiée.

Variation autour du type : le nombre de loges varie peu (7 à 9).

La variation essentielle est celle de la forme générale du test.

En effet des individus correspondant à un stade *Astacolus* c'est-à-dire une tendance au déroulement est observé.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₂), de Komihevitra (K₁) et d'Antsalova (AL₄)

Répartition stratigraphique : Oxfordien inférieur.



15. *Lenticulina fracta*

***Lenticulina andromede* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

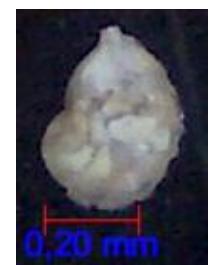
Photo 16.

- *Lenticulina andromede* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XV, fig. 2.

Test hyalin moyennement involute, montrant une tendance au déroulement peu prononcé. Périphérie légèrement polygonale. Loges au nombre de 10 jusqu'au dernier tour. Sutures légèrement arquées, fortement en relief. Face orale plus ou moins triangulaire et ouverture radiée. Le nombre de loges peut varier entre 7 et 10. Un épaississement plus sensible de la suture à une petite distance du départ du disque ombilical est noté.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₁, NAII₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Barrémien.



16. *Lenticulina andromede*

***Lenticulina cf. secans* var. *angulosa* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Synonymie :

- *Cristellaria secans* var. *angulosa* non var. CHAPMAN, 1896, p. 3, pl. I, fig. 4.
- *Lenticulina cf. secans* var. *angulosa* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XIII, fig. 3.

Test hyalin, involute avec légère tendance au déroulement, assez aplati, à périphérie carénée. Loges au nombre de 9 jusqu'au dernier tour, sutures arquées, en crête en relief. Ouverture radiée et face orale triangulaire.

Elle diffère de *Cristellaria nodosa* REUSS 1863, par l'absence d'une dépression dans la région ombilicale et par le nombre moins grand des loges.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅) et d'Antsalova (AL₅).

Répartition stratigraphique : Berriasien – Hauterivien.

***Lenticulina tsaramandrosoensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 18.

- *Lenticulina tsaramandrosoensis* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XIV, fig. 4 à 6.

Test hyalin, involute, de petite taille, 8 loges séparées par des sutures arquées et qui ne touchent pas la périphérie. Face orale très peu convexe, en triangle et ouverture radiée. La variation se manifeste sur la jonction des sutures dans la région ombilicale, aboutit parfois à un disque presque régulier de petite taille et peu saillant.

Gisement : marnes d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Hauterivien.



18. *Lenticulina tsaramandrosoensis*

***Lenticulina dineontos* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 19.

- *Lenticulina dineontos* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XIV, fig. 1 à 3.

Test hyalin involute, peu épais, caréné. Loges au nombre de 8 dans le dernier tour, séparées par des sutures arquées au ras du test à la périphérie. Face orale légèrement convexe et ouverture radiée. La variation autour du type : généralement, le nombre de loges varie de 8 à 10. Chez les individus jeunes, il semble moindre (7). Les côtes se soudent en un amas plus ou moins compact, mais non en disque.

Gisement : marnes d'Antsalova (AI₅).

Répartition stratigraphique : Portlandien – Hauterivien



19. *Lenticulina dineontos*

Genre *Marginulina* d'ORBIGNY, 1926

Test unisérié, allongé caractérisé par de spire formée de (4-5) loges renflées. Les sutures sont déprimées et presque horizontales ou inclinées, ouverture terminale radiée.

***Marginulina gracilissima* REUSS, 1892**

Photo 20.

Synonymie :

- *Cristellaria gracilissima* n. sp. REUSS, 1862, p. 64, pl.VI, fig. 9-10.
- *Marginulina gracilissima* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XVIII, fig. 17.

Test hyalin, allongé caractérisé par la dernière spire formée de 5 loges renflées.

Les sutures sont déprimées et presque horizontales. Ouverture radiée.



20. *Marginulina gracilissima*

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Berriasien.

***Marginulina* sp. 3330 ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 21.

- *Marginulina* sp. 3330 ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl.XVIII, fig. 13.

Test hyalin, macrosphérique à loges légèrement renflées, loges au nombre de 5 séparées par des sutures déprimées assez obliques, ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂, NAI₆, NAI₈).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Oxfordien



21. *Marginulina* sp.

***Marginulopsis embaensis* FURSENKO ET POLENOVA, 1950**

Photo 22.

Synonymie :

- *Cristellaria embaensis* n. sp. FURSENKO et POLENOVA, 1950, p. 36, pl. III, fig. 9-13.

- *Marginulopsis embaensis* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XVIII, fig. 3.

Test hyalin, arqué, parcouru par des côtes parallèles, et franchissant les sutures qui sont au ras du test et à peine déprimés sur la fin. Loges au nombre de 6 et ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Berriasien.



22. *Marginulopsis embaensis*

Genre *Neoflabellina* BARTENSTEIN, 1948

Flabellina SCHUBERT, 1948

Falsopalmula BARTENSTEIN, 1948

Test hyalin, multiloculaire, forme losangique ou ovale. Partie initiale non enroulée en spire complète (unisérié). Sutures en relief, ouverture radiée.

***Neoflabellina malakialinensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 23.

- *Neoflabellina (Falsopalmula) malakialinensis* n.sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXVI, fig. 7 à 9.

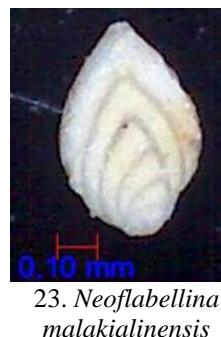
Test hyalin, losangique de contour ovale, limité par une marge périphérique finement carénée, stade initial enroulé, 6 loges, suivi d'un stade unisérié, composé de proloculus macrosphérique

et composée de 2 à 5 loges, loges séparées par des sutures déprimées.

Ouverture radiée. Il y a une grande ressemblance avec certaines des variations figurées pour *Planularia beierana* (GUMBEL, 1862).

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₅)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien inférieur.



Neoflabellina lanceolata MAMONTOVA, 1957

Photo 24.

Synonymie :

- *Flabellina lanceolata* nom. nov. MAMONTOVA, 1957, p. 204, pl. III, fig. 5.

- *Neoflabellina lanceolata* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXVI, fig. 1-3.

Test allongé, en forme de losange, avec la partie initiale unisériée. Les sutures en léger relief sur les premières loges, puis en crête limbée dans les sillons suturaux légèrement déprimées, ouverture radiée. La variation essentielle est au niveau de la forme générale du test, d'ovale losangique à un losange un peu surbaissé, selon la manière dont les loges se prolongent vers le bas du test.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂, NAII₄) et d'Antsalova (AI₃, AL₄)

Répartition stratigraphique : Callovien supérieur- Oxfordien.



Genre *Nodosaria* LAMARCK, 1812

Nodosaria sp.

Photo 25

Test hyalin, unisérié, rectiligne, surface ornée de côtes longitudinales fines.

Sutures horizontales déprimées plus nettes au sommet, ouverture terminale, centrale radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₈)

Répartition stratigraphique : Portlandien supérieur – Hauterivien.



Genre *planularia* ESPITALIE & SIGAL, 1963

Test plat déroulé, en éventail à suture très inclinée et montrant le plus souvent des côtes obliques très fines localisées vers la marge dorsale.

***Planularia madagascariensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 26.

- *Planularia madagascariensis* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl.VI, fig. 8 à 11.

Test hyalin, déroulé, comprimé, en éventail, bord ventral légèrement tronqué, bord dorsal pourvu d'une carène et régulièrement arqué. Loges au nombre de 8, étroites, séparées par des sutures légèrement limbées, à peine déprimées. Ornementation constituée par des courtes rides peu élevées obliques par rapport au bord dorsal. La variation affecte la forme générale du test (en éventail plus ou moins ouvert, loges descendant plus ou moins bas sur le bord ventral, vers la spire initiale, bord dorsal plus ou moins arqué), la forme de la loge et le type d'ornementation.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₂, NAI₃, NAI₆, NAI₁₂) ;
de Komihevitra (K₂) et d'Antsalova (AI₂, AI₃, AI₄).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Berriasiens.



26. *Planularia madagascariensis*

***Genre Saracenaria* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Test massif unisérié, composé d'un petit nombre de loges dont la face orale forme un angle 90° environ avec la face ventrale, face latérale légèrement convexe, face proximale concave, loges séparées par des sutures en relief.

***Saracenaria tsaramandrosoensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Photo 27.

- *Saracenaria tsaramandrosoensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXIV, fig. 2 et 3.

Test hyalin, relativement long, déroulé, arqué et fortement caréné, portant une partie initiale spiralée formée d'un proloculus arrondi. Les flancs sont aplatis, loges au nombre de 6 à 9 séparées par des sutures obliques, face orale à peine convexe.

La variation est sensible dans le nombre de loges et la minceur du test.

En outre la forme macrosphérique montre un test plus élargi.

Gisement : marnes d'Antsalova (AI₅)

et d'Andranomavo (NAI₃, NAI₇, NAI₈, NAI₁₂).

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Valanginien.



27. *Saracenaria tsaramandrosoensis*

***Saracenaria compacta* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

- *Saracenaria compacta* n. sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXIV, fig. 4 et 5.

Test hyalin, composé des loges nombreuses unisériées, sutures très nettes très faiblement inclinées.

La variation se manifeste essentiellement dans le nombre de loges unisériées.

Il est possible que cette espèce si particulière dérive d'une des variations de *Saracenaria tsaramandrosoensis n. sp.*

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅)

Répartition stratigraphique : Portlandien supérieur – Hauterivien.

Genre *Lingulina* ESPITALIE & SIGAL, 1963

Test unisérié, allongé, qui s'évase lentement et régulièrement, loges relativement longues, renflées, séparées par des sutures horizontales.

Lingulina sp. 2824 ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 28.

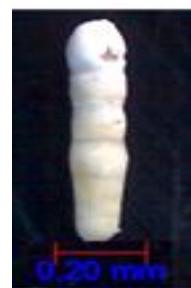
- *Lingulina* sp. 2824 ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXVIII, fig. 8.

Test hyalin, légèrement comprimé, allongé, qui s'évase lentement et régulièrement et devient subparallèle, non orné, à loges relativement longues séparées par des sutures déprimées horizontales.

Le test s'évase moins que chez *Lingulina bohemica* REUSS, 1863 ; les loges sont moins longues et le test moins allongé que chez *Lingulina nodosaria* REUSS, 1863.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien.



28. *Lingulina* sp.

Genre *Dentalina* d'Orbigny, 1839

Test unisérié, élancé plus ou moins rectiligne, loges renflées disposées linéairement, dernière loge plus haute que large, ouverture terminale radiée.

Dentalina sp. 3330 ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 29.

- *Dentalina* sp. 3330 ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXIV, fig. 7.

Cette espèce est caractérisée par son test hyalin, unisérié, faiblement arqué, composé de 4 loges renflées, augmentant lentement et régulièrement de taille, plus longues que hautes, séparées par des sutures profondes, ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₆).

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien inférieur.



29. *Dentalina* sp.

Genre *Langena* WALKER & JACOB, 1798

***Langena* sp.**

Photo 30.

Synonimie :

- *Langena acuticosta* REUSS 1862, p. 305, pl I, fig. 4 – CUSHMAN 1946, p. 94, pl. 39, fig. 14 – 15.

Test calcaire, sub-globuleux à surface ornée de côtes disposées longitudinalement, ouverture terminale.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₆).

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien inférieur.



30. *Langena* sp.

Famille GLANDULINIDAE REUSS, 1860

Sous- famille GLANDULININAE REUSS, 1860

Genre *Rectoglandulina* LOEBLICH ET TAPPAN, 1955

Test unisérié, allongé, surface lisse, loges peu larges que hautes, sutures horizontales déprimées, ouverture centrale, terminale radiée

***Rectoglandulina brandi* TAPPAN, 1955**

Photo 31.

Synonimie :

- *Rectoglandulina brandi* n. sp. TAPPAN, 1955, pl.XXX, fig. 7et 8.
- *Rectoglandulina brandi* ESPITALIE & SIGAL, 1963, p. 74, pl. XXVI, fig. 12.

Forme à test s'évasant régulièrement et fortement, loge au nombre de 4 à 5 séparées par des sutures horizontales, ouverture radiée. La variation se manifeste au niveau de la forme générale du test et la longueur des loges.

Test moins allongé et globuleux par rapport à celui de *Lingulina*.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₆) et d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Portlandien supérieur – Hauterivien.



31. *Rectoglandulina brandi*

Genre *Tristix* MAC FADYEN, 1941

Test subcirculaire, unisérié, section triangulaire, suture à peine déprimée, ouverture terminale radiée.

***Tristix suprajurassica* PAALOZOW, 1932**

Photo 32.

Synonymie :

- *Rhabdogonium suprajurassicum* n. sp. PAALOZOW, 1932, p. 125, pl. IX, fig. 7.
- *Tristix suprajurassica* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXIX, fig. 3 et 4.

Test hyalin, peu évasé, puis rétréci vers l'extrémité supérieure. Les faces sont peu concaves, les carènes tranchantes, les loges, aux dimensions irrégulières de l'une à l'autre, séparées par des sutures déprimées et moyennement cintrées.

Gisement : marnes de Komihevitra (K₂)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Valanginien.



32. *Tristix suprajurassica*

Famille VAGINULIDAE REUSS, 1890

Sous- famille VAGINULINAE REUSS, 1860

Genre *Vaginulina* d'ORBIGNY, 1826

Photo 33.

Synonymie :

- *Citharina* d'Orbigny, 1826

Test de forme aplatie, multiloculaire. Présence de carènes et des côtes, sutures inclinées et ouverture terminale radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₆).

Répartition stratigraphique : Valanginien supérieur – Hauterivien



33. *Vaginulina* d'ORBIGNY

***Vaginulina (Citharina) sparicostata* REUSS, 1863 ; BARTESTEIN ET BRAND, 1951**

Photo 34.

Synonymie :

- *Vaginulina sparicostata* n. sp. REUSS, 1863, p. 50, pl. IV, fig. 4.
- *Citharina sparicostata* BARTENST. Und BRAND, 1951, p. 297, pl. VII, fig. 173-175.
- *Vaginulina citharina sparicostata* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXI, fig. 9 à 11.

Test hyalin, ornementé de côtes fines et courtes réparties irrégulièrement sur la surface du test.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₈, NAI₅) et d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Valanginien supérieur – Hauterivien.



34. *Vaginulina (Citharina) sparicostata*

Famille SPIRILLINIDAE REUSS, 1891

Sous- famille SPIRILLININAE REUSS, 1891

Genre *Spirillina*

Test planispiralé, circulaire à tours embrassant.

Spirillina tenuissima GUMBEL, 1862

Photo 35.

Synonymie :

- *Spirillina tenuissima* n. sp. GUMBEL, 1862, pl. XXI, fig. 9 à 11.
- *Spirillina tenuissima* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXX, fig. 19 et 20.

Espèce à test circulaire, à tour légèrement embrassant et augmentant de taille d'une manière sensible. Une forme très proche a été figurée sous le nom de *Spirillina obicula*

TERQUEM et BERTH, 1875 par BIELECKA et POZARYSKT, il semble que l'espèce même possède moins de tour, un test plus épais et que les tours, croissant plus rapidement.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₂, NAII₄, NAII₈, NAII₁₂)
et d'Antsalova (AI₅)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Berriasien.



35. *Spirillina tenuissima*

Super-famille ROBERTINACEA REUSS, 1850

Famille EPISTOMINIDAE BROTZEN, 1942

Sous-famille EPISTOMININAE BROTZEN, 1949

Genre *Epistomina* TERQUEM, 1883

Test multiloculaire, enroulement trochospiralé, sutures épaisses.

Epistomina ventriosa ESPITALIE & SIGAL, 1963

Photo 36.

- *Epistomina ventriosa* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXXII, fig. 3.

Test d'assez forte taille biconvexe, profil à peu près symétrique. Loges au nombre de 6 séparées par des sutures limbées et très légèrement en relief

La variation autour du type : essentiellement dans le degré et le rapport de convexité des deux faces, ainsi que dans le degré de limbation des sutures. Les gouttières, à hauteur du dernier tour, peuvent être plus ou moins marquées.

Diverses formes caractéristiques du profil différencient bien cette espèce non ornée de certaines figures données pour *Epistomina caracola* (ROEMER 1841). Une forme assez voisine est *Epistomina stelligera* UHLIG 1883, qui cependant possède sur la face spirale, les loges mieux marquées par les sutures et d'ailleurs en nombre plus faible (8 – 9).

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄, NAI₂₃) et de Komihevitra (K₂)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Berriasien.



36. *Epistomina ventriosa*

Epistomina elchankaensis MJATLJUK, 1953

Synonymie :

- *Epistomina elchankaensis* n. sp. MJATLJUK, 1953, p. 211, pl. II, fig. 1.

- *Epistomina elchankaensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963, pl. XXXI, fig. 1.

Test subsymétrique, loges au nombre de 10 séparées par des sutures limbées et fortement en relief sur les deux faces.

Répartition stratigraphique : Callovien supérieur - Oxfordien inférieur

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄).

Famille POLYMORPHINIDAE D'ORBIGNY, 1839

Sous-famille POLYMORPHININAE D'ORBIGNY, 1939

Genre *Globulina* d'ORBIGNY, 1824

Test unisérié et allongé à surface lisse.

Globulina sp.

Photo 37.

- *Globulina aff oolithica* ESPITALIE & SIGAL, 1963

Test unisérié et allongé à surface lisse. Loges au nombre de 4 séparées par des sutures très inclinées et peu déprimées, Extrémité inférieure pointue, ouverture tubulaire.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₈) et d'Antsalova (AI₂, AI₃, AI₄, AI₅).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen



37. *Globulina* sp.

3.3.3.2 Les Foraminifères Planctoniques

➤ Caractéristiques générales

Les Foraminifères planctoniques sont très rares dans les prélèvements des échantillons effectués dans les deux régions car l'intervalle de temps géologique étudié constitue la période des premières proliférations des microfossiles benthiques, les planctoniques étant encore à leur forme primitive : les Protoglobigerines et les Hedbergelles.

Dans l'étude présente, les Foraminifères planctoniques sont représentés par un seul genre *Protoglobigerina*.

➤ Déterminations systématiques

Les Foraminifères planctoniques observés dans la marne de Komihevitra ont été déjà décrits par BRONNIMAN et al. (1986.) dans les autres sites fossilifères du bassin de Mahajanga.

Famille GLOBIGERINIDAE

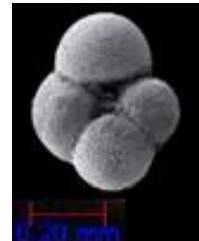
Genre *Protoglobigerina*

Photo 38.

Test de petite taille trochoïde biconvexe, contour lobé, ouverture principale ombilicale, ombilic bordé par une lèvre mince, absence de carène, sutures déprimées et radiales à la face ombilicale ou légèrement arquées à la face spirale.

Répartition stratigraphique : Oxfordien

Gisement : marnes de Komihevitra (K₂).



38. *Protoglobigerina*

3.3.4 Les Ostracodes

Les Ostracodes sont des Crustacés dont le corps est entièrement enfermé dans une carapace constituée de deux valves, le plus souvent calcaire, articulée dorsalement. Ils occupent tous les milieux : eaux douces, lagunaires ou marines.

CLASSIFICATION :

Règne ANIMAL

Embranchement des ARTHROPODES

Classe des CRUSTACES

Sous - classe des OSTRACODES

Les caractères suivants sont observés :

- forme générale : ovale ou réniforme, triangulaire ou quadrangulaire
- les extrémités (antérieure et postérieure) : pointues ou tronquées ou arrondies
- le bord dorsal et le bord ventral : rectiligne ou concave ou subanguleux...
- empreintes musculaires : forme, nombre (si les deux valves sont séparées)
- l'ornementation : telle que les côtes, les sillons, les épines ou les ponctuations...et leurs positions aux extrémités et sur la face latérale.

La classification adoptée pour la description des Ostracodes est celle proposée par GREKOFF N. (1963).

Sous classe OSTRACODA LATRELLE, 1806

Ordre PODOCOPIDA MULLER, 1894

Sous ordre PLATYCOPINA SARS, 1866

Famille CYTHERELLIDAE SARS, 1866

Genre *Cytherella* JONES, 1849

Forme subquadrangulaire, surface lisse, tubercule oculaire absent, bord dorsal et ventral légèrement arrondi, extrémité postérieure brusquement arrondie, valve droite plus grande que valve gauche.

***Cytherella index* OERTLI, 1959**

fig. 35, pl. III (Annexe)

- *Cytherella index* OERTLI, 1959, p. 16, pl. I, fig. 13-25.

- *Cytherella index* GREKOFF N., 1963, pl. I, fig. 6-9.

L'espèce *Cytherella index* est caractérisée entre autre par la présence d'une angulosité à l'extrémité postérieure, à la valve droite, au-dessous de laquelle cette valve est tronquée sous un angle de 30° environ par rapport à la verticale.

Longueur : 1,2 mm

Hauteur : 0,7 - 0,8 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₃, NAI₄, NAI₁₁, NAI₂, NAI₃, NAI₄, NAI₅, NAI₆, NAI₇, NAI₈, NAI₉) ; de Komihewitra (K₂) et d'Antsalova (AI₃, AI₄).

Répartition stratigraphique : Callovien inférieur- Oxfordien.



39. *Cytherella index*
(Carapace, vue de gauche)

***Cytherella ex gr. pyriformis* CORNUEL 1846**

Photo 40.

Synonymie :

- *Cythere amygdaloïdes* var. *pyriformis* CORNUEL, 1846, p. 198, pl.VII, fig.11.
- *Cythere amygdaloïdes* var. *cylindracea* CORNUEL, 1846 p. 198 , pl. VII, fig.10.
- *Cytherella pyriformis* DEROO p. 1508, pl. I, fig.1-3.
- *Cytherella ex gr. Pyriformis* GREKOFF N., p. 1721, pl. I, fig.12-15.

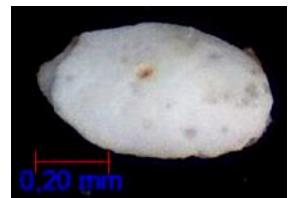
Forme moins comprimée en vue dorsale et relativement moins allongée, tout en étant plus grande.

Longueur : 1,1 mm

Hauteur : 0,7 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅, NAI₁₁, NAI₁₂) et d'Antsalova (AI₄, AI₅)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien - Portlandien



40. *Cytherella ex gr. Pyriformis*
(Carapace, vue de gauche)

Genre *Cyterelloidea* GREKOFF N., 1963

Photo 41.

- *Cyterelloidea* GREKOFF N., 1963, p. 1722, pl. I, fig.18.

Surface lisse, extrémité antérieure arrondie et extrémité postérieure tronquée presque verticalement soulignant une angulosité postéro- ventrale.

Cette espèce se rapproche du *Cytherella index* OERTLI, 1959.

Longueur : 1 mm

Hauteur : 0,7 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen



41. *Cyterelloidea*
(Carapace, vue de gauche)

Sous-famille PROGONOCYTHERINAE SYLVESTER-BRADLEY, 1948

Genre *Lophocythere* SYLVESTER-BRADLEY, 1948

Carapace caractérisée par la présence d'une côte médiо – latérale inclinée vers l'avant et par des cotes périphériques.

***Lophocythere devexa* GREKOFF N., 1963**

Photo 42.

- *Lophocythere devexa* n. sp. GREKOFF N., 1963, p. 1729, pl. II, fig.49-52.

L'extrémité antérieure est tronquée. La surface est couverte de côtes à tracé irrégulier, une côte dorsale courte mais large en vue dorsale. Le bord dorsal est court, caché par des côtes dorsales. Le tubercule oculaire est relativement fort, prolongé vers le bas par un renflement.

Longueur : 0,9 mm

Hauteur : 0,6 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₇).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen



42. *Lophocythere devexa*
(Carapace, vue de droite)

Genre *Majungaella* GREKOFF N., 1963

Carapace massive, solide, valve gauche la plus grande et débordent vers la droite à l'extrémité antérieure, au bord dorsal et à la moitié supérieure de l'extrémité postérieure. L'extrémité postérieure est formée en un angle obtus. Le bord ventral peut être caché par les carènes des faces latéro – ventrales, surface couverte de nombreuses et fortes ponctuations divergentes à partir d'un point situé immédiatement derrière l'angle frontal.

***Majungaella nematis* GREKOFF N., 1963**

Photo 43.

- *Majungaella nematis* n .g.n. sp. GREKOFF N., 1963, p. 1744, pl. V, fig.141-145; pl. IX, fig.213 et 232

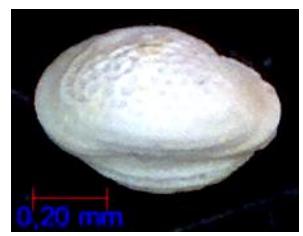
Carapace relativement allongée, sans renflements latéro- ventraux, couverte d'un réseau de réticulations. Ces réticulations divergent d'un point situé derrière l'angulosité frontale d'où l'aspect d'un réseau « dorso- rayonnant ». En vue dorsale, les zones marginales sont moins comprimées et moins larges que celles de *Majungaella perforata*.

Longueur : 0,9 -1 mm

Hauteur : 0,5 - 0,7 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₁, NAII₉)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Valanginien.



43. *Majungaella nematis*
(Carapace vue de droite)

***Majungaella perforata* GREKOFF N., 1963**

Photo 44.

- *Majungaella perforata* n. g.n. sp. GREKOFF N., 1963, p. 1743, pl. V, fig.134-140; pl. IX, fig230, 333.

Les ponctuations qui couvrent la surface divergent depuis un point situé immédiatement derrière l'angle frontal. Elles sont toujours fortes et se situent souvent dans des sillons légèrement déprimés surtout dans les parties postérieures et quelques fois ventrales. En vue dorsale, les parties antérieures sont plus arrondies que les parties postérieures quoique la plus grande largeur se situe au milieu de la longueur.

Les zones marginales antérieures sont comprimées.

Longueur : 1 mm

Hauteur : 0,7 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₅, NAII₁₁, NAII₁₂)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien



44. *Majungaella perforata*
(Carapace, vue de droite)

Sous ordre CLADOCOPA SARS, 1866

Famille POLYCOPIDAE SARS, 1866

Genre *Polycope* SARS, 1866

Photo 45.

- *Polycope* GREKOFF N., 1963, p. 1720, pl. I, fig.1, 2.

Le profil latéral est presque circulaire, moins régulier. En vue dorsale, les flancs sont régulièrement et assez fortement renflés dans les parties centrales.

Longueur : 0,8 mm

Hauteur : 0,7 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₁)

Répartition stratigraphique : Valanginien.



45. *Polycope*
(Carapace, vue externe)

Sous-ordre PODOCOPA SARS, 1866

Super-famille CYPRIDACEAE (DANA) SWAIN, 1961

Famille CYPRIDIDAE BAIRD, 1850

Sous- famille PARACYPRIDINAE MERTENS, 1958

Genre *Paracypris* SARS, 1866

Forme allongée, subtriangulaire, surface lisse, tubercule oculaire absente, valve gauche plus grande que valve droite, extrémité antérieure arrondie et courbée sur le postéro-ventral, bord dorsal très arqué et bord ventral convexe.

Paracypris cf. acris OERTLI, 1959

Photo 46.

Synonymie :

- *Paracypris cf. acris* OERTLI, 1959, p. 19, pl. II, fig. 37-42.
- *Paracypris cf. acris* GREKOFF N., 1963, p. 1723, pl. I, fig. 20, 22.

Forme un peu plus renflée à l'avant, de plus, la valve gauche forme un petit lobe dans la région frontale qui recouvre légèrement la valve droite.

Longueur : 0,9 mm

Hauteur : 0,4 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₁₂)

Répartition stratigraphique : Callovien inférieur.



46. *Paracypris cf. Acris*
(Carapace, vue droite)

Super-famille CYTHERACEAE BAIRD, 1850

Famille CYTHERIDAE BAIRD 1850

Sous-famille PROGONOCYTHERINAE SYLVESTER-BRADLEY, 1948

Genre *Trichordis* GREKOFF N., 1963

Carapace de taille moyenne ou petite, valve gauche plus grande que valve droite. Extrémité antérieure tronquée et extrémité postérieure de profil différent selon les valves. Sur la valve droite, cette extrémité est obliquement tronquée, bord dorsal sensiblement rectiligne. La surface porte des bourrelets ayant une apparence de cordes. Un long bourrelet prend naissance à l'angle postéro-dorsal jusqu'à l'extrémité antérieure sans s'interrompre. Un autre bourrelet horizontal, plus court, couvre les flancs des valves.

***Trichordis praetexta* GREKOFF N., 1963**

Photo 47.

- *Trichordis praetexta* n.sp. GREKOFF N., 1963, p. 1742, pl. IV, fig.109-123; pl. IX, fig.227-229.

Espèce du genre *Tricordis* bordé par un bourrelet. La surface est couverte d'assez grosses ouvertures de canaux de pores normaux, très espacées. La carapace est petite à moyenne, valve gauche plus grande que la valve droite. Les bourrelets longitudinaux sont tous les trois de même largeur. A leur surface, de grosse ouverture de canaux de pores normaux espacés est observé.

Longueur : 0,7 - 0,9 mm

Hauteur : 0,4 - 0,5 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAIL₄)

Répartition stratigraphique : Bathonien moyen – Callovien inférieur.



47. *Trichordis praetexta*
(Carapace vue de droite)

Sous-famille CYTHERURINAE MULLER, 1894

Genre *Cytheropteron* SARS, 1866

Carapace relativement allongée, proéminence ailiforme longue et lamellaire, sans angulosités notables, surface couverte de profondes ponctuations disposées en rangées horizontales sur les flancs des valves.

***Cytheropteron corrosum* GREKOFF N., 1963**

- *Cytheropteron corrosum* n. sp. GREKOFF N., 1963, p. 1727, pl. II, fig.39-41.

Les deux valves sont allongées. Sur la valve droite, la partie antérieure est surbaissée par un renflement antefrontal ; la partie postérieure n'est que très légèrement tronquée. La surface est couverte d'assez profondes ponctuations. Ces ponctuations sont grosses au dessus des carènes ailiformes.

L'espèce la plus proche semble être *Cytheropteron decoratum* SCHMIDT 1954 dont *Cytheropteron corrosum* se distingue par un profil plus étiré et par son plus aile individualisée.

Longueur : 0,7 mm

Hauteur : 0,5 mm

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAIL₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien.

Sous-famille SCHULERIDEINAE MANDELSTAM, 1959

Genre *Pirileberis* GREKOFF N., 1963

Carapace au profil piriforme asymétrique, extrémité postérieure relevée. L'extrémité antérieure est tronquée, bord dorsal droit à peine concave, bord ventral convexe. Surface lisse ou finement ponctuée.

Pirileberis prognata GREKOFF N., 1963

Photo 48.

- *Pirileberis prognata* n. g. n. sp. GREKOFF N., 1963, p. 1750, pl. VI, fig.156-161.

Espèce du genre *Pirileberis* à surface couverte de très nombreuses et très petites ponctuations, quelque fois lisses. Carapace de taille moyenne, en vue latérale, le profil est irrégulièrement piriforme, l'extrémité antérieure est tronquée de quelques 30° à 35° dans son tiers supérieur, arrondie dans les deux tiers inférieurs avec une faible proéminence vers l'avant, surface lisse, tubercules oculaires non décelées. *Pirileberis prognata* se distingue de *Galliaecypteridea remota* par un bord ventral plus convexe, une carapace relativement plus courte et par la partie postéro- ventrale plus relevée.

Longueur : 1 mm

Hauteur : 0,7 mm

Gisement : marnes de Komihevitra (K₂)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien inférieur.



48. *Pirileberis prognata*
(Carapace, vue de gauche)

3.3.5 Autres fossiles

3.3.5.1 Les spicules des Spongiaires

Photo 49.

Classe CALCISPONGES :

Les Calcisponges sont caractérisés par des spicules de carbonate de calcium ; fossiles rares au Paléozoïque mais très abondants dans les séries du Mésozoïque.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAII₁, NAII₇)

Répartition stratigraphique : Cambrien à l'actuel.



49. spicules d'éponges

3.3.5.2 Les macrofossiles

Des macrofossiles ont été retrouvés dans les lithologies des régions étudiées à savoir les Ammonites, Bélemnites, Lamellibranches, ...

L'étude des macrofossiles effectués par COLLIGNON M. (1956) reste la seule détermination systématique utilisée.

➤ Site d'Andranomavo

Classe CEPHALOPODES

Famille PHYLLOCERTIDAE ZITTEL 1884

Genre *Phylloceras*

Genre *Holcophylloceras*

Famille BELEMNITIDAE

Hibolites semicanaliculatus

➤ Site d'Antsalova

Classe LAMELLIBRANCHES

Genre *Lamellaptychus lamellosus*

Classe CEPHALOPODES

Famille BELEMNITIDAE

Hibolites semicanaliculatus

Actinocamax plenus

Duvalia lata

Megatheutis giganteus



Photo 50 : Les Bélemnites rencontrés dans le site d'Antsalova

3.3.6 Microfaciès

L'étude de microfaciès s'effectue au niveau des blocs des calcaires aux alentours des zones d'études. La reconnaissance d'un microfaciès nous permet d'examiner la matrice de la roche et les éléments minéraux ainsi que la détermination des bioclastes. L'étude des lames minces au microscope optique permet d'avoir l'image dont les types d'éléments figurés sont les suivants : lithoclastes, bioclastes et phase de liaison (classification de FOLK, 1959).

L'observation des lames minces des sédiments provenant des deux régions sous une loupe binoculaire, montre l'absence des bioclastes. Le lithoclaste est composé de cristaux de calcite et la phase de liaison est un ciment sparitique (Lames Andranomavo et Antsalova).

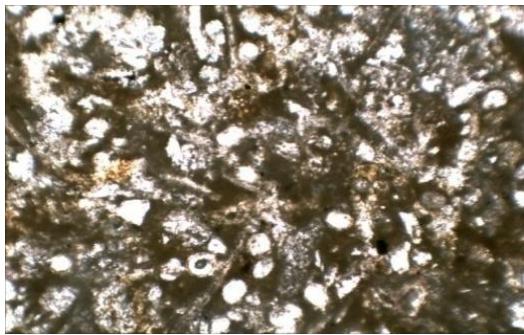


Photo 51 : Lame mince d'Andranomavo

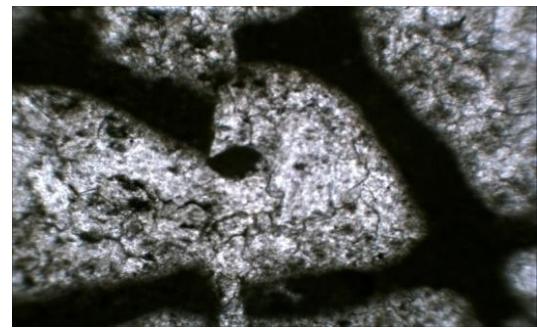


Photo 52 : Lame mince d'Antsalova

3.4 Cladogramme des Foraminifères au niveau de la Famille

La systématique phylogénétique est fondée sur la théorie de l'évolution c'est-à-dire la modification des caractères au cours de descendance.

- **Cladogramme** : schéma dichotomique exprimant une hypothèse sur les parentés phylogénétiques entre les taxa d'un groupe.
- **Clade** : taxon strictement monophylétique.
- **Plésiomorphe** : caractère primitif d'un taxa d'un groupe.
- **Symplesiomorphie** : c'est le partage d'une plésiomorphie par deux taxons.
- **Apomorphie** : caractère dérivé ou nouveauté évolutive.
- **Synapomorphie** : c'est le partage d'une apomorphie par deux taxons.
- **Autapomorphie** : apomorphie particulière à un taxon ou apomorphie particulière à un taxon monophylétique supraspécifique.
- **Convergence** : ressemblance dans les taxa différentes, entre les caractères ayant évolué indépendamment à partir de caractères initialement non homologues.
- **Groupe frère** : un groupe monophylétique de rang supérieur.
- **Reversion** : un taxon revient aux caractères initiaux.
- **Indice de consistance** : au ratio de la somme de l'ensemble de changement de pas.

$$I = \frac{m}{s}$$

I : Indice de Consistance,

m : nombre minimum de pas possible,

S : ensemble de changement de pas sur l'arbre.

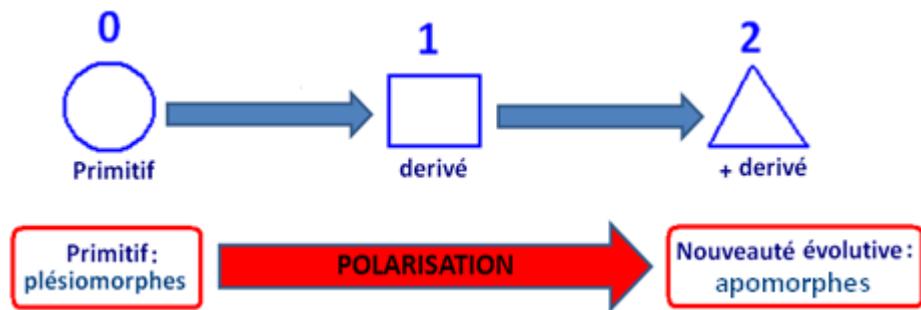
Les deux régions étudiées comportent 9 Familles pour les Foraminifères. En général, les possessions de caractères sont résumés dans un tableau appelé matrice **taxons/caractères** donnant pour chaque caractère de chaque taxon son état.

Par convention, pour chaque caractère :

- ✓ l'origine est noté ancêtre,
- ✓ l'état primitif est noté **0**,
- ✓ l'état dérivé est noté **1**,
- ✓ l'état plus dérivé est noté **2**.

Ainsi nous arrivons à une même série de transformation **0, 1, 2,...**

➤ **Morphocline** : une série évolutive polarisée d'une telle séquence par des caractères morphologiques.



Tous les caractères en **0** sont donc plésiomorphes et les caractères en **1, 2, 3, 4** sont apomorphes dans le tableau de matrice taxons-caractères.

TAXONS : Familles

- 1 → Textulariidae
- 2 → Lituolidae
- 3 → Nodosariidae
- 4 → Glandulinidae
- 5 → Vaginulidae
- 6 → Spirillinidae
- 7 → Epistomidae
- 8 → Polymorphinidae
- 9 → Globigerinidae

CARACTERES :

Caractère A : Nombres de loges

- Uniloculaire → 0
- Pluriloculaire → 1

Caractère B : Arrangement des loges

- Unisériel → 0
- Bisériel → 1
- Trisériel et autre → 2

Caractère C : Formes générales

Fusiforme → 0
 Lenticulaire → 1
 Evasé → 2
 Cylindrique → 3
 Trochoïde → 4

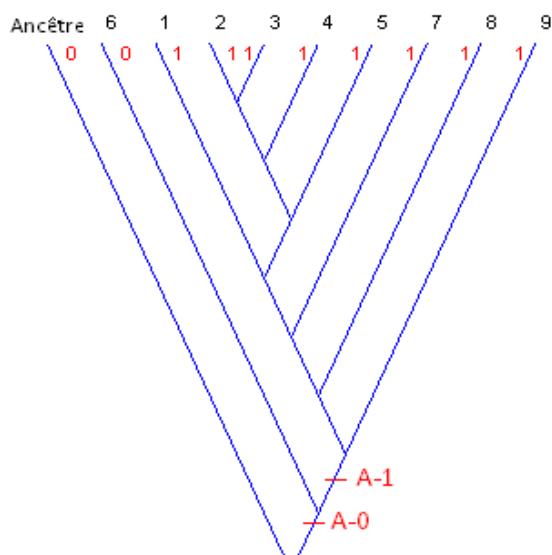
Caractère D : Architecture de la paroi

Monolamellaire $\rightarrow 0$
 Bilamellaire $\rightarrow 1$

Tableau 11 : Matrice Taxons et Caractères des Foraminifères

| TAXONS \ CARACTÈRES | A | B | C | D |
|---------------------|---|---|---|---|
| Ancêtre (0) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Textulariidae (1) | 1 | 1 | 2 | 0 |
| Lituolidae (2) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Nodosariidae (3) | 1 | 2 | 1 | 0 |
| Glandulinidae (4) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Vaginulidae (5) | 1 | 2 | 2 | 0 |
| Spirillinidae (6) | 0 | 2 | 3 | 0 |
| Epistomidae (7) | 1 | 2 | 3 | 0 |
| Polymorphinidae (8) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Globigerinidae (9) | 1 | 2 | 4 | 1 |

Ce tableau montre la variation des caractères dans les différents taxons. Selon le principe de parcimonie, on doit choisir la plus simple cladogramme (nombre d'arbre le plus court) c'est-à-dire le minimum de dichotomie car plusieurs cladogrammes sont possibles. Les cladogrammes s'établissent de façon automatique par le logiciel PAST. L'Indice de Consistance varie selon la valeur de **m** et de **s**.



Cladogramme: CARACTÈRE A

CARACTERE A : nombre de loge

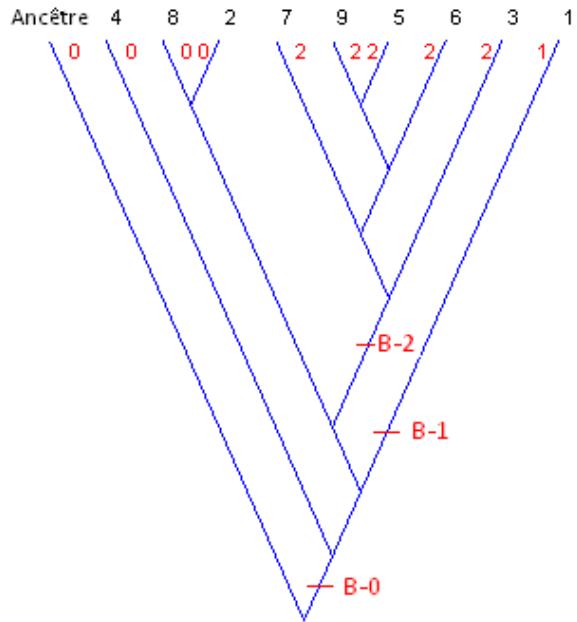
L=1

m = 1 : le caractère évolue une seule fois
(0 → 1)

S = 1 : l'ensemble de changement de pas s'effectue une seule fois
(0 → 1)

$$I = \frac{m}{s} = \frac{1}{1} = 1$$

L'évolution de caractère A (nombre de loge) s'effectue en une seule fois (uniloculaire vers pluriloculaire).



Cladogramme: CARACTÈRE B

Longueur de pas : 2

Indice de consistance : 1

CARACTÈRE B : arrangement de loge

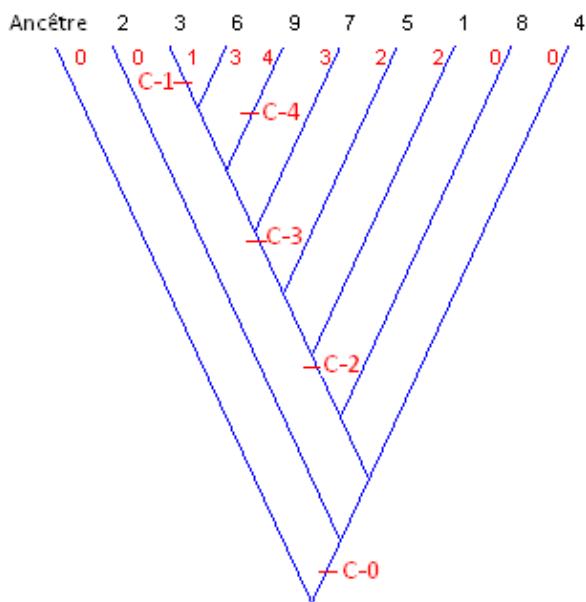
I = 1

m = 2 : le caractère évolue deux fois
(0 → 1 → 2)

S = 2 : l'ensemble de changement de pas s'effectue deux fois
(0 → 1, 0 → 2)

$$I = \frac{m}{s} = \frac{2}{2} = 1$$

L'évolution de caractère B (arrangement de loge) s'effectue en deux fois (unisérié vers bisérié, bisérié vers trisérié et autre).



Cladogramme: CARACTÈRE C

Longueur de pas : 4

Indice de consistance : 1

CARACTÈRE C : forme générale

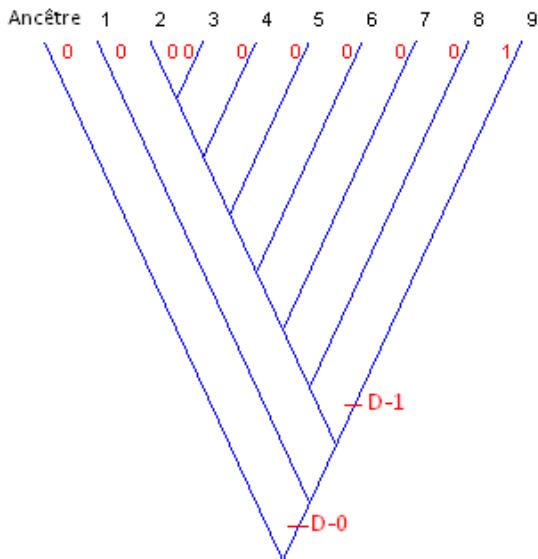
I = 1

m = 4 : le caractère évolue quatre fois
(0 → 1 → 2 → 3 → 4)

S = 4 : l'ensemble de changement de pas s'effectue quatre fois
(0 → 2, 0 → 1, 2 → 3, 0 → 4)

$$I = \frac{m}{s} = \frac{4}{4} = 1$$

L'évolution de caractère C (forme générale) s'effectue quatre fois (fusiforme vers lenticulaire, lenticulaire vers évasée, évasée vers cylindrique, cylindrique vers trochoïde). Le caractère C est le caractère très évolué



Cladogramme: CARACTERE D

Longueur de pas : 1

Indice de consistance : 1

CARACTERE D : architecture de la paroi

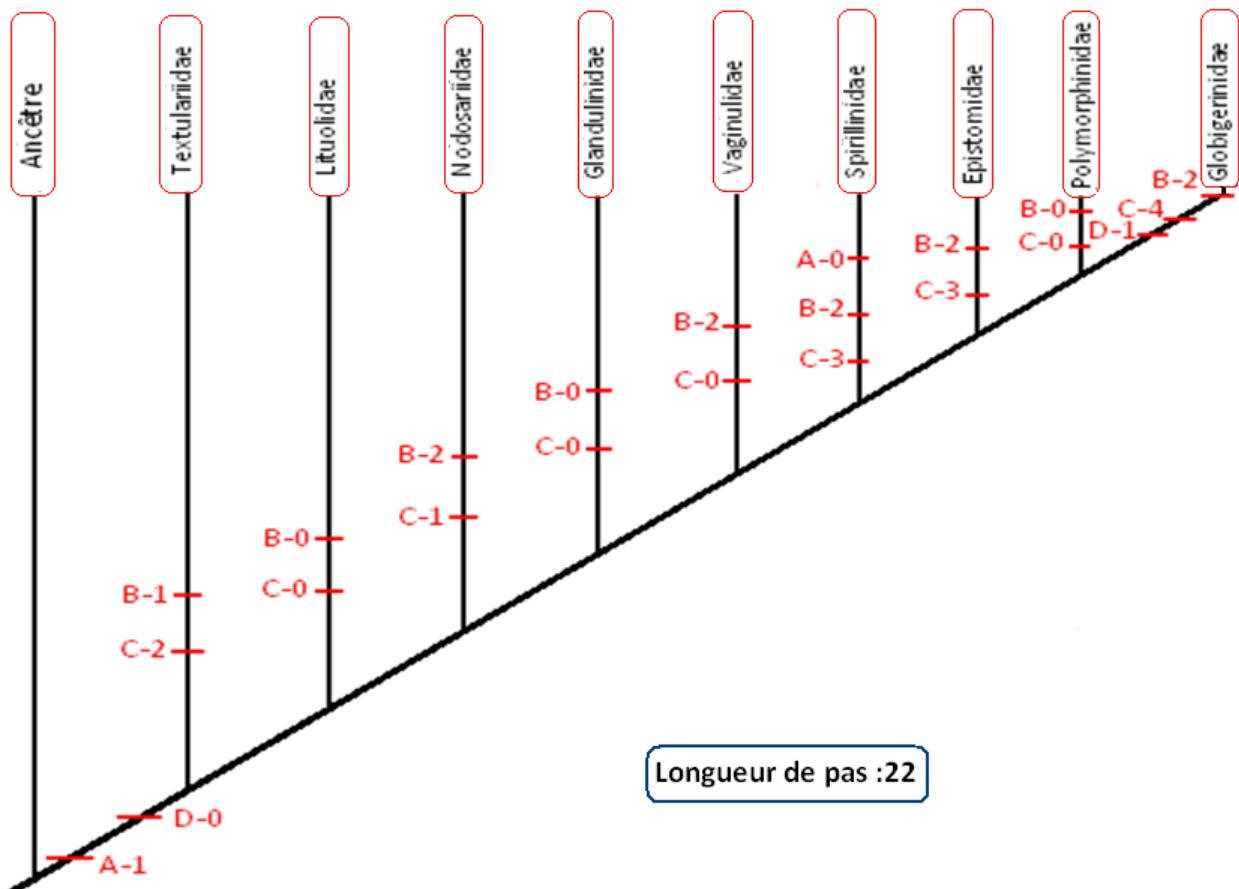
I = 1

m = 1 : le caractère évolue une seule fois
(0 → 1)

S = 1 : l'ensemble de changement de pas s'effectue une fois
(0 → 1)

$$I = \frac{m}{s} = \frac{1}{1} = 1$$

L'évolution de caractère D (architecture de la paroi) s'effectue en une seule fois (monolamellaire vers bilamellaire)



Longueur de pas : 22

Figure 21 : Cladogramme de récapitulation des taxons

Ce cladogramme regroupe les différentes séries de transformation des caractères (A, B, C et D) de tous les taxons (les 9 Familles des Foraminifères).

Les tableaux 12, 13, 14 résument les effectifs observés et les effectifs théoriques des espèces caractéristiques de chaque niveau dans les sites d'études.

Tableau 12 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau dans le site d'Andranomavo I

| N° | NIVEAUX | I | | II | | III | | Totaux |
|---------------|--|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------------|
| | | ni | ni' | ni | ni' | ni | ni' | |
| ESPECES | | | | | | | | |
| 1 | <i>Textularia sp.</i> | 0 | 10 | 27 | 11 | 0 | 7 | 27 |
| 2 | <i>Astacolus mutilatis</i> | 30 | 11 | 0 | 12 | 0 | 8 | 30 |
| 3 | <i>Astacolus aff. insecta</i> | 38 | 14 | 0 | 15 | 0 | 10 | 38 |
| 4 | <i>Lenticulina sp.</i> | 95 | 72 | 106 | 78 | 0 | 51 | 201 |
| 5 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 49 | 18 | 0 | 19 | 0 | 12 | 49 |
| 6 | <i>Lenticulina collignonii</i> | 0 | 27 | 75 | 29 | 0 | 19 | 75 |
| 7 | <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 0 | 22 | 0 | 24 | 61 | 15 | 61 |
| 8 | <i>Planularia madagascariensis</i> | 57 | 41 | 56 | 44 | 0 | 28 | 113 |
| 9 | <i>Marginulina sp.</i> | 34 | 12 | 0 | 13 | 0 | 9 | 34 |
| 10 | <i>Marginulinopsis embaensis</i> | 0 | 13 | 37 | 14 | 0 | 9 | 37 |
| 11 | <i>Marginulina gracillicima</i> | 0 | 24 | 0 | 26 | 67 | 17 | 67 |
| 12 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 21 | 8 | 0 | 8 | 0 | 5 | 21 |
| 13 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 19 | 0 | 21 | 53 | 13 | 53 |
| 14 | <i>Saracenaria compacta</i> | 0 | 12 | 0 | 13 | 33 | 8 | 33 |
| 15 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 0 | 10 | 32 | 12 | 0 | 8 | 32 |
| 16 | <i>Globulina sp.</i> | 25 | 9 | 0 | 10 | 0 | 6 | 25 |
| 17 | <i>Cytherella index</i> | 31 | 27 | 44 | 29 | 0 | 19 | 75 |
| 18 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 31 | 35 | 34 | 52 | 22 | 87 |
| Totaux | | 380 | | 412 | | 266 | | 1058 |

Les effectifs observés dans le niveau II du site d'Andranomavo I sont élevés par rapport au niveau I et III.

ni : effectif observé,

ni' : effectif théorique

Tableau 13 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau dans le site d'Andranomavo II

| N° | ESPECES | NIVEAUX | | II | | III | | Totaux |
|---------------|--|---------|-------------|-----|------------|-----|-------------|--------|
| | | ni | ni' | ni | ni' | | | |
| 1 | <i>Textularia sp.</i> | 21 | 12 | 0 | 7 | 21 | | |
| 2 | <i>Astacolus mitulatis</i> | 83 | 53 | 0 | 29 | 83 | | |
| 3 | <i>Astacolus eritheles</i> | 77 | 51 | 0 | 27 | 77 | | |
| 4 | <i>Astacolus aff. insecta</i> | 0 | 36 | 56 | 20 | 56 | | |
| 5 | <i>Astacolus dorsoacriatus</i> | 0 | 39 | 61 | 22 | 61 | | |
| 6 | <i>Lenticulina sp.</i> | 236 | 224 | 153 | 137 | 389 | | |
| 7 | <i>Lenticulina collignonii</i> | 89 | 57 | 0 | 32 | 89 | | |
| 8 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 73 | 47 | 0 | 26 | 73 | | |
| 9 | <i>Lenticulina fracta</i> | 61 | 39 | 0 | 22 | 61 | | |
| 10 | <i>Lenticulina andromede</i> | 56 | 37 | 0 | 20 | 56 | | |
| 11 | <i>Marginulina sp.</i> | 32 | 53 | 52 | 30 | 84 | | |
| 12 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 57 | 36 | 0 | 20 | 57 | | |
| 13 | <i>Nodosaria sp.</i> | 0 | 13 | 22 | 8 | 22 | | |
| 14 | <i>Planulaira madagascariensis</i> | 45 | 84 | 84 | 45 | 129 | | |
| 15 | <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 39 | 76 | 79 | 42 | 118 | | |
| 16 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 0 | 19 | 31 | 11 | 31 | | |
| 17 | <i>Dentalian sp.</i> | 26 | 17 | 0 | 9 | 26 | | |
| 18 | <i>Globulina sp.</i> | 0 | 16 | 26 | 9 | 26 | | |
| 19 | <i>Rectoglandulina brandi</i> | 23 | 14 | 0 | 8 | 23 | | |
| 20 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 31 | 20 | 0 | 11 | 31 | | |
| 21 | <i>Epistomina elchakaensis</i> | 34 | 21 | 0 | 12 | 34 | | |
| 22 | <i>Langena sp.</i> | 25 | 17 | 0 | 9 | 25 | | |
| 23 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 32 | 20 | 0 | 11 | 32 | | |
| 24 | <i>Vaginulina d'Orb.</i> | 29 | 18 | 0 | 10 | 29 | | |
| 25 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 22 | 35 | 11 | 35 | | |
| 26 | <i>Cytherella index</i> | 43 | 27 | 0 | 14 | 43 | | |
| 27 | <i>Cytherelloidea</i> | 14 | 8 | 0 | 5 | 14 | | |
| 28 | <i>Majungaella perforata</i> | 15 | 17 | 12 | 10 | 27 | | |
| 29 | <i>Paracypris cf. acris</i> | 0 | 51 | 8 | 3 | 8 | | |
| 30 | <i>Polycope</i> | 13 | 8 | 0 | 5 | 13 | | |
| 31 | <i>Trichordis praetexta</i> | 9 | 5 | 0 | 3 | 9 | | |
| 32 | <i>Cytheropteron corosum</i> | 11 | 6 | 0 | 4 | 11 | | |
| 33 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 12 | 21 | 21 | 11 | 33 | | |
| 34 | <i>Lophocythere devexa</i> | 0 | 2 | 4 | 1 | 4 | | |
| Totaux | | | 1186 | | 644 | | 1809 | |

Ce tableau montre que les effectifs observés dans le niveau II sont très élevés par rapport au niveau III avec une différence de 542 individus.

ni : effectif observé,

ni' : effectif théorique

Tableau 14 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau dans le site d'Antsalova I.

| N° | ESPECES | NIVEAUX | | I | | II | | III | | Totaux |
|---------------|--|---------|------------|----|------------|----|------------|-----|-------------|--------|
| | | ni | ni' | ni | ni' | ni | ni' | ni | ni' | |
| 1 | <i>Ammobaculites sp.</i> | 0 | 11 | 0 | 10 | 33 | 11 | 11 | 33 | |
| 2 | <i>Textularia sp.</i> | 0 | 9 | 0 | 8 | 26 | 9 | 9 | 26 | |
| 3 | <i>Astacolus mutilatis</i> | 36 | 12 | 0 | 11 | 0 | 13 | 0 | 36 | |
| 4 | <i>Astacolus sp.</i> | 0 | 13 | 0 | 12 | 39 | 13 | 13 | 38 | |
| 5 | <i>Lenticulina fracta</i> | 0 | 18 | 52 | 16 | 0 | 18 | 0 | 52 | |
| 6 | <i>Lenticulina sp.</i> | 91 | 64 | 96 | 57 | 0 | 65 | 65 | 187 | |
| 7 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 51 | 17 | 0 | 15 | 0 | 18 | 0 | 51 | |
| 8 | <i>Lenticulina dineontis</i> | 0 | 8 | 0 | 7 | 23 | 8 | 8 | 23 | |
| 9 | <i>Lenticulina tsaramandrosoensis</i> | 0 | 12 | 0 | 11 | 35 | 12 | 12 | 35 | |
| 10 | <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 0 | 11 | 0 | 10 | 31 | 11 | 11 | 31 | |
| 11 | <i>Planularia madagascariensis</i> | 45 | 33 | 47 | 29 | 0 | 32 | 0 | 92 | |
| 12 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 42 | 14 | 0 | 13 | 0 | 15 | 0 | 42 | |
| 13 | <i>Globulina sp.</i> | 61 | 44 | 41 | 40 | 27 | 45 | 45 | 129 | |
| 14 | <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 0 | 7 | 0 | 7 | 21 | 7 | 7 | 21 | |
| 15 | <i>Lingulina sp.</i> | 0 | 12 | 36 | 11 | 0 | 13 | 0 | 36 | |
| 16 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 9 | 0 | 8 | 26 | 9 | 9 | 26 | |
| 17 | <i>Rectoglandulina drandi</i> | 0 | 7 | 0 | 6 | 19 | 7 | 7 | 19 | |
| 18 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 0 | 6 | 0 | 6 | 18 | 6 | 6 | 18 | |
| 19 | <i>Cytherella index</i> | 21 | 15 | 24 | 14 | 0 | 16 | 0 | 45 | |
| 20 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 25 | 18 | 23 | 55 | 25 | 25 | 73 | |
| Totaux | | | 347 | | 314 | | 353 | | 1013 | |

Le site d'Antsalova I est représenté par des effectifs observés très différents allant du niveau I à III.

ni : effectif observé,

ni' : effectif théorique

Les tableaux 15,16, 17 présentent les pourcentages des microfossiles rencontrés dans chaque niveau dans les sites

Tableau 15: Pourcentages relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Andranomavo I

| ESPECES | NIVEAUX | | |
|--|------------|------------|------------|
| | I | II | III |
| <i>Textularia sp.</i> | 0 | 6,55 | 0 |
| <i>Astacolus mutilatis</i> | 7,89 | 0 | 0 |
| <i>Astacolus aff. insecta</i> | 10 | 0 | 0 |
| <i>Lenticulina sp.</i> | 25 | 25,72 | 0 |
| <i>Lenticulina subtilis</i> | 12,90 | 0 | 0 |
| <i>Lenticulina collignonii</i> | 0 | 18,21 | 0 |
| <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 0 | 0 | 22,93 |
| <i>Planularia madagascariensis</i> | 15 | 13,59 | 0 |
| <i>Marginulina sp.</i> | 8,94 | 0 | 0 |
| <i>Marginulinopsis embaensis</i> | 0 | 8,99 | 0 |
| <i>Marginulina gracillicima</i> | 0 | 0 | 25,19 |
| <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 5,53 | 0 | 0 |
| <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 0 | 19,93 |
| <i>Saracenaria compacta</i> | 0 | 0 | 12,40 |
| <i>Epistomina ventriosa</i> | 0 | 7,77 | 0 |
| <i>Globulina sp.</i> | 6,57 | 0 | 0 |
| <i>Cytherella index</i> | 8,16 | 10,68 | 0 |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 8,49 | 19,55 |
| Totaux | 100 | 100 | 100 |

Le niveau II et III est caractérisé par la prédominance de *Lenticulina sp.* jusqu'à 25 % de l'association, elle est absente dans le niveau III.

Tableau 16 : Pourcentages relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Andranomavo II

| ESPECES | NIVEAUX | |
|--|------------|------------|
| | II | III |
| <i>Textularia sp.</i> | 1,77 | 0 |
| <i>Astacolus mitulatis</i> | 6,99 | 0 |
| <i>Astacolus eritheles</i> | 6,49 | 0 |
| <i>Astacolus aff. insecta</i> | 0 | 8,69 |
| <i>Astacolus dorsoacriatus</i> | 0 | 9,47 |
| <i>Lenticulina sp.</i> | 19,89 | 23,75 |
| <i>Lenticulina collignonii</i> | 7,50 | 0 |
| <i>Lenticulina subtilis</i> | 6,15 | 0 |
| <i>Lenticulina fracta</i> | 5,14 | 0 |
| <i>Lenticulina andromede</i> | 4,72 | 0 |
| <i>Marginulina sp.</i> | 2,69 | 8,07 |
| <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 4,80 | 0 |
| <i>Nodosaria sp.</i> | 0 | 3,41 |
| <i>Planulaira madagascariensis</i> | 3,79 | 13,04 |
| <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 3,28 | 12,26 |
| <i>Spirillina tenuisima</i> | 0 | 4,81 |
| <i>Dentalian sp.</i> | 2,19 | 0 |
| <i>Globulina sp.</i> | 0 | 4,03 |
| <i>Rectoglandulina brandi</i> | 1,93 | 0 |
| <i>Epistomina ventriosa</i> | 2,61 | 0 |
| <i>Epistomina elchakaensis</i> | 2,86 | 0 |
| <i>Langena sp.</i> | 2,10 | 0 |
| <i>Spirillina tenuisima</i> | 2,69 | 0 |
| <i>Vaginulina d'Orb.</i> | 2,44 | 0 |
| <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 5,43 |
| <i>Cytherella index</i> | 3,62 | 0 |
| <i>Cytherelloidea</i> | 1,18 | 0 |
| <i>Majungaella perforata</i> | 1,26 | 1,86 |
| <i>Paracypris cf. acris</i> | 0 | 1,24 |
| <i>Polycopae</i> | 1,09 | 0 |
| <i>Trichordis praetexta</i> | 0,75 | 0 |
| <i>Cytheropteron corossum</i> | 0,92 | 0 |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 1,01 | 3,26 |
| <i>Lophocythere devexa</i> | 0 | 0,62 |
| Total | 100 | 100 |

Les pourcentages des espèces rencontrées dans le site d'Andranomavo II sont très variés dans les deux niveaux. La prédominance de l'espèce *Lenticulina sp.* est remarquable avec un pourcentage très élevé dans l'association (19,89% à 23,75%).

Tableau 17 : Pourcentages relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Antsalova I

| NIVEAUX ESPECES | NIVEAUX | | |
|---|------------|------------|------------|
| | I | II | III |
| <i>Ammobaculites sp.</i> | 0 | 0 | 9,34 |
| <i>Textularia sp.</i> | 0 | 0 | 7,36 |
| <i>Astacolus mutilatis</i> | 10,37 | 0 | 0 |
| <i>Astacolus sp.</i> | 0 | 0 | 11,05 |
| <i>Lenticulina fracta</i> | 0 | 16,56 | 0 |
| <i>Lenticulina sp.</i> | 26,23 | 30,57 | 0 |
| <i>Lenticulina subtilis</i> | 14,69 | 0 | 0 |
| <i>Lenticulina dineontos</i> | 0 | 0 | 6,51 |
| <i>Lenticulina tsaramandrosoensis</i> | 0 | 0 | 9,91 |
| <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 0 | 0 | 8,78 |
| <i>Planularia madagascariensis</i> | 12,97 | 14,96 | 0 |
| <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 12,11 | 0 | 0 |
| <i>Globulina sp.</i> | 17,57 | 13,05 | 7,65 |
| <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 0 | 0 | 5,95 |
| <i>Lingulina sp.</i> | 0 | 11,46 | 0 |
| <i>Vaginulina (Citharina) sparcostata</i> | 0 | 0 | 7,37 |
| <i>Rectoglandulina drandi</i> | 0 | 0 | 5,39 |
| <i>Spirillina tenuisima</i> | 0 | 0 | 5,10 |
| <i>Cytherella index</i> | 6,06 | 7,64 | 0 |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 5,73 | 15,59 |
| Totaux | 100 | 100 | 100 |

Le niveau III du site d'Antsalova I est très riche en espèces, mais avec des pourcentages assez faibles entre 5% à 15%. Ce niveau est marqué par l'absence de l'espèce *Lenticulina sp.* qui est très dominante dans les niveau I et II avec un pourcentage respectif de 26,23% à 30,57%.

Les résultats de comptages et les pourcentages relatifs effectués par niveau des deux sites différents dans les régions étudiées sont résumés dans les tableaux : 18, 19, 20, 21, 22 et 23.

Tableau 18 : Effectifs par espèce et pourcentages relatifs dans le niveau I au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I.

NIVEAU I

| N° | ESPECES | ANDRANOMAVO(NAI) | % | ANTSALOVA(AI) | % |
|--------------|------------------------------------|------------------|------------|---------------|------------|
| 1 | <i>Astacolus mutilatis</i> | 30 | 7,89 | 36 | 10,37 |
| 2 | <i>Astacolus aff. insecta</i> | 38 | 10 | 0 | 0 |
| 3 | <i>Lenticulina sp.</i> | 95 | 25 | 91 | 26,22 |
| 4 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 49 | 12,89 | 51 | 14,69 |
| 5 | <i>Planularia madagascariensis</i> | 57 | 15 | 45 | 12,96 |
| 6 | <i>Marginulina sp.</i> | 34 | 8,94 | 0 | 0 |
| 7 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 21 | 5,52 | 42 | 12,10 |
| 8 | <i>Globulina sp.</i> | 25 | 6,57 | 61 | 17,57 |
| 9 | <i>Cytherella index</i> | 31 | 8,15 | 21 | 6,05 |
| Total | | 380 | 100 | 347 | 100 |

Ce tableau montre que deux espèces sont absentes dans le site d'Antsalova I par rapport à Andranomavo I comme *Astacolus aff. insecta* et *Marginulina sp.*. Le niveau I des deux sites est marqué par des effectifs très élevés de l'espèce *Lenticulina sp.* (jusqu'à plus de 25% de la population).

Tableau 19 : Effectifs par espèce et pourcentages relatifs dans le niveau II au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I

NIVEAU II

| N° | ESPECES | ANDRANOMAVO (NAI) | % | ANTSALOVA (AI) | % |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|------------|----------------|------------|
| 1 | <i>Textularia sp.</i> | 27 | 6,53 | 0 | 0 |
| 2 | <i>Lenticulina sp.</i> | 106 | 25,66 | 96 | 26,89 |
| 3 | <i>Lenticulina fracta</i> | 0 | 0 | 52 | 14,56 |
| 4 | <i>Lenticulina collignonii</i> | 75 | 18,15 | 0 | 0 |
| 5 | <i>Planularia madagascariensis</i> | 57 | 13,80 | 47 | 13,16 |
| 6 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 0 | 0 | 43 | 12,04 |
| 7 | <i>Marginulinopsis embaensis</i> | 37 | 8,95 | 0 | 0 |
| 8 | <i>Lingulina sp.</i> | 0 | 0 | 36 | 10,08 |
| 9 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 32 | 7,74 | 0 | 0 |
| 10 | <i>Globulina sp.</i> | 0 | 0 | 41 | 11,48 |
| 11 | <i>Cytherella index</i> | 44 | 10,65 | 24 | 6,72 |
| 12 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 35 | 8,47 | 18 | 5,04 |
| Total | | 413 | 100 | 357 | 100 |

Les nombres d'espèces dans le niveau II des sites Andranomavo I et Antsalova I sont égaux (8 espèces). Ces deux sites sont marqués par une grande diversification de l'espèce *Lenticulina sp.*, avec des effectifs respectifs de 106 et 96 individus, à noter l'absence discontinue de quelques

espèces telles que *Textularia sp.*, *Lenticulina collignoni*, *Lenticulina collignoni*, *Neoflabellina lanceolata*, *Lingulina sp.*, *Epistomina ventriosa*, *Globulina sp.*

Tableau 20 : Effectifs par espèce et pourcentages relatifs dans le niveau III au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I

NIVEAU III

| N° | ESPECES | ANDRANOMAVO (NAI) | % | ANTSALOVA (AI) | % |
|--------------|--|-------------------|------------|----------------|------------|
| 1 | <i>Ammobaculites sp.</i> | 0 | 0 | 33 | 9,34 |
| 2 | <i>Textularia sp.</i> | 0 | 0 | 26 | 7,36 |
| 3 | <i>Astacolus sp.</i> | 0 | 0 | 39 | 11,04 |
| 4 | <i>Lenticulina dineontos</i> | 0 | 0 | 23 | 6,51 |
| 5 | <i>Lenticulina tsaramandrosoensis</i> | 0 | 0 | 35 | 9,91 |
| 6 | <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 61 | 23,01 | 31 | 8,78 |
| 7 | <i>Saracenaria compacta</i> | 32 | 12,07 | 0 | 0 |
| 8 | <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 0 | 0 | 21 | 5,94 |
| 9 | <i>Marginulina gracillicima</i> | 67 | 25,28 | 0 | 0 |
| 10 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 53 | 20 | 26 | 7,36 |
| 11 | <i>Globulina sp.</i> | 0 | 0 | 27 | 7,64 |
| 12 | <i>Rectoglandulina drandi</i> | 0 | 0 | 19 | 5,38 |
| 13 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 0 | 0 | 18 | 5,09 |
| 14 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 52 | 19,62 | 55 | 15,58 |
| Total | | 265 | 100 | 353 | 100 |

Le niveau III du site d'Antsalova I possède un grand nombre d'espèces (12 espèces) par rapport au site d'Andranomavo I (5 espèces).

Tableau 21 : Effectifs par espèces dans le niveau II au Nord d'Andranomavo II et Antsalova I

NIVEAU II

| N° | ESPECES | ANDRANOMAVO (NAII) | % | ANTSALOVA (AI) | % |
|--------------|---------------------------------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| 1 | <i>Textularia sp.</i> | 21 | 1,77 | 0 | 0 |
| 2 | <i>Astacolus mitulatistacolus</i> | 83 | 6,99 | 0 | 0 |
| 3 | <i>Astacolus eritheles</i> | 77 | 6,49 | 0 | 0 |
| 4 | <i>Lenticulina sp.</i> | 236 | 19,89 | 96 | 26,89 |
| 5 | <i>Lenticulina collignonii</i> | 89 | 7,50 | 0 | 0 |
| 6 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 73 | 6,15 | 0 | 0 |
| 7 | <i>Lenticulina fracta</i> | 61 | 5,14 | 52 | 14,56 |
| 8 | <i>Lenticulina andromede</i> | 56 | 4,72 | 0 | 0 |
| 9 | <i>Marginulina sp.</i> | 32 | 2,69 | 0 | 0 |
| 10 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 57 | 4,80 | 43 | 12,04 |
| 11 | <i>Planulaira madagascariensis</i> | 45 | 3,79 | 47 | 13,16 |
| 12 | <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 39 | 3,28 | 0 | 0 |
| 13 | <i>Dentalian sp.</i> | 26 | 2,19 | 0 | 0 |
| 14 | <i>Globulina sp.</i> | 0 | 0 | 41 | 11,84 |
| 15 | <i>Rectoglandulina brandi</i> | 23 | 1,93 | 0 | 0 |
| 16 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 31 | 2,61 | 0 | 0 |
| 17 | <i>Epistomina elchakaensis</i> | 34 | 2,86 | 0 | 0 |
| 18 | <i>Langena sp.</i> | 25 | 2,10 | 0 | 0 |
| 19 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 32 | 2,69 | 36 | 10,08 |
| 20 | <i>Vaginulina d'Orb.</i> | 29 | 2,44 | 0 | 0 |
| 21 | <i>Cytherella index</i> | 43 | 3,62 | 24 | 6,72 |
| 22 | <i>Cytherelloidea</i> | 14 | 1,18 | 0 | 0 |
| 23 | <i>Majungaella perforata</i> | 15 | 1,26 | 0 | 0 |
| 24 | <i>Polycope</i> | 13 | 1,09 | 0 | 0 |
| 25 | <i>Trichordis praetexta</i> | 9 | 0,75 | 0 | 0 |
| 26 | <i>Cytheropteron corosum</i> | 11 | 0,92 | 0 | 0 |
| 27 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 12 | 1,01 | 18 | 5,04 |
| Total | | 1186 | 100 | 357 | 100 |

Le niveau II du site d'Andranomavo II est très remarquable par la présence du nombre d'espèces très élevée (26 espèces). Par contre, le niveau II du site d'Antsalova I ne possède que 8 espèces. L'espèce *Lenticulina sp.* prédomine dans le niveau II deux sites avec des pourcentages respectifs de 19,89 et de 26,89 de l'ensemble.

Tableau 22 : Effectifs par espèces dans le niveau III au Nord d'Andranomavo II et Antsalova I

NIVEAU III

| N° | ESPECES | ANDRANOMAVO (NAII) | % | ANTSALOVA (AI) | % |
|--------------|--|--------------------|------------|----------------|------------|
| 1 | <i>Ammobaculites sp.</i> | 0 | 0 | 33 | 9,34 |
| 2 | <i>Textularia sp.</i> | 0 | 0 | 26 | 7,36 |
| 3 | <i>Astacolus sp.</i> | 0 | 0 | 39 | 11,04 |
| 4 | <i>Astacolus aff. insecta</i> | 56 | 8,54 | 0 | 0 |
| 5 | <i>Astacolus dorsoacriatus</i> | 61 | 9,31 | 0 | 0 |
| 6 | <i>Lenticulina sp.</i> | 153 | 23,35 | 0 | 0 |
| 7 | <i>Lenticulina tsaramandrosoensis</i> | 0 | 0 | 40 | 11,33 |
| 8 | <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | 0 | 0 | 31 | 8,78 |
| 9 | <i>Lenticulina dineontos</i> | 0 | 0 | 23 | 6,51 |
| 10 | <i>Marginulina sp.</i> | 52 | 7,93 | 0 | 0 |
| 11 | <i>Planulaira madagascariensis</i> | 84 | 12,82 | 0 | 0 |
| 12 | <i>Saracenaria tsaramandrosoensis</i> | 79 | 12,06 | 0 | 0 |
| 13 | <i>Nodosaria sp.</i> | 22 | 3,35 | 0 | 0 |
| 14 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 35 | 5,34 | 26 | 7,36 |
| 15 | <i>Rectoglandulina drandi</i> | 0 | 0 | 29 | 8,21 |
| 16 | <i>Spirillina tenuisima</i> | 31 | 4,73 | 18 | 5,09 |
| 17 | <i>Globulina sp.</i> | 26 | 3,96 | 33 | 9,34 |
| 18 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 21 | 3,20 | 55 | 15,58 |
| 19 | <i>Majungaella perforata</i> | 12 | 1,83 | 0 | 0 |
| 20 | <i>Majungaella nematis</i> | 11 | 1,67 | 0 | 0 |
| 21 | <i>Paracypris cf. acris</i> | 8 | 1,22 | 0 | 0 |
| 22 | <i>Lophocythere devexa</i> | 4 | 0,61 | 0 | 0 |
| Total | | 655 | 100 | 353 | 100 |

Ce tableau indique que le nombre d'espèces dans le niveau III du site d'Andranomavo II est assez élevé (15 espèces) par rapport à celui d'Antsalova I (11 espèces).

Tableau 23 : Effectifs par espèces dans le niveau II de Komihevitra et Antsalova I

NIVEAU II

| N° | ESPECES | KOMIHEVITRA | % | ANTSALOVA (AI) | % |
|--------------|-------------------------------------|-------------|------------|----------------|------------|
| 1 | <i>Dorothia sp.</i> | 43 | 6,93 | 0 | 0 |
| 2 | <i>Lenticulina sp.</i> | 154 | 24,67 | 96 | 26,89 |
| 3 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 104 | 16,77 | 0 | 0 |
| 4 | <i>Lenticulina fracta</i> | 81 | 13,06 | 52 | 14,56 |
| 5 | <i>Planulaira madagascariensis</i> | 93 | 15 | 47 | 12,04 |
| 6 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 0 | 0 | 43 | 13,16 |
| 7 | <i>Tristix suprajurassica</i> | 55 | 8,87 | 0 | 0 |
| 8 | <i>Lingulina sp.</i> | 0 | 0 | 36 | 10,08 |
| 9 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 57 | 9,19 | 0 | 0 |
| 10 | <i>Globulina sp.</i> | 0 | 0 | 41 | 11,84 |
| 11 | <i>Protoglobigerine</i> | 9 | 1,45 | 0 | 0 |
| 12 | <i>Cytherella index</i> | 16 | 2,58 | 24 | 6,72 |
| 13 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 0 | 18 | 5,04 |
| 14 | <i>Pirileberis prognata</i> | 8 | 1,29 | 0 | 0 |
| Total | | 620 | 100 | 357 | 100 |

Les effectifs des espèces *Lenticulina sp.* et *Lenticiluna subtilis* sont très élevés dans le site de Komihevitra.

Conclusion

Les différents sites des deux régions étudiées possèdent une proportion élevée des Foraminifères par rapport aux Ostracodes. Ces sites sont marqués par la prédominance des Foraminifères benthiques surtout dans les niveaux supérieurs des formations (niveau II et III). Les formes planctoniques sont très rares, représentés par un seul genre *Protoglobigerina*. Les analyses géochimiques des éléments majeurs (SiO_2 , CaO et MgO) montrent que la teneur en MgO est très faible par rapport à celle de SiO_2 et de CaO .

QUATRIEME PARTIE :

INTERPRETATIONS ET

DISCUSSIONS

4.1 BIOSTRATIGRAPHIE

L'intervalle du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur a été choisi, car c'est la période des premières proliférations des microfossiles benthiques à Madagascar, les planctoniques étant encore à leurs formes primitives : *Protoglobigerines* et *Hedbergelles*.

Les prélèvements des échantillons dans les deux régions étudiées offrent une grande richesse en Foraminifères benthiques. Par contre, les formes planctoniques sont très rares ou même absentes dans quelques sites.

4.1.1 Biostratigraphie des deux régions dans l'étude présente

La biozonation fondée sur les Foraminifères benthiques dépend étroitement des faciès.

Les Foraminifères benthiques de Madagascar ne sont pas endémiques, les espèces présentes dans les échantillons des deux régions étudiés (Andranomavo et Antsalova) sont rencontrées dans plusieurs pays du monde (Tableau 30, 31).

4.1.1.1 Cas de la région d'Andranomavo

Les deux régions étudiées montrent une grande prédominance des Foraminifères benthiques. La biozonation basée sur les Foraminifères benthiques s'opère au niveau régional et en correspondance avec les macrofaunes, qui possèdent un bon pouvoir de résolution biochronostratigraphique

En général, les formations sédimentaires de la région d'Andranomavo sont basées sur les dépôts du Callovien (niveau I).

❖ Niveau I

Age : Callovien

Le callovien de la formation d'Andranomavo est constitué par deux parties : la partie inférieure est formée par des marnes jaunes à grises tachetées de blanches et la partie supérieure est constituée par des marnes jaunes rouges finement gréseuses.

L'épaisseur de la zone est de 5,25 mètres au Nord d'Andranomavo I. Cette zone est absente dans la coupe Nord d' Andranomavo II et de Komihevitra.

Les prélèvements à ce niveau sont marqués par l'abondance des Foraminifères benthiques. Les Foraminifères planctoniques sont absents. L'association de ces Foraminifères benthiques est constituée par : *Astacolus aff. insecta*, *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina sp.*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina cf. secans var. angulosa*, *Marginulina sp.*, *Neoflabellina lanceolata* et *Planularia madagascariensis*.

Les Ostracodes sont rares et représentés seulement par une seule espèce : *Cytherella index*.

La limite entre les étages Callovien – Oxfordien n'est pas bien nette car les espèces : *Astacolus aff. insecta* (Schwager, 1865), *Marginulina sp.* (Epitalie & Sigal, 1963), *Neoflabellina lanceolata* (Mamontova, 1957), *Cytherella index* (Oertli, 1959) caractérisent le Callovien supérieur – Oxfordien inférieur.

❖ Niveau II

Age : Jurassique supérieur (Oxfordien – Kimméridgien – Portlandien)

L'épaisseur au dessus du Callovien est de 12 mètres environ au Nord d'Andranomavo I, de 15,5 mètres au Nord d'Andranomavo II et de 5 mètres à Komihevitra.

Les dépôts sont constitués en général par des marnes où les organismes benthiques prédominent. L'association de Foraminifères benthiques est formée par : *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina collignonii*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina fracta*, *Lenticulina andromede*, *Marginulina sp.*, *Marginulopsis embaensis*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Dentalina sp.*, *Lingulina sp.*, *Epistomina ventriosa* et *Epistomina elschankaensis*, *Spirillina tenuissima*, *Rectoglandulina brandi*.

Les Foraminifères à test agglutiné sont représentés par un seul genre *Textularia*

Les Foraminifères planctoniques sont représentés par un seul genre : *Protoglobigerine*

Pour les Ostracodes, quelques genres et espèces caractérisent ce niveau : *Cytherella index*, *Polycope*, *Cytherella ex gr. Pyriformis*, *Cytherelloidea*, *Lophocythere devexa*, *Majungaella nematis*, *Trichordis praetexta*, *Cytheropteron corrosum*, *Pirileberis prognata*.

Ce niveau est marqué par l'existence des macrofossiles comme les Ammonites avec les genres *Phylloceras* et *Holcophylloceras*.

Les espèces de microfaunes ci-dessous caractérisent et confirment la présence de la formation du Jurassique supérieur dans ce niveau dont la répartition est subdivisée en deux parties :

La présence de *Lenticulina fracta* (Epitalie & Sigal, 1963), *Protoglobigerine*, *Holcophylloceras* au sein de la partie inférieure de la formation indique l'âge Oxfordien. La partie supérieure de

la formation est caractérisée par les espèces de Foraminifères benthiques : *Lenticulina collignoni*, *Lingulina sp.* (Epitalie & Sigal, 1963), *Dentalina sp.* (Epitalie & Sigal, 1963) ; Chez les Ostracodes, notons la présence de *Cytherella ex gr. Pyriformis* (Cornuel, 1846), *Pirileberis prognata* (Grekoff N., 1963), *Cytheropteron corrosum* (Grekoff N., 1963). Ces espèces nous a permis d'attribuer l'âge Kimméridgien – Portlandien. La limite entre Kimméridgien – Portlandien n'est pas bien définie dans cette formation.

❖ Niveau III

Age : Crétacé inférieur (Berriasien, Valanginien, Hauterivien, Barrémien, Aptien, Albien)

Les dépôts de la formation supérieure d'Andranomavo sont constitués en général par des marnes. L'épaisseur de ces formations est de 2,30 mètres à Andranomavo I, de 12 mètres à Andranomavo II, absentes à Komihevitra. Cette formation est caractérisée par la prédominance des Foraminifères benthiques. L'association microfaunistique est constituée par : *Lenticulina sp.*, *Lenticulina cf. secans var. angulosa*, *Astacolus dorsoacriatus*, *Astacolus aff. Insecta*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Planularia madagascariensis*, *Marginulina gracilissima*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Saracenaria compacta*, *Spirillina tenuissima*, *Globulina*.

A ce niveau, les formes agglutinées et planctoniques sont absentes ; mais quelques espèces d'Ostracodes persistent à savoir : *Majungaella nemetis*, *Majungaella perforata*, *Cytherella index*, *Cytherella ex gr. Pyriformis* et *Paracypris cf. acris*. La présence de *Lenticulina cf. secans var. angulosa*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, dans la formation supérieure d'Andranomavo (niveau III) confirme le Crétacé inférieur.

Les deux espèces caractérisent les trois étages inférieurs dont *Lenticulina cf. secans var. angulosa* (Epitalie & Sigal, 1963) indique le Berriasien à Hauterivien et *Vaginulina (Citharina) sparicostata* (Reuss, 1863) au Valanginien supérieur à Hauterivien.

Pour les macrofossiles, la faune d'Ammonites représentée par les genres *Lytoceras* et *Desmoceras* (Collignon M., 1959), indique l'Aptien et le Bélemnites *Hibolites semicanaliculatus*, confirme l'Albien.

La répartition des microfossiles dans les trois niveaux (I, II, III) de la formation de la région d'Andranomavo est très variée. Par conséquent, les espèces rencontrées dans chaque niveau ne sont pas les mêmes.

Pour vérifier la variation des espèces dans les différents niveaux, il est préconisé à appliquer le « test d'indépendance ».

H_0 : les distributions des espèces et les niveaux sont indépendants dans les formations d'Andranomavo.

H_1 : les distributions des espèces et les niveaux sont dépendants dans les formations d'Andranomavo.

Cas d'Andranomavo I :

$$X_c^2 \ 8 = \frac{1}{18} \frac{(ni - ni')^2}{ni} = 1328,98$$

La valeur de X_c^2 calculée est supérieure à la valeur X_t^2 seuil lue dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur 0,01 et de degré de liberté 16, l'hypothèse nulle est rejetée. La répartition des espèces et les différents niveaux dans le site d'Andranomavo I sont très dépendants.

Cas d'Andranomavo II :

$$X_c^2 \ 33 = \frac{1}{68} \frac{(ni - ni')^2}{ni} = 1030,5$$

La valeur de X_c^2 Calculée est supérieure à la valeur X_t^2 seuil lue dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur 0,01 et de degré de liberté 33, l'hypothèse nulle est rejetée. La répartition des espèces et les différents niveaux dans le site d'Andranomavo II sont statistiquement très dépendants.

La dépendance entre les espèces et les niveaux est en relation avec la répartition stratigraphique des microfossiles dans les différentes formations. En effet, les niveaux correspondent aux subdivisions stratigraphiques étudiées de la région d'Andranomavo :

- Niveau I : Callovien,
- Niveau II : Oxfordien à Kimméridgien,
- Niveau III : Berriasien à Barremien.

Call. : Callovien, **Oxf.** : Oxfordien, **Kim.** : Kimméridgien, **Bér.** : Bériasien, **Val.** : Valanginien, **Hau.** : Hautérivien, **Bar.** : Barrémien, **Apt.** : Aptien, **Alb.** : Albien.

Figure 22 : Répartition stratigraphique des microfaunes et des macrofaunes rencontrées dans la région d'Andranomavo.

❖ Interprétation stratigraphique

La base de la Formation d'Andranomavo repose sur le Callovien (Figure 22).

➤ Au dessus du Callovien, la limite Oxfordien – Kimméridgien est marquée par la disparition des *Marginulina* sp., *Neoflabellina lanceolata*, *Protoglobigerine*, *Cytherella index* et par l'apparition des espèces telles que : *Lenticulina collignonii*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Marginulina gracillissima*, *Dentalina* sp., *Epistomina ventriosa*, *Spirillina tenuisima*, *Cytherella ex. gr pyriformis*, *Majungaella perforata*, *Pirileberis prognata* et aussi par la présence de macrofaune d'Ammonites : *Holcophylloceras*.

➤ La limite Kimméridgien – Portlandien est confirmée par l'apparition de quelques espèces à savoir : *Textularia*, *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina andromede*, *Marginulinopsis embaensis*, *Lingulina* sp., *Majungaella nematis*, *Cytheropteron corrosum*.

➤ La limite Portlandien – Berriasiens est indiquée par la disparition des espèces comme : *Lingulina* sp., *Cytheropteron corrosum*, *Cytherella ex. gr pyriformis* ; du genre *Phylloceras* et par l'apparition de *Lenticilina cf. secans var. agulosa*. Cette limite est considérée comme la limite Jurassique supérieur – Crétacé inférieur dans les Formations d'Andranomavo.

➤ La limite Berriasiens – Valanginien est vérifiée par la disparition des : *Textularia*, *Planularia madagascariensis*, *Marginulinopsis embaensis*, *Marginulina gracillissima*, *Epistomina ventriosa*, *Spirillina tenuisima* et l'apparition du genre *Polycope*.

➤ La limite Valanginien – Hauterivien est confirmée par la disparition des espèces *Lenticulina subtilis*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Polycope*, *Majungaella nematis* et par l'apparition de *Vaginulina (Citharina) sparicostata*. Cette dernière espèce est caractéristique de l'Hauterivien.

➤ La limite Hauterivien – Barrémien est caractérisée par la disparition de quelques espèces : *Astacolus mutilatus*, *Lenticilina* sp., *Lenticilina cf. secans var. agulosa*, *Saracenaria compacta*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Rectoglandulina brandi*.

En général les espèces de microfaunes rencontrées dans les Formations de la région d'Andranomavo sont cantonnées dans l'intervalle de Callovien à la fin de l'Hauterivien.

L'Aptien est indiqué par la présence des Ammonites *Lytoceras* et *Desmoceras* et l'Albien par l'espèce de Bélemnites *Hibolites semicanaliculatus*.

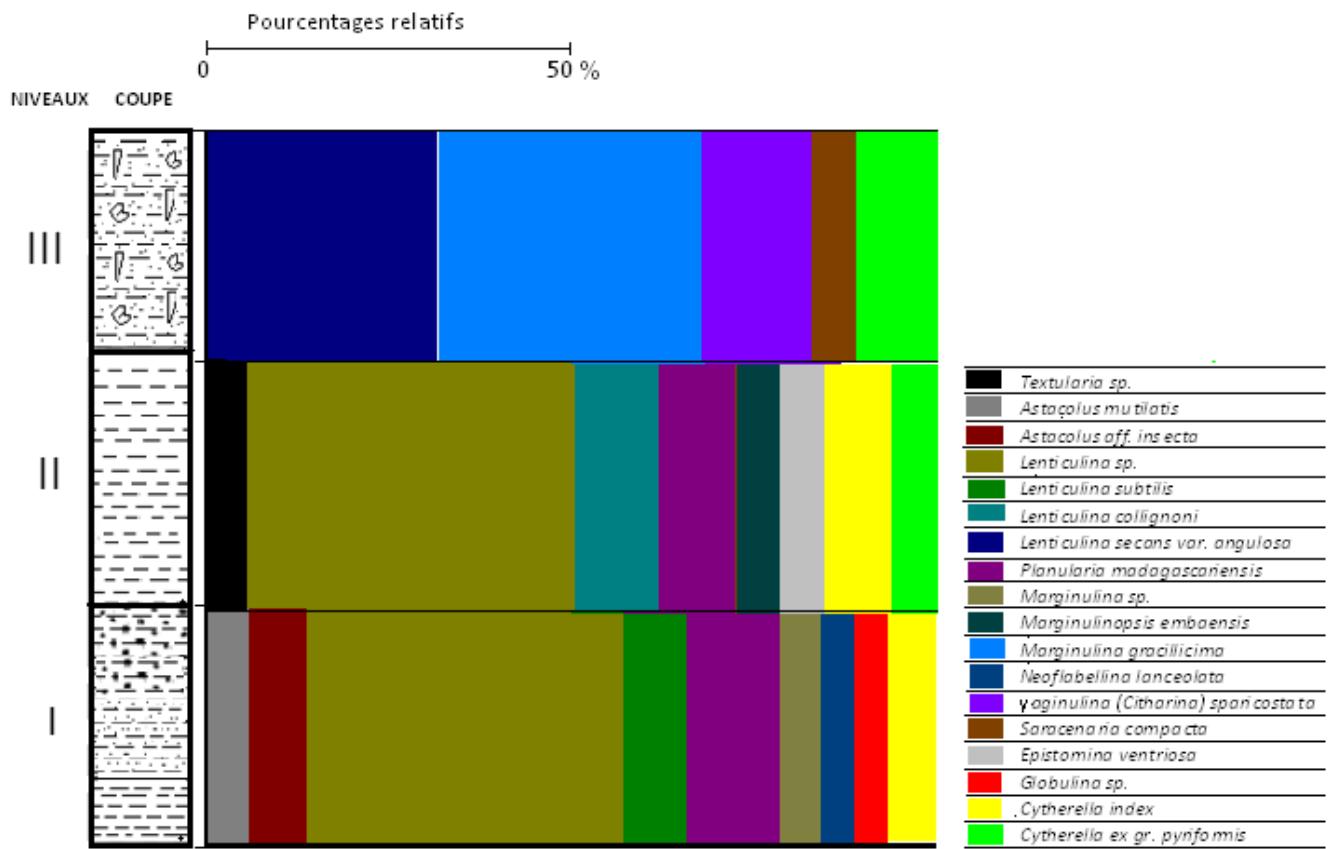


Figure 23 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Andranomavo I

Ce diagramme confirme la diversité, l'apparition et la disparition des espèces de microfossiles (Foraminifères et Ostracodes) dans les trois niveaux de la formation du site d'Andranomavo I.

Les trois niveaux sont distingués par quelques espèces :

- Niveau I : *Astacolus* *mutilatis*, *Astacolus* *aff. Insecta*, *Globulina* sp., *Marginulina* sp., *Neoflabellina* *lanceolata*, *Lenticulina* *subtilis* ;
- Niveau II : *Textularia* sp., *Lenticulina* *collignonii*, *Epistomina* *ventriosa*, *Marginulinopsis* *embaensis* ;
- Niveau III : *Lenticulina* *secans* var. *angulosa*, *Marginulina* *gracillicima*, *Saracenaria* *compacta*, *Vaginulina* (*Citharina*) *sparicostata*.

La prédominance de l'espèce *Lenticulina* sp. dans le niveau I et II est continuée par les espèces *Lenticulina* *secans* var. *angulosa*, *Marginulina* *gracillicima* dans le niveau III.

La distribution des espèces dans chaque niveau justifie les subdivisions stratigraphiques de la formation allant du Callovien à l'Hauterivien.

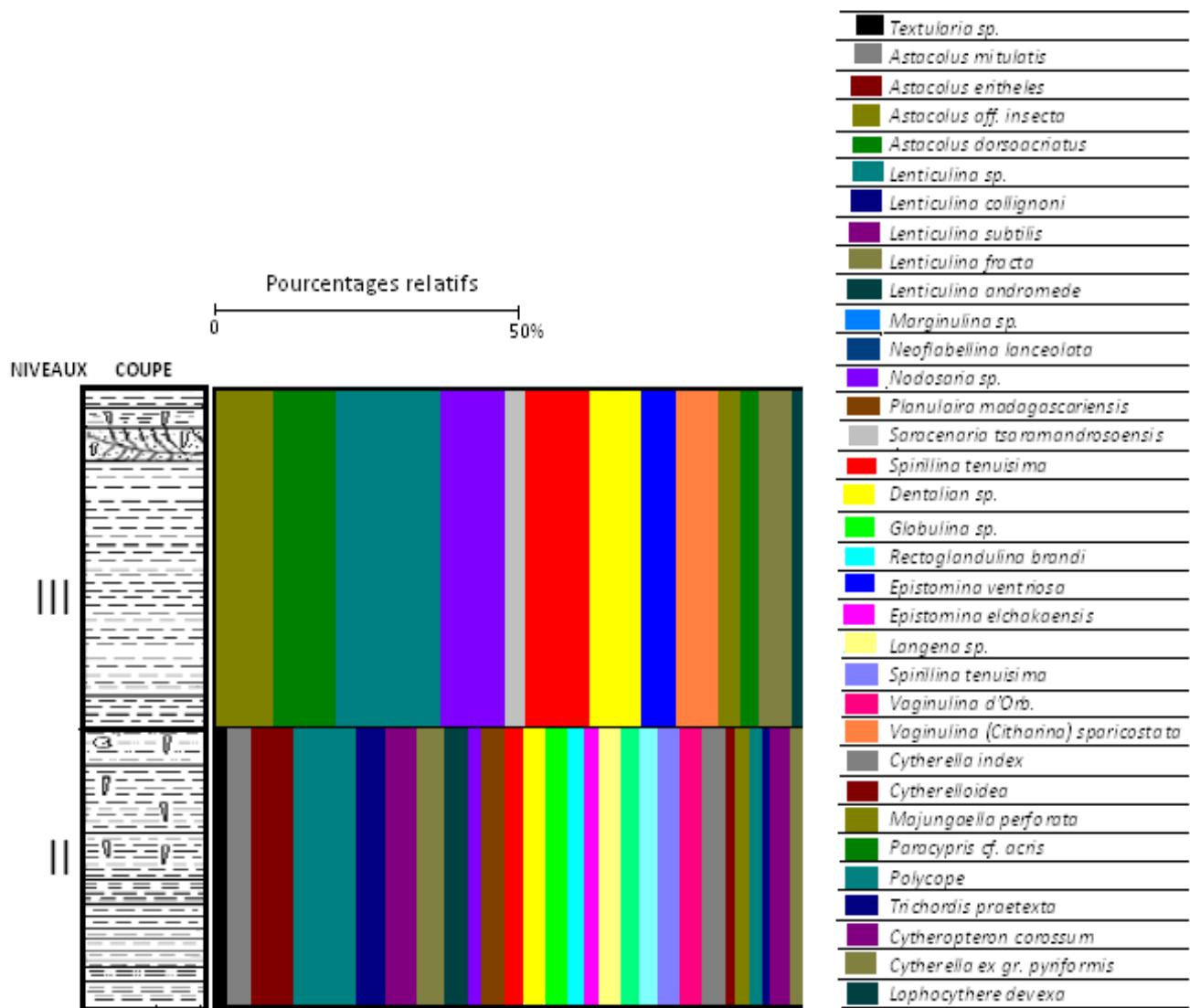


Figure 24 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Andranomavo II

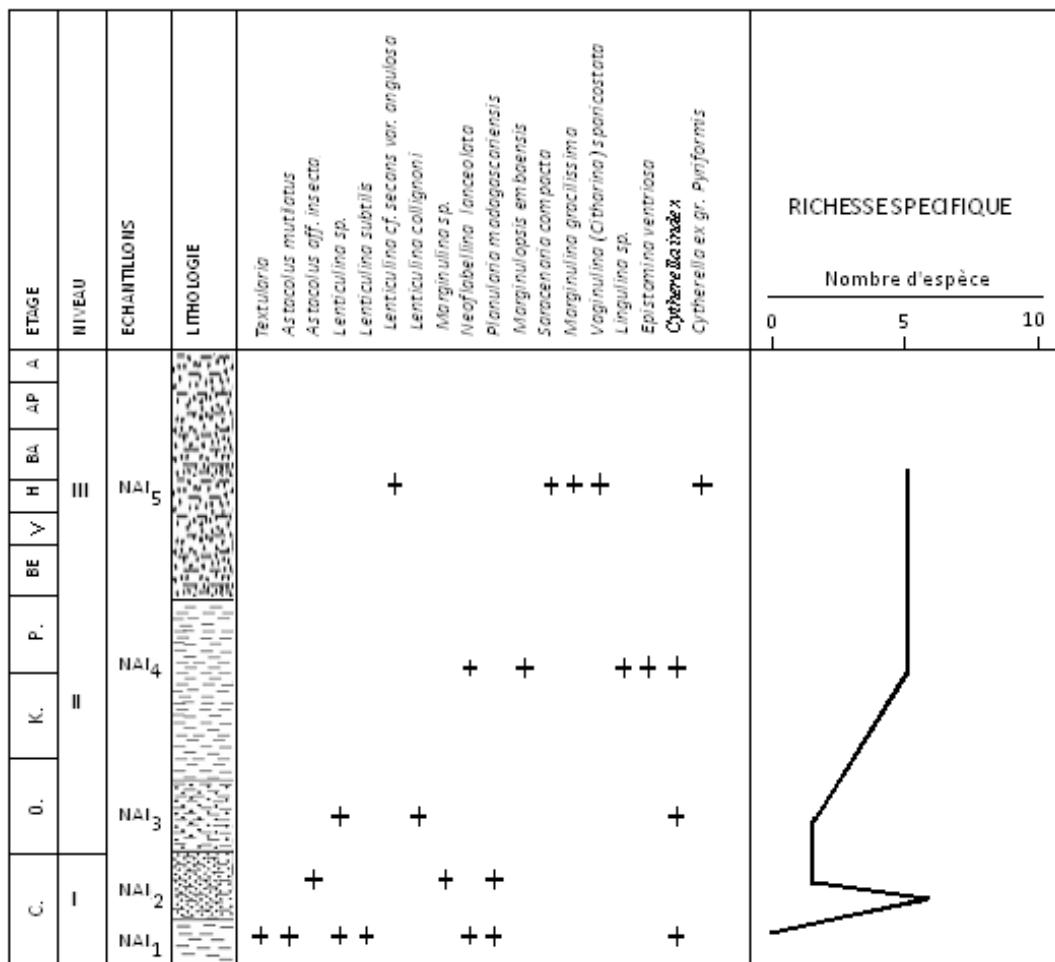
Le niveau II du site d'Andranomavo II est caractérisé par une grande diversité spécifique par rapport au niveau III.

Les deux niveaux sont différenciés par plusieurs espèces des Foraminifères et des Ostracodes :

- Niveau II : *Textularia sp.*, *Astacolus mitulatis*, *Astacolus eritheles*, *Lenticulina collignoni*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina fracta*, *Lenticulina andromede*, *Neoflabellina lanceolata*, *Dentalian sp.*, *Rectoglandulina brandi*, *Epistomina ventriosa*, *Epistomina elchakaensis*, *Langena sp.*, *Spirillina tenuisima*, *Vaginulina d'Orb.*, *Cytherella index*, *Cytherelloidea*, *Polycopae*, *Trichordis praetexta*, *Cytheropteron corossum*.

- Niveau III : *Astacolus aff. Insecta*, *Astacolus dorsoacriatus*, *Nodosaria sp.*, *Spirillina tenuisima*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Paracypris cf. acris*, *Lophocythere devexa*.

La répartition des associations faunistiques dans les niveaux II et III confirme aussi les subdivisions stratigraphiques du site d'Andranomavo II allant de l'Oxfordien à l'Hauterivien.



C. : Callovien, **O.** : Oxfordien, **K.** : Kimméridgien, **BE.** : Bériasien, **V.** : Valanginien, **H.** : Hautérivien, **BA.** : Barrémien, **AP.** : Aptien, **A.** : Albien.

Figure 25 : Courbe de la richesse spécifique des microfossiles d'Andranomavo

La richesse spécifique est le nombre d'espèces par unité de surface. Les espèces représentant plus de 5% de la faune totale ont été considérées comme les espèces les plus importantes, alors que celles qui représentent moins de 1% de la faune totale ont été considérées comme étant à l'état de « trace » (LICARI et al., 2003).

La courbe de la richesse spécifique d'Andranomavo montre que :

- Dans le niveau I et II, la richesse spécifique est très variée car le nombre d'espèce oscille entre 7 et 3.
 - Dans le niveau III, la richesse spécifique diminue et est restée constante avec 5 espèces.

En général, dans ce site, le niveau inférieur renferme beaucoup d'espèces par rapport au niveau supérieur. Ces trois niveaux sont dominés par une grande diversité des espèces de Foraminifères benthiques.

L'étude de la richesse spécifique de la région d'Andranomavo confirme la prolifération des Foraminifères benthiques du Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur.

4.1.1.2 La région d'Antsalova

La base de la formation d'Antsalova dans la présente étude se repose sur les sédiments du Callovien.

❖ Niveau I

Age : Callovien

Le Callovien est formé par trois parties dans la Formation d'Antsalova. De bas en haut : marne grise à jaune, marne jaune à verte et marne verdâtre tacheté de jaune. L'épaisseur de ce niveau est de 5,80 mètres environ.

Les échantillons prélevés dans les trois parties du Callovien présente un pourcentage assez élevé des Foraminifères benthiques ; dont les associations sont formées par les espèces suivantes : *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina subtilis*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Lenticulina sp.*, *Globulina*.

Par contre, les Ostracodes sont très rares et ne sont représentés que par une seule espèce : *Cytherella index*.

Le Callovien est indiqué par le genre *Globulina* (Orbigny, 1824), plus précisément le Callovien moyen ; mais les autres espèces caractérisent une large distribution stratigraphique allant du Callovien à Hauterivien.

❖ Niveau II

Age : Jurassique supérieur (Oxfordien – Kimméridgien – Portlandien)

Au dessus du Callovien, les dépôts sont constitués par des marnes verdâtres à *Bélemnites* et à *Aptychus*. L'épaisseur de ce niveau est de 6 mètres, avec prédominance des formes benthiques des Foraminifères dont les espèces sont constituées par : *Lenticulina sp.*, *Lenticulina fracta*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Lingulina sp.*, *Globulina*.

Dans ce niveau, les Ostracodes sont formés par deux espèces à savoir : *Cytherella index* et *Cytherella ex gr.pyriformis*.

Cette formation est marquée par la présence des macrofossiles comme les Bélemnites (*Megatheutis giganteus*) et les Lamellibranches (*Lamellaptychus lamellosus*).

La majorité des espèces des associations de microfaunes trouvées dans ce niveau ont une large distribution stratigraphique allant du Callovien à l'Hauterivien. Par contre l'âge de cette formation est confirmé par les espèces suivantes : la présence de *Lenticulina fracta* (Epitalie & Sigal) au sein de ce niveau indique l'Oxfordien inférieur ; le *Cytherella ex gr. pyriformis* vérifie le passage de Kimméridgien – Portlandien (Cornuel, 1846) et le Kimméridgien est délimité par le *Lamellaptychus lamellosus*.

❖ Niveau III

Age : Crétacé inférieur (Berriasien, Valanginien, Hauterivien, Barrémien, Aptien, Albien)

La partie supérieure de la formation d'Antsalova est moins épaisse (3,30 mètres) par rapport aux niveaux inférieurs. Cette formation est formée par de marne verdâtre à Bélemnites caractérisée par la prédominance des Foraminifères benthiques à test hyalin telle que : *Astacolus sp.*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Lenticulina secans cf. var. angulosa*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Globulina*, *Rectoglandulina brandi*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*

Sprillina tenuissima. Les formes à tests agglutinés sont rares et ne sont représentées que par *Textularia sp.* et *Ammobaculites sp.*

Pour les Ostracodes, seule l'espèce *Cytherella ex gr. pyriformis* persiste. Notons aussi la présence des espèces de Bélemnites qui identifient cette formation, à savoir : *Actinocamax plenus*, *Hibolites semicanaliculatus*, *Duvalia lata*.

L'espèce *Lenticulina secans cf. var. angulosa* (Epitalie & Sigal, 1963) confirme la limite inférieure de ce niveau datant du Berriasien à Hauterivien et le passage de Valanginien supérieur – Hauterivien est indiqué par le *Vaginulina (Citharina) sparicostata* (Reuss, 1863). La présence des espèces de Bélemnites justifie l'âge de ce niveau dont la répartition est la suivante : *Duvalia lata* (Collignon M.) marque aussi la limite inférieure de la Formation (Berriasien – Hauterivien) ; *Hibolites semicanaliculatus* (Collignon M., 1959) indique l'étage Aptien et *Actinocamax plenus* (Collignon M., 1959) confirme la présence de l'Albien.

La distribution des microfossiles dans les trois niveaux (I, II, III) de Formation d'Andranomavo est très différente. En effet, les espèces rencontrées dans chaque niveau ne sont pas les mêmes.

Pour vérifier la différence entre la diversité et la distribution des espèces dans les trois niveaux dans la région d'Antsalova, nous avons à appliquer le « test d'indépendance ».

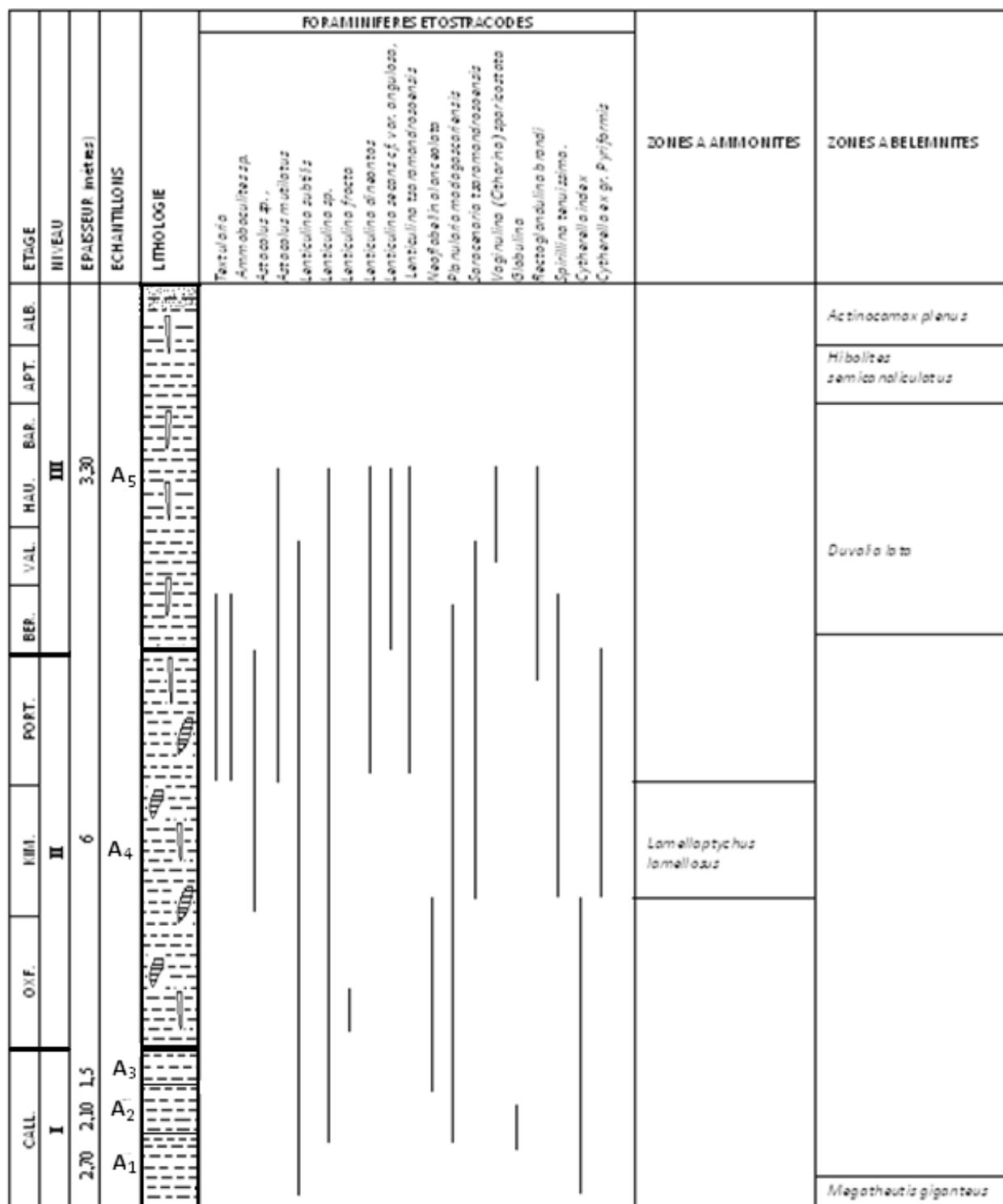
H_0 : les distributions des espèces et les niveaux sont indépendants dans les formations d'Antsalova.

H_1 : les distributions des espèces et les niveaux sont dépendants dans les formations d'Antsalova.

$$X_c^2 \quad 19 = \frac{1}{40} \frac{(ni - ni')^2}{ni'} = 1202,04$$

La valeur de X_c^2 calculée est supérieure à la valeur X_t^2 seuil lire dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur 0,01 et de degré de liberté 38, l'hypothèse nulle est rejetée. La répartition des espèces et les différents niveaux dans le site d'Antsalova sont très dépendants. La variation des espèces dans les trois niveaux confirme la subdivision stratigraphique de la Formation d'Antsalova :

- Niveau I : Callovien,
- Niveau II : Oxfordien à Kimméridgien,
- Niveau III : Berriasien à Barrémien.



Call. : Callovien, **Oxf.** : Oxfordien, **Kim.** : Kimméridgien, **Bér.** : Bériasien, **Val.** : Valanginien, **Hau.** : Hautérivien, **Bar.** : Barrémien, **Apt.** : Aptien, **Alb.** : Albien.

Figure 26 : Répartition stratigraphique des microfaunes et des macrofaunes rencontrées

❖ Interprétation stratigraphique

La formation d'Antsalova repose directement sur le Callovien (V. HOURCQ, 1950 et M. COLLIGNON, 1959- 1960).

➤ La limite Oxfordien – Kimméridgien est marquée par la disparition des espèces de *Neoflabellina lanceolata*, *Cytherella index* et par l'apparition d'*Astacolus sp.*, *Spirillina tenuisima*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Cytherella ex gr. Pyriformis* et de *Lamellaptychus lamellosus*.

➤ La limite Kimméridgien – Portlandien est confirmée par l'apparition des *Textularia*, *Ammobaculites*, *Astacolus mitulatus*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis* et par la disparition de *Lamellaptychus lamellosus*.

➤ La limite Portlandien – Berriasien est caractérisée par la disparition des espèces : d'*Astacolus sp.*, *Cytherella ex gr. Pyriformis* et par l'apparition de *Lenticulina secans cf. var. angulosa* et de *Duvalia lata*. Cette limite est la limite Jurassique – Crétacé car le Crétacé d'Antsalova est indiqué par la présence de marne à *Duvalia*.

➤ La limite Berriasien – Valanginien est indiquée par la disparition de quelques espèces à savoir : *Textularia*, *Ammobaculites sp.*, *Planularia madagascariensis*, *Spirillina tenuisima*.

➤ La limite Valanginien - Hauterivien est confirmée par la disparition des *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Lenticulina subtilis*.

➤ La limite Hauterivien – Barrémien est marquée par la disparition des espèces *Astacolus mitulatus*, *Lenticulina sp.*, *Lenticulina secans cf. var. angulosa*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Rectoblandulina brandi* à la fin de l'Hauterivien.

➤ Le Barrémien ne renferme plus des microfaunes, mais est délimité par la présence de *Duvalia lata*.

➤ L'Aptien et l'Albien sont vérifiés par la présence des macrofaunes de Bélemnites : *Hibolites semicanaliculatus*, *Actinocamax plenus*, mais les microfaunes sont absentes.

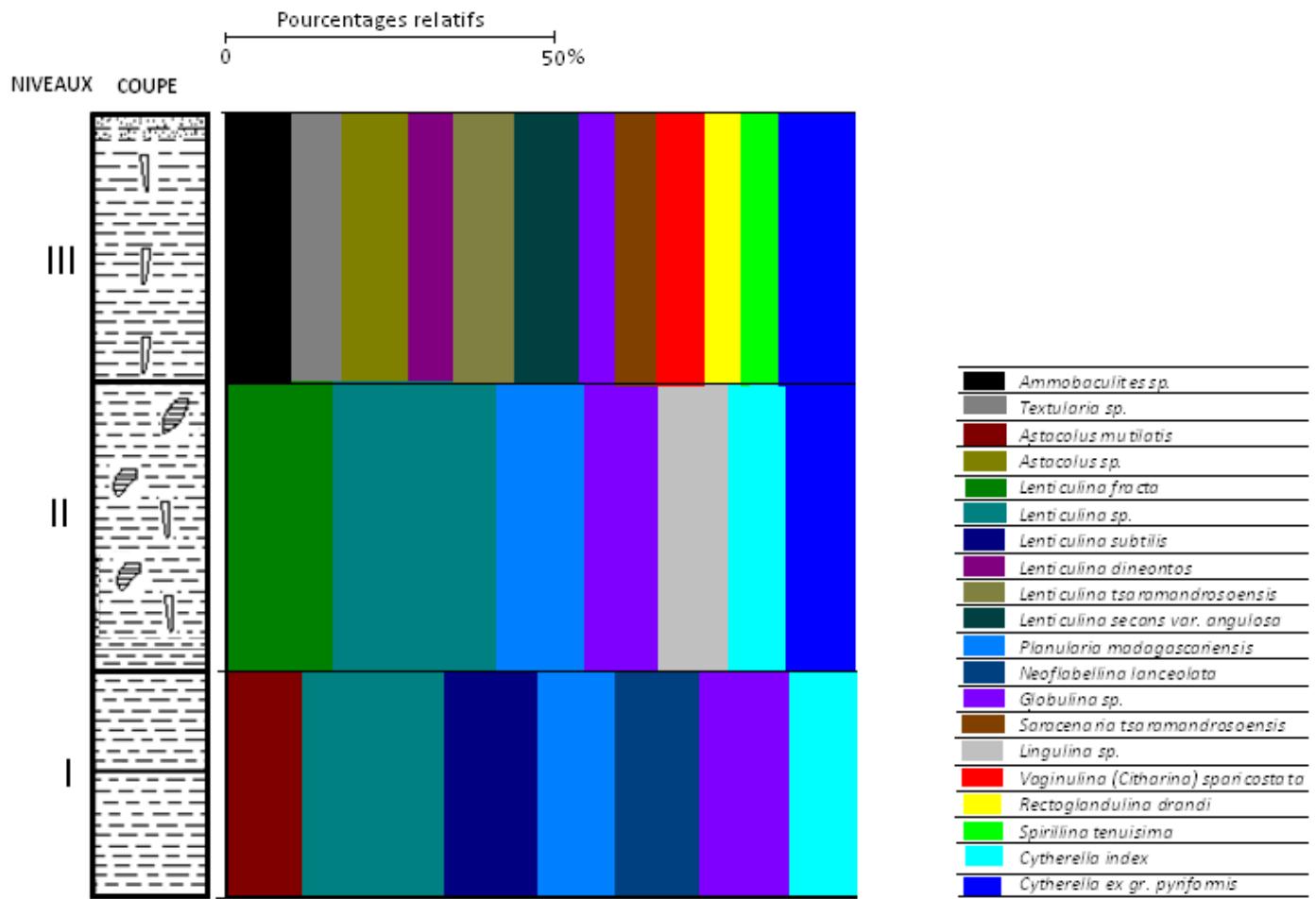


Figure 27 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Antsalova I.

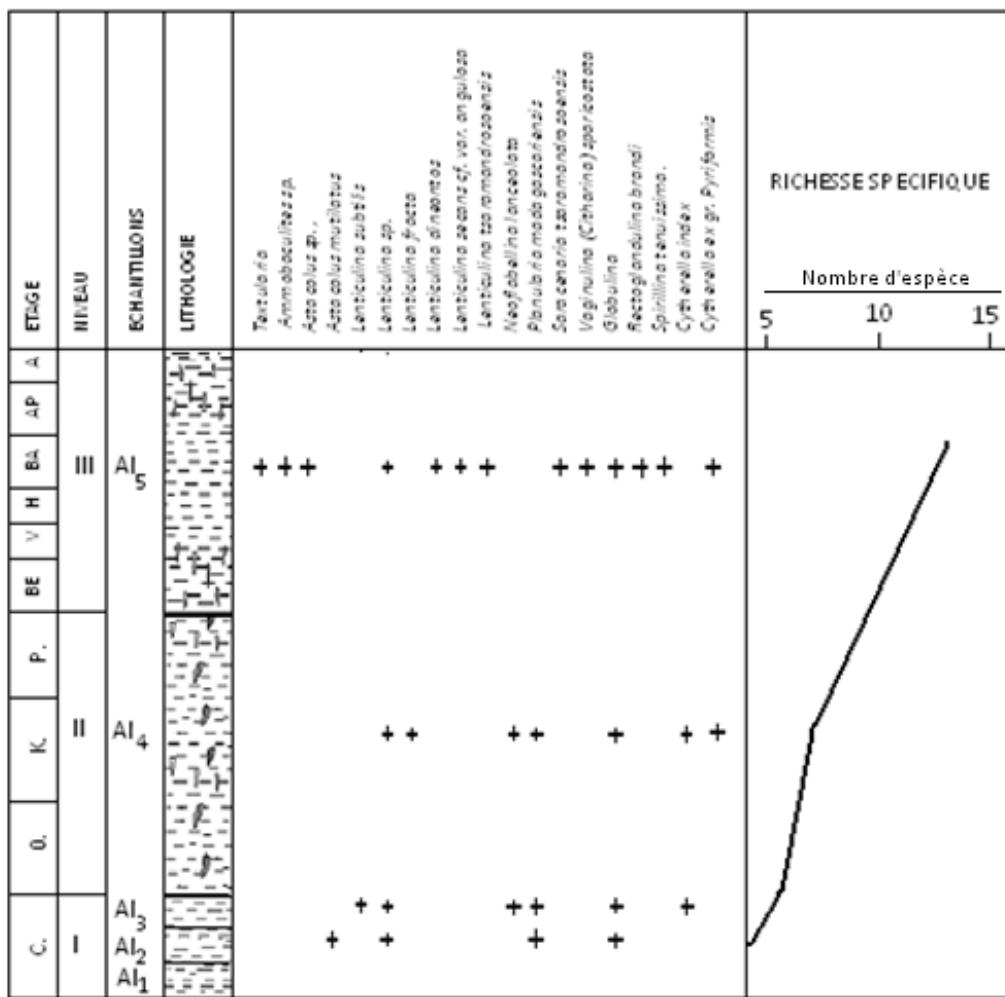
Ce diagramme montre que les trois niveaux sont caractérisés par des espèces différentes :

Niveau I : *Astacolus multilatis*, *Lenticulina subtilis* ;

Niveau II : *Lenticulina fracta*, *Lingulina* sp. ;

Niveau III : *Ammobaculites* sp., *Textularia* sp., *Astacolus* sp., *Spirillina tenuisima*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Vaginulina* (*Citharina*) *sparicostata*, *Rectoglandulina drandi*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Lenticulina secans* var. *angulosa*.

Beaucoup d'espèces des Foraminifères rencontrées dans le niveau III sont absentes dans le niveau I et II. La subdivision stratigraphique dans les trois niveaux est confirmée par les associations faunistiques rencontrées (Callovien à l'Hauterivien).



C. : Callovien, O. : Oxfordien, K. : Kimméridgien, BE. : Bériasien, V. : Valanginien, H. : Hautérivien, BA. : Barrémien, AP. : Aptien, A. : Albien.

Figure 28 : Courbe de la richesse spécifique des microfossiles d'Antsalova.

La courbe de richesse spécifique d'Antsalova montre que cette localité est riche en espèces car la variation du nombre d'espèce est entre 4 à 13.

Le niveau supérieur (niveau III) renferme beaucoup d'espèces par rapport au niveau inférieur (niveau I et II). Les espèces rencontrées sont dominées par des Foraminifères benthiques. Ainsi, l'intervalle du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur est la période de l'épanouissement des formes benthiques.

4.1.2 Comparaison biostratigraphique des deux régions

La comparaison biostratigraphique des régions d'Andranomavo et d'Antsalova est effectuée dans les différents niveaux (Niveau I, II, III) de chaque site. En général, les Foraminifères et les Ostracodes prédominent dans toutes les Formations.

4.1.2.1 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau I d'Andranomavo I et d'Antsalova I

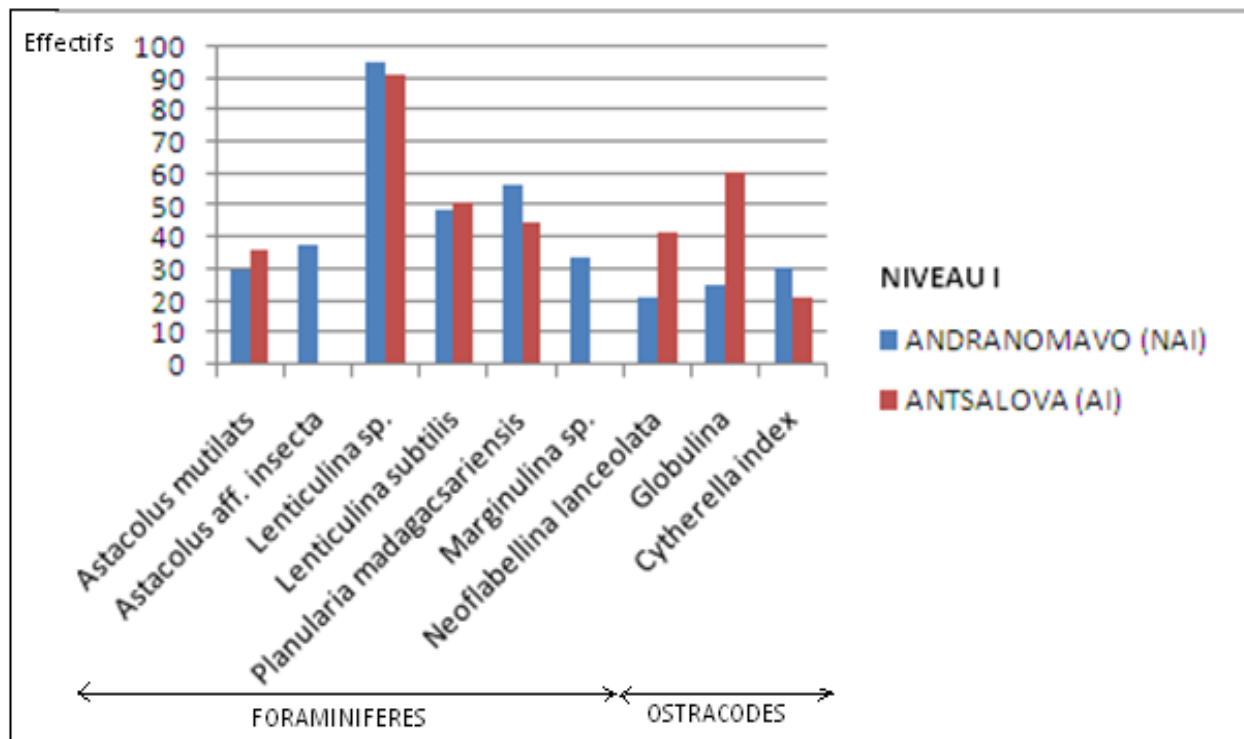


Figure 29 : Répartition des espèces de Foraminifères et d'Ostracodes dans le niveau I d'Andranomavo I et d'Antsalova I

Par l'observation directe, ce diagramme montre qu'il y a une variation de la répartition des espèces dans la formation du niveau I. En effet, les espèces *Astacolus aff. insecta* et *Marginulina sp.* ne sont pas rencontrées à Antsalova. Les espèces d'Andranomavo présentent des effectifs assez élevés que ceux d'Antsalova. Ce niveau est marqué par la prédominance des Foraminifères benthiques avec un grand développement des lenticulines (*Lenticulina sp.*).

➤ Dans ce cas, nous avons fait le test d'homogénéité (cf. paragraphe 2.4.2 de cette thèse) pour nous assurer que les formations dans les niveaux I d'Andranomavo I et d'Antsalova I sont homogènes ou non.

H_0 : les niveaux I des deux sites sont homogènes c'est-à-dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau I d'AndranomavoI (NAI) ;

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau I d'AntsalovaI (AI).

Le calcul que nous avons effectué montre que S_1^2 est supérieur à S_2^2 ,

$$S_1^2 = 519,6944$$

$$S_2^2 = 487,9523$$

$$F = \frac{519,6944}{487,9523}$$

$$F = 1,065$$

$$F_0 = 4,15$$

Avec $ddl_1 = 8$

$$ddl_2 = 6$$

Signification du test

Au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; la valeur de F calculée est inférieure à la valeur de F indiquée sur la table. Donc l'hypothèse nulle est acceptée. Cela veut dire que les variances des deux populations ne sont pas statistiquement différentes ; les niveaux I d'Andranomavo I et d'Antsalova sont homogènes. En effet, les associations faunistiques trouvés dans les niveaux I des deux sites indiquent la même signification stratigraphique (Callovien) à savoir : *Astacolus mutilatis*, *Lenticulina sp.*, *Lenticulina subtilis*, *Planularia madagascariensis*, *Neoflabellina lanceolata*, *Globulina sp.*, *Cytherella index*.

4.1.2.2 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II d'Andranomavo I et d'Antsalova I

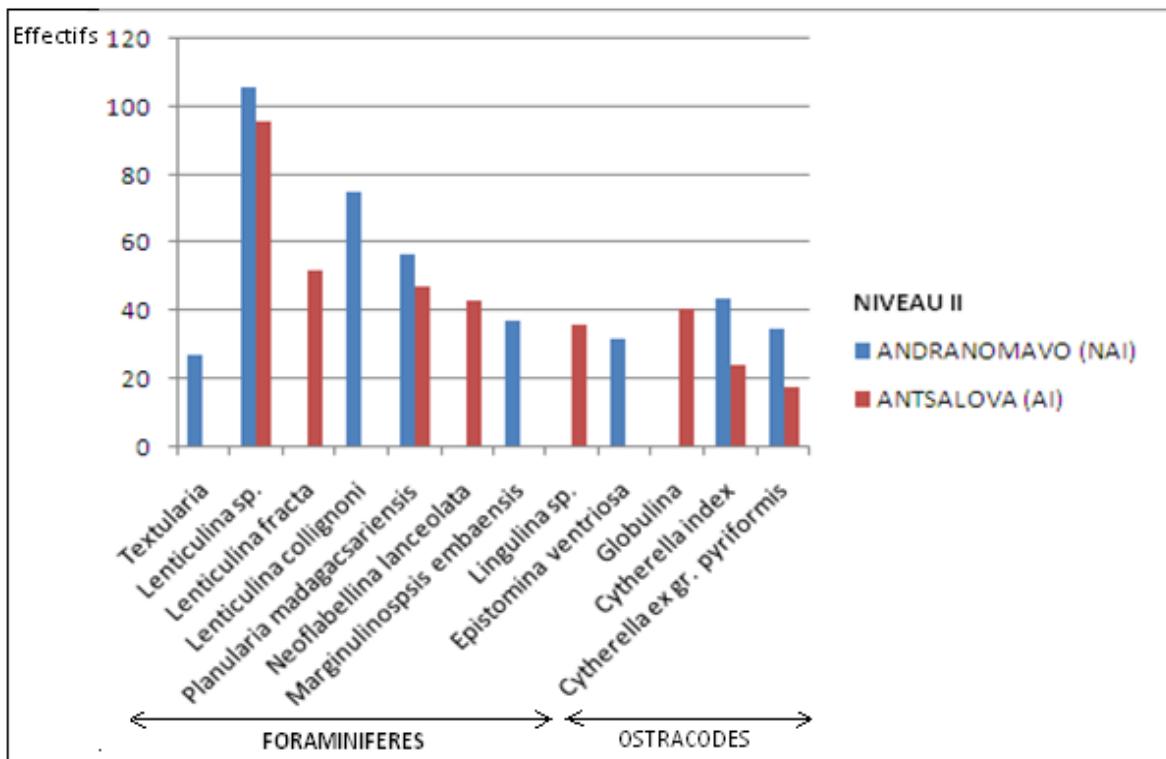


Figure 30 : Répartition des espèces de Foraminifères et d'Ostracodes dans le niveau II d'Andranomavo I et d'Antsalova I

➤ Cette figure illustre d'une manière évidente qu'il y a aussi une grande variation des espèces dans les niveaux II d'Andranomavo I et d'Antsalova I.

D'une part, 4 espèces sont communes pour les niveaux II des deux sites telles que : *Lenticulina sp.*, *Planularia madagascariensis*, *Cytherella index*, *Cytherella ex gr. pyriformis*. D'autre part 4 espèces sont particulières pour Andranomavo comme : *Textularia*, *Lenticulina collignonii*, *Marginulinopsis embaensis*, *Epistomina ventriosa*. Le niveau II de ces deux sites est marqué par l'augmentation des effectifs d'espèce de *Lenticulina sp.* jusqu'à plus de 100.

Le test d'homogénéité permet de vérifier que les formations dans les niveaux II des deux sites étudiés sont homogènes ou non.

H₀ : les niveaux II des sites étudiés sont homogènes c'est-à-dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau II d'Andranomavo I (NAI) ;

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau II d'Antsalova I (AI).

Le calcul que nous avons effectué montre que S_1^2 est supérieur à S_2^2 ,

$$S_1^2 = 724,5535$$

$$S_2^2 = 560,5535$$

$$F = \frac{724,5535}{560,5535}$$

$$F = 1,292$$

$$F_0 = 3,79$$

Avec $ddl_1 = 7$

$$ddl_2 = 7$$

Signification du test

Au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; la valeur de F calculée est inférieure à la valeur de F indiquée sur la table ; l'hypothèse nulle est acceptée. En effet, les variances des deux populations ne sont pas statistiquement différentes. Donc les niveaux II d'Andranomavo I et d'Antsalova I sont homogènes. Par conséquent, les associations faunistiques déterminées dans les niveaux II des sites indiquent la même signification stratigraphique allant de l'Oxfordien au Kimméridgien.

4.1.2.3 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau III d'Andranomavo I et d'Antsalova I

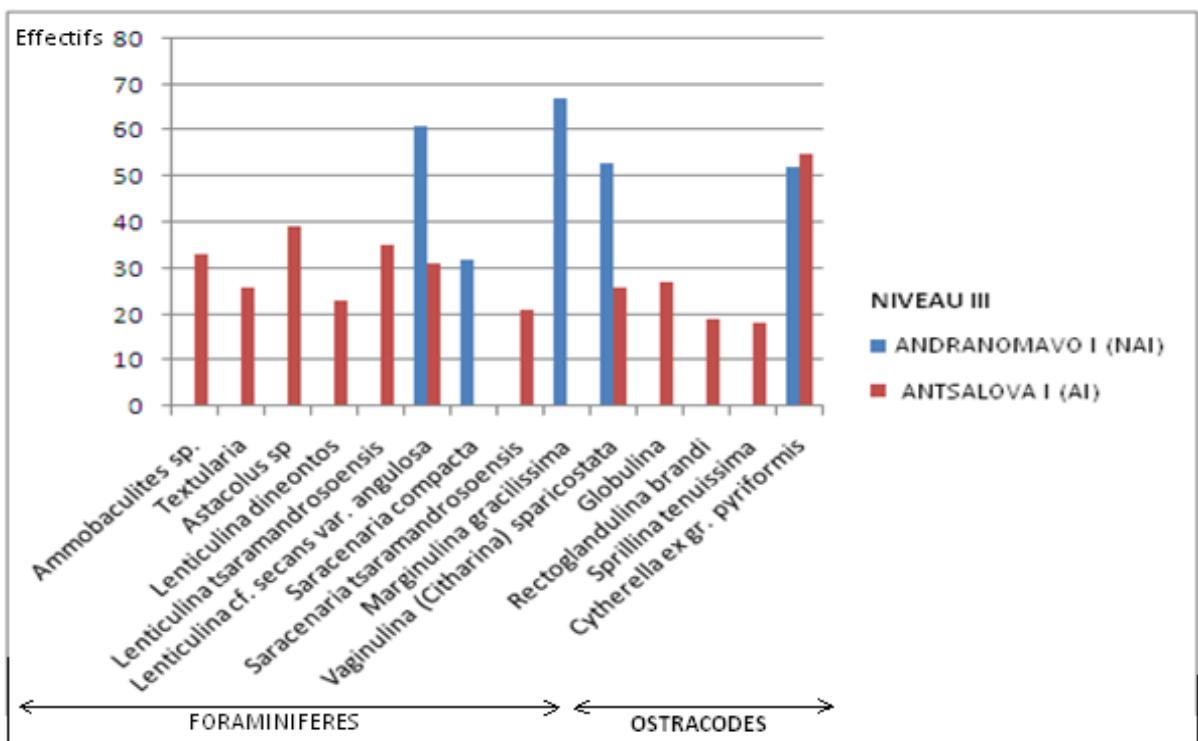


Figure 31 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau III d'Andranomavo I et d'Antsalova I

Ce diagramme montre une grande diminution des espèces dans le niveau III d'Andranomavo car ce niveau ne présente que 5 espèces à savoir : *Lenticulina secans var angulosa*, *Saracenaria compacta*, *Marginulina gracillicima*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Cytherella ex. gr pyriformis*. Les deux espèces *Marginulina gracillicima* et *Saracenaria compacta* sont particulières pour le niveau III d'Andranomavo I. Par contre, le niveau III d'Antsalova présente une richesse spécifique car elle présente 12 espèces dont 9 espèces sont particulières pour Antsalova telles que : *Textularia*, *Ammobaculites*, *Astacolus sp.*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Spirillina tenuissima*, *Globulina*.

Le niveau III est marqué par la richesse spécifique dans le site d'Antsalova I. Les effectifs par espèce d'Antsalova I sont très faibles par rapport à celui du site d'Andranomavo I.

Le test d'homogénéité permet de tester la variation d'espèces dans les niveaux III d'Andranomavo I et d'Antsalova I.

H_0 : les niveaux III des deux sites étudiées sont homogènes c'est-à-dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Andranomavo I (NAI)

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Antsalova I (AI)

Le calcul de la variance montre que S_1^2 est supérieur à S_2^2 :

$S_1^2 = 175,5$

$S_2^2 = 106,6287$

$$F = \frac{175,5}{106,6287}$$

$F = 1,645$

$F_0 = 3,36$

Avec $ddl_1 = 4$

$ddl_2 = 11$

Signification du test

La valeur de F calculée est inférieure à la valeur de F indiquée sur la table au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; l'hypothèse nulle est acceptée. Par conséquent, les variances des deux populations ne sont pas statistiquement différentes. En conclusion, les niveaux III d'Andranomavo I et d'Antsalova I sont homogènes, c'est-à-dire que les associations faunistiques déterminées dans les deux niveaux présentent la même information stratigraphique (Crétacé inférieur) en particulier : *Lenticulina secans var angulosa*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Cytherella ex. gr pyriformis*.

4.1.2.4 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II d'Andranomavo II et d'Antsalova I

Les couches qui correspondent au niveau I sont absentes dans la Formation d'Andranomavo II ; la comparaison s'effectue entre niveau II d'Andranomavo II et le niveau II d'Antsalova I.

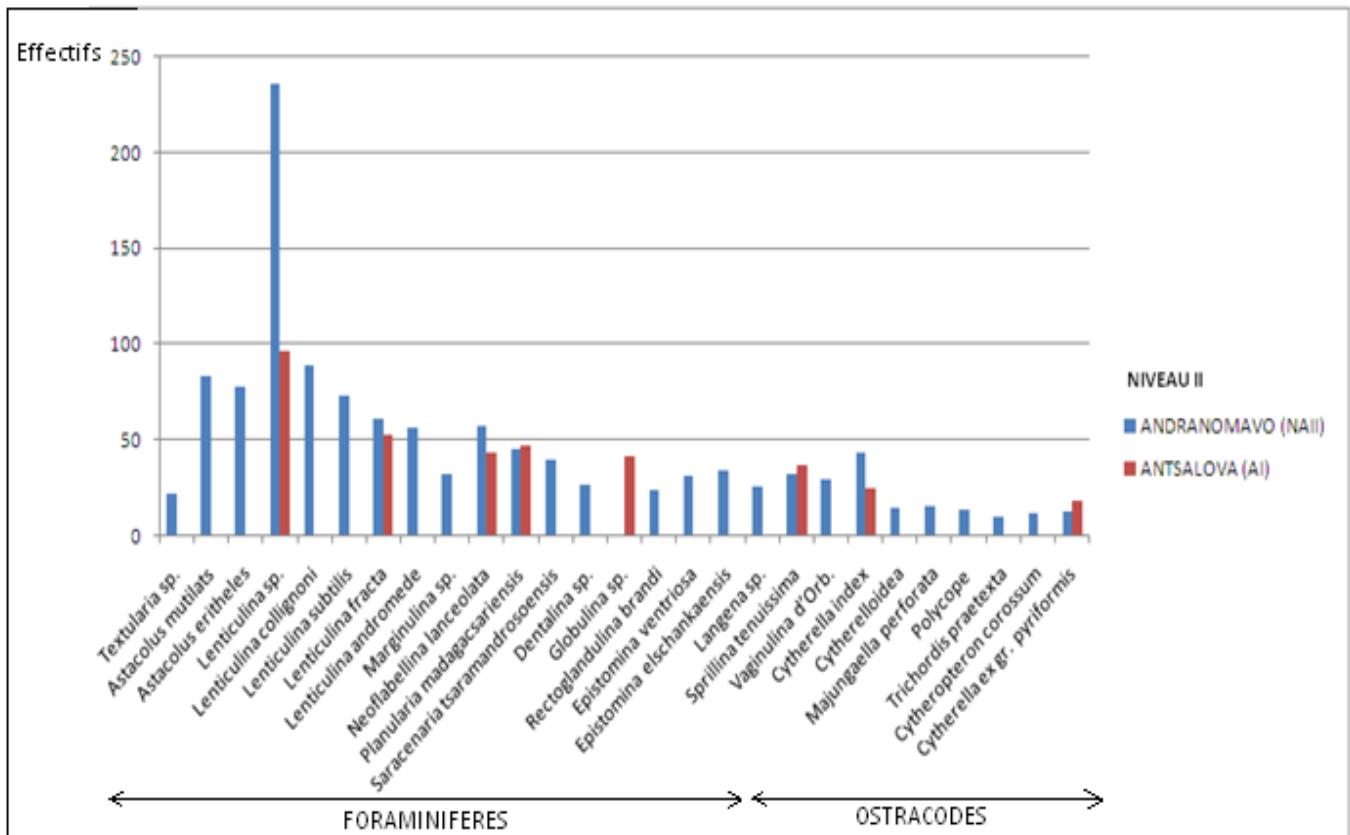


Figure 32 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau II d'Andranomavo II et d'Antsalova I

Par l'observation directe, ce diagramme indique une grande diversité spécifique dans le niveau II d'Andranomavo II par rapport au niveau II d'Antsalova I. Le niveau II d'Antsalova I ne comporte que 8 espèces et la prédominance des lenticulines est très remarquable.

Le test d'homogénéité permet de vérifier que les formations dans les niveaux II d'Andranomavo II et d'Antsalova sont homogènes ou non.

H₀ : les niveaux II des deux sites étudiés sont homogènes c'est-à- dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau II d'Andranomavo II (NAII)

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau II d'Antsalova I (AI)

Le calcul que nous avons effectué montre que S_1^2 est supérieur à S_2^2 ,

$$S_1^2 = 2055,1261$$

$$S_2^2 = 560,5535$$

$$F = \frac{2055,1261}{560,5535}$$

$$F = 3,666$$

$$F_0 = 3,41$$

Avec $ddl_1 = 25$

$$ddl_2 = 7$$

Signification du test

La valeur de F calculée est supérieure à la valeur de F indiquée sur la table au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; l'hypothèse nulle est rejetée. En effet, les variances des deux populations sont statistiquement différentes. Donc, les niveaux II d'Andranomavo II et d'Antsalova I ne sont pas homogènes (hétérogène). Autrement dit les associations faunistiques ainsi identifiées peuvent signifier des informations stratigraphiques supplémentaires (délimitations stratigraphiques différentes), en particulier : *Textularia sp.*, *Textularia sp.*, *Astacolus mitulatistacolus*, *Astacolus eritheles*, *Lenticulina collignonii*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina andromede*, *Marginulina sp.*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Dentalian sp.*, *Rectoglandulina brandi*, *Epistomina ventriosa*, *Epistomina elchakaensis*, *Langena sp.*, *Vaginulina d'Orb*, *Cytherelloidea*, *Majungaella perforata*, *Polycopae*, *Trichordis praetexta*, *Cytheropteron corossum* pour le niveau II d'Andranomavo II.

4.1.2.5 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau III

d'Andranomavo II et d'Antsalova I

Nous avons effectué la comparaison entre le niveau III d'Andranomavo II et le niveau III d'Antsalova I.

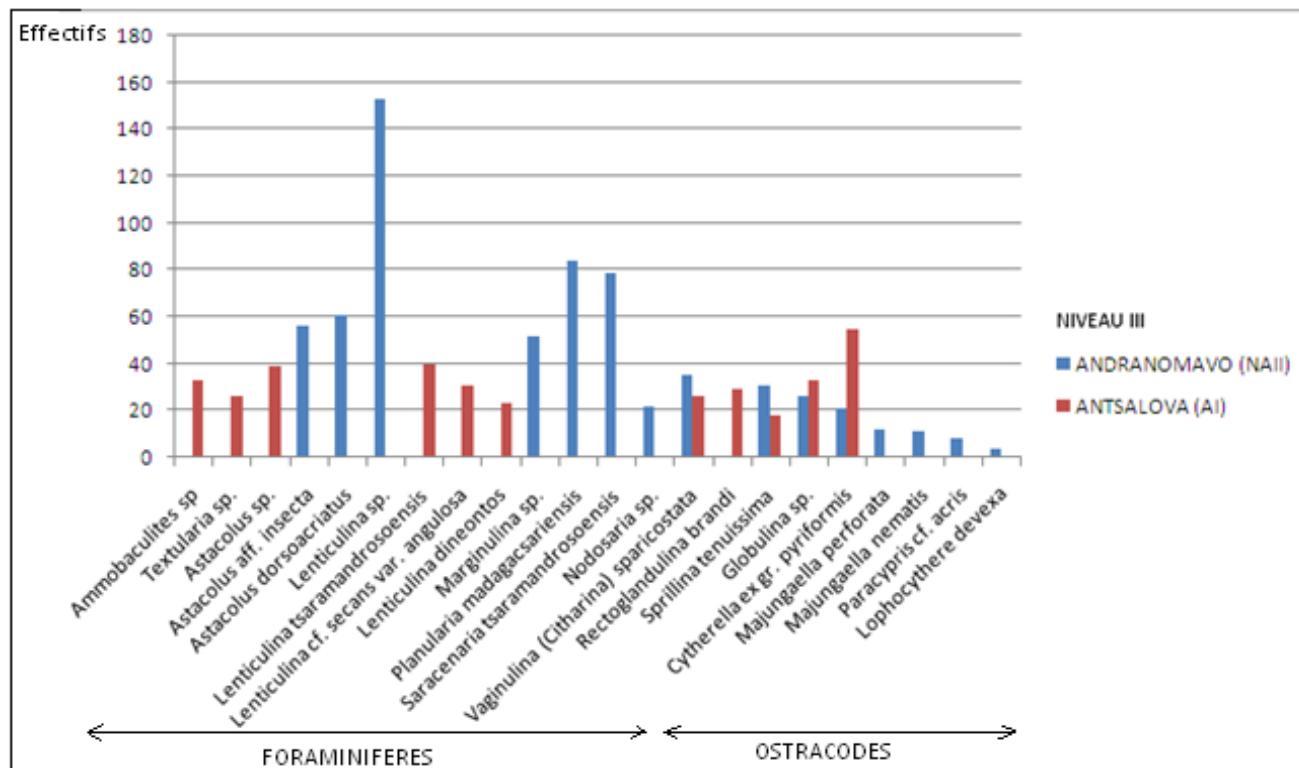


Figure 33 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau III d'Andranomavo II et d'Antsalova I

L'effectif de l'espèce *Lenticulina* sp. est très remarquable dans le niveau III d'Andranomavo II car elle est représentée par un nombre très élevé par rapport aux autres espèces. Ces deux sites ne comportent pas une proportion assez différente au niveau des espèces : 11 espèces sont particulières pour le niveau III du site d'Andranomavo II, ainsi que 7 espèces pour le site d'Antsalova I.

Le test d'homogénéité permet de confirmer que les formations dans les niveaux III d'Andranomavo II et d'Antsalova I sont homogènes ou non.

H₀ : les niveaux III des deux sites étudiés sont homogènes c'est-à-dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Andranomavo II (NAII)

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Antsalova I (NAI)

D'après le calcul effectué, S_1^2 est supérieur à S_2^2 ,

$$S_1^2 = 1556,9523$$

$$S_2^2 = 100,2909$$

$$F = \frac{1556,9523}{100,2909}$$

$$F = 15,524$$

$$F_0 = 2,86$$

Avec $ddl_1 = 14$

$ddl_2 = 10$

Signification du test

La valeur de F calculée est fortement supérieure à la valeur de F indiquée sur la table au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; l'hypothèse nulle est rejetée. Cela veut dire que les variances des deux populations sont statistiquement très différentes. Donc les niveaux III d'Andranomavo II et d'Antsalova I sont très hétérogènes. Les associations faunistiques déterminées dans les niveaux III des deux sites présentent les informations stratigraphiques supplémentaires (délimitations stratigraphiques différentes), en particulier : *Marginulina* sp., *Planulairia madagascariensis*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Nodosaria* sp., *Majungaella perforata*, *Majungaella nematis*, *Paracypris* cf. *acris*, *Lophocythere devexa*, *Astacolus* aff. *Insecta*, *Astacolus dorsoacriatus*, *Lenticulina* sp. pour le site d'Andranomavo II et *Rectoglandulina drandi*, *Ammobaculites* sp., *Textularia* sp., *Astacolus* sp., *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Lenticulina secans* var. *angulosa*, *Lenticulina dineontos* pour le site d'Antsalova I.

4.1.2.6 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II de Komihevitra et d'Antsalova I

Le niveau I et III est absent dans la formation de Komihevitra ; nous avons effectué la comparaison entre le niveau II de Komihevitra et le niveau II d'Antsalova I.

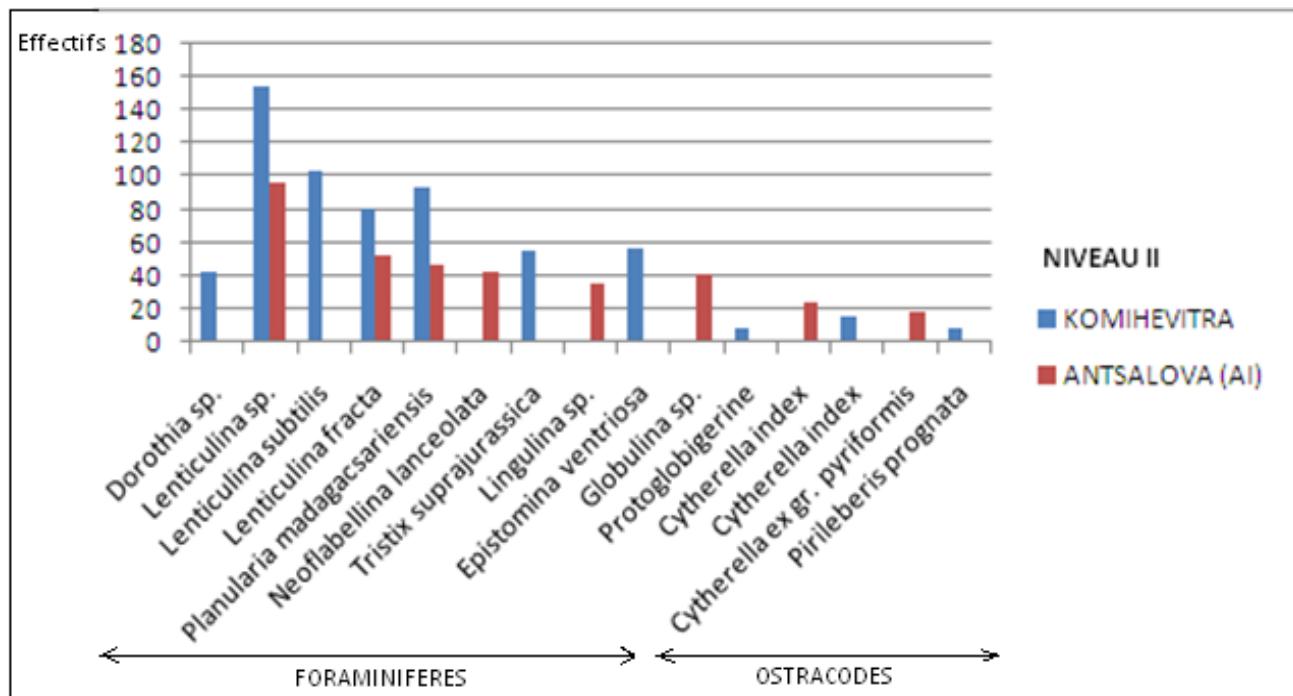


Figure 34 : Répartition des espèces de Foraminifères et d'Ostracodes dans le niveau II de Komihevitra et d'Antsalova I

Le diagramme de répartition des microfossiles entre le niveau II de Komihevitra et d'Antsalova I indique l'abondance de *Lenticulina sp.*. Dans ce niveau, il y a une différence des effectifs par espèces dans les deux sites puisque les espèces de Komihevitra possèdent une proportion élevée par rapport à Antsalova.

Le test d'homogénéité permet de vérifier que les formations dans les niveaux II de Komihevitra et d'Antsalova I sont homogènes ou non.

H_0 : les niveaux II des deux sites étudiés sont homogènes c'est-à- dire que les variances des deux échantillons provenant des deux populations sont égales : $S_1^2 = S_2^2$

Calcul :

S_1^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Andranomavoi II

S_2^2 = Variance de l'échantillon de niveau III d'Antsalova I

D'après le calcul effectué, S_1^2 est supérieur à S_2^2 ,

$$S_1^2 = 2202,8888$$

$$S_2^2 = 560,5535$$

$$F = \frac{2202,8888}{560,5535}$$

$$F = 3,929$$

$$F_0 = 3,68$$

Avec $ddl_1 = 9$

$$ddl_2 = 7$$

Signification du test

La valeur de F calculée est supérieure à la valeur de F indiquée sur la table au seuil de sécurité 0,05 et de degré de liberté ddl_1 et ddl_2 ; l'hypothèse nulle est rejetée. En effet, les variances des deux populations sont statistiquement différentes. On peut conclure que les niveaux II de Komihevitra et d'Antsalova I ne sont pas homogènes. Les associations faunistiques ainsi identifiées permet de déterminer des informations stratigraphiques supplémentaires pour le site d'Antsalova I à savoir : *Dorothia sp.*, *Lenticulina subtilis*, *Tristix suprajurassica*, *Epistomina ventriosa*, *Protoglobigerine*, *Pirileberis prognata* pour le site de Komihevitra et *Neoflabellina lanceolata*, *Lingulina sp.*, *Globulina sp.*, *Cytherella ex gr. Pyriformis*.

En somme, la comparaison par niveau des différents sites des deux régions étudiées montre que :

- le site d'Andranomavo I et d'Antsalova I sont homogènes par la comparaison des effectifs par espèces dans les trois niveaux successifs. Effet, les associations faunistiques identifiées dans ces deux sites donnent les mêmes informations stratigraphiques dans les différents niveaux des Formations marneuses ;
- les sites d'Andranomavo II et d'Antsalova I ne sont pas homogènes dans les niveaux II et III car les associations faunistiques déterminées dans les différents niveaux indiquent des informations stratigraphiques particulières ;
- les sites de Komihevitra et d'Antsalova I sont statistiquement différents dans les niveaux II puisque les associations faunistiques trouvées possèdent des particularités stratigraphiques. Donc ces deux sites ne sont pas homogènes.

4.1.3 Corrélation stratigraphique des différents sites étudiés

La corrélation stratigraphique des deux régions étudiées (Andranomavo et Antsalova) montre que la base de la Formation des niveaux inférieurs se repose sur le Callovien qui est constitué par des marnes.

Au dessus du Callovien, le Jurassique supérieur est constitué par des marnes jaunes à *Bélemnites* (Andranomavo) et par des marnes à *Bélemnites* et à *Aptychus* (Antsalova) et la stratigraphie de V.HOURCQ et M. COLLIGNON à Antsalova confirme la présence de *Bélemnites* et d'*Aptychus* à l'étage Kimméridgien.

Les deux régions étudiées et la stratigraphie de V. HOURCQ (1950) et M. COLLIGNON (1959-1960) à Antsalova montrent une grande similitude au niveau des Formations. En général, les différentes Formations sont constituées par des marnes :

- marnes à *Bélemnites*,
- marnes à *Duvalia*,
- marnes à Ammonites,
- marnes à *Bélemnites* et à *Aptychus*, ...

La variation se manifeste au niveau de l'épaisseur des couches surtout le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. La séquence étudiée est relativement moins épaisse dans la région d'Antsalova que dans celle d'Andranomavo qui est située au Nord du horst de Cap Sainte André dans la partie Sud du bassin de Mahajanga.

COUPES STRATIGRAPHIQUES D'ANDRANOMAVO (NAI, NAII, KOM) ET
D'ANTSALOVA (AI, AII)

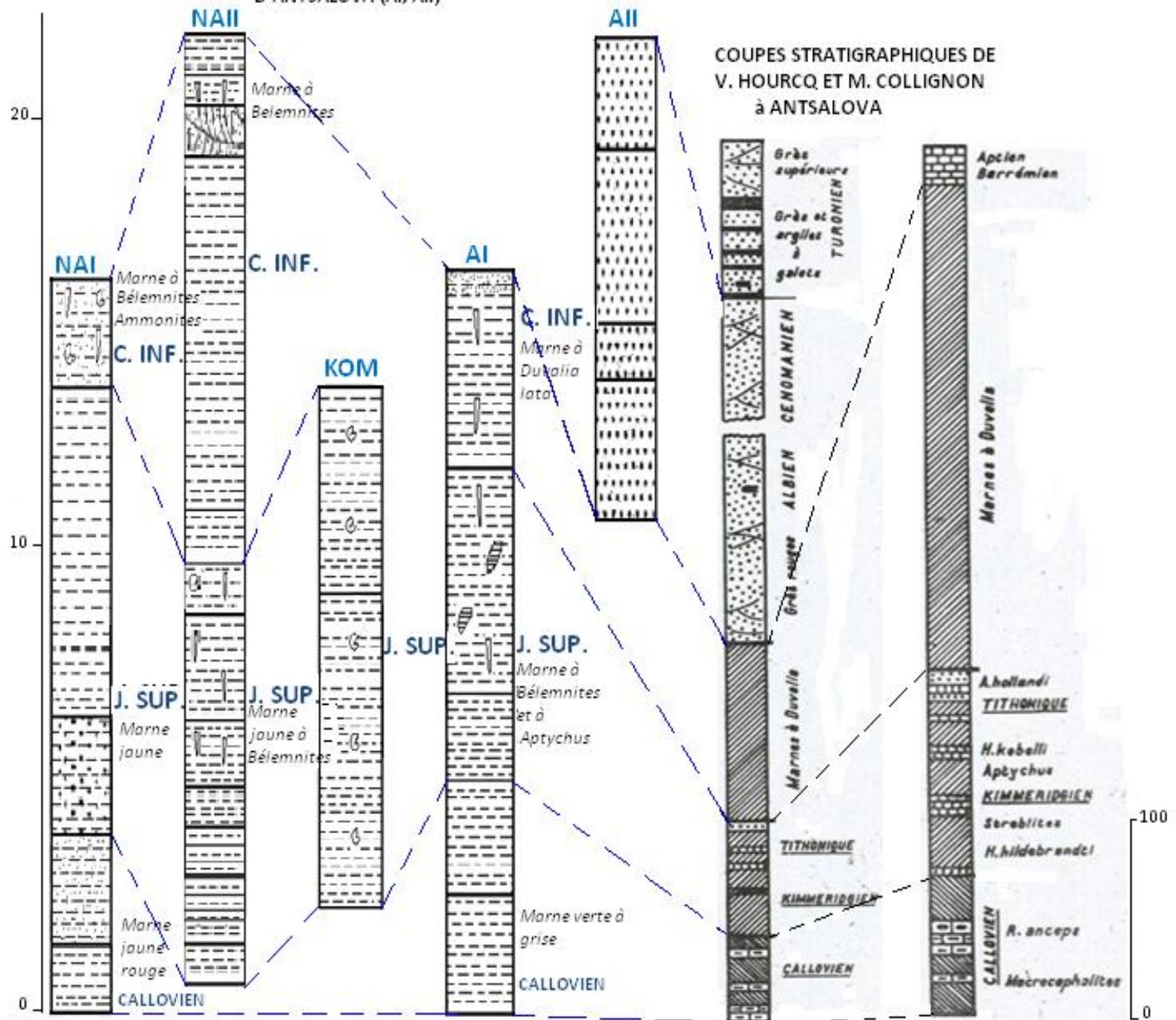


Figure 35 : Corrélation des coupes stratigraphiques des différents sites étudiés

NAI : Nord d'Andranomavo I

NAII : Nord d'Andranomavo II

KOM. : Komihevitra

AI : Antsalova I

AII : Antsalova II

J.SUP. : Jurassique supérieur

C. INF. : Crétacé inférieur

C.M. : Crétacé moyen

Tableau 24 : Comparaison stratigraphique des régions étudiées avec la stratigraphie de V. HOURCQ (1950) & M. COLLIGNON (1959- 1960) à Antsalova.

| AGE | NIVEAUX | ANDRANOMAVO | | | ANTSALOVA | | V.HOURCQ (1950) et M. COLLIGNON (1959- 1960) ANTSALOVA |
|----------------------|---------|--|---|--|---|--|--|
| | | NAI | NAII | KOM | AI | AI | |
| CRETACE MOYEN | IV | | | | | Grès moyen jaune à grès grossier rouge | Grès rouge (Albien-Cénomanien) |
| CRETACE INFÉRIEUR | III | Marne jaune gréseuse à <i>Bélemnites</i> | Marne jaune à <i>Bélemnites</i> avec un banc de série entrecroisé au niveau supérieur | | Marne verdâtre à <i>Duvalia lata</i> | | Marne à <i>Duvalia</i> |
| JURASSIQUE SUPÉRIEUR | II | Marne jaune tacheté de blanche | Marne jaune à <i>Bélemnites</i> | Marne jaune verdâtre à <i>bélemnites</i> et à <i>Ammonites</i> | Marne verdâtre à <i>bélemnites</i> et à <i>Aptychus</i> | | Marne avec intercalation de banc de calcaire à <i>Hibolites</i> et à <i>Aptychus</i> |
| Callovien | I | Marne gréseuse jaune rouge | | | Marne verte à grise | | Marne calcaire à <i>Macrocephalites</i> |

Nous pouvons en déduire que les Formations marneuses d'Andranomavo et d'Antsalova sont de même âge.

Les Formations d'Andranomavo et d'Antsalova présentent une grande similitude du point de vue stratigraphique, plus précisément du Callovien jusqu'à l'Hauterivien (Figure 35). En effet, ces différentes Formations sont subdivisées en trois niveaux différents (niveau I, II et III). Les Formations du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur sont constituées généralement par des marnes de couleur jaune à verte. La Formation du Jurassique supérieur de l'Afrique de l'Est correspond à des faciès beaucoup plus argileux et marneux (RAJAOMAZAVA F., 1992). Cette Formation est compatible aux environnements de dépôt de la dérive de Madagascar à partir de l'Afrique de l'Est.

Conclusion

L'étude biostratigraphique dans les sites d'Andranomavo et d'Antsalova montre que leurs Formations sont constituées par trois niveaux différents allant du Callovien à l'Hauterivien :

- niveau I : Callovien,
- niveau II : Oxfordien – Portlandien,
- niveau III : Bérriasien – Hauterivien.

4.2 PALEOECOLOGIE

L'étude paléoécologique est déterminée par l'association faunistique fossile contenue dans les sédiments des deux régions. La variation du milieu de dépôt est caractérisée à partir des variations des faunes.

L'étude écologique des formes fossiles est essentiellement basée sur celles des individus actuels. La paléoécologie se base fréquemment sur le principe de l'Actualisme (JAMES HUTTON, 1726-1797) c'est-à-dire que l'étude de la nature actuelle est nécessaire pour comprendre le passé, c'est le principe de l'Actualisme : « the present is the key of the past », ou que les causes qui ont agi au long de l'histoire de la terre ne diffèrent point essentiellement des causes géologiques actuelles (érosion, transport, sédimentation, volcanisme, plissement et soulèvement des montagnes) » (G. Gohau, 1987).

Un tel raisonnement implique d'admettre que les espèces considérées vivent actuellement dans le même milieu que par le passé.

Certaines espèces peuvent alors être considérées comme des témoins de milieux de sédimentation pour les fossiles de faciès.

4.2.1 Résultats et interprétation

4.2.1.1 Région Andranomavo

❖ Niveau I

➤ Nature des sédiments et caractérisation des milieux des dépôts

Le niveau I est la partie basale de la marne d'Andranomavo avec une épaisseur de 5,25 m, il est constitué par deux parties :

- partie inférieure : une couche de marne grise tachetée de blanche,
- partie supérieure : une couche de marne jaune rouge finement gréseuse.

Dans notre étude, le refus de lavage de petite maille nous intéressent (100µ).

Pour les échantillons NAI₁, NAI₂, les refus de tamis sont constitués par du quartz et de calcite (89 %), la fraction bioclastique (11%) est formée par des microfaunes surtout par des Foraminifères et des Ostracodes (Figure 19, niveau I).

➤ Association des microfossiles

- Foraminifères

Dans ce niveau, les prélèvements ne renferment que des Foraminifères benthiques à test calcaires, à savoir : *Astacolus aff. insecta*, *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina sp.*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina cf. secans var. angulosa*, *Marginulina sp.*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*.

- **Ostracodes**

Les Ostracodes apportent des renseignements paléoécologiques intéressants.

Le niveau I constitue un pourcentage d'Ostracodes assez élevé (14% de l'association) par rapport aux deux autres niveaux supérieurs. Il est représenté par une seule forme lisse à savoir :

Cytherella index.

➤ **Paléoenvironnement**

Le niveau I est assez riche en faune : Foraminifères benthiques et Ostracodes.

Chez les Foraminifères, certains individus sont caractéristiques d'une profondeur bien déterminée (PHLEGER, 1951), comme le genre *Marginulina* se situe à une profondeur moins de 200 mètres (circalittoral).

Les Ostracodes sont moins abondants. Les valves sont assez bien conservées, ce qui indique un transport faible et un hydrodynamisme peu important. L'abondance des formes lisses indique un milieu moins riche en carbonate. Le teneur en MgO dans ce niveau est faible (1,05 à 1,5) et témoigne un climat chaud.

❖ **Niveau II**

➤ **Nature des sédiments et caractérisation des milieux des dépôts**

Le niveau II est constitué d'une part par une marne jaune à grain grossier de quartz dans la partie inférieure et d'autre part par une marne jaune tachetée de blanche dans la partie supérieure, sur une épaisseur de 12 m environ.

Le refus du lavage est constitué par de 61% de bioclastes (tests des microfossiles) et 39% de matériels non biogéniques (Figure 19, niveau II). Les Foraminifères sont très nombreux. L'analyse géochimique apporte des informations importantes sur les milieux de dépôts. La teneur en CaO tend à s'élever de 10% dans le niveau II par rapport au niveau I dans le gisement du Nord d'Andranomavo I (Figure 36). La teneur en SiO₂ diminue de bas en haut dans le site d'Andranomavo II (située entre 36% à 46%).

➤ **Association des microfossiles**

- **Foraminifères**

Les Foraminifères sont très abondants et diversifiés car elles occupent 91 % de l'association microfaunistique.

Dans le niveau II, les Foraminifères benthiques calcaires à test hyalin prédominent et se répartissent comme suit :

- famille des Nodosariidae (79.5%) avec les espèces *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina collignoni*, *Lenticulina subtilis*, *Lenticulina fracta*, *Lenticulina andromede*, *Marginulina* sp., *Marginulopsis embaensis*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Dentalina* sp., *Lingulina* sp,
- famille des Epistomidae (4.19%) avec les espèces *Epistomina ventriosa* et *Epistomina elschankaensis*,
- famille des Spirillinidae (3.15%) avec l'espèce *Spirillina tenuissima*,
- famille des Glandulidae (2.10%) avec l'espèce *Rectoglandulina brandi*,
- famille des Vaginulidae (2.47%) avec l'espèce *Vaginulina (Citharina) sparicostata*.

Les Foraminifères à test agglutiné sont rares dans ce niveau puisqu'ils ne constituent que 5.36 % de l'association microfaunistique étant représentées par le genre *Textularia*.

- **Ostracodes**

Les Ostracodes sont rares dans le niveau II car elles constituent 9 % des microfossiles. Les formes lisses sont moins abondantes par rapport aux formes ornées.

Les formes lisses sont constituées par les genres et les espèces suivantes : *Cytherella index*, *Polycopis*, *Cytherella ex gr. Pyriformis*, *Cyterelloidea*.

Les Ostracodes ornés ont une proportion assez élevée et demeurent avec les espèces *Lophocythere devexa*, *Majungaella nematis*, *Trichordis praetexta*, *Cytheropteron corrosum*, *Pirileberis prognata*.

➤ **Paléoenvironnement**

Les Foraminifères et les Ostracodes sont très abondants dans le niveau II. Notons la présence des macrofossiles comme les Ammonites et les Bélemnites et des spicules des Spongiaires.

Chez les Foraminifères, certains genres sont caractéristiques d'une profondeur bien déterminée (PHLEGER, 1951) :

- le genre *Saracenaria* est caractéristique d'eau peu profonde et chaude car il se situe à 110 mètres de profondeur ;
- le genre *Marginulina* se trouve à une profondeur moins de 200 mètres ;
- Les éponges calcaires occuperaient des mers peu profondes (inférieures à 100 mètres), dans les environnements chauds, sinon subtropicaux.

Pour les Ostracodes, les valves sont assez bien conservées, ce qui témoigne d'un transport faible et d'un hydrodynamisme peu important. L'abondance des formes ornées est en relation avec l'augmentation de la teneur de CaO, qui indique un milieu riche en carbonate et chaud. La teneur en MgO est faible dans le niveau II et témoigne aussi d'un climat chaud.

❖ Niveau III

➤ Nature des sédiments et caractérisation des milieux des dépôts

Le niveau III est la partie supérieure de la formation d'Andranomavo, formée par de marne jaune gréseuse à *Bélemnites* avec une épaisseur de 2,30 mètres.

Le résidu de lavage est formé par 83% de bioclastes et 17% de matériaux non biogéniques (calcite et quartz). Les microfossiles sont constitués par les Foraminifères et les Ostracodes qui sont très abondants. La teneur en CaO augmente avec une valeur comprise entre 24,03 et 49,84%.

➤ Association des microfossiles

- Foraminifères

Le niveau III est marqué par l'abondance des Foraminifères, avec un pourcentage de 95% dans l'association. Les Foraminifères sont représentés par des formes benthiques à test calcaire dont la répartition est la suivante :

- la famille des Nodosariidae (91,36%), avec les espèces *Lenticulina sp.*, *Astacolus dorsoacriatus*, *Astacolus aff. Insecta*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Planularia madagascariensis*, *Marginulina gracilissima*, *Saracenaria compacta*,
- la famille des Spirillinidae (4,33%), avec l'espèce *Spirillina tenuissima*,
- la famille des Polymorphinidae (3,24%), représentée par le genre *Globulina*.

- Ostracodes

Les Ostracodes constituent 5% des microfossiles dans le niveau III. Les formes ornées sont représentées par les espèces de *Majungaella nemetis* et *Majungaella perforata*. Les formes lisses persistent encore telles que : *Cytherella index*, *Cytherella ex gr. Pyriformis*, *Paracypris cf. Acris*. Les Ostracodes ornés ont une faible proportion par rapport aux formes lisses.

➤ Paléoenvironnement

Le niveau est marqué par une réduction de la faune surtout aux nombres des espèces et des individus.

Chez les Foraminifères, les espèces rencontrées dans le niveau antérieur persistent encore, mais quelques genres caractérisent une profondeur du milieu comme :

- genre *Saracenaria* caractéristique d'eau peu profonde et chaude, qui se situe à 110 mètres de profondeur ;
- genre *Marginulina* préfèrent les zones peu profondes, se situant à moins de 200 mètres.

Chez les Ostracodes, les valves sont bien conservées ce qui est en relation avec le mode de transport faible ou nul. La proportion de formes ornées caractérise un milieu assez riche en carbonate et chaud. La teneur en MgO est très faible (environ de 1%), confirme un climat chaud aussi.

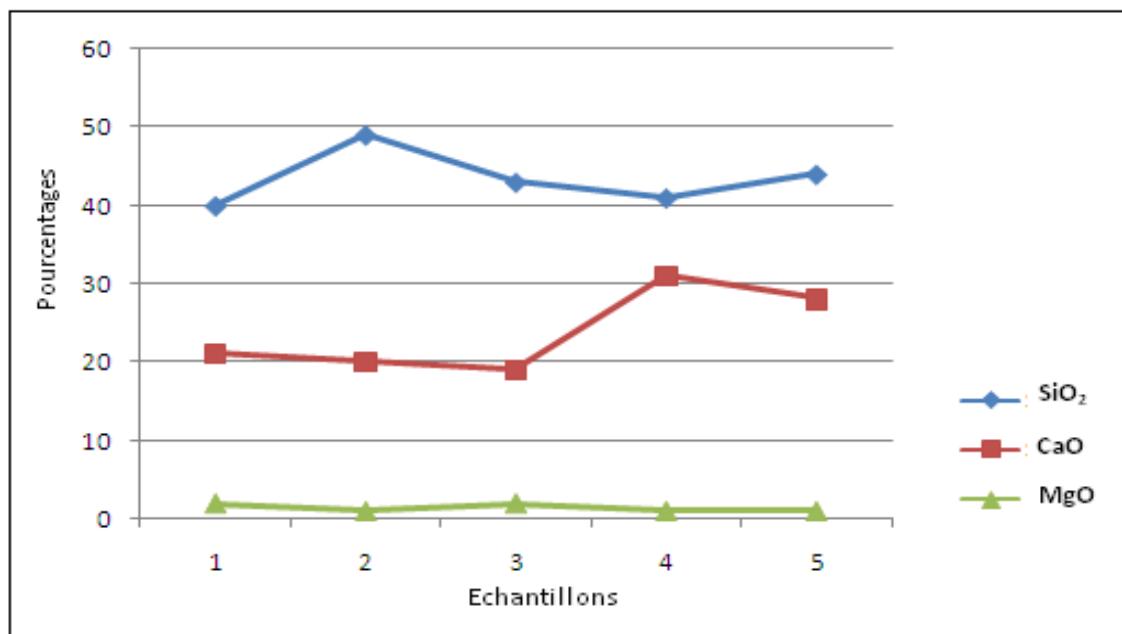


Figure 36 : Courbe de répartition de % SiO₂, CaO, MgO dans sites d'Andranomavo I

Le pourcentage de SiO₂ et de CaO est complémentaire puisque la teneur de SiO₂ augmente tandis que la teneur de CaO diminue. Le pourcentage en MgO est très faible dans toute la Formation.

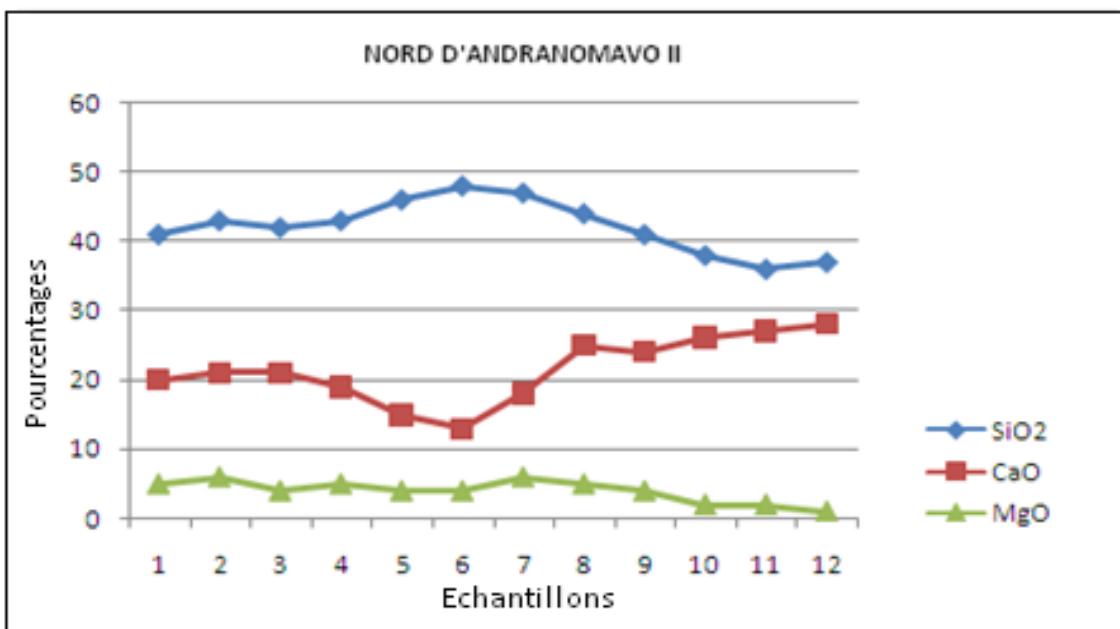


Figure 37 : Courbe de répartition de % SiO₂, CaO, MgO dans sites d'Andranomavo II

La relation entre la teneur en SiO₂ et CaO est très remarquable car ces courbes montrent une fonction reciproque : diminution de CaO et augmentation de SiO₂.

4.2.1.2 Région Antsalova

❖ Niveau I

➤ Nature des sédiments et caractérisation des milieux des dépôts

Le niveau I est la partie basale de la formation d'Antsalova, sur une épaisseur de 3,80 mètres.

Lithologiquement, Il est constitué de bas en haut par :

- une couche de marne grise jaunâtre,
- une couche de marne jaune à verte,
- une couche de marne verdâtre tachetée de jaune.

Le niveau I est constitué par les échantillons A₁, A₂ et A₃. Le résidu de lavage est formé par 8% de bioclaste (test des microfossiles) et de 92% de matériels non biogéniques (Figure 20, niveau I). Les Foraminifères et les Ostracodes sont moins nombreux. La teneur en CaCO₃ est assez faible avec une valeur comprise entre 36,49% et 45,39%.

➤ Association des microfossiles

- Foraminifères

Les prélevements des échantillons dans ce niveau montrent un pourcentage élevé des Foraminifères (89%). Les Foraminifères benthiques sont très abondants et représentés par des formes calcaires à test hyalin : *Astacolus mutilatus*, *Lenticulina subtilis*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Lenticulina sp.*, *Globulina*.

Dans ce niveau, les formes à test agglutiné sont absentes.

- Ostracodes

Les Ostracodes ne constituent que 11% microfossiles dans le niveau I. Les formes lisses prédominent et sont représentées par l'espèce *Cytherella index*.

➤ Paléoenvironnement

Le niveau I est dominé par des Foraminifères benthiques à test hyalin, constitués par l'association des Nodosariidae et des Polymorphinidae. Les espèces rencontrées préfèrent les zones relativement peu profondes des plates-formes continentales. Les analyses géochimiques montrent que la teneur en CaCO₃ est assez faible, ce qui indique un milieu moins riche en carbonate et assez chaud. L'augmentation de la teneur en MgO confirme un climat moins chaud dans ce niveau (Figure 38).

❖ Niveau II

➤ Nature des sédiments et caractérisation des milieux de dépôts

Le niveau II est formé par des marnes verdâtres à *Bélemnites* et à *Aptychus* sur une épaisseur de 6 mètres environ ; la macrofaune comprend les espèces suivantes :

- *Lamellaptychus lamellosus*,
- *Megatheutis giganteus*.

Le refus de lavage est constitué par 36% des bioclastes (test des Foraminifères, Ostracodes) et de 64% des matériaux non biogéniques (Figure 20, niveau II). Parmi les microfossiles, les Foraminifères sont très abondants. La teneur en CaCO₃ augmente (54,29%) alors que le pourcentage de SiO₂ diminue (35,05%).

➤ Association des microfossiles

- Foraminifères

Le pourcentage des Foraminifères est très élevé dans ce niveau (93%). Les espèces sont rares et dominées par des formes benthiques à test hyalin ; telles que *Lenticulina fracta*, *Neoflabellina lanceolata*, *Planularia madagascariensis*, *Globulina*. Les formes agglutinées sont absentes.

- **Ostracodes**

Les Ostracodes sont peu abondants et ne constituent que 7% des microfossiles et sont caractérisés par des formes lisses avec les espèces : *Cytherella index* et *Cytherella ex gr. pyriformis*.

➤ **Paléoenvironnement**

Une grande réduction du nombre d'espèces est marquée dans le niveau II. Le milieu n'est pas favorable au développement des microfaunes. L'interprétation paléoécologique du milieu n'est pas possible, mais les données apportées par la nature des sédiments nous intéressent.

Pour les Ostracodes, les valves sont assez bien conservées, ce qui témoigne un transport faible et un hydrodynamisme peu important.

La teneur en CaCO₃ augmente, ce qui témoigne un milieu riche en carbonate (Figure 38), et la diminution de la teneur en MgO indique un climat chaud.

❖ **Niveau III**

➤ **Nature des sédiments et caractérisation des milieux des dépôts**

Le niveau III est la partie supérieure de la formation d'Antsalova. Du point de vue lithologique, il est formé par de marne verdâtre à *Bélemnites*, sur une épaisseur de 3,30 mètres environ. Ce niveau est marqué par la présence des macrofaunes de *Bélemnites* telles que :

- *Actinocamax plenus*,
- *Hibolites semicanaliculatus*,
- *Duvalia lata*.

Les résidus sont constitués par 72% de bioclastes et 28% de matériels non biogéniques. Les microfaunes sont composées par des Foraminifères et des Ostracodes, toujours en abondance. La teneur en CaCO₃ diminue (34,71%).

➤ **Association des microfossiles**

- **Foraminifères**

Ce niveau est dominé par les Foraminifères avec un pourcentage très élevé de 97% dans l'association. La majorité des formes rencontrées sont des Foraminifères benthiques à test hyalin, à savoir : *Astacolus sp.*, *Lenticulina dineontos*, *Lenticulina tsaramandrosoensis*, *Lenticulina secans cf. var. angulosa*, *Saracenaria tsaramandrosoensis*, *Globulina*, *Vaginulina (Citharina) sparicostata*, *Rectoglandulina brandi*, *Spirillina tenuissima*.

Les formes agglutinées sont représentées par les genres : *Ammobaculites sp.*, *Textularia*.

- Ostracodes

Les Ostracodes sont rares et ne présentent que 3% des microfossiles avec une seule espèce : *Cytherella ex gr. pyriformis*, ce sont des formes lisses.

➤ Paléoenvironnement

Le niveau III est riche en faune par rapport au niveau II. Les Foraminifères sont très abondants, et le genre *Saracenaria* est caractéristique d'eau peu profonde qui se situe à 110 mètres de profondeur.

Chez les Ostracodes, les valves sont assez bien conservées, ce qui indique un transport faible et un hydrodynamisme peu important. La teneur en CaCO_3 diminue, celle de MgO faible ce qui témoigne d'un milieu moins riche en carbonate et un climat chaud.

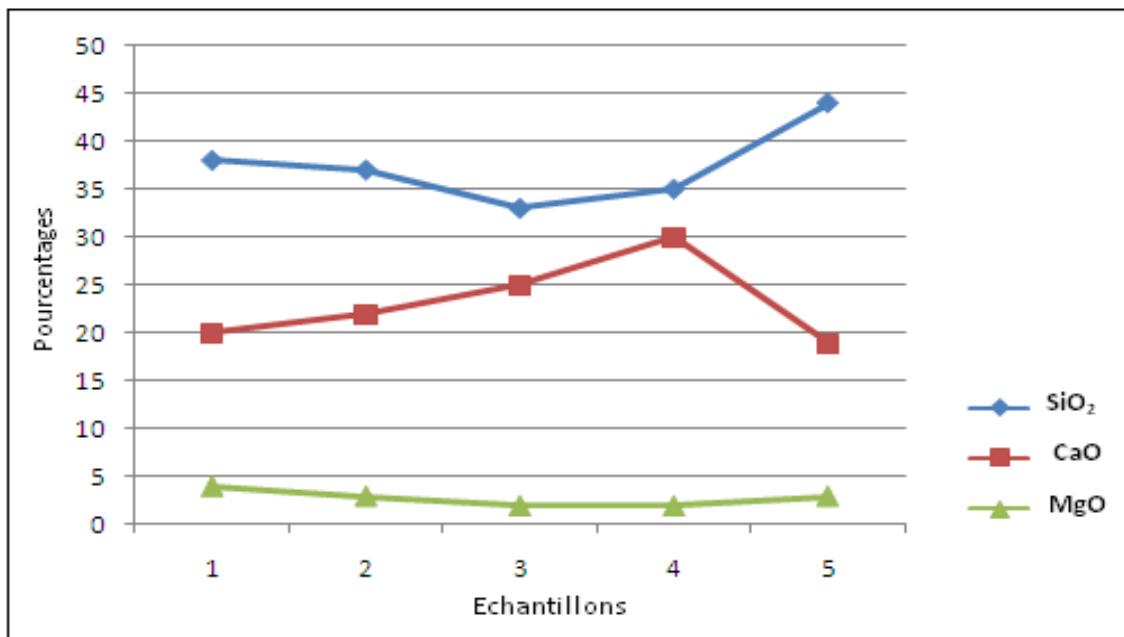


Figure 38 : Courbe de répartition de % SiO_2 , CaO , MgO dans site d'Antsalova I

La variation des teneurs en SiO_2 et en CaO est réciproque car l'augmentation de pourcentage de SiO_2 se traduit par une diminution de CaO .

4.2.2 Paléoécologie comparée des régions d'Andranomavo et d'Antsalova

La comparaison paléoécologique des deux régions est réalisée à partir de la caractérisation des associations des microfossiles contenues dans les sédiments. Ces associations permettent de déterminer leurs milieux de dépôts et affiner ainsi l'étude paléoécologique de chaque région. Les analyses géochimiques apportent différentes connaissances dans un milieu (le climat, nature des sédiments, énergie des vagues,...).

Tableau 25 : Comparaison paléoécologique dans le niveau I des deux régions.

| PALEOECOLOGIE | | |
|---------------|---|--|
| Niveau | Andranomavo | Antsalova |
| I | <ul style="list-style-type: none"> ➤ le genre <i>Marginulina</i> caractérise une profondeur moins de 200 mètre (circalittoral). ➤ Forme assez bien conservée : <ul style="list-style-type: none"> - un hydrodynamisme peu important - faible et transport des sédiments ➤ La teneur en CaO est faible, abondance des formes lisses, indiquant un milieu moins riche en carbonate. ➤ La teneur en MgO est faible, témoigne d'un climat chaud. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ L'association des Nodosariidae préfère les zones relativement peu profondes des plates formes continentales. ➤ Forme assez bien conservée : <ul style="list-style-type: none"> - un hydrodynamisme peu important - faible et transport des sédiments ➤ La teneur en CaO est ... faible, indique un milieu moins riche en carbonate. ➤ La teneur en MgO augmente, confirme un climat moins chaud. |

Les niveaux I des deux régions étudiées sont caractérisés par un milieu moins riche en carbonate de calcium avec prédominance des formes lisses pour les microfossiles, notamment pour les Ostracodes (*Cytherella index*).

Tableau 26 : Comparaison paléoécologique dans le niveau II des deux régions

| PALEOECOLOGIE | | |
|---------------|---|--|
| Niveau | Andranomavo | Antsalova |
| II | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmentation du nombre d'espèces des Foraminifères et des Ostracodes ➤ Valves assez bien conservées pour les Ostracodes : <ul style="list-style-type: none"> - un transport faible - hydrodynamisme peu important <p>Des genres sont caractéristiques d'une profondeur :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le genre <i>Saracenana</i> est caractéristique d'eau peu profonde et chaude et se situe à 110 mètres de profondeur. ➤ Le genre <i>Marginulina</i> se trouve à une profondeur moins de 200 mètres. ➤ Le genre <i>Langena</i> le maximum d'apparition se trouve entre 30 et 205 mètres ➤ La teneur en CaO augmente : <ul style="list-style-type: none"> - abondance des formes ornées - un milieu riche en carbonate et chaud. ➤ La teneur en MgO est faible, témoigne un climat chaud. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une grande réduction du nombre d'espèce des Foraminifères et des Ostracodes ➤ Valves assez bien conservées pour les Ostracodes : <ul style="list-style-type: none"> - un transport faible - hydrodynamisme peu important <p>L'interprétation paléoécologique du milieu sur les données apportées par la nature des sédiments nous intéressent :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La teneur en CaO augmente <ul style="list-style-type: none"> - un milieu riche en carbonate ➤ La teneur en MgO faible, indique un climat chaud. |

Le nombre d'espèces dans le niveau II présente une grande différence dans les deux régions (beaucoup d'espèces sont rencontrées dans la région d'Andranomavo par rapport à celles de la région d'Antsalova).

Tableau 27 : Comparaison paléoécologique dans le niveau III des deux régions

| PALEOECOLOGIE | | |
|---------------|--|---|
| Niveau | Andranomavo | Antsalova |
| III | <ul style="list-style-type: none"> ➤ une réduction du nombre d'espèces. ➤ Les valves d'Ostracodes sont assez bien conservées : le mode de transport faible à nul, hydrodynamisme peu important. ➤ genre <i>Saracenaria</i> : caractéristique d'eau peu profonde et chaude, qui se situe à 110 mètres de profondeur. ➤ le genre <i>Marginulina</i> affectionne les zones peu profondes, se situe à moins de 200 mètres. ➤ La teneur en CaO augmente, proportion élevée des formes ornées, caractérise un milieu assez riche en carbonate et chaud. ➤ La teneur en MgO est très faible confirme un climat chaud. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmentation du nombre d'espèces. ➤ Les valves d'Ostracodes sont assez bien conservées, ce qui indique un transport faible et un hydrodynamisme peu important. ➤ Le genre <i>Saracenaria</i> : caractéristique d'eau peu profonde qui se situe à 110 mètres de profondeur. ➤ La teneur en CaO diminue, témoigne d'un milieu moins riche carbonate, prédominance des formes lisses. ➤ La teneur en MgO est faible, témoigne d'un climat chaud. |

Généralement, les différents niveaux des sites d'étude sont dominés par des Foraminifères benthiques qui caractérisent un milieu marin à salinité normale (CHAMLEY H., 2000). Les espèces rencontrées dans les deux régions étudiées préfèrent les zones relativement peu profondes des plateaux continentaux puisque certains genres caractérisent le milieu de l'étage littoral plus précisément circalittoral (profondeur entre 0 à 200 mètres) (Figure 43) :

- le genre *Marginulina* caractérise une profondeur moins de 200 mètres,
- le genre *Saracenaria* est caractéristique d'eau peu profonde se situant à 110 mètre de profondeur,
- le genre *Langena* avec un maximum d'apparition entre 30 et 205 mètres,

- la prédominance des Foraminifères (Lenticulines et Spirillines) confirme un milieu de mer ouverte.

Les valves des Ostracodes sont assez bien conservées car l'étage circalittoral est caractérisé par un milieu marin ouvert à moyenne énergie (Figure 42) :

- transport faible, hydrodynamisme peu important,

Les analyses géochimiques donnent des informations sur les éléments majeurs des sédiments à savoir la teneur en SiO_2 , CaO et MgO :

- la teneur en CaO est faible dans le niveau I des deux régions, en effet, c'est un milieu moins riche en carbonate et assez chaud ;
- la teneur en CaO augmente dans le niveau II de la région d'Andranomavo et d'Antsalova.

Par conséquent, il existe une liaison étroite entre la morphologie du test et le mode de vie des microfossiles.

Les niveaux II d'Andranomavo (Jurassique supérieur) correspondent à des milieux plus agités par rapport à ceux d'Antsalova car les formes rencontrées possèdent une architecture solide (coquilles bien calcifiées, abondance des formes ornées à savoir : *Lophocythere devexa*, *Majungaella nematis*, *Trichordis praetexta*, *Cytheropteron corrosum*, *Pirileberis prognata*.

Les niveaux III des deux régions sont moins riches en carbonate avec prédominance des formes lisses ;

- la comparaison de la teneur en MgO dans chaque niveau (I, II, III) des différents sites montre que les deux régions possèdent le même climat : climat chaud. (tableau 10, données géochimiques).

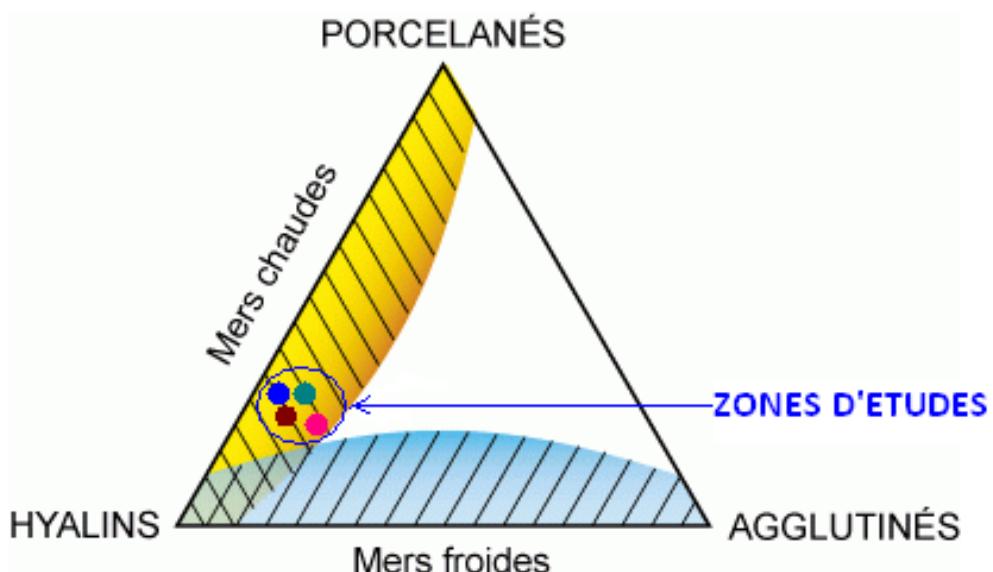


Figure 39 : Emplacement sur un diagramme triangulaire des biocénoses des domaines infra- et circa- littoraux (Murray, 1991).

Les différents sites étudiés dans la région d'Andranomavo et d'Antsalova montrent une proportion très élevée des Foraminifères à test hyalin par rapport aux formes agglutinées. Les formes porcelanées sont absentes (Tableau 6, 7, 8, 9). D'après l'emplacement des différentes proportions des Foraminifères dans le diagramme triangulaire, les zones d'études des deux régions appartiennent aux mers chaudes.

En général, les transgressions marines s'accompagnent souvent d'un accroissement du nombre d'espèces qui entraînent une augmentation des échanges faunistiques avec le développement entre mers et océans (REY, 1983), compte tenu de l'analyse géochimique et des données micropaléontologiques : les différents sites d'Andranomavo et d'Antsalova sont caractérisés par un milieu peu profond de 0 à 200 mètres.

Le taux de carbonate de calcium constitue des indices chimiques importants dans le milieu marin :

➤ Pour la région d'Andranomavo, la partie basale de la Formation (Callovien) est matérialisée par une régression marine. La faible teneur en CaCO_3 avec une valeur moyenne de 35,98%, indique une faible précipitation de carbonate de calcium dans le milieu. Cette Formation possède une faible proportion des microfossiles.

Une transgression a eu lieu dans les Formations du Jurassique supérieur. Les dépôts sont constitués d'une part de marnes jaunes à grains grossiers de Quartz dans la partie inférieure et d'autre part par de marnes jaunes dans la partie supérieure. La forte épaisseur des marnes (12 mètres environ) confirme que ce sont des dépôts de décantation réalisés pendant un temps assez long et par une tranche d'eau assez importante. La teneur en carbonate tend à augmenter (environ de 56,07 %) dans ces Formations et les microfossiles sont très abondants avec prédominance des formes benthiques dans l'association.

Le Crétacé inférieur est caractérisé par des séries régressives dominées par des sédiments marneux. Les dépôts sont moins épais (2,30 mètres), ce qui implique une régression marine moins importante, réalisée pendant un temps court. La teneur en CaCO_3 tend à diminuer et les microfossiles sont peu nombreux (Figure 40).

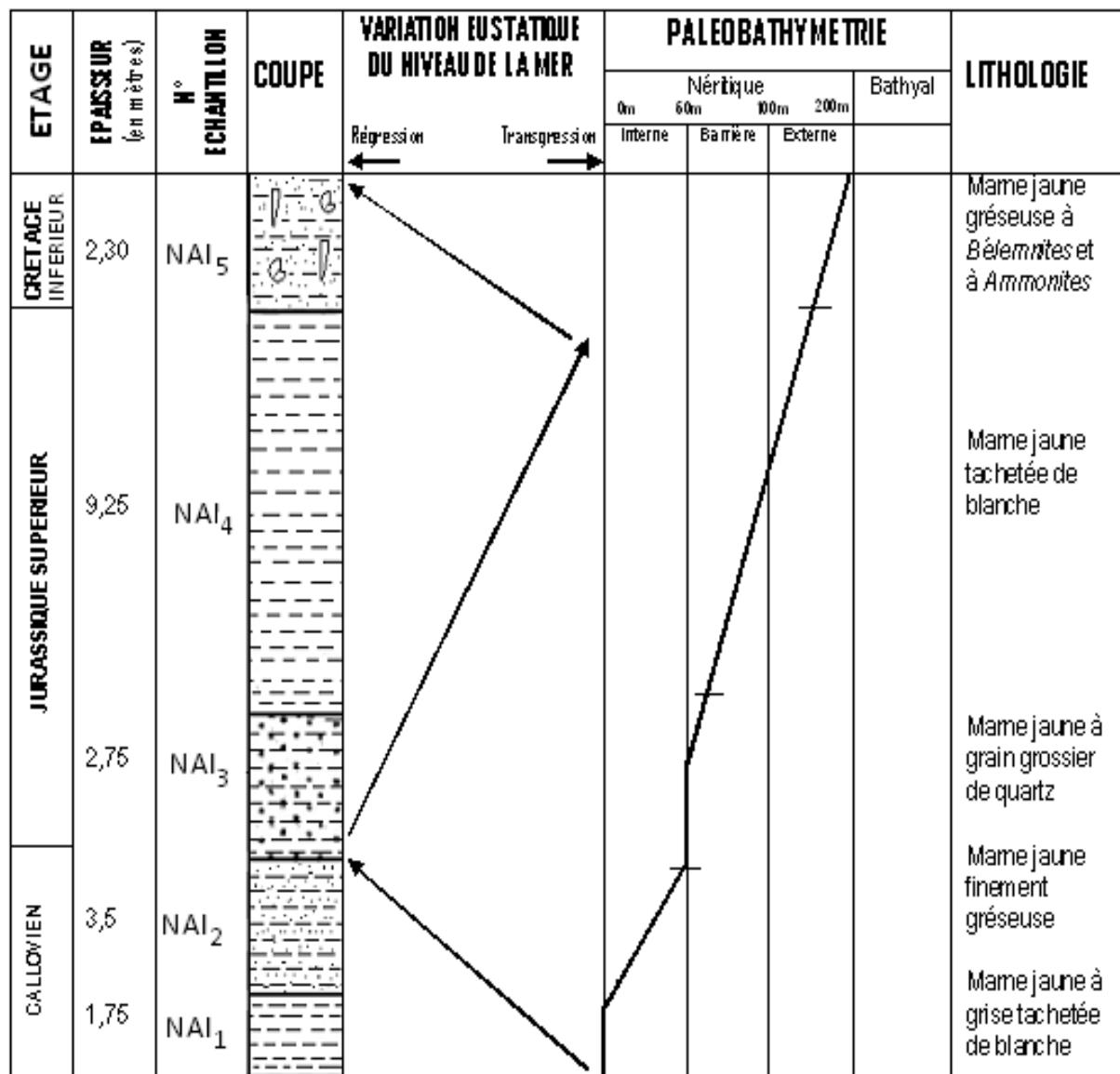


Figure 40 : Variation eustatique du niveau de la mer et paléobathymétrie Jurassique supérieur- Crétacé inférieur (Andranomavo). (Source : Auteur)

➤ Pour la région d'Antsalova, la base de la Formation (Callovien) est caractérisée par des séries régressives dont les dépôts sont constitués par des marnes à faible épaisseur (environ 4,80 mètres). La teneur en CaCO₃ est assez faible avec une valeur moyenne de 40,52%. Le Jurassique supérieur est en général constitué par des formations marneuses de faible épaisseur (environ 7,5 mètres). Une transgression marine moins importante s'amorce, les dépôts de décantation sont réalisés par un temps court et dans une tranche d'eau moins importante (faible espace d'accommodation). La teneur en CaCO₃ est élevée (54,29%).

La partie supérieure de la Formation (Crétacé inférieur) est formée par des dépôts de régression marine. Cette Formation est composée par des marnes avec de pourcentage en CaCO_3 assez faible (34,71), les espèces de microfossiles sont abondantes et diversifiées dans cette Formation. (Figure 41).

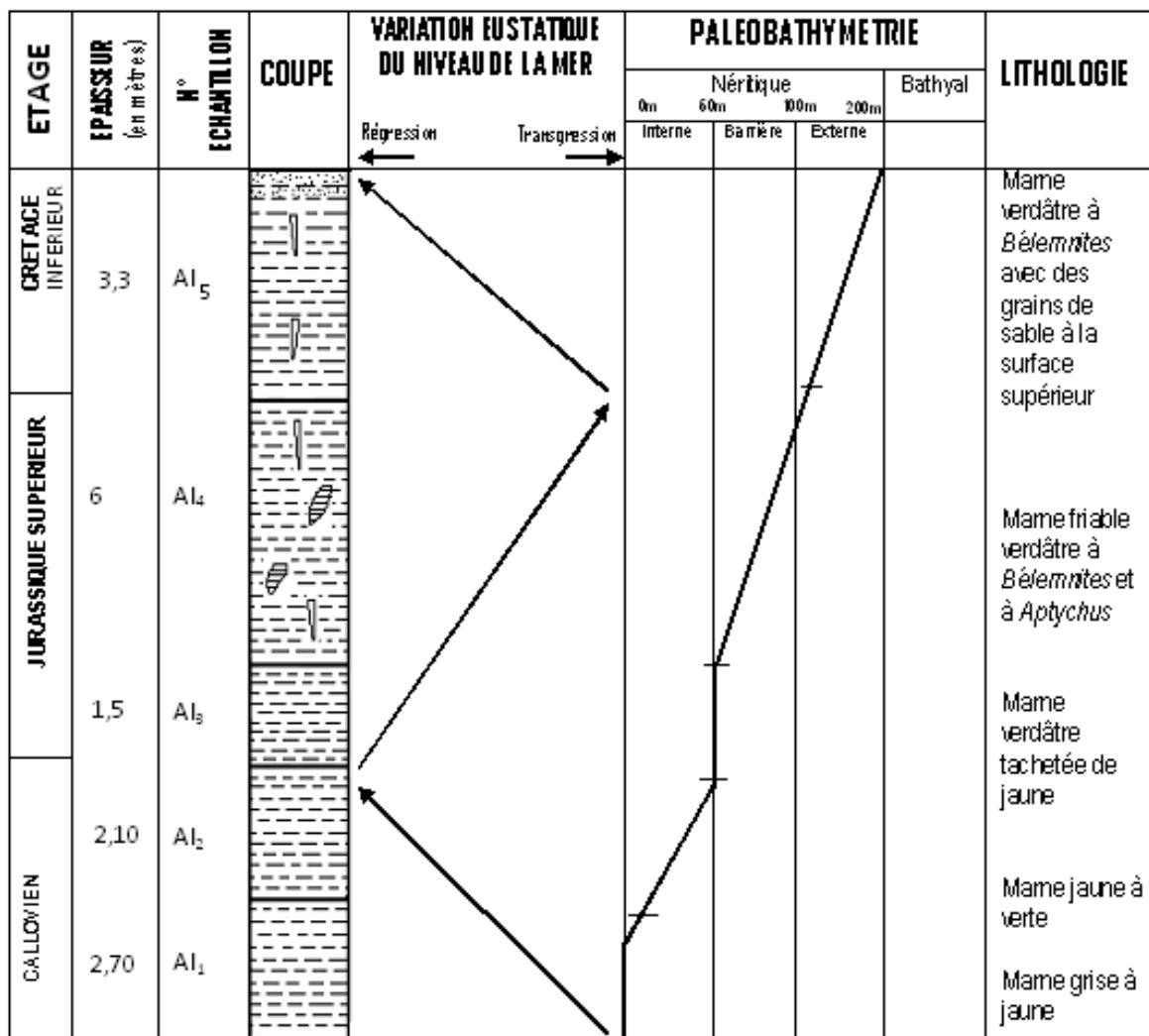


Figure 41 : Variation eustatique du niveau de la mer et paléobathymétrie Jurassique supérieur-Crétacé inférieur (Antsalova). (Source : Auteur)

| MILIEUX | PLATE-FORME INTERNE | | | BARRIERE | PLATE-FORME EXTERNE |
|---------|-------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|---|
| ETAGE | Supratidal (supralittoral) | Intertidal (médiolittoral) | Subtidal (infralittoral) | Barre ou Barrière (Récif) | Marin ouvert (circalittoral) |
| | | | | | HAUTE MER BASSE MER L.I.A.V.T. (*) |
| ENERGIE | variable | moyenne à basse | basse | très forte | moyenne |
| FAUNE | limnique saumâtre ou sursalée | oligospécifique benthique plus variée | | constructeurs ou désert oolithique | benthique et pélagique Bryozaires Echinodermes |
| FLORE | Characées | Cynobactéries Stromatolites | Algues vertes Oncolites | Algues rouges | |

(*) Limite Inférieure d'Action des Vagues de Tempête

Figure 42 : Zonation d'un littoral à sédimentation carbonatée (BAUCHAMP J., 2013)

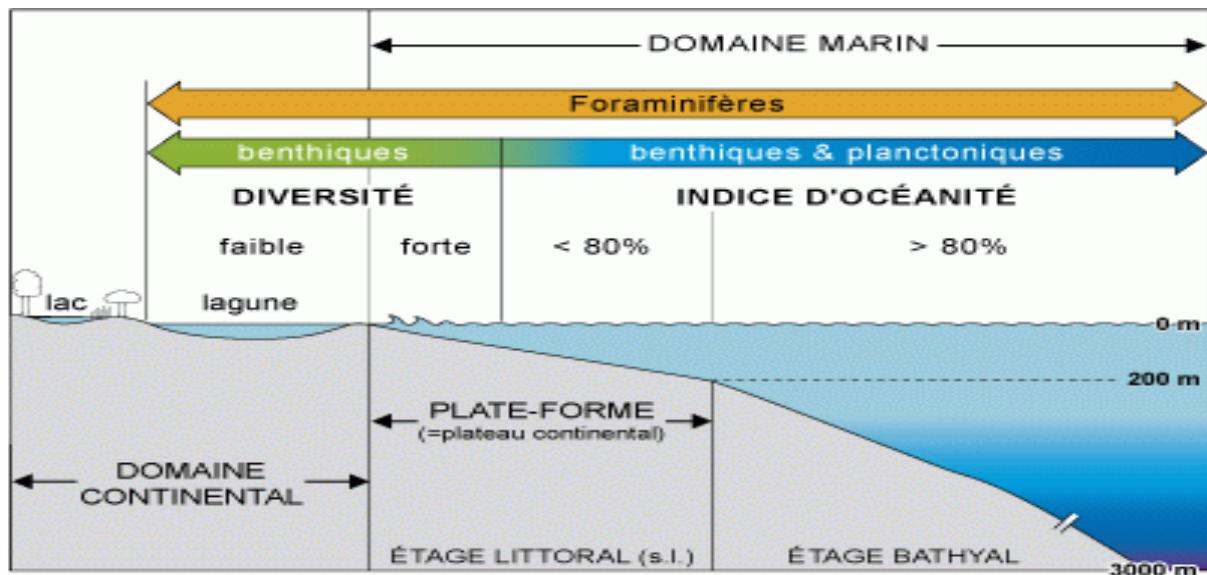
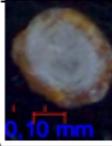
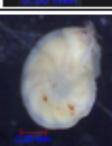


Figure 43 : Diversité des Foraminifères et paléoenvironnements. (BRUNO GARNIER et al., 2001)

Les microfossiles étudiés dans les deux régions sont en général délimités par une profondeur de 0 à 200 mètres (milieu peu profond) et appartiennent à l'étage littoral.

La prédominance et la grande diversité spécifique des Nodosariidae dans les différents niveaux des gisements étudiés sont expliquées par le mode de vie des Foraminifères (microhabitat, mode d'alimentation associé à la morphologie du test). Seules les Lenticulines (Nodosariidae), réputées pour être des Foraminifères opportunistes (REOLID, 2008) et supportant des grandes variations de salinité, de quantité de nutriments et de températures, restent présentes.

Tableau 28 : Microhabitat, mode d'alimentation associé à la morphologie du test de quelques genre des Foraminifères du Jurassique ((REOLID et al., 2008).

| | Forme du test | Mode de vie | régime alimentaire | Exemples |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--|
| Formes agglutinées | test long à portion initiale spiralé | endofaune | Détritivores | <i>Ammobaculites</i>  |
| | Test bisérié | endofaune | Détritivores | <i>Textularia</i>  |
| Formes hyalines | Test lenticulaire planispiralé | épifaune | phytodétritivores | <i>Spirillina</i>  |
| | test long unisériel | endofaune | Herbivores | <i>Dentalina</i> <i>Nodosaria</i>  |
| | Test déroulé | endofaune | Omnivores | <i>Astacolus</i> <i>Planularia</i>  |
| | Test lenticulaire | épifaune à profondément endofaune | Omnivores | <i>Lenticulina</i>  |

L'étude visuelle des microfossiles permet la compréhension détaillée d'une séquence stratigraphique pour l'industrie de l'exploration pétrolière et gazière. La présence de microfossiles permet l'identification des éléments distincts dans une séquence stratigraphique.

Les recherches pétrolières ont largement contribué au développement de la micropaléontologie. Dans la prospection pétrolière, un des problèmes fondamentaux est de connaître la disposition des couches du sous-sol et ensuite de localiser les gisements. Il peut évidemment exister de gros fossiles dans les roches traversées par le tube de forage, mais, en général, ils sont broyés par le trépan et difficilement reconnaissables. Les « cuttings », copeaux de roches, évitent le carottage continu fort coûteux. Ils sont étudiés au fur et à mesure de l'avance de la sonde, et les terrains traversés sont datés à chaque instant, ce qui permet ainsi de ne pas continuer à forer dans un terrain non prometteur. Ainsi l'étude biostratigraphique et paléoécologique détaillé des microfossiles est très importante pour connaître l'avancement du forage.

4.2.3 Essai de détermination de l'ancêtre des Foraminifères benthiques

Dans l'étude la détermination de l'ancêtre des Foraminifères benthiques :

➤ Hypothèse : l'ancêtre hypothétique des Foraminifères calcaires benthiques sont probablement issus des Foraminifères calcaires agglutinés.

- Les Foraminifères à test hyalin proviennent des Foraminifères à test agglutiné. Dans ce cas, ces deux groupes présentent des caractères de convergence (au niveau de la forme générale,...) ;

- L'étude phylogénétique des Foraminifères planctoniques montre que les formes planctoniques sont vraisemblablement issues des Foraminifères benthiques dont une phase planctonique du cycle se serait complètement séparée au début des temps Mésozoïques. Ce scénario est parfaitement en accord avec le fait que les premières espèces du Jurassique et du Crétacé basal sont inféodées à des environnements de plate-forme externe (CARON, 1983) ;

➤ Finalement cette hypothèse est confirmée dans la classification et la biostratigraphie des principaux protistes fossiles car les formes agglutinantes ont existé avant le Cambrien (Protérozoïque) ainsi que les formes calcaires ont été déjà décrites au Cambrien (ANNE DE VERNAL & JULIE LEDUC, 2000) (Figure 44).

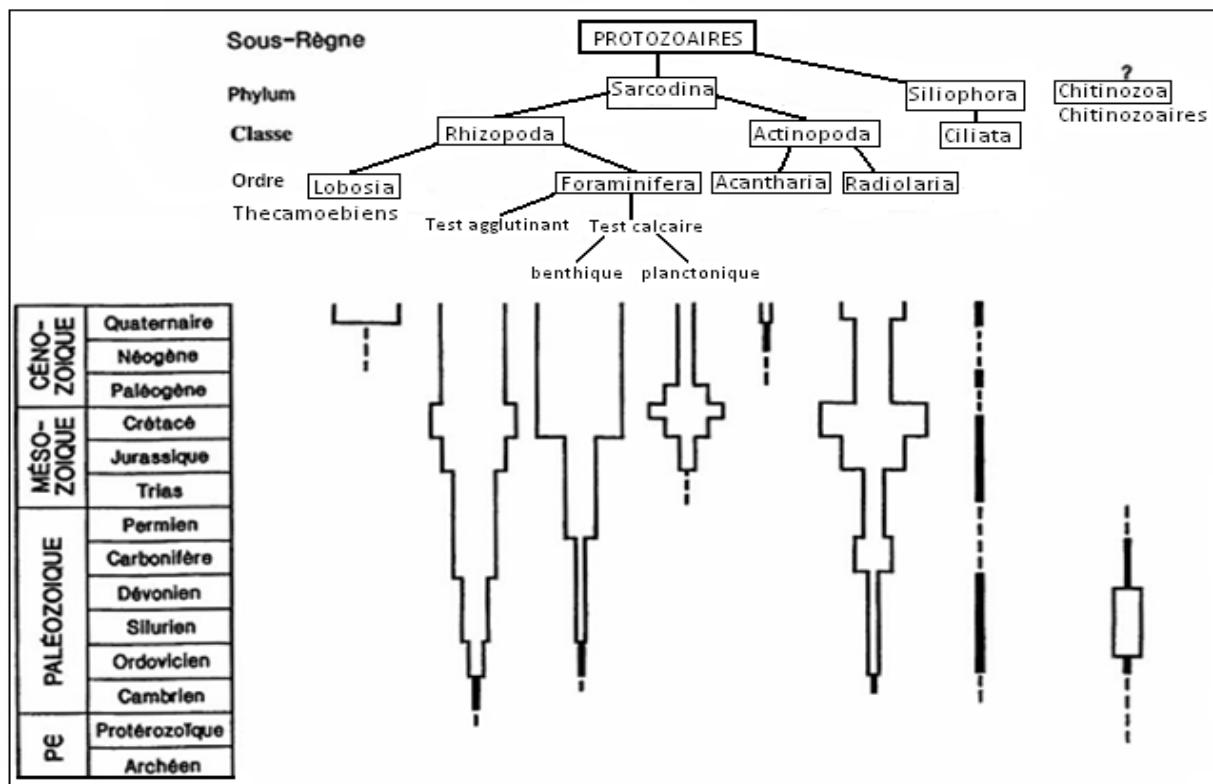


Figure 44 : Schéma illustrant l'origine des Foraminifères (Classification et biostratigraphie des principaux protistes fossiles d'après Anne de Vernal & Julie Leduc, 2000).

Tableau 29 : matrice regroupant les taxons et les caractères

| Caractères \ Taxons | A | B | C | D |
|---------------------|---|---|---|---|
| Ancêtre | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| 6 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 7 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 2 | 4 | 1 |

- 0 est l'état primitif d'un caractère
- 1 est l'état dérivé d'un caractère
- 2, 3 et 4 sont les états plus dérivés des caractères.

Tous les caractères en 0 sont donc plésiomorphes et les caractères en 1, 2, 3, 4 sont apomorphes.

A : caractère correspondant aux nombres de loges

B : caractère désignant l'arrangement des loges

C : caractère montrant les formes générales

D : caractère indiquant l'architecture de la paroi.

Taxon 1 : Textulariidae

Taxon 2 : Lituolidae

Taxon 3 : Nodosariidae

Taxon 4 : Glandulinidae

Taxon 5 : Vaginulidae

Taxon 6 : Spirillinidae

Taxon 7 : Epistomidae

Taxon 8 : Polymorphinidae

Taxon 9 : Globigerinidae

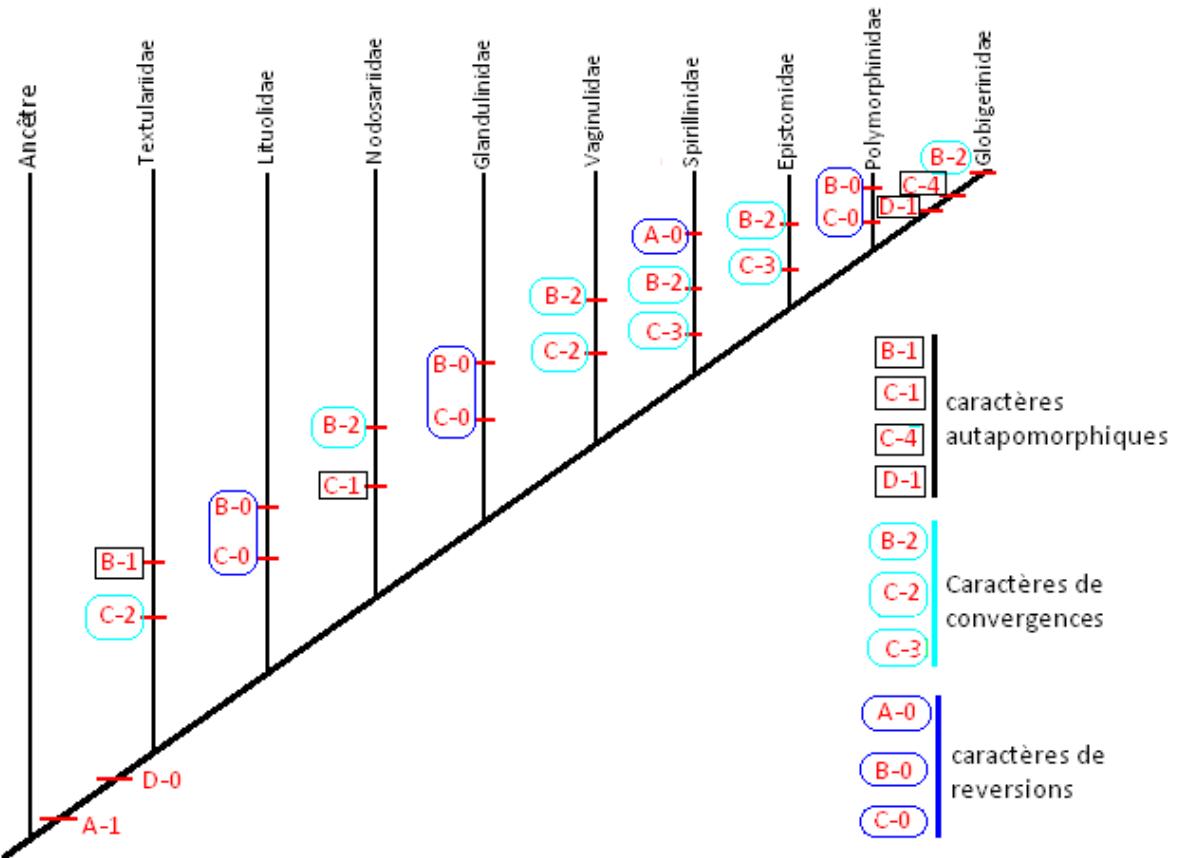


Figure 45 : Cladogramme regroupant les différents caractères des Familles des Foraminifères rencontrés.

- **Autapomorphie :**

Textulariidae (Taxon 1) : un caractère autapomorphique B-1 : arrangement des loges bisériés

Nodosariidae (Taxon 3) : un caractère autapomorphique C-1 : forme générale lenticulaire

Globigerinidae (Taxon 9) : des caractères autapomorphiques C-4 : forme générale trochoïde, D-1 : architecture de la paroi bilamellaire

Les caractères B-1, C-1, C-4 et D-1 sont des caractères autapomorphiques car ce sont des nouveaux caractères particuliers à un taxon.

- **Convergences :**

Textulariidae (Taxon 1) }
Vaginulinidae (Taxon 5) } un caractère convergence C-2 (ressemblance des formes générales des deux Familles : évasée)

Nodosariidae (Taxon 3), }
Vaginulinidae (Taxon 5), } un caractère convergence B-2 (ressemblance au niveau de l'arrangement des loges : trisérié et autre)

Spirillinidae (Taxon 6), }
Epistomidae (Taxon 7), }

Globigerinidae (Taxon 9) } un caractère convergence C-3 (ressemblance des formes générales de deux Familles : cylindriques)

Les caractères B-2, C-2, C-3 sont des caractères de convergence car ce sont des caractères de ressemblance entre deux taxons différents.

- **Reversions :**

Lituolidae (Taxon 2),
 Glandulidae (Taxon 4),
 Polymorphinidae (Taxon 8). } des caractères de reversions : B-0, C-0

Les caractères B-0, C-0 sont des caractères de reversions c'est-à-dire qu'après l'évolution des ces caractères en B-1, B-2 et C-1, C-2, C-3, ils reviennent aux caractères initiaux.

L'arrangement initial des loges des trois familles (Lituolidae, Polymorphinidae, Glandulidae) est unisérié (B-0) et après l'évolution des ces caractères en bisériés ou trisériés (B-1, B-2),

l'arrangement de ces loges reviennent à l'initial (B-0) :

B-0 \longrightarrow B-1, B-2 \longrightarrow B-0

Les formes générales initiales des trois familles (Lituolidae, Polymorphinidae, Glandulidae) sont fusiformes (C-0) et après l'évolution de ces caractères en formes lenticulaire, évasée, cylindrique, trochoïde (C-1, C-2, C-3, C-4), les formes générales reviennent à l'initial (C-0) :

C-0 \longrightarrow C-1, C-2, C-3, C-4 \longrightarrow C-0

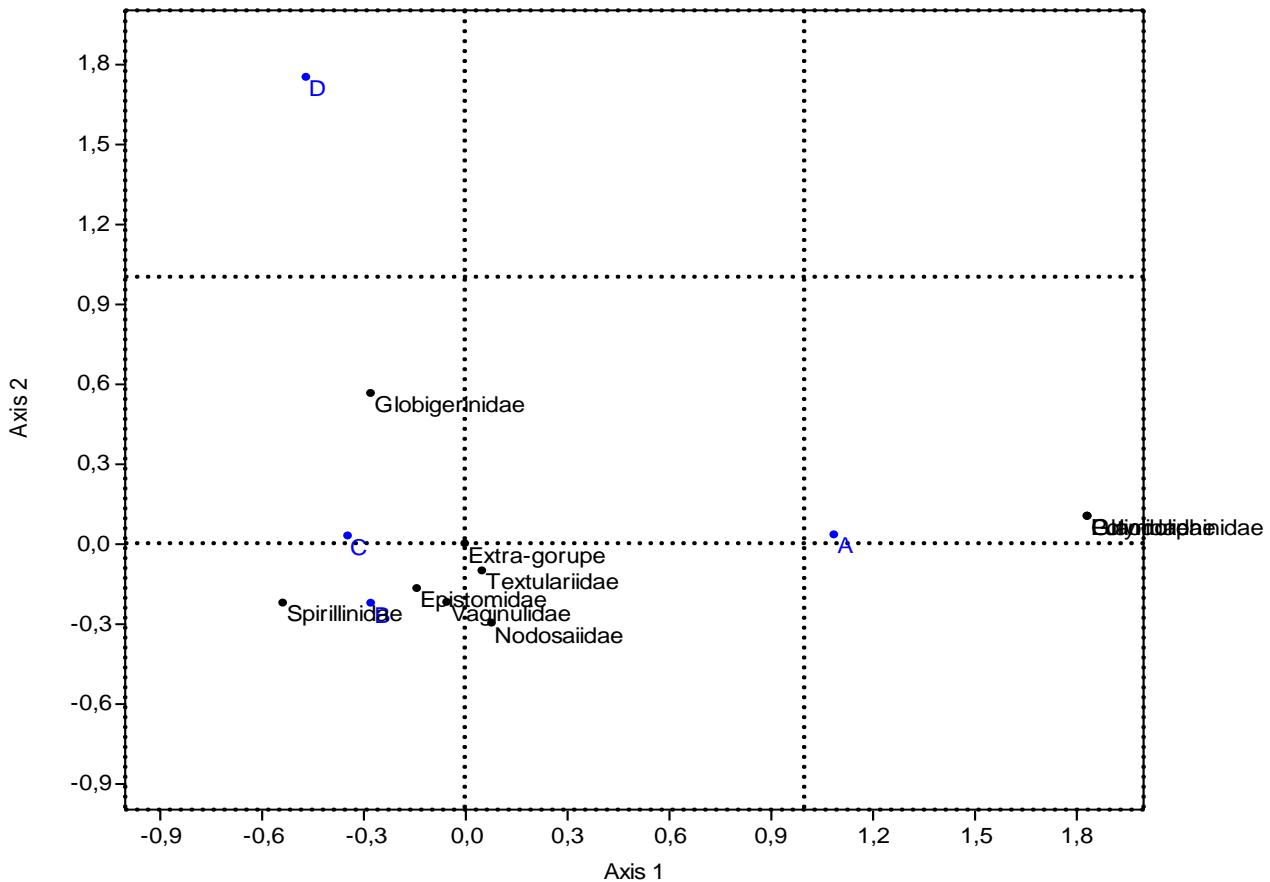


Figure 46 : Analyse de correspondance entre les taxons et les caractères

L'analyse de correspondance permet d'associer certaines Familles à certains caractères :

- Les 5 taxons : Textulariidae, Epistomidae, Nodosariidae, Vaginulinidae, Spirillinidae sont associés par les 2 caractères C et D ;
- Les caractères A, D et les 3 taxons Polymorphinidae, Gladulinidae Globigerinidae sont très éloignés ; autrement dit que la correspondance entre les taxons et les caractères est faible.

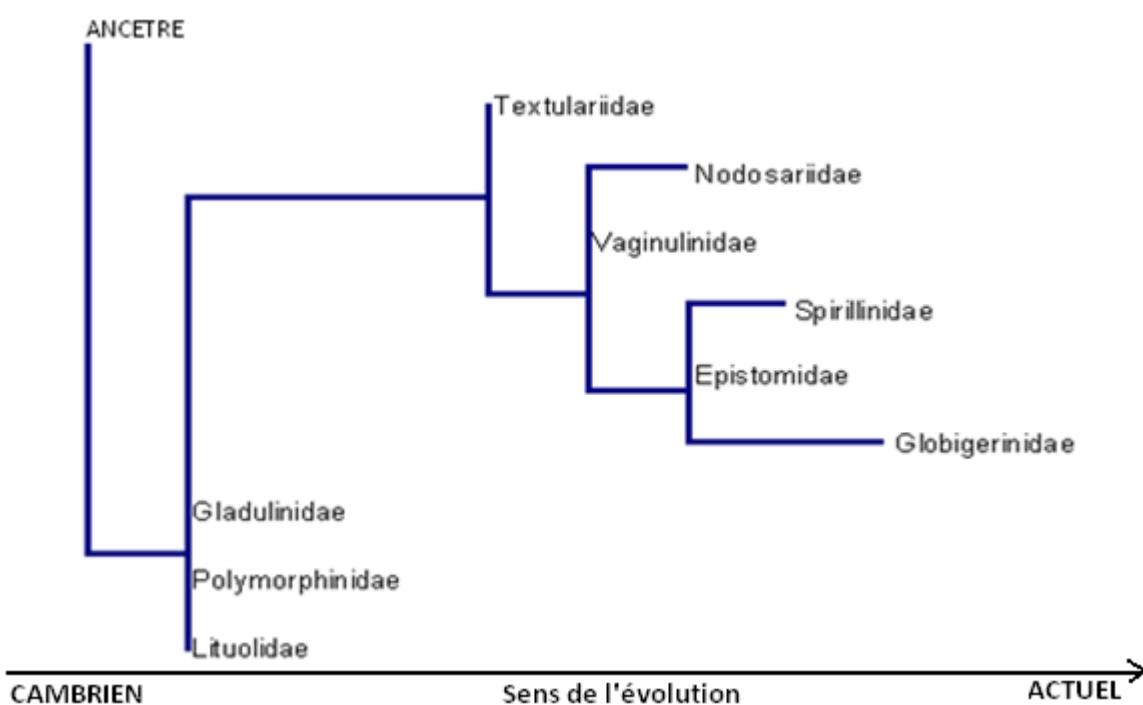


Figure 47 : Phylogramme des Familles des Foraminifères rencontrés.

D'après le logiciel PAST, ce phylogramme établie de façon automatique.

Par l'analyse de la longueur des branches horizontales, ce phylogramme présente l'évolution des taxons (Familles) par rapport à son ancêtre.

- les Familles des Glandulidae, Polymorphinidae, Lituolidae sont moins évoluées par rapport aux autres Familles (Textulariidae, Nodosariidae, Vaginulinidae, Spirillinidae, Epistomidae, Globigerinidae) car la longueur de branches est très courte et proche de l'ancêtre. Par conséquent, ces familles ne possèdent que de caractère A : caractère correspondant aux nombres de loges ;
- la Famille des Textulariidae est moins évoluée par rapport aux Familles des Nodosariidae, Vaginulinidae, Spirillinidae, Epistomidae, Globigerinidae. Cette Famille est caractérisée par trois caractères : **A** : caractère correspondant aux nombres de loges, **B** : caractère désignant l'arrangement des loges, **C** : caractère montrant les formes générales ;
- la Famille des Globigerinidae est la plus évoluée puisqu'elle est très loin de l'ancêtre et elle possède les caractères : **A** : caractère correspondant aux nombres de loges, **B** : caractère

désignant l'arrangement des loges, **C** : caractère montrant les formes générales, **D** : caractère indiquant l'architecture de la paroi.

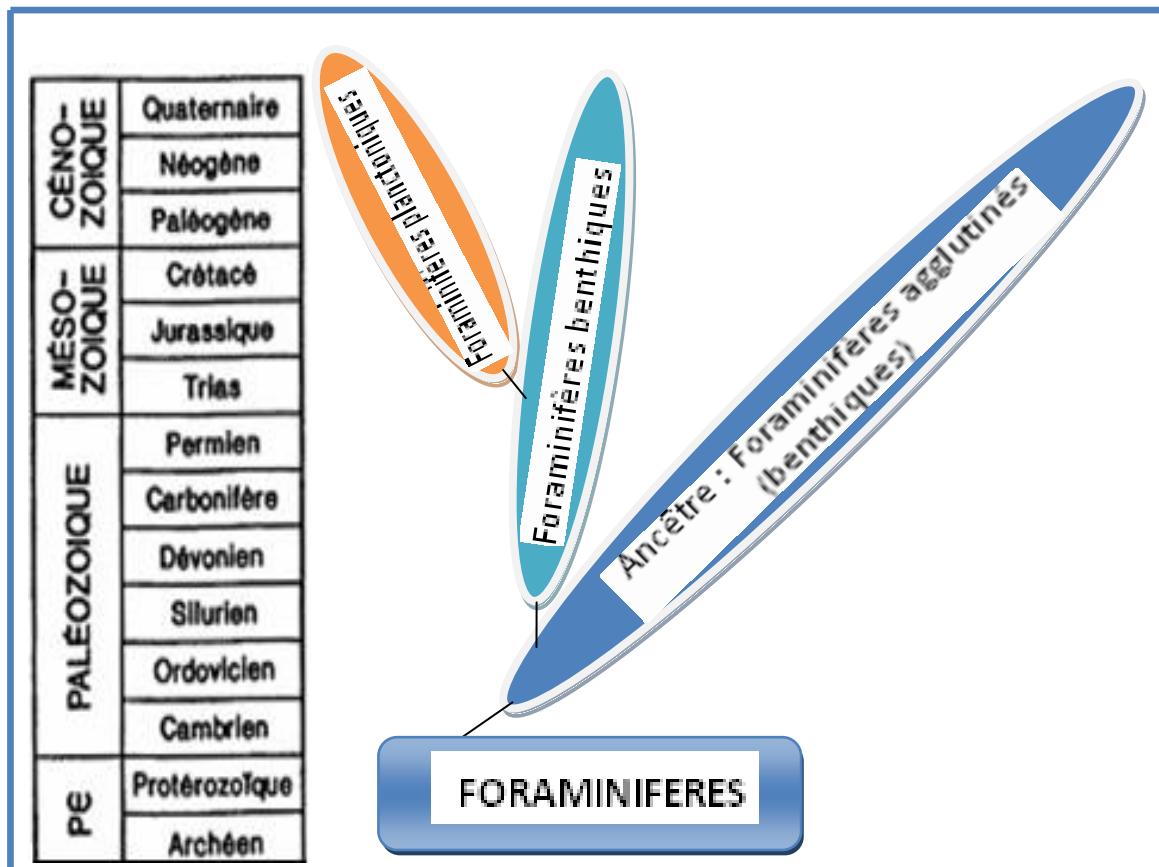


Figure 48 : Récapitulation sur l'essai de détermination de l'ancêtre des Foraminifères benthiques (Source : Auteur)

Les Foraminifères benthiques (agglutinés et hyalins) sont issus des Foraminifères benthiques agglutinés (ancêtre) et les Foraminifères planctoniques sont issus aussi des Foraminifères benthiques.

Conclusion

Les différents niveaux des sites d'études sont caractérisés par des dépôts marins à salure normale, dominés par des Foraminifères benthiques. La proportion très élevée des Foraminifères à test hyalin confirme que les milieux d'études appartiennent aux mers chaudes. Les espèces rencontrées préfèrent les zones relativement peu profondes des plateaux continentaux avec une profondeur de 0 à 200 mètres (circalittoral).

Les Ostracodes sont assez bien conservés dans un milieu marin ouvert à moyenne énergie avec un transport faible et hydrodynamisme peu important.

PALEOBIOGEOGRAPHIE

4.3. PALEOGEOGRAPHIE ET PALEOBIOGEOGRAPHIE

4.3.1. Paléogéographie de Madagascar

4.3. 1.1 Position de Madagascar dans l'ensemble du continent Gondwanien

Madagascar fait partie du grand continent Gondwanien. Par la théorie des plaques, des hypothèses sont émises pour expliquer la dislocation de Gondwana et la position actuelle des différents éléments. Cette hypothèse est affirmée par des résultats des observations géologiques et paléontologiques.

La position initiale de Madagascar est une reconstruction très partielle du continent Gondwana, lorsque ses différents fragments étaient encore soudés les uns aux autres. Par la suite, le continent de Gondwana a été le siège de phénomènes tectoniques importants qui ont provoqué sa dislocation et le détachement progressif de Madagascar par rapport à l'Afrique.

Ces événements ont apparemment comporté deux phases :

- une première phase de fracturation intracontinentale qui a vu la mise en place des bassins de rift et l'installation d'un bras de mer épicontinentale. Durant cette période, qui va du Carbonifère supérieur au Jurassique moyen (RAJAOMAZAVA F. 1992) (Figure 49) ;
- une seconde phase de distension qui va du Jurassique moyen à l'Aptien et qui a favorisé la dérive des principaux fragments de Gondwana et le développement des bassins formés lors de la phase précédente. Durant cette période, le bloc Inde-Madagascar-Antarctique reste encore soudé, s'est déplacé vers le Sud (RAJAOMAZAVA F. 1992).

Au Jurassique supérieur (165 Ma) a débuté le périodes de rift océanique qui se rencontre en Somalie, au bassin de Comores et conduit à la séparation du bloc Madagascar-Inde de l'Afrique. Madagascar-Inde a suivi la trajectoire Sud-Sud-Est le long de la ride de Davie (Figure 50).

Au Crétacé inférieur (130-125 Ma), la zone fracturée reste encore à 4000 m de la côte Est de Madagascar.

Au Crétacé supérieur, un rifting a provoqué la séparation totale de Madagascar et l'Inde. Madagascar devient une île et l'Inde continue de se déplacer vers le Nord (Asie) (STOREY et al. 1997) (Figure 51).

Le rifting entre Madagascar et l'Afrique a donné naissance à la surcharge des dépôts sédimentaires le long de la marge Ouest de Madagascar (Bassin d'Antsiranana, de Mahajanga et de Morondava).

Early Carboniferous 356 Ma

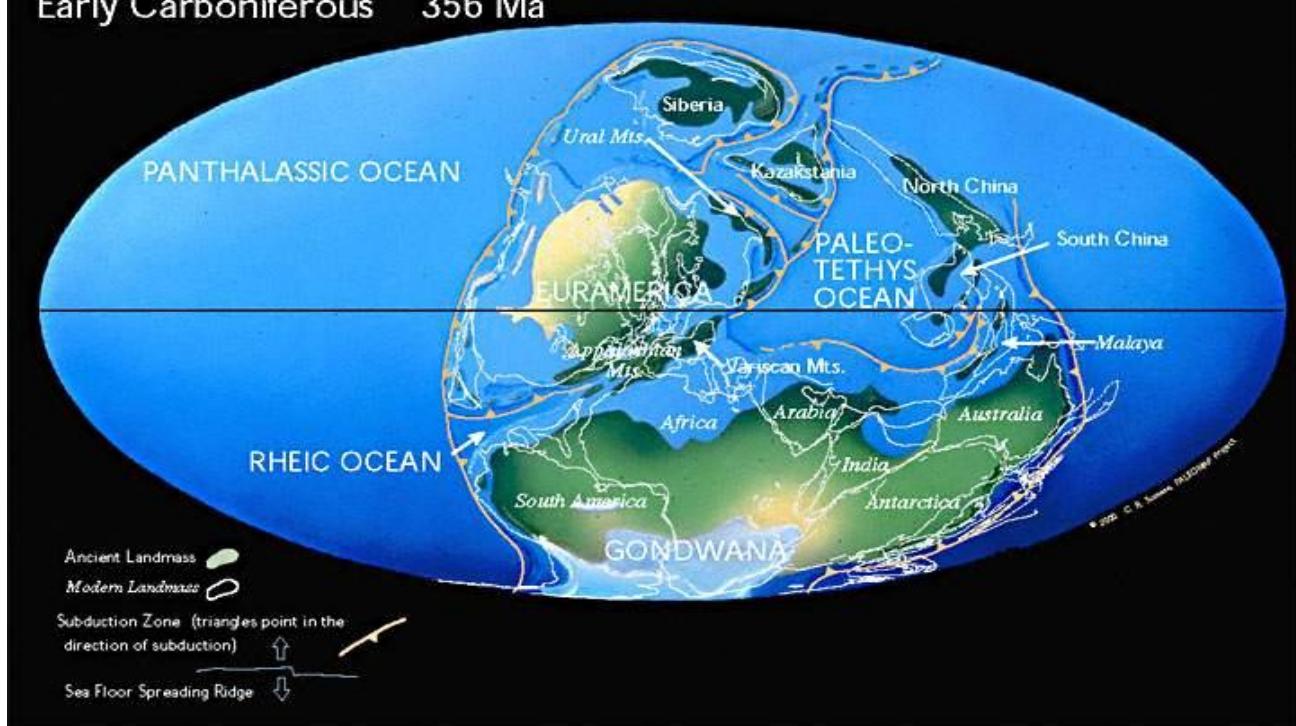


Figure 49 : Position de Madagascar au Carbonifère (SCOTESE, 2001)

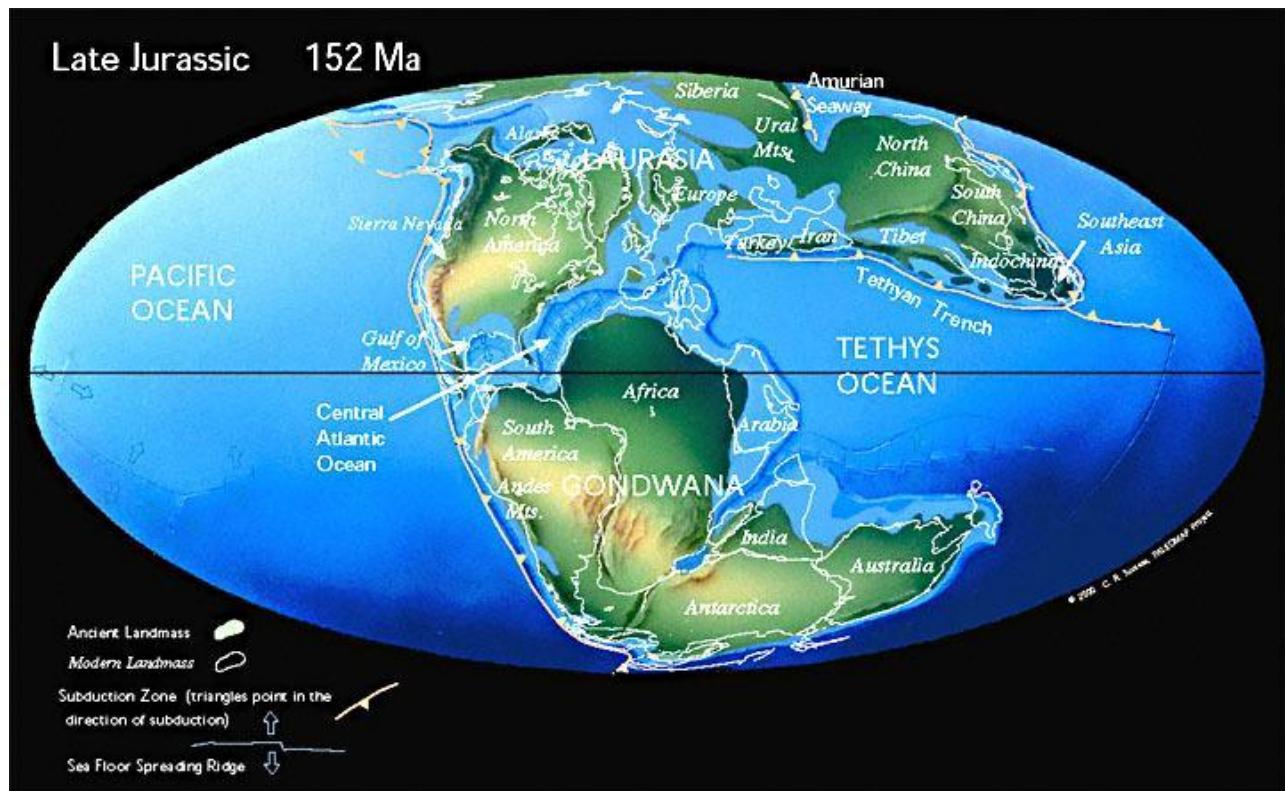


Figure 50 : Position de Madagascar au Jurassique (SCOTESE, 1997)

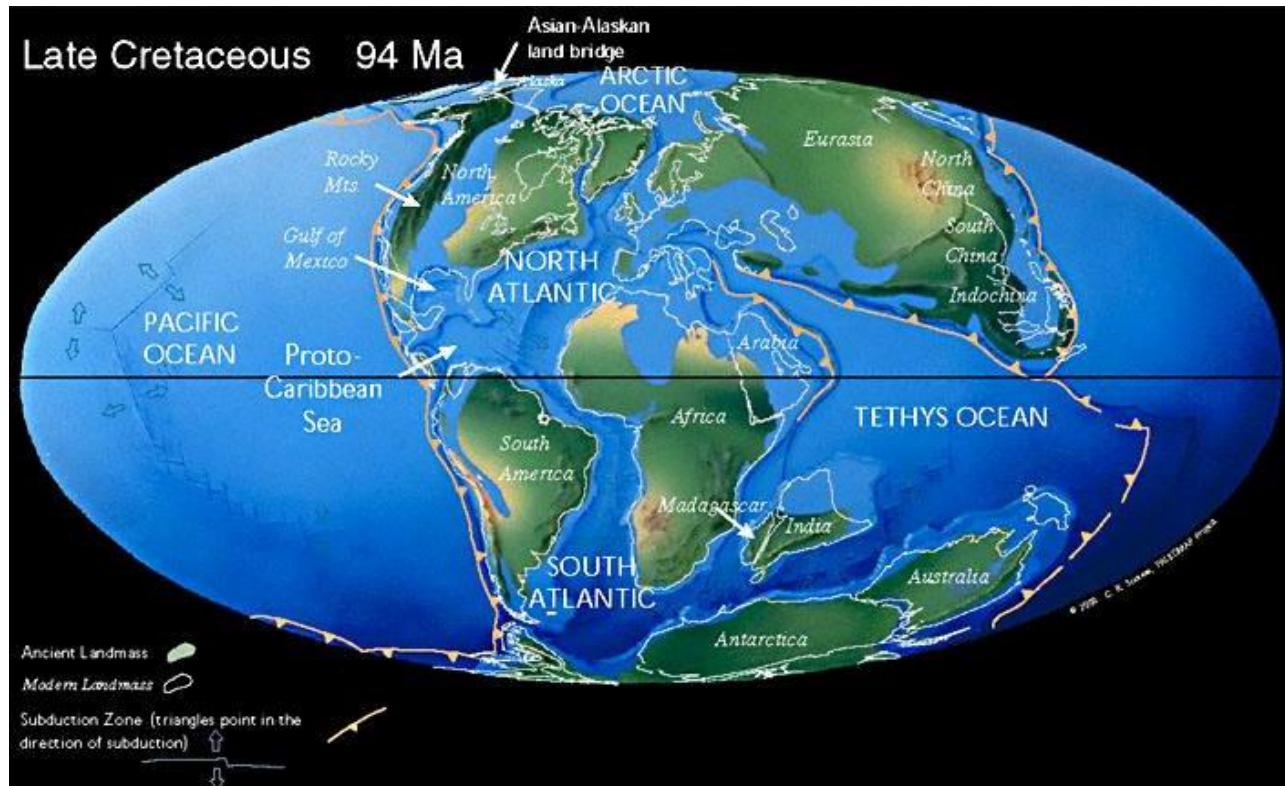


Figure 51 : Position de Madagascar à la fin Crétacé (SCOTESE, 1997)

4.3.1.2 Les données océaniques

Plusieurs auteurs ont fait des études géophysiques concernant le déplacement et la séparation de Madagascar de l'Afrique : RABINOWITZ (1988, 1992), LALAHARISAINA et FERRAND (1994), STOREY, et al (1995, 1997), RAJAOMAZAVA F. (1992),...

La position originelle de Madagascar et ses déplacements posent des problèmes. Les données géophysiques apportent des réponses globalement satisfaisantes. La mise en évidence d'un plancher océanique d'âge Jurassique dans les bassins de la Somalie et du Mozambique ne peut laisser aucun doute : Madagascar s'est détaché de la côte Est du Kenya à la fin du Jurassique, solidairement avec l'Inde et l'Antarctique, dans les premiers temps de l'Ouverture de l'Océan Indien. Son individualisation remonte au Crétacé supérieur (vers -83 millions d'années), par sa séparation d'avec l'Inde. Le trait caractéristique du mouvement de Madagascar vers le sud, entre la fin Jurassique et le Crétacé basal, est son coulisser le long d'une grande fracture transformante qui est à l'heure actuelle matérialisé par une série de hauts fonds figurant le ride de Davie.

La nouvelle répartition de la masse continentale a conditionné l'évolution climatique du globe (FRÖHLICH F., 1996).

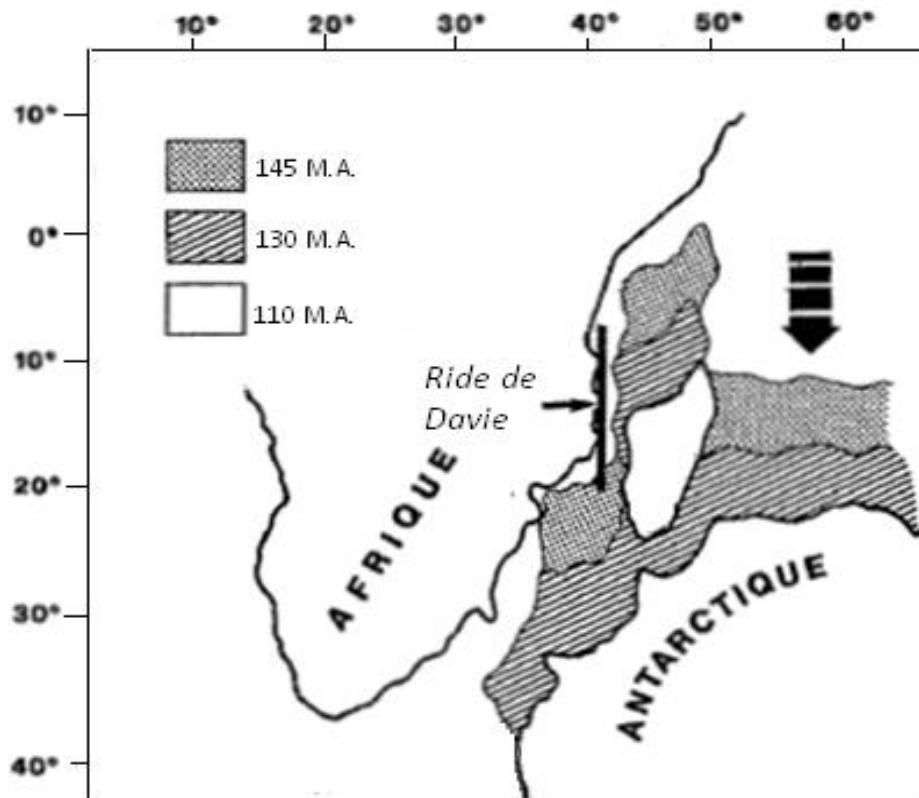


Figure 52 : Reconstitution des déplacements du bloc Antarctique, Madagascar, Inde par rapport à l'Afrique. L'Inde n'est pas figurée en raison de l'incertitude sur sa position exacte, vraisemblablement entre Madagascar et Antarctique (FRÖHLICH F., 1996)

Le déplacement de Madagascar s'est terminé au Crétacé inférieur (Aptien inférieur, vers 115 Ma). Depuis cette époque, Madagascar ne semble pas avoir changé de place. Le déplacement de Madagascar se présente en trois positions : la position au Permien (250 Ma), la position intermédiaire avant la dérive du Jurassique supérieur (170 Ma) et enfin, sa position post-coulissement ou la position actuelle de Madagascar (RAJAOMAZAVA F., 1992).

4.3.1.3 Les bassins sédimentaires de la côte Ouest de Madagascar

Les bassins sédimentaires de la côte Ouest de Madagascar sont contrôlés par une tectonique cassante (failles normales). Les séries monocinales montrent un faible pendage vers le canal du Mozambique, dans lequel elles plongent. Deux systèmes de failles héritées de zones de faiblesse précambriennes, failles et cisaillements ductiles définissent les contours de l'île. Il s'agit de failles de direction « côte Est » orientée Nord - Nord-Est/Sud - Sud-Ouest et de direction Nord -

Nord-Ouest/Sud - Sud-Est, parallèle au linéament précambrien de Bongolava-Ranotsara et à la ride de Davie qui jalonne le milieu du canal de Mozambique.

Les différents accidents ont favorisé les coulissements et les mouvements verticaux de blocs qui engendrent ainsi une succession de horsts et de grabens. Les jeux en failles normales de ces accidents contrôlent la subsidence des bassins. Cela est bien visible dans le bassin de Morondava qui montre une série sédimentaire typique de l'Ouest malgache.

L'ère secondaire est marquée par une transition vers une sédimentation marine. Le bassin s'est ouvert et a permis la mise en place des sédiments riches en matières organiques, des marnes et des argiles schisteuses. Cette série sédimentaire est surtout développée dans le bassin de Mahajanga. Par ailleurs, ces sédiments qui s'étalent du Jurassique au Crétacé sont très importants pour les paléontologues par la présence d'une énorme quantité de fossiles.

4.3.1.4 Relation structurale entre Madagascar et l'Afrique

L'ajustement des structures majeures permet d'établir les zones de fractures d'Afrique orientale et de Madagascar. L'ajustement proposé est de la manière suivante :

- d'une part, Madagascar s'est détaché de la côte Tanzanie – Kenya (COFFIN et RABINOWITZ, 1987) ;
- d'autre part, les principales directions tectoniques de l'Afrique et de Madagascar sont alors ajustées au mieux afin d'obtenir des familles directionnelles de failles continues et homogènes sur les deux territoires. Les zones de cisaillement d'Aswa de l'Afrique de l'Est, de Ranotsara à Madagascar et de Bhavani en Inde sont placées en continuités (Figure 53).

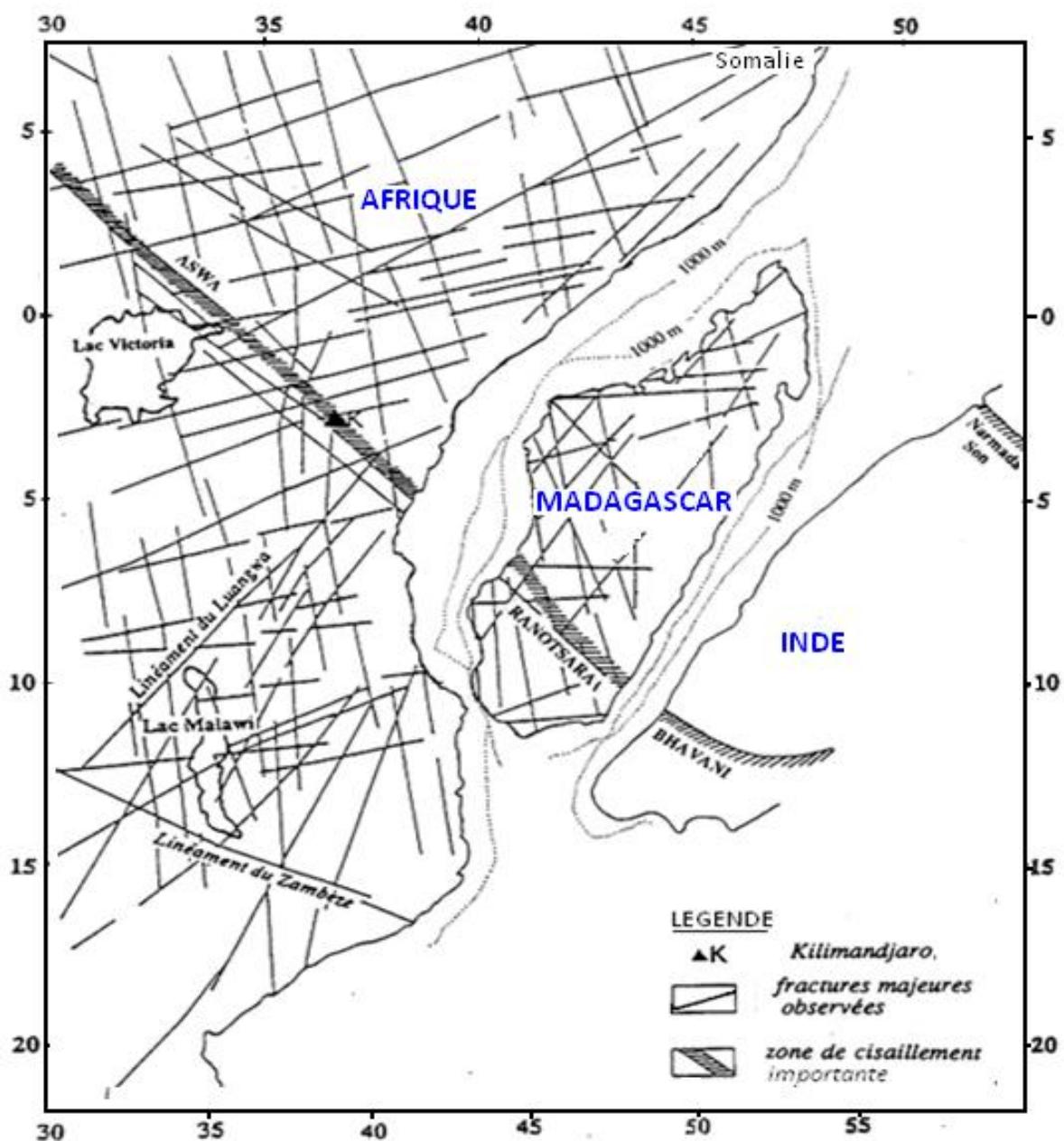


Figure 53 : Ajustement de la position initiale de Madagascar d'après les linéaments tectoniques (RAJAOMAZAVA F., 1992)

L'évolution tectono sédimentaire de la marge Est Africaine est complexe. La distension Jurassico-Crétacé a apporté de nouvelle modification dans la structure des marges.

Le canal de Mozambique, ouvert à cette époque, est ainsi formé de deux domaines continentaux juxtaposés appartenant, d'une part à l'Afrique et d'autre part à Madagascar.

La frontière commune est constituée par la Ride de Davie (RAJAOMAZAVA F., 1992).

La marge continentale malgache, située à l'Est de la Ride de Davie, est subdivisée en deux zones principales structuralement différentes :

d'une part, la zone ouverte sur le bassin de Morondava qui longe la terminaison Sud de la Ride de Davie, correspond à une marge en coulissemement au Nord et à une marge d'arrachement au Sud ;

d'autre part la zone D, face au bassin de Mahajanga, elle présente deux accidents majeurs parallèles aux linéations magnétiques du bassin océanique de Somalie (les flexures internes et externes du bassin de Mahajanga). Cette zone correspond à une marge d'arrachement.

La zone F, constituant la marge de Somalie, correspond également à une marge en arrachement (Figure 54).

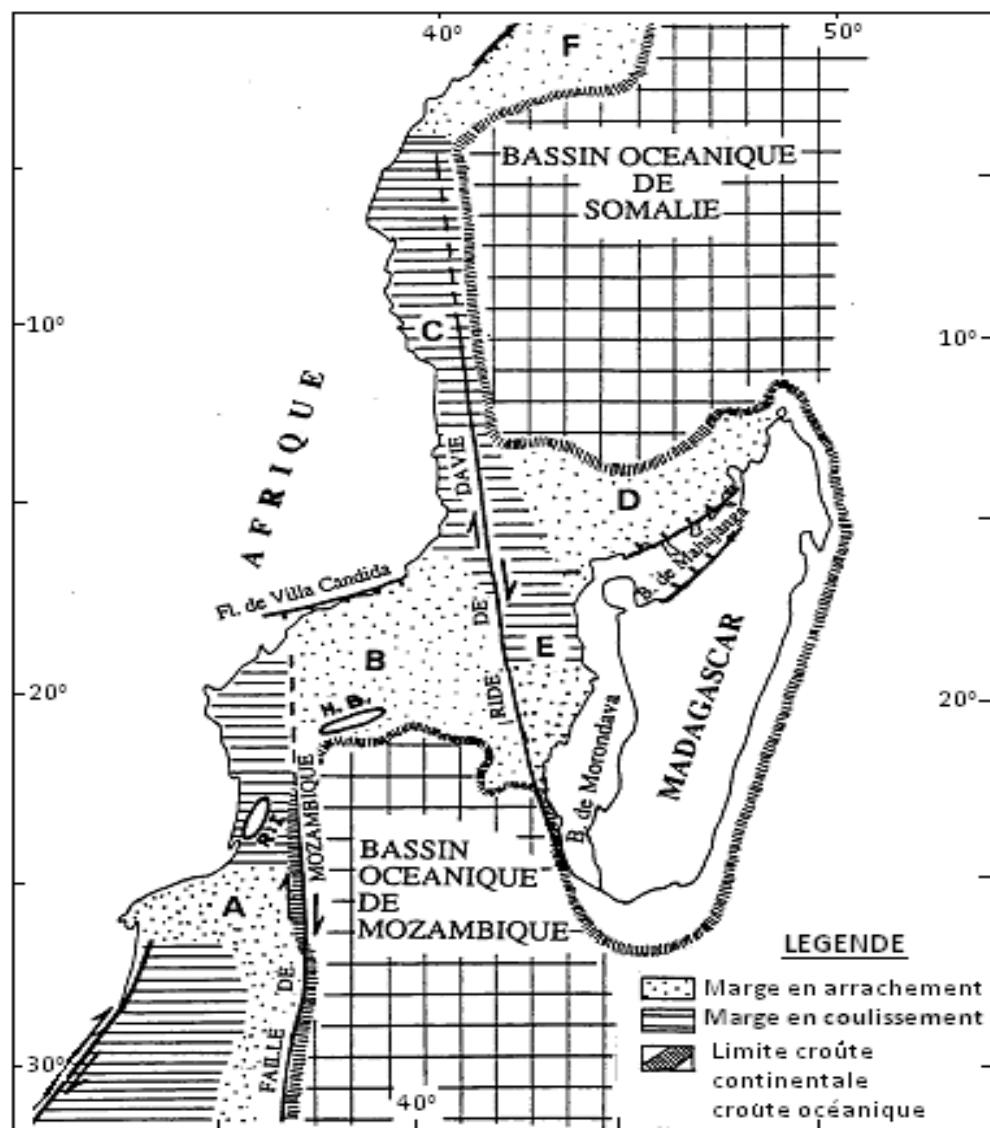


Figure 54 : Domaine géodynamique de l'Afrique de l'Est et de Madagascar (RAJAOMAZAVA F., 1992).

4.3.2. Paléobiogéographie

La distribution géographique des microfossiles marins (Foraminifères, Ostracodes) est en relation avec l'ouverture de l'Océan et la subduction de la Téthys. En effet, la similitude et l'évolution des organismes dans chaque partie est remarquable après la dislocation du continent.

4.3. 2.1 Les données apportées par les microfossiles

Les deux régions étudiées présentent une richesse en petits Foraminifères benthiques. Les formes planctoniques sont très rares car les Foraminifères planctoniques n'existent pas avant le Jurassique. D'ailleurs, les niveaux marins élevés et les climats chauds du Crétacé favorisent la diversification de planctoniques (Figure 44, Anne de Vernal & Julie Leduc, 2000).

En effet, peu d'informations ont été apportées par les Foraminifères benthiques sur l'étude paléobiogeographique. Dans notre étude, les données apportées par les Ostracodes sont très importantes dans l'intervalle du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur pour compléter les données apportées par les Foraminifères benthiques.

Tableau 30 : Répartition paléobiogéographique des Foraminifères benthiques

| Foraminifères (Genres) | MADAGASCAR | | AUTRES PAYS (ESPITALIE ET SIGAL, 1963) |
|---------------------------|--|---------------------------|--|
| | ESPITALIE ET SIGAL (1963) | ETUDE PRESENTE | |
| <i>Astacolus</i> | Malakialina, Port-Berger, Tsaramandroso, | Andranomavo, Antsalova | Amérique |
| <i>Lenticulina</i> | Antorolava, Ambanjabe, Tsaramandroso, Port- Berger | Andranomavo, Antsalova | Allemagne |
| <i>Marginulinopsis</i> | Tsaramandroso | Andranomavo | Pologne |
| <i>Marginulina</i> | Marobaria, Tsararivotra | Andranomavo | Allemagne |
| <i>Saracenaria</i> | Tsaramandroso | Andranomavo, Antsalova | Allemagne, Pays-Bas |
| <i>Dentalina</i> | Tsararivotra | Andranomavo | Allemagne, Dakota |
| <i>Planularia</i> | Malakialina | Andranomavo, Antsalova | Angleterre |
| <i>Lingulina</i> | Malakialina | Andranomavo | Allemagne, Pays-Bas, Texas |
| <i>Tristix</i> | Antorolava, Tsaramandroso | Andranomavo | Allemagne |
| <i>Rectoglandulina</i> | Tsararivotra, Malakialina | Andranomavo, Antsalova | Amérique du Nord |
| <i>Spirillina</i> | Mahajanga | Andranomavo, Antsalova | Pologne |
| <i>Epistomina</i> | Antorolava, Ambohimanga, Befotaka, Tsaramandroso, Marokara | Andranomavo | Somalie, Russie |

Quelques genres ou espèces de microfossiles rencontrés dans ce travail ont été trouvés dans de nombreux gisements de Madagascar et décrits aussi dans des différents pays du monde.

Tableau 31 : Répartition paléobiogéographique des Ostracodes

| Ostracodes | MADAGASCAR | | AUTRES PAYS (GREKOFF N., 1963) |
|-------------------------------------|--|---------------------------|--|
| | GREKOFF N. (1963) | ETUDE PRESENTE | |
| <i>Cytherella index</i> | Ihopy | Andranomavo, Antsalova | Europe Occidentale, Jura Suisse |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | Andranomavo, Marobaria, Mahajanga, Tsararivotra | Andranomavo, Antsalova | Bassin de Paris |
| <i>Cytherelloidea</i> | Ihopy | Andranomavo | Europe |
| <i>Cytheropteron corossum</i> | Tsararivotra, Antanambao- Antorolava | Andranomavo | Allemagne |
| <i>Tricordis praetexta</i> | Antsohihy, Ihopy, Antorolava, Tsararivotra | Andranomavo | — |
| <i>Majungaella perforata</i> | Tsararivotra, Andranomavo, Marobaria – Ambetomasina, Antorolava | Andranomavo | Inde, Afrique du Sud, Mozambique, Somalie, Tanzanie, Argentine, Australie West |
| <i>Majungaella nematis</i> | Antanambao, Ambarimaninga, Mahajanga, Tsararivotra | Andranomavo | Inde, Afrique du Sud, Mozambique, Somalie, Tanzanie, Argentine, Australie West |
| <i>Polycopis</i> | Tsararivotra | Andranomavo | Jura Suisse |
| <i>Parcypris cf acris</i> | Ambodimanga- soromaraina | Andranomavo | Bassin de Paris, Amérique |
| <i>Pirileberis prognata</i> | Tsararivotra, Andranomavo, Mahajanga, Antanambao-antorolava, Ambarimaninga, Ambodibonara, Malakialina | Andranomavo | — |
| <i>Lophocythere devexa</i> | Ihopy | Andranomavo | — |

La relation structurale entre Madagascar et la côte Est de l'Afrique est confirmée par la ressemblance des faunes notamment les microfossiles : le genre *Majungaella* observé dans les différents gisements de Madagascar a été décrit en Somalie, en Afrique du Sud, en Mozambique, en Tanzanie, en Argentine. Ce genre est aussi décrit en Inde, et cette distribution nous amène à supposer que la plaque Indienne était rattachée à la plaque malgache (GREKOFF, 1963 & WATLEY et al 1966), (Tableau 31).

Le détachement de la plaque Indienne et Malgache avec l'Afrique a donné naissance au Canal de Mozambique. La séparation de Madagascar s'est amorcée dès le Permien et s'est poursuivie pendant le Jurassique pour devenir une île au Crétacé supérieur (70 MA).

4.3.2.2 Paléoclimat du globe au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur

Pendant le Jurassique supérieur (- 150 millions d'années) le climat global commença à changer à la suite de la rupture de la Pangée. L'intérieur de la Pangée devint moins sec et les neiges et glaces saisonnières recouvraient les régions polaires.

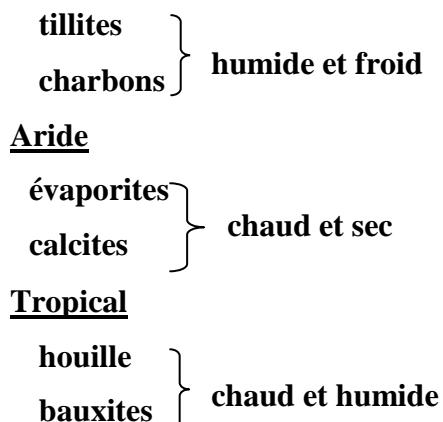
Lors du Crétacé supérieur (- 70 millions d'années) le climat général était plus chaud qu'aujourd'hui. Le réchauffement du Crétacé supérieur et la remontée des eaux sont en relation avec la grande diversification des Foraminifères planctoniques.

Les glaces étaient absentes des pôles. Les dinosaures migraient des régions froides vers les régions chaudes à chaque changement de climat (PALEOMAP Project 1999).

Le climat de la terre est aussi lié à la distribution de l'énergie solaire à la surface du globe, chaud à l'équateur et froid aux pôles, de même pour l'humidité et les pluies. Il est humide à l'équateur, sec aux tropiques, humide dans les zones tempérées et sec aux pôles. Certaines espèces de roches se forment dans des conditions climatiques spécifiques :

- la houille se produit dans les endroits humides ;
- la bauxite là où il fait chaud et humide ;
- les évaporites (roches sédimentaires composées de sel, de potasse et de gypse, formées par l'évaporation rapide de l'eau de mer dans des lagons) et les calcites (variété stable du carbonate de magnésium) se produisent là où il fait chaud et sec ;
- les tillites (roche sédimentaire déposée par des glaciers) se produisent là où il fait humide et froid.

La distribution de ces roches anciennes nous renseigne donc sur la nature du climat et les changements continentaux au travers des modifications climatiques (PALEOMAP Project 1999) (Figure 55) :



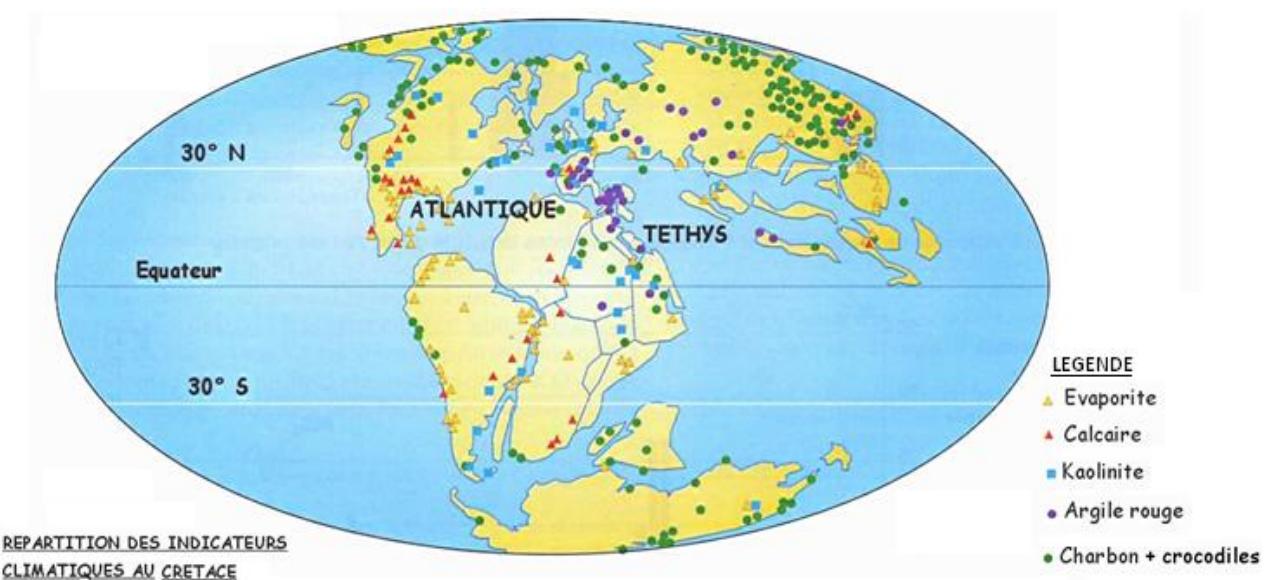


Figure 55 : Répartition mondiale de quelques roches sédimentaires au Crétacé (PALEOMAP, 2000)

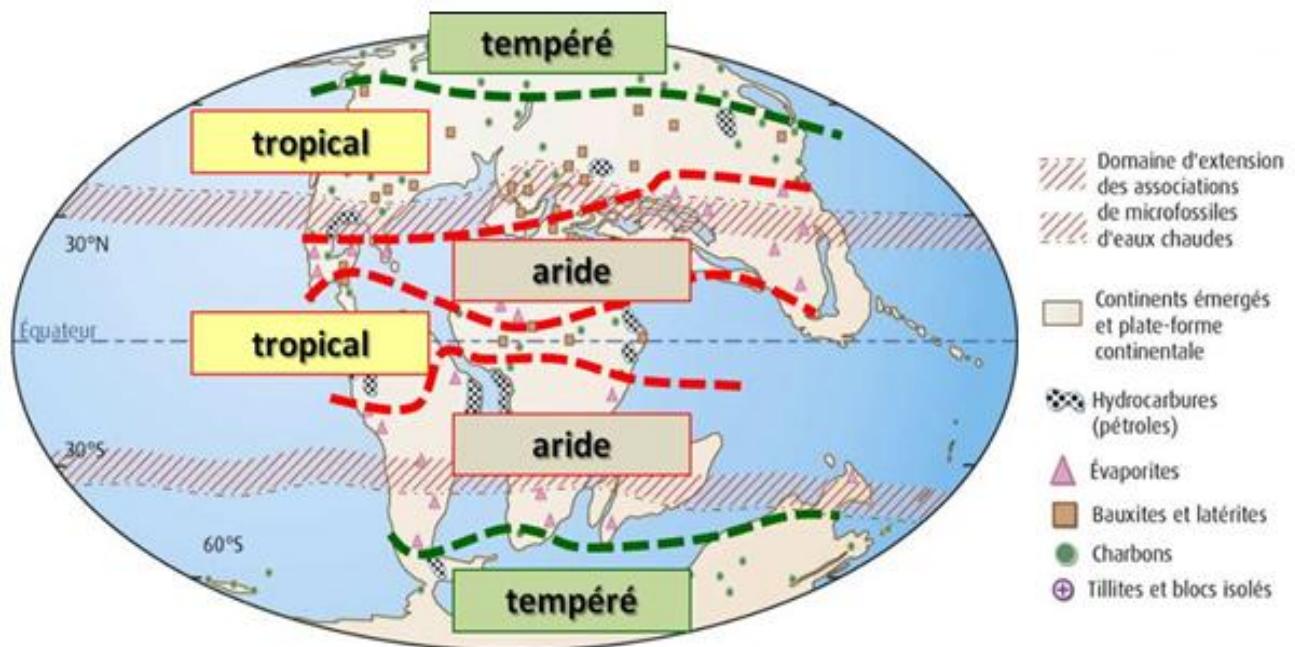


Figure 56 : Paléoclimat du globe au Crétacé (PALEOMAP, 2000)

Conclusion

Le détachement progressif de Madagascar par rapport à l'Afrique débute au Carbonifère.

Au Jurassique supérieur (-165 Ma) la période de rift océanique se rencontre en Somalie, au bassin de Comores et conduit à la séparation du bloc Madagascar-Inde de l'Afrique. La répartition géographique des genres ou des espèces de microfossiles rencontrés dans ce travail confirme le détachement de Madagascar de l'Afrique.

CONCLUSION GENERALE

Pour l'étude de l'intervalle Jurassique supérieur – Crétacé inférieur, les gisements des régions d'Andranomavo et d'Antsalova sont très importants par sa richesse en fossiles (macrofossiles et microfossiles). L'application des différentes méthodes (techniques, mécaniques, physico-chimiques et statistiques) aux échantillons récoltés dans les sites étudiés a permis d'atteindre les objectifs de cette thèse. La détermination des microfossiles a été réalisée dans les deux régions aux fins d'inventorier et d'identifier 35 espèces des Foraminifères, 10 espèces d'Ostracodes et des spicules de Spongaires. Les Foraminifères possèdent une proportion élevée (jusqu'à 91,5%) par rapport aux Ostracodes (8,5%).

En ce qui concerne la microfaune, ces sites sont marqués par la prédominance des Foraminifères benthiques (jusqu'à 98% de l'association) surtout dans les niveaux supérieurs des Formations (niveau II et III). Les formes planctoniques sont très rares (2%), représentés par un seul genre *Protoglobigerina*.

Les analyses géochimiques des éléments majeurs (SiO_2 , CaO et MgO) montrent que les teneurs en SiO_2 et CaCO_3 sont complémentaires, alors que le pourcentage en MgO est très faible.

Les formations dans les deux régions étudiées sont en général subdivisées en trois grands niveaux (niveau I, II et III). Cette subdivision est confirmée par la dépendance entre les espèces et les niveaux. L'étude biostratigraphique de ces deux régions montre que leurs Formations sont entièrement marines allant du Callovien à l'Hauterivien :

- niveau I : Callovien,
- niveau II : Oxfordien – Portlandien (Jurassique supérieur),
- niveau III : Berriasien – Hauterivien (Crétacé inférieur).

La corrélation stratigraphique dans les différents sites des deux régions de la présente étude avec la stratigraphie antérieure proposée par V. HOURCQ (1950) & M. COLLIGNON (1959-1960) a réaffirmé les subdivisions stratigraphiques des formations :

- marnes à *Bélemnites*,
- marnes à *Duvalia*,
- marnes à Ammonites,
- marnes à *Bélemnites* et à *Aptychus*,...

La comparaison biostratigraphique dans les différents sites permet de vérifier que le site d'Andranomavo I et d'Antsalova I possèdent une grande similitude au niveau des associations faunistiques homogènes. Les Formations d'Andranomavo II et de Komihevitra comparées avec le site d'Antsalova présentent une différenciation nette concernant les associations faunistiques déterminées hétérogènes.

Les espèces rencontrées dans les différents niveaux des sites d'études préfèrent les zones relativement peu profondes des plate-formes externes (circalittoral, avec une profondeur de 0 à

200 mètres). Les Ostracodes sont assez bien conservés dans un milieu marin ouvert à moyenne énergie avec un transport faible et hydrodynamisme peu important. La proportion très élevée des Foraminifères à test hyalin par rapport aux formes agglutinées signifie que les zones d'études appartiennent aux mers chaudes. La teneur en MgO faible dans les différents sites indique que les deux régions sont en général caractérisées par un climat chaud.

L'étude phylogénétique des Foraminifères rencontrés permet de connaître que les Foraminifères calcaires benthiques (formes agglutinées et hyalines, début Cambrien) sont probablement issus des Foraminifères agglutinés (formes agglutinées seulement, avant le Cambrien).

Le détachement progressif de Madagascar par rapport à l'Afrique débute au Carbonifère.

Au Jurassique supérieur (165 Ma) la période de rift océanique se rencontre en Somalie, au bassin de Comores et conduit à la séparation du bloc Madagascar-Inde de l'Afrique. Le déplacement de Madagascar s'est terminé au Crétacé inférieur (Aptien inférieur, vers 115 Ma).

La distribution géographique des microfossiles marins est en relation avec l'ouverture de l'Océan et la subduction de la Téthys. Les deux régions étudiées montrent une richesse en petits Foraminifères benthiques à salure normale. Les Formes planctoniques sont absentes dans les étages du Jurassique supérieur. Les niveaux marins élevés et les climats chauds du Crétacé supérieur favorisent la diversification des formes planctoniques. Les données apportées par les Ostracodes dans l'intervalle du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur sont très importante pour confirmer la relation structurale entre Madagascar et la côte Est de l'Afrique. La distribution du genre *Majungaella* (GREKOFF, 1963 & WATLEY et al. 1966) appuie l'ajustement de détachement de Madagascar des côtes Kenya-Tanzanie. Le présent travail contribue à une meilleure connaissance de la biostratigraphie, de la paléoécologie et de la paléobiogéographie par le biais de la microfaune.

Les microfossiles sont des éléments très importants dans la recherche et l'exploration pétrolière, dans l'implantation des ouvrages d'arts et des grands travaux (tunnels, barrages, ponts, routes, ...). Dans ce cas, il est nécessaire de faire les études des associations microfauniques contenues dans les sédiments pour la précaution d'exploration ou des travaux à risques.

Cette étude possède des intérêts socio-économiques (amendements, constructions,...) et environnementaux (conservation des microfossiles pour faciliter l'étude comparée et phylogénétique jusqu'aux formes actuelles) à développer avec d'autres recherches scientifiques et technologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ADAMS A. E., MAKENZIE W.S., GUILFORD C. (1994). - Atlas des roches sédimentaires, *103 p.*
2. ANDRIAMALALA F. (1995).- Contribution à l'Etude des Microfossiles du Jurassique du Bassin de Morondava, *Mém. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B.*, *p.57-59.*
3. ARNAUD M., MOLEAU C. (1979).- Etude de l'evolution d'une plate forme carbonaté : exemple de la Provence au Jurassique (Hettangien – Oxfordien.) : Analyse sédimentaire et reconstitution du milieu de sédimentation. Stratigraphie, paléontologie. *These Univ. de Provence*, *344 p. 27pl.*
4. BESAIRIE H. (1930).- La Géologie du Bassin de Majunga à Madagascar. *Serv. Géol. Tan. Trav. Serv. Géol. Tananarive n° 172 pp. 156-183.*
5. BESAIRIE H. (1932). Fossiles caractéristiques du Nord et du Nord-Ouest de Madagascar. *Ann. Géol. Serv. Mines. Madagascar. T II.*
6. BESAIRIE H. (1936).- Recherches géologiques à Madagascar – La géologie du Nord-Ouest. *Mém. Acad. Malgache TXXI.*
7. BESAIRIE H. & COLLIGNON M. (1956).- Le système Crétacé à Madagascar. *Serv. Géol. Tana 66 p. Trav. Bur. Géol. N° 77.*
8. BESAIRIE H. (1964).- Carte géologique Madagascar, Service Géologique de Madagascar, Tananarive, 3 feuilles,
9. BESAIRIE H. & COLLIGNON M. (1971).- Géologie de Madagascar. Les terrains sédimentaires. *Ann. géol. Mad. fasc XXXV.*
10. BESAIRIE H. (1972).-Precis de géologie de Madagascar. *Serv. Géol. De Madag. Tana., 36, 463p.*
11. BRONNIMANN P. (1986).- Revue de paléobiologie, benthos, Symposium International sur les Foraminifères Benthiques, *partie I*, *p.231.*
12. BRUNO Granier et al. (2001).- Court traité de Foraminiféralogie : L'essentiel sur les Foraminifères actuels et fossiles.
13. COLLIGNON M. (1959).- Atlas des Fossiles caractéristiques de Madagascar, *Fascicule V.*

- 14.** CRASQUIN-SOLEAU, BRACCINI E. et LETHIERS F. (1998).- What about Ostracoda ! *mémoire 20, Paris Brieville (France)*, 432 p.
- 15.** COMBEMOREL R. (1988).- Les Bélemnites de Madagascar, 239 p., 53 fig., 5 tableaux, 23 pl., *doc. Lab. Géol. Lyon* ; n° 104.
- 16.** CHAMLEY H., (2000).- Bases de sédimentologie 2ème édition, DUNOD, *Paris* 1987, 420p.
- 17.** COFFIN M.F., RABINOWITZ P.D. (1988).- East African-Madagascar marins and the Western Somali basin. *Special paper, Geol. Soc. Am. Boulder, CO*, 226, 78p.
- 18.** DENIZOT G. (1978).- Atlas des Fossiles, Fossiles Jurassiques et Crétaciques, *fascicules II*, 95 p., 23 pl.
- 19.** DEPECHE F. (1973).- Etude des Ostracodes du Dogger du bassin Parisien, *in Atlas des Ostracodes de France*, p. 120 – 145.
- 20.** DEPECHE F. (1985).- Etude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique inférieur et moyen de Causse du Quercy.
- 21.** DU PUY D. J., MOAT J. (2003).- Using Geological Substrate to Identify and Map Primary végétation in Madagascar and the Implication for Planning Biodiversity Conservation *in Natural History of Madagascar, Ed. Steven Goodman and Jonathan P. Benstead, Univ. Chicago Press*, P. 51-77.
- 22.** ESPITALIE J. & SIGAL J. (1963).- Contribution à l'étude des Foraminifères du Jurassique supérieur et du Néocomien du bassin de Majunga. *Ann. géol. Madagascar, fasc. XXXII*, 99 p., XXXVI pl.
- 23.** FRÖHLICH F. (1996).- La position de Madagascar dans le cadre de l'Evolution Geodynamique et de l'Environnement de l'Océan Indien, Biogeographie de Madagascar, *Laboratoire de Géologie, Museum National d'Histoire Naturelle 43, rue de Buffon 75005 Paris France*, p. 19 – 26.
- 24.** GREKOFF N. (1963).- Contribution à l'étude des Ostracodes du Mésozoïque moyen (Bathonien-Valanginien) du bassin de Majunga, Madagascar, *Ann. géol. Madagascar, fasc. XXXIII*, 167 p., 10 pl.
- 25.** GEORGE DENIZOT (1978) : Atlas des fossiles (fossiles Jurassiques et Crétaciques), 7^e édition *Saint – Michel Paris VI*.
- 26.** HOURCQ V. (1950).- Les terrains sédimentaires de la région de Morondava. *Ann. Géol. Serv. Mines, Madagascar*, 109 p.

- 27.** HOURCQ V. et BESAIRIE H. (1935).- Stratigraphie du Jurassique supérieur de Madagascar, *C.R. Acad. 201*, p. 288.
- 28.** HERTZIER J.R. et BURROUGHS R.M. (1971).- Madagascar's Paleoposition : new data from the Mozambique Channel. *Science, 174*, pp. 488-490.
- 29.** JARVIS G.T. (1984).- An extensional model of graben subsidence. The first stage of basin evolution. In *Jansa L.F., Burollet P.F. et Grant A.C.: basin analysis, principles and applications: Sedimentary Geology, 40*, p. 13-3.
- 30.** KUNTZ G. (1962).- Etude stratigraphique du bassin de Morondava. *Trav. Bur. Géol. Serv. Géol.*, Tananarive, n° 107.
- 31.** LALAOHARIJAONA R. R. & BIZON J. J. (1985).- Stratigraphie du forage Manambolo-I, 23 p.
- 32.** LALAOHARIJAONA R. R. (1993).- Evolution de la marge Ouest malgache au Jurassique. Le bassin de Morondava entre les fleuves Tsiribihina et Mangoky (Madagascar), *Thèse. Doct., Univ. Paris VI*, 279 p.
- 33.** LEBRUM P. (1996).- Ammonites, première partie : Mollusques et Céphalopodes, anatomie des Ammonoïdes, 95p.
- 34.** LOEBLICH A. & TAPPAN H. (1987). - Foraminiferal genera and their classification. - Van Nostrand Reinhold, *New York*, vol. 1, 970 p.; vol. 2, 212 p., 847 pls.
- 35.** LEFORT Apolline (2011).- Limite Oxfordien-Kimméridgien (Jurassique supérieur) Stratigraphie et paléoenvironnements dans les domaines Téthysien (Est et Sud du bassin de Paris, France) et Boréal (Île de Skye, Ecosse). *Thèse de Doctorat, Univ. Henri Poincaré*, 303 p.
- 36.** LALAHARISAINA J.V., FERRAND J.V. (1994).- Cretaceous my hold promise in Mahajanga basin, Madagascar, *oil Gas J.*, vol1, p. 55-58.
- 37.** NEWMAN M. (1967).- Manuel de Micropaléontologie des Foraminifères. Ed. *Gauthiers – Villars, Paris, Tome I*, p. 1- 297, 182 fig., 60 pl.
- 38.** NEWMAN M. (1986). - Annales Paléontologiques (extrait) : Deux étapes dans la phylogénie de Genre *Siderolites* (Foraminifères), *volume 72, Fascicule 2, Paris, New York, Barcelone, Milan*.
- 39.** OERTLI H. J. (1971).- Paléoécology of Ostracodes, *vol.5*, 953 p.
- 40.** OERTLI H. J. (1985).- Atlas des Ostracodes de France (Paléozoïque – Actuel), *Rech.Explor.-Prod.Elf-Aquitaine, Mém. 9*, 387 p.

- 41.** OERTLI H. J. (1985).- Colloque sur la paléoécologie des Ostracodes. *Soc. Nat. des Pétroles d'Aquitaine, vol 5, p.22-25.*
- 42.** PIVETAU J. (1952).- Traité de Paléontologie, *Tome premier, 782 p.*
- 43.** PIVETAU J. (1952).- Traité de Paléontologie, *Tome II, 790 p.*
- 44.** RAYMOND C. MOORE (1961). - Treatise on Invertebrate Paleontology, *Part Q Arthropoda 3, Crustacea, Ostracoda, 442 Q.*
- 45.** RASOANAIVO W. (1964).- Le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur du Sud du bassin de Majunga (Etudes des Microfaunes), *rapport 581.*
- 46.** RASOAMIARAMANANA A. (1982).- Etude des principales Familles et Sous-familles d'Ammonites représentées à Madagascar, *Mem. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., p. 11- 22.*
- 47.** REY J. (1983).- Biostratigraphie et lithostratigraphie (Principes fondamentaux, méthodes et applications). *Institut français du Pétrole, 181p, 105 figs, 10 tabl.*
- 48.** RAMASIZANABOLA J. de D. (1986).- Etude micropaléontologique préliminaire du Jurassique supérieur d'Ankilizato dans la Bassin de Morondava. *Mem. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., 71p, 22 pl.*
- 49.** RAZAFIMBELO E. (1987).- Le bassin de Morondava (Madagascar) : Synthèse géologique et structurale, *Thèse. Doct. Ing. univ. L. Pasteur. Strasbourg, 256 p.*
- 50.** RAHANTARISOA L. J. (2007).- Biostratigraphie et Paléoecologie du Maastrichtiens de Berivotra (Mahajanga). *Thèse de Doct., Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., 140 p.*
- 51.** RAKOTONDRAZIMBA J. G. (1995).- Contribution à l'étude de rifting malgache dans la région de Menabe du bassin de Morondava du Permo - Carbonifère au Jurassique supérieur, *p. 10.*
- 52.** RAKOTOMALALA R. H. N. (2002).- Les *Mantelliceras* et *Puzosia* du Cénomanien inférieur dans le secteur de l'Onilahy bassin de Morondava, Madagascar, *Thèse Doct., Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., 193 p, 5pl.*
- 53.** RAJAOMAZAVA F. (1992).- Etude de la subsidence du bassin de Morondava (Madagascar) dans le cadre de l'évolution géodynamique de la marge Est – Africaine, Centre Géologique et Géophysique Université des Sciences et Techniques du Languedoc 34095 – Montpellier, cedex 5 – France, *204 p.*

- 54.** RAFARA A. H. (1987).- Le Jurassique moyen et supérieur et le Néocomien de la région de Tsaramandroso, bassin de Mahajanga, Madagascar : étude micropaléontologique et Biostratigraphie. *Thèse de Doct. Univ. Claude Bernard, Lyon, 166p.*
- 55.** RABINOWITZ, COFFIN, FLAVEY (1983).- The separation of Madagascar and Africa. *Science, 220, pp. 67-69.*
- 56.** RAFAMANTANANTSOA J. G. (1987).- Contribution à l'étude micropaléontologique d'une tourbière de Marotampona-Betafo (W Antsirabe) essai d'interprétation paléobiochimique et paléoécologique-valorisation, *Mém. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., p 23-27.*
- 57.** REOLID M. (2008).- Taphonomic features of Lenticulina as a tool for paleoenvironmental interpretation of midshelf deposits of the upper Jurassic (prebetic zone, southern Spain). *Palios 23: 482-494.*
- 58.** REOLID M. et al. (2008).- Foraminiferal assemblages as paleoenvironmental bioindicator in late Jurassic epicontinenetal platforms : relation with trophic conditions. *Paleontologica Polonica 53: 705-722.*
- 59.** RANTOSOA A. (2011).- Connaissances structurale par les méthodes gravimétriques et magnétique de l'Ouest et du Nord-Ouest des Madagascar -Contribution à l'étude de potentialité en ressources pétrolières. *Mém. rech. DEA, Ecole Supérieur Polytechnique Tana., 65 p.*
- 60.** RAZAFINDRAZAKA G., DALY D., POZZI J.P. et BLACK R. (1976).- Position de Madagascar dans le Gondwana à partir de l'étude magnétique des formations Karoo. *C. R. Acad. Sci., Paris, 282, p. 17-21.*
- 61.** STOREY et al. (1997).- Cretaceous basalt in Madagascar and the transition between plume and continental lithosphere mantle sources, in Mahoney, J.J., COFFIN. Large igneous provinces. Continental, oceanic and planetary flood volcanism: *American Geophysical Union. Geophysical monograph 100, p. 95-120.*
- 62.** SCOTSESE et al (1988). - Plate tectonic reconstruction of the Cretaceous and Cenozoic ocean basins. *Tectonophysics, 155p: 27-48.*
- 63.** SEGOUFIN J. & P. PATRIAT (1981).- Reconstructions de l'Océan Indien occidental pour les époques des anomalies M21, M2 et 34. Paléopositions de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr. (7), 23 : 603-607.*
- 64.** SEGOUFIN J. (1981).- Morphologie et structure du canal de Mozambique ; *Thèse Doct., Univ. Louis Pasteur de Strasbourg, 236 p, 68 fig.*
- 65.** SAITO T., HILLMAN N.S., JANAL M.J. (1980).- Catalogue of planctonic Foraminifera: Mesozoic. *Amer. Mus. of Nat. Hist., New York, vol6, part 2.*

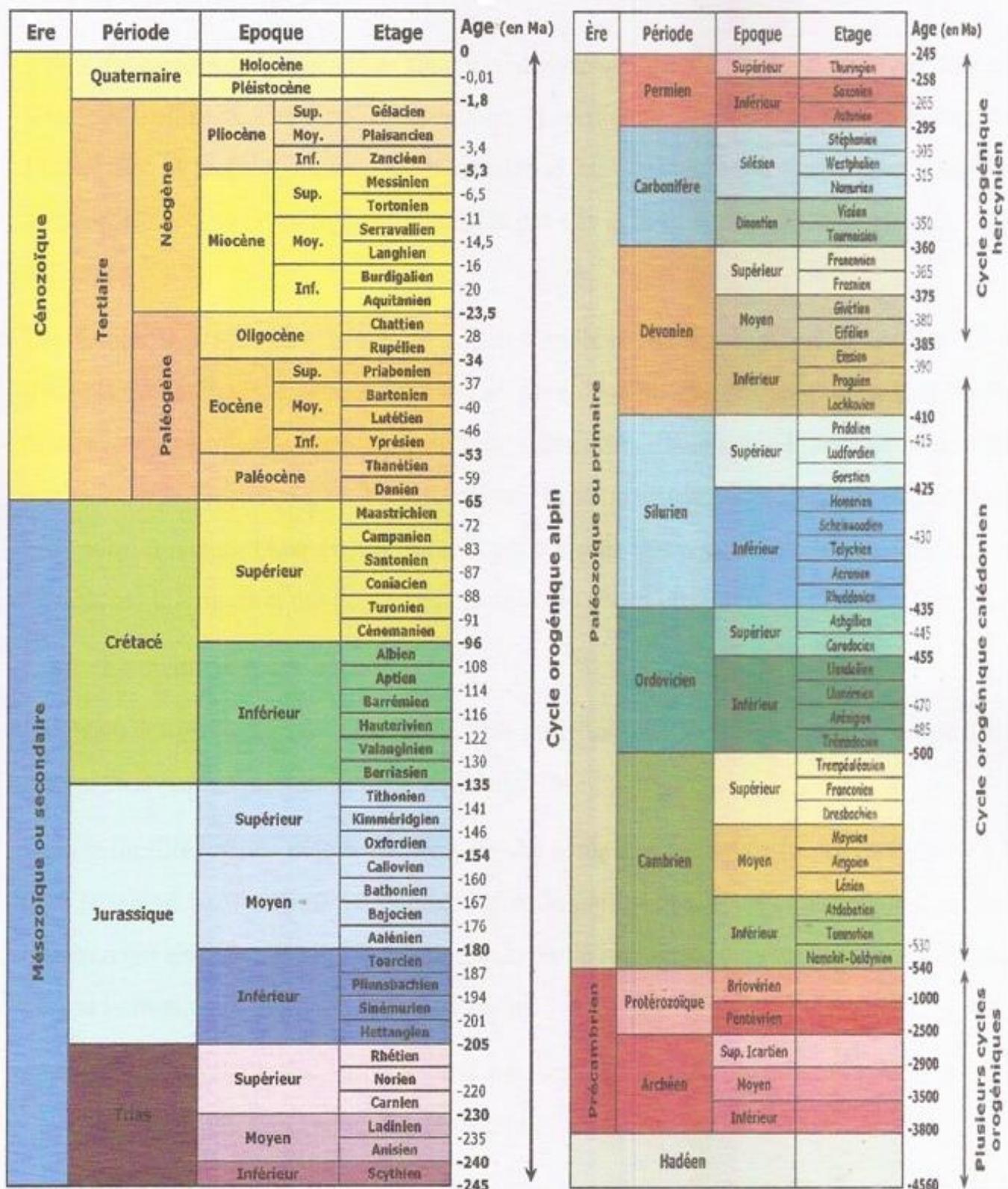
- 66.** VOAHANGINIRINA H. H., (1993).- Contribution à l'Etude biostratigraphique des Phylloceratidae Bathoniens et Calloviens d'Annkilizato-Soaravikely centre bassin Morondava, *Mém. Stage DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B.*, p.34 et 35.
- 67.** VITAMARINA (1995).- Contribution à l'étude des Ammonites pyriteuses du Callovien de la région de Begidro-Tsiribihina (Bassin de Morondava), *Mém. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B.*, p. 5.
- 68.** VINCENT M.P. BOUCHET (2007).- Dynamique et réponse fonctionnelle des Foraminifères et de la Macrofaune benthique en zone Ostréicole dans le pertuis charentais, *Thèse de Doctorat Sciences de la Terre de l'Univers, Univ. D'Angers*, p. 70 – 73 ; 86 – 87.

WEBOGRAPHIE

- 1- Les milieux de sédimentations (J. BEAUCHAMP, 2013) ;
Page web: <http://www.u-picardie.fr/beaucham/cours-sed/sed-2.htm>, consulté le 12 Février 2014.
- 2- La sédimentation littorale carbonatée (J. BEAUCHAMP, 2013) ;
Page web: <http://www.u-picardie.fr/beaucham/cours-sed/sed-8.htm>, consulté le 18 Février 2014.
- 3- La pétrologie sédimentaire, Univ. de Liège (BOULVAIN, 2014) ;
Page web: <http://www.epoc.u.bordeaux.fr/fr/eqsedimento.htm>, consulté le 12 Mars 2015.
- 4- Le « Principe d'Actualisme » (JAMES-HUTTON, 1726-1797) ;
Page web: <https://fr.wikipedia.org/wiki/James-Hutton>, consulté le 14 Février 2015.
- 5- Histoire de la Géologie, Editions La Découverte, Paris, (G. Gohau, 1987) ;
Page web: <http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/gohau-histoire-geologie.html>, consulté le 20 Mai 2015.
- 6- L'Essentiel des Foraminifères (MURRAY, 1991) ;
Page web: https://www.paleopolis.rediris.es/cg/CG2010_BOOK_02/fr-index.html
consulté le 22 Mars 2015.
- 7- Test d'homogénéité - Test d'indépendance ;
Page web: <https://www.unt-ori2.crihan.fr/...Tests Comparaisons/co/06-3-1%20introduction.html>,
consulté le 14 Mars 2015.
- 8- Introduction à la Micropaléontologie (G.BIGNOT, 2001);
Page web: https://fr.wikipedia.org/wiki/Gérard_Bignot
consulté le 13 Mars 2015.

ANNEXES

Echelle stratigraphique



**LES MICROFOSSILES DU JURASSIQUE SUEPRIEUR ET DU CRETACE INFÉRIEUR DU
NORD D'ANDRANOMAVO I, BASSIN DE MAHAJANGA, MADAGASCAR**
PAR

RASOLOFOTIANA Edmond¹, RAMAKAVELO Geneviève², RAFAMANTANANTSOA Jean Gervais³

¹ Mention Bassins sédimentaires, Evolution, Conservation (B.E.C.), Doctorant à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo BP 906, Madagascar

² Mention Bassins sédimentaires, Evolution, Conservation, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo BP 906 – Membre Associé de l'Académie Malgache, Madagascar,

³ Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (C.N.R.I.T.), Professeur titulaire à la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo et à l'Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra (I.S.T.A.), – Membre Titulaire de l'Académie Malgache, Madagascar.

Fintina

Ireo sisan-karingana bilitika, zara raha taza-maso sy amin'ny lopy mpanita-jery no nenti-mandinika ny nofon-tany, ny vatoifaika ary ny momba azy avy. Karazana Foraminifera miisa enina ambin'ny folo (16) sy Voangoroafono roa (2) no azo tao amin'ny banjan'Andranomavo I, Mahajanga. Ireo sisan-karingana ireo no anakarana ny haitontoloainanelan sy ny jeografia mitety vanimpotoana. Nampiasaina ny paika samihafa ara-mekanika, ara-fizika sy simia, ara-antotan'isa. Nahazoam-bokatra maro nahafahana nanadihady lalina sy nanaovana fampitaha tamin'ireovoka-pikarohana samihafa, mifara hatrany amin'ny voka-pikarohana vaovao, hanohizana ny asa manaraka amin'ny lafiny fampiharana ara-tsiansa sy arateknolojika.

Teny mafonja : Banjan'ny Mahajanga-Sisan-karingana bilitika-Haivatofaika-Haitontoloainanelan-Haivohontaniela.

Résumé

L'étude biostratigraphique de la formation d'Andranomavo I (bassin de Mahajanga) a permis de déterminer 16 espèces de Foraminifères et 2 espèces d'Ostracodes. Cette formation est subdivisée en trois niveaux par les associations microfaunistiques rencontrées et correspond à des étages stratigraphiques allant du Callovien à l'Hauterivien. Le site d'Andranomavo I a été caractérisé par un milieu peu profond (0 à 200 mètres) à salure normale avec un climat chaud. La distribution géographique et la ressemblance des microfossiles observés confirment la séparation de Madagascar de l'Afrique de l'Est. Cette étude possède des intérêts socio-économiques et environnementaux à développer avec d'autres recherches scientifiques et technologiques.

Mots clés : Bassin de Mahajanga- Microfossiles-Stratigraphie-Paléoécologie-Paléogéographie.

Abstract

Biostratigraphy study of Andranomavo I formation (Mahajanga basin) identifies 16 Foraminifera species and 2 Ostracoda species. This formation is divided into three levels by faunal associations, according to stratigraphy stages from Callovian to Hauterivian. Andranomavo I is characterised by shallow areas (0 to 200 meters), normal salinity and hot climate. Geographical distribution and similarity of observed microfossils confirm the separation of Madagascar with East Africa. This study has socio-economic and environmental interests to develop with other scientific and technological researches.

Key words : Mahajanga basin – microfossils – stratigraphy-paleoecology-paleogeography.

INTRODUCTION

Le site au Nord d'Andranomavo I (bassin de Mahajanga) a attiré beaucoup de chercheurs, par sa richesse en fossiles (macro et microfossiles), surtout les paléontologues.

L'étude biostratigraphique et paléoécologique du Jurassique supérieur -Crétacé inférieur de la formation d'Andranomavo I a pour objectif de dégager les intérêts scientifiques et socio-économiques qui en résultent de l'étude micropaléontologique et de géotechnologique.

Le principe consiste à :

- inventorier les microfossiles de dimensions comprises entre 0,05 mm et quelques mm, les plus petits sont inférieurs à 50 µm,
- étudier les associations faunistiques,
- appliquer le principe de l'actualisme.

1. Les travaux antérieurs

Des chercheurs géologues et /ou paléontologues, universitaires et /ou pétroliers ont effectué des travaux concernant l'étude des fossiles (macro et microfossiles) du Jurassique et du Crétacé dans la partie Sud du bassin de Mahajanga :

- L. BARRABE (1929), V. HOURCQ (1934), H. BESAIRIE (1938), J. de Saint- OURS (1952), M. COLLIGNON (1952), (HINDERMEYER de l'IFP, 1959) ; (B. GUENOT, E. RAZAFIMBELO, A. de VENDEGIES (1964) de la S.P.M.: étude géologique et recherche pétrolière ;
- J.ESPITALIE & J. SIGAL (1963) : une étude détaillée sur les Foraminifères du Jurassique supérieur et du Néocomien du bassin de Mahajanga ;
- GREKOFF N. (1963) : description de 55 formes d'Ostracodes du Mésozoïque moyen (Bathonien-Valanginien) du bassin de Mahajanga ;
- RASOANAIVO W. (1963) : recensement des microfaunes du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur du Sud du Bassin de Mahajanga, ...

2. Bassin de Mahajanga

Les limites du bassin de Mahajanga sont parfois soulignées par une falaise bordière des hauts plateaux. Ce bassin se présente comme un empilement d'assises sédimentaires s'étend du Cap Saint-André au Sud-Ouest, à l'Océan Indien au Nord-Est, soit sur plus de 600 km. La surface actuelle des terrains émergés est de 7000 km² environ. Le bassin se prolonge sous le canal de Mozambique par un shelf étroit sauf à l'extrême Ouest (Cap Saint-André) et au Nord (entre Nosy-Be et la presqu'île de Diego).

3. Localisation de la zone d'étude

Le site au Nord d'Andranomavo I se trouve à 6 km au Nord du village d'Andranomavo et se situe à 60 km Sud – Est de Soalala (région Melaky).

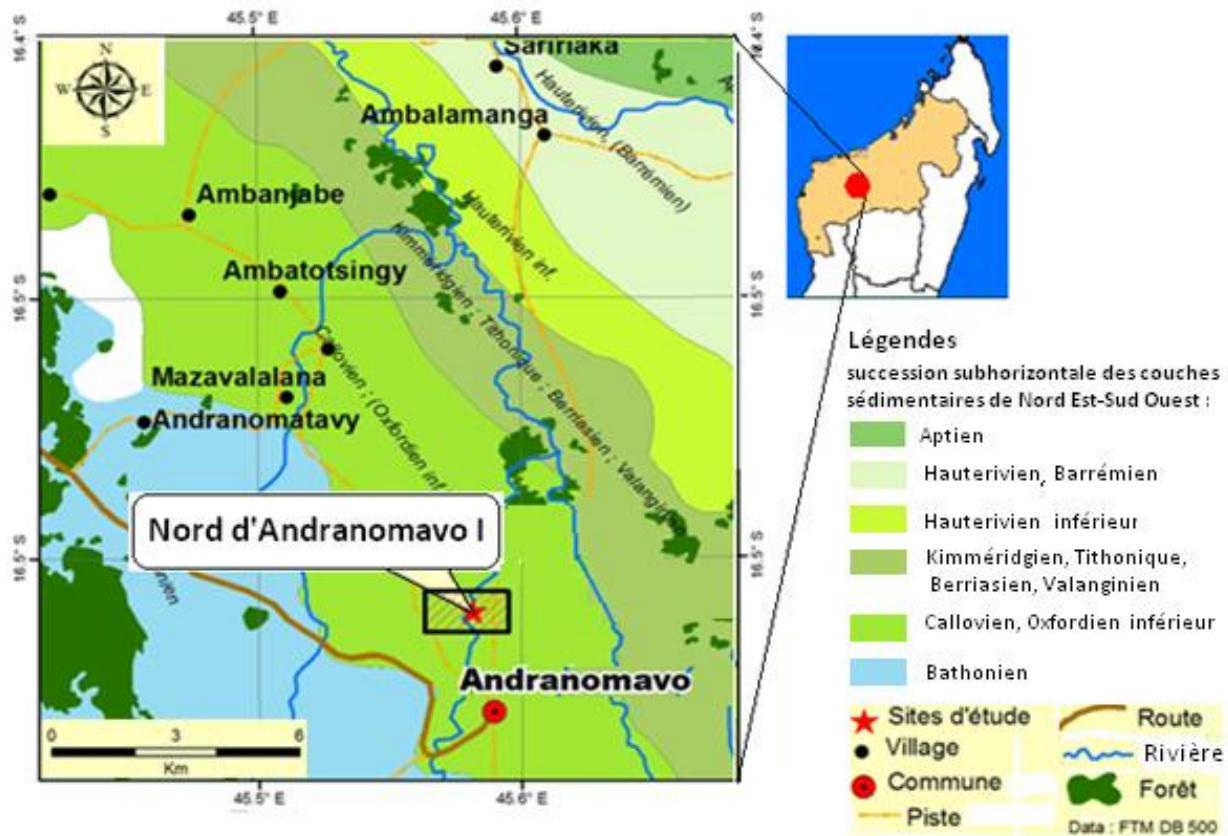


Figure 1 : Localisation de site d'études au Nord d'Andranomavol (RASOLOFOTIANA E., 2016)

| Etage | JURASSIQUE MOYEN | | JURASSIQUE SUPÉRIEUR (163,5 – 152,1 Ma) | | | CRATACE INFÉRIEUR (145,5 - 99,6 Ma) | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-------|---|-------|------|-------------------------------------|-------|-------|------|------|--|--|
| | Cal. | Oxf. | Kim. | Port. | Ber. | Val. | Hau. | Bar. | Apt. | Alb. | | |
| Age absolu (en Million d'année) | 166,1 | 163,5 | 157,3 | 152,1 | 145 | 139 | 132,9 | 129,4 | 125 | 113 | | |

Cal. : Callovien, Oxf. : Oxfordien, Kim : Kimméridgien, Port. : Portlandien, Ber. : Berriasiens, Val. : Valanginien, Hau. : Hauerivien, Bar. : Barrémien, Apt : Aptien, Alb. : Albiens

METHODOLOGIE

1. Echantillonnage des sédiments

Le matériel étudié provient des échantillonnages effectués dans la formation marneuse au Nord d'Andranomavol I. Les coordonnées géographiques ont été prises par G. P.S. (Geographical Positioning Système). Les prélèvements des échantillons et les coupes ont été faits dans ce site.

La prise des échantillons a été effectuée sur des sédiments non altérée et encore en place, donc nous avons prélevé à des profondeurs suffisantes pour obtenir des échantillons frais. Le prélèvement, environ 400 g, a été répertorié par un numéro inscrit sur le sachet plastique. Une étiquette portant le numéro a été glissée également à l'intérieur du sachet. Les notes et les observations concernant les coupes étudiées répertoriées ont été enregistrées dans un carnet de terrain pour complément d'informations.

2. Traitements physico-chimiques et géochimiques des sédiments

Des échantillons de sédiments ont été trempés dans du pétrole. Après une heure, le pétrole a été remplacé par de l'eau bouillante, on a aussi obtenu une sorte de boue.

Le lavage des sédiments a été réalisé dans des séries de tamis à mailles croissantes : 100 μ , 200 μ , 500 μ , sous un jet d'eau du robinet, jusqu'à l'obtention du filtrat clair. Le résidu a été récupéré dans trois boites de pétris différentes qui porteront les numéros des échantillons ; séché à l'étuve à 70°C pendant 2 heures ou à l'air libre pendant 48 heures. Il faut noter qu'après chaque lavage, il est important de brosser, puis plonger dans une solution de bleu de méthylène 5% pendant une ou 2 minutes afin de marquer les résidus coincés entre les mailles susceptibles de se mélanger aux lavages ultérieurs.

L'analyse géochimique des éléments majeurs (SiO₂, CaO, MgO) permet de compléter les renseignements paléoécologiques des microfossiles, des indications sur la nature des sédiments, la profondeur et la température du milieu.

3. Triage et comptage des microfossiles

Le tri et le comptage des microfossiles ont été réalisés par la sélection des tests :

- nature du test : agglutiné, calcaire,
- la forme : planctonique, benthique.

Le tri de 300 à 400 individus s'avère nécessaire et important pour l'établissement des fréquences relatives des différents taxons et aussi aux calculs statistiques de Khi-deux (ou test d'indépendance).

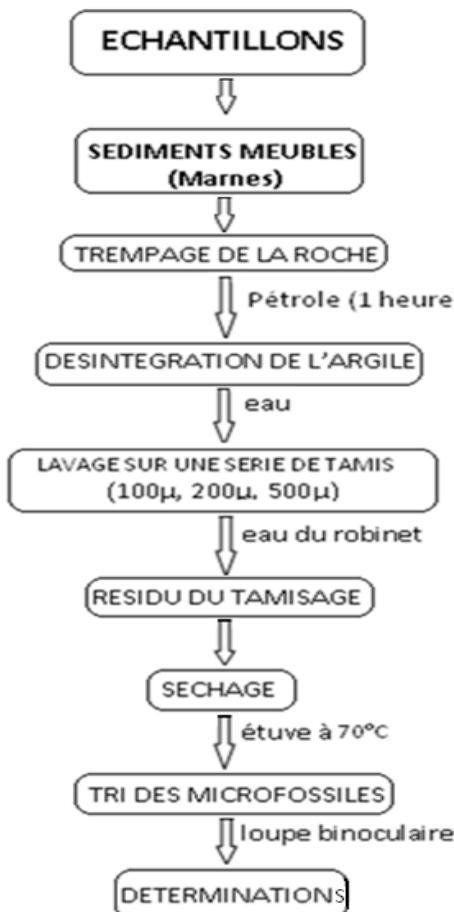


Figure 2 : Traitement physico – chimique des sédiments.

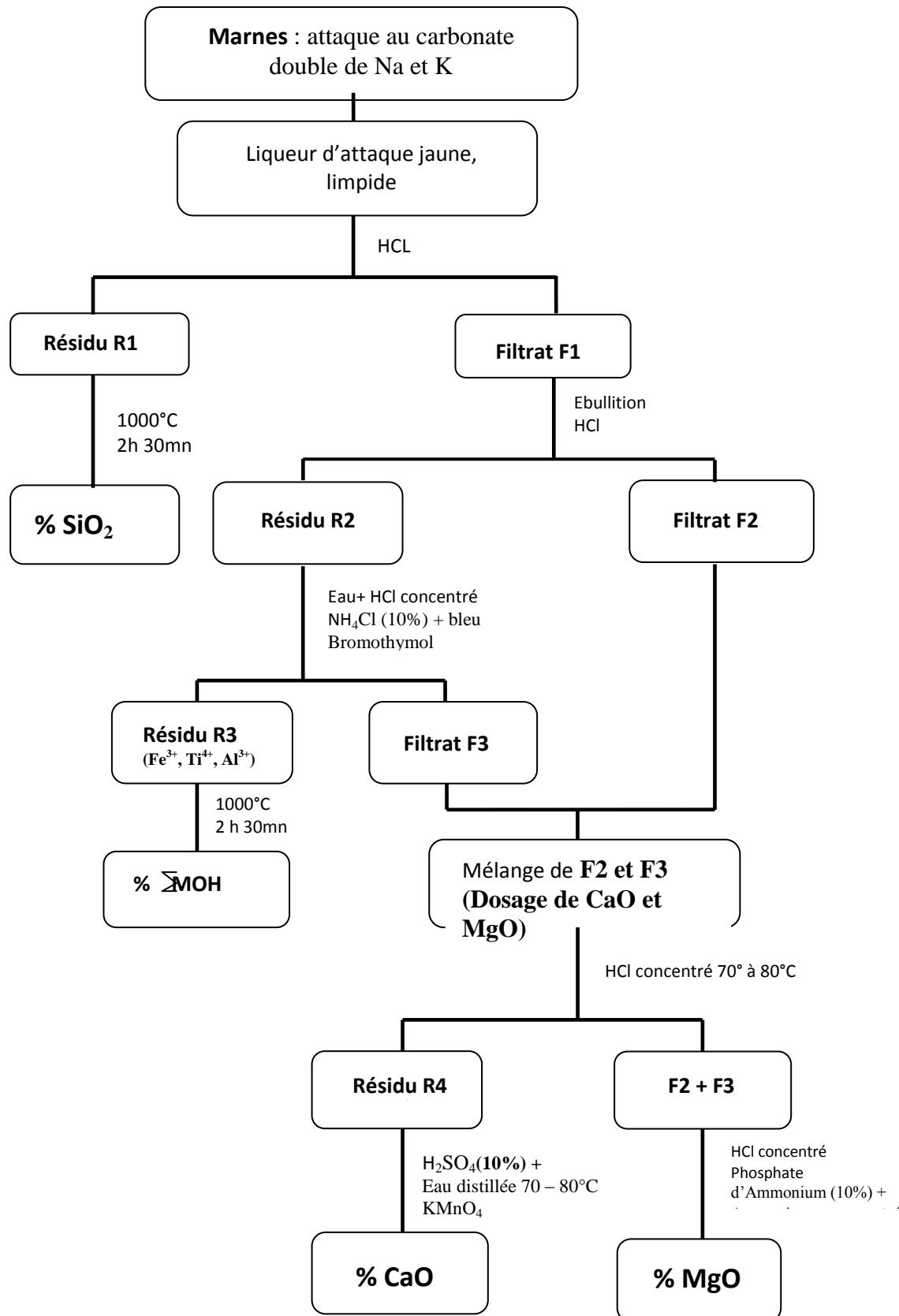


Figure 3 : Analyse géochimiques des sédiments.

RESULTATS

1. Lithostratigraphie

1.1 La coupe au Nord d'Andranomavo I

Les coordonnées géographiques sont : SUD : 16°33' 14.7"
EST : 45° 33'35.1"

La coupe au Nord d'Andranomavo I se situe à 6 kilomètres au Nord du village d'Andranomavo. Elle est constituée généralement de bas en haut par des marnes sur une épaisseur de 19,55 mètres (Figure 14) :

| ÂGE | ÉPAISSEUR (mètres) | N° ÉCHANTILLON | COUPE | LITHOLOGIE |
|----------------------|--------------------|------------------|-------|--|
| JURASSIQUE INFÉRIEUR | 2,30 | NAI ₅ | | Marne jaune gréseuse à Bélemnites et à Ammonites |
| | 9,25 | NAI ₄ | | Marne jaune tachetée de blanche |
| | 2,75 | NAI ₃ | | Marne jaune à grain grossier de quartz |
| | 3,5 | NAI ₂ | | Marne jaune rouge finement gréseuse |
| | 1,75 | NAI ₁ | | Marne jaune à grise tachetée de blanche |

NAI : Site au Nord d'Andranomavo I

Figure 4 : Coupe lithologique au Nord d'Andranomavo I

1.2 La composition faunistique

La composition faunistique dépend de la variation du niveau de la mer (eustatisme), (BAUCHAMP J., 2013). Elle change avec le temps et les caractéristiques des sédiments. Les Foraminifères sont très abondants dans les marnes ; par contre, ils sont très rares, voire absents dans les dépôts détritiques.

Les Foraminifères benthiques sont très abondants de bas en haut dans la formation étudiée.

Notons la prédominance des Foraminifères hyalins par rapport aux agglutinés et aussi la présence de quelques nouvelles espèces de Foraminifères benthiques.

Tableau 1 : Répartition des Foraminifères et des Ostracodes au Nord d'Andranomavo I (NAI).

| Echantillons | NA ₁ | NA ₂ | NA ₃ | NA ₄ | NA ₅ |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Nombre de Microfossiles | | | | | |
| Foraminifères benthiques hyalins | 96 | 102 | 151 | 156 | 213 |
| Foraminifères benthiques agglutinés | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 |
| Nombre total des Foraminifères | 96 | 102 | 151 | 183 | 213 |
| Ostracodes | 19 | 12 | 37 | 42 | 52 |

Le site au Nord d'Andranomavo I marqué par l'augmentation du nombre des microfossiles (Foraminifères et Ostracodes) allant de la base de la formation (échantillon NAI₁) jusqu'au sommet (échantillon NAI₅). Ce site est caractérisé par des nombres très élevés de Foraminifères (effectifs de 96 à 213), mais les nombres des Ostracodes sont assez rares (nombres des Ostracodes : 12 à 52).

Après les observations des microfossiles à la loupe binoculaire. Les déterminations des taxons (Famille, Genre et espèce) grâce aux catalogues et aux bibliographies caractéristiques du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur.

Les principaux microfossiles rencontrés sont :

- Les Foraminifères,
- Les Ostracodes.

2. Les Foraminifères

Les déterminations, les comparaisons des différentes formes observées ont été effectuées à partir des descriptions et figurations holotypiques. Plusieurs critères ont été utilisés pour leur classification. La classification a été établie sur les caractères morphologiques de leurs tests. Quelques espèces sont laissées en nomenclature ouverte par la présence des variations des caractères par rapport aux formes connues.

La classification adoptée est celle d'ESPITALIE & SIGAL (1963), LOEBLICH & TAPPAN (1964).

CLASSIFICATION :

Règne : **ANIMAL**

Embranchement des **PROTOZOAires**

Sous- embranchement des **RHIZOPODES**

Classe des **GRANULO-RETICULOSA**

Ordre des **FORAMINIFERIDA EICHWALD, 1830**

Les Foraminifères observés dans le gisement au Nord d'Andranomavo I sont dominés par des Foraminifères benthiques et les formes planctoniques sont absentes.

Sous-ordre TEXTULARIINA DELAGE et HEROUARD, 1896

Famille TEXTULARIIDAE EHRENBERG, 1838

Sous-famille TEXTULARIINAE EHRENBERG, 1838

Genre *Textularia* DEFRENCE, 1824.

***Textularia* sp.** (photo 1, planche)

Test agglutiné, forme triangulaire élancée, loges biséries de taille croissante au nombre de 7, et séparées par des sutures déprimées. Ouverture en fente à la base de la dernière loge.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien– Berriasiens.

Sous-ordre ROTALIINADELAGE et HEROUARD, 1896

Super -famille NODOSARIACEA EHRENBERG, 1838

Famille NODOSARIIDAE EHRENBERG, 1838

Sous-famille de NODOSARIINAE EHRENBERG, 1838

Genre *Astacolus*

***Astacolus mutilatus* ESPITALIE & SIGAL, 1963**, (photo 2, planche)

Test hyalin, peu comprimé, périphérie subaiguë carénée. Face orale triangulaire plane. Loges au nombre de 10, séparées par des sutures régulièrement arquées et légères qui vont en s'accentuant vers le centre. Ouverture radiée. La variation se manifeste surtout au niveau de la taille et des sutures.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Hauterivien.

***Astacolus aff. insecta* SCHWAGER, 1865**, (photo 3, planche)

Test hyalin, très simple, de petite, taille formé de 9 loges relativement renflées, séparées par des sutures arquées et déprimées profondément.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Oxfordien inférieur.

***Lenticulina* sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963**, (photo 4, planche)

Test hyalin, lenticulaire épais, loges nombreuses (7-11) séparées par des sutures arquées, disposées tangentiallement par rapport au disque. Ouverture radiée et une périphérie aiguë. La variation se traduit : dans le degré d'aplatissement latéral du test et dans le nombre de loges et même dans les sutures.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₄)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Hauterivien

***Lenticulina collignonii* ESPITALIE & SIGAL, 1963**, (photo 5, planche)

Test hyalin à face latérale ornée de côtes longitudinales, un peu obliques s'arrêtant brusquement au dessus de la partie supérieure déprimée de la loge précédente. Loges au nombre de 6 séparées par des sutures déprimées. La variation essentielle est dans le mode d'ornementations c'est-à- dire plus ou moins rugueuse.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₃)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien inférieur.

***Lenticulina subtilis* WISNIOWSKI, 1890, (photo 6, planche)**

Test hyalin, petit, involute, ombiliqué, caréné, composé de 8 loges, séparées par des sutures fines arquées, puis légèrement déprimées. La variation se manifeste sur le degré d'involution, le déroulement jusqu'au stade *Astacolus*.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁).

Répartition stratigraphique : Callovien – Valanginien.

***Lenticulina cf. secans var. angulosa* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Test hyalin, involute avec légère tendance au déroulement, assez aplati, à périphérie carénée. Loges au nombre de 9 jusqu'au dernier tour, sutures arquées, en crête en relief. Ouverture radiée et face orale triangulaire.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅).

Répartition stratigraphique : Berriasien – Hauterivien.

***Marginulina gracilissima* REUSS, 1892, (photo 7, planche)**

Test hyalin, allongé caractérisé par la dernière spire formée de 5 loges renflées. Les sutures sont déprimées et presque horizontales. Ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Berriasien.

***Marginulina* sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, (photo 8, planche)**

Test hyalin, macrosphérique à loges légèrement renflées. Loges au nombre de 5 séparées par des sutures déprimées assez obliques. Ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Oxfordien

***Marginulopsis embaensis* FURSENKO ET POLENOVA, 1950, (photo 9, planche)**

Test hyalin, arqué, parcouru par des côtes parallèles et franchissant les sutures qui sont au ras du test et à peine déprimés sur la fin. Loges au nombre de 6 et ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien – Berriasien.

***Neoflabellina lanceolata* MAMONTOVA, 1957, (photo 10, planche)**

Test allongé, en forme de losange, avec la partie initiale unisériée. Les sutures en léger relief sur les premières loges, puis en crête limbée dans les sillons suturaux légèrement déprimés. Ouverture radiée.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₂).

Répartition stratigraphique : Callovien supérieur- Oxfordien.

***Planularia madagascariensis* ESPITALIE & SIGAL, 1963, (photo 11, planche)**

Test hyalin, déroulé, comprimé, en éventail, bord ventral légèrement tronqué, bord dorsal pourvu d'une carène et régulièrement arqué. Loges au nombre de 8, étroites, séparées par des sutures légèrement

limbées, à peine déprimées. Ornements constituées par des courtes rides peu élevées obliques par rapport au bord dorsal.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₂, NAI₃).

Répartition stratigraphique : Callovien moyen – Berriasien.

***Saracenaria compacta* ESPITALIE & SIGAL, 1963**

Test hyalin, composé des loges nombreuses unisériées. Sutures très nettes très faiblement inclinées.

La variation se manifeste essentiellement dans le nombre de loges unisériées.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅)

Répartition stratigraphique : Portlandien supérieur – Hauterivien.

***Lingulina* sp. ESPITALIE & SIGAL, 1963, (photo 12, planche)**

Test hyalin, légèrement comprimé, allongé, qui s'évase lentement et régulièrement et devenant subparallèle, non orné, à loges relativement longues séparées par des sutures déprimées horizontales.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Portlandien.

***Epistomina ventriosa* ESPITALIE & SIGAL, 1963, (photo 13, planche)**

Test d'assez forte taille biconvexe, profil à peu près symétrique. Loges au nombre de 6 séparées par des sutures limbées et très légèrement en relief.

Gisement : Marnes d'Andranomavo (NAI₄)

Répartition stratigraphique : Kimméridgien - Berriasien

Genre *Globulina* d'ORBIGNY, 1824

***Globulina* sp. (photo 14, planche)**

Test uniséries et allongé à surface lisse. Loges au nombre de 4 séparées par des sutures très inclinées et peu déprimées, Extrémité inférieure pointue, ouverture tubulaire.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁,)

Répartition stratigraphique : Callovien moyen

3. Les Ostracodes

Les Ostracodes sont des Crustacés dont le corps est entièrement enfermé dans une carapace constituée de deux valves, le plus souvent calcaire, articulée dorsalement. Ils occupent tous les milieux : eaux douces, lagunaires ou marines.

CLASSIFICATION :

Règne **ANIMAL**

Embranchement des **ARTHROPODES**

Classe des **CRUSTACES**

Sous - classe des **OSTRACODES**

La classification adoptée pour la description des Ostracodes est celle proposée par GREKOFF N. (1963).

***Cytherella index* OERTLI, 1959, (photo 15, planche)**

L'espèce *Cytherella index* est caractérisée entre autre par la présence d'une angulosité à l'extrémité postérieure, à la valve droite, au dessous de laquelle cette valve est tronquée sous un angle de 30° environ par rapport à la verticale.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₁, NAI₃, NAI₄)

Répartition stratigraphique : Callovien inférieur- Oxfordien.

***Cytherella ex gr. pyriformis* CORNUEL 1846, (photo 16, planche)**

Forme moins comprimée en vue dorsale et relativement moins allongée, tout en étant plus grande.

Gisement : marnes d'Andranomavo (NAI₅).

Répartition stratigraphique : Kimméridgien – Portlandien

4. Autres fossiles de Céphalopodes :

- Ammonites : *Holcophylloceras*
- Bélemnites : *Hibolites semicanaliculatus*

A noter que 5 espèces de Foraminifères sont laissées en nomenclature ouverte : *Textularia* sp., *Lenticulina* sp., *Marginulina* sp., *Lingulina* sp., *Globulina* sp.

Tableau 2 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques des trois niveaux I, II et III dans le site du Nord d'Andranomavo I.

| N° | NIVEAUX ESPECES | I | | II | | III | | Totaux |
|---------------|--|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------------|
| | | ni | ni' | ni | ni' | ni | ni' | |
| 1 | <i>Textularia</i> sp. | 0 | 10 | 27 | 11 | 0 | 7 | 27 |
| 2 | <i>Astacolus mutilatis</i> | 30 | 11 | 0 | 12 | 0 | 8 | 30 |
| 3 | <i>Astacolus</i> aff. <i>insecta</i> | 38 | 14 | 0 | 15 | 0 | 10 | 38 |
| 4 | <i>Lenticulina</i> sp. | 95 | 72 | 106 | 78 | 0 | 51 | 201 |
| 5 | <i>Lenticulina subtilis</i> | 49 | 18 | 0 | 19 | 0 | 12 | 49 |
| 6 | <i>Lenticulina collignonii</i> | 0 | 27 | 75 | 29 | 0 | 19 | 75 |
| 7 | <i>Lenticulina secans</i> var. <i>angulosa</i> | 0 | 22 | 0 | 24 | 61 | 15 | 61 |
| 8 | <i>Planularia madagascariensis</i> | 57 | 41 | 56 | 44 | 0 | 28 | 113 |
| 9 | <i>Marginulina</i> sp. | 34 | 12 | 0 | 13 | 0 | 9 | 34 |
| 10 | <i>Marginulinopsis embaensis</i> | 0 | 13 | 37 | 14 | 0 | 9 | 37 |
| 11 | <i>Marginulina gracillicima</i> | 0 | 24 | 0 | 26 | 67 | 17 | 67 |
| 12 | <i>Neoflabellina lanceolata</i> | 21 | 8 | 0 | 8 | 0 | 5 | 21 |
| 13 | <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | 0 | 19 | 0 | 21 | 53 | 13 | 53 |
| 14 | <i>Saracenaria compacta</i> | 0 | 12 | 0 | 13 | 33 | 8 | 33 |
| 15 | <i>Epistomina ventriosa</i> | 0 | 10 | 32 | 12 | 0 | 8 | 32 |
| 16 | <i>Globulina</i> sp. | 25 | 9 | 0 | 10 | 0 | 6 | 25 |
| 17 | <i>Cytherella index</i> | 31 | 27 | 44 | 29 | 0 | 19 | 75 |
| 18 | <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | 0 | 31 | 35 | 34 | 52 | 22 | 87 |
| Totaux | | 380 | | 412 | | 266 | | 1058 |

N° 1 à 16 : Foraminifères, **n° 17 et 18 :** Ostracodes, **ni**: effectifs théoriques pour test de Khi-deux, **ni'** : effectifs observés.

Les effectifs observés dans le niveau II du site d'Andranomavo I sont élevés par rapport au niveau I et III.

Tableau 3: Résultats d'analyse géochimique des échantillons

| Eléments chimiques en % Echantillons | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Perte au feu | Humidité |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|--------------|----------|
| NAI ₁ | 40.05 | 1.05 | 12.50 | 3.50 | 1.50 | 21.10 | 4.05 | 3.05 |
| NAI ₂ | 49.05 | 1.50 | 14.05 | 4.05 | 1.05 | 20.50 | 5.50 | 3.50 |
| NAI ₃ | 43.50 | 1.50 | 13.50 | 3.50 | 1.50 | 19.05 | 9.50 | 2.50 |
| NAI ₄ | 41.50 | 0.5 | 0.5 | 2.50 | 1.10 | 31.50 | 20.50 | 1.50 |
| NAI ₅ | 44.05 | 1.50 | 1.50 | 3.05 | 1.05 | 28.05 | 19.50 | 2.05 |

Le pourcentage de MgO est très faible par rapport celle de SiO₂ et de CaO.

DISCUSSION

1. Biostratigraphie

L'intervalle du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur a été choisi, car c'est la période des premières proliférations des microfossiles benthiques à Madagascar, les planctoniques étant encore à leur formes primitives : *Protoglobigerines* et *Hedbergelles*.

Les associations faunistiques rencontrées permettent de subdiviser en trois niveaux la formation au Nord d' Andranomavol.

Les trois niveaux correspondent à des étages stratigraphiques allant du Callovien à l'Hauterivien :

- niveau I : Callovien,
- niveau II : Oxfordien – Kimméridgien – Portlandien (Jurassique supérieur),
- niveau III : Berriasien – Valanginien–Hauterivien (Crétacé inférieur).

La biozonation basée sur les Foraminifères benthiques s'opère au niveau régional et en correspondance avec les macrofaunes qui possèdent également un bon pouvoir de résolution biochronostratigraphique.

Il est bien évident que le monde microscopique se présente qualitativement et quantitativement pour autant important et vaste que le monde macroscopique.

| NIVEAUX ESPECES | I | | II | | III | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | CAL. | OXF. | KIM. | POR. | BER. | VAL. | HAU. |
| <i>Astacolus aff. insecta</i> | | | | | | | |
| <i>Marginulina sp.</i> | | | | | | | |
| <i>Neotlabellina lanceolata</i> | | | | | | | |
| <i>Cytherella index</i> | | | | | | | |
| <i>Planularia madagascariensis</i> | | | | | | | |
| <i>Lenticulina sp.</i> | | | | | | | |
| <i>Lenticulina subtilis</i> | | | | | | | |
| <i>Lenticulina collignoni</i> | | | | | | | |
| <i>Marginulina gracillicima</i> | | | | | | | |
| <i>Epistomina ventriosa</i> | | | | | | | |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | | | | | | | |
| <i>Textularia sp.</i> | | | | | | | |
| <i>Lingulina sp.</i> | | | | | | | |
| <i>Marginulinopsis embaensis</i> | | | | | | | |
| <i>Astacolus mutilatis</i> | | | | | | | |
| <i>Lenticulina secans var. angulosa</i> | | | | | | | |
| <i>Vaginulina (Citharina) sparicostata</i> | | | | | | | |
| <i>Saracenaria compacta</i> | | | | | | | |

CAL. : Callovien, OXF. : Oxfordien, KIM. : Kimméridgien, BER. : Berriasiens, VAL. : Valanginien, HAU. : Hauterivien.

Figure 5 : Répartition stratigraphique des microfossiles rencontrés dans le site du Nord d' Adranomavo I.

La répartition des microfossiles dans les trois niveaux (I, II, III) de la formation de la région d'Andranomavo est très variée. Par conséquent, les espèces rencontrées dans chaque niveau ne sont pas les mêmes.

Pour vérifier la variation des espèces dans les différents niveaux, nous avons intérêt à appliquer le « test d'indépendance ».

H₀ : la distribution des espèces et les niveaux sont indépendants dans le site au Nord d'Andranomavo I.

H₁ : la distribution des espèces et les niveaux sont dépendants dans le site au Nord d'Andranomavo I.

D'après le tableau de contingence (Tableau 2) :

$$X_c^2 = 18 \frac{(n_{t \cdot} - n_{\cdot t})^2}{n_{\cdot \cdot}} = 1328,98$$

La valeur de X_c^2 calculée est supérieure à la valeur X_t^2 seuil lue dans la table de Khi-deux pour un risque d'erreur 0,01 et de degré de liberté 16, l'hypothèse nulle est rejetée. La répartition des espèces et les différents niveaux dans le site d'Andranomavo I sont très dépendants.

Ce test vérifie la subdivision stratigraphique de la formation par les associations faunistiques (espèces) rencontrées.

2. Paléoécologie

L'étude paléoécologique est déterminée par l'association faunistique fossile contenu dans les sédiments.

La variation du milieu de dépôt est caractérisée à partir des variations des faunes.

L'étude écologique des formes fossiles est essentiellement basée sur celles des individus actuels. La paléoécologie se base fréquemment sur le principe de l'Actualisme (JAMES HUTTON, 1726-1797).

Un tel raisonnement implique d'admettre que les espèces considérées vivent actuellement dans le même milieu que par le passé.

Certaines espèces peuvent alors être considérées comme des témoins de milieux de sédimentation pour les fossiles de faciès.

2.1 Niveau I

Le niveau I est assez riche en faune : Foraminifères benthiques et Ostracodes.

Chez les Foraminifères, certains individus sont caractéristiques d'une profondeur comme le genre *Marginulina* qui se situe à une profondeur moins de 200 mètres (circalittoral).

Les Ostracodes sont moins abondants. Les valves sont assez bien conservées, ce qui indique un transport faible et un hydrodynamisme peu important. L'abondance des formes lisses indique un milieu moins riche en carbonate.

2.2 Niveau II

Les Foraminifères et les Ostracodes sont très abondants dans le niveau II. Notons la présence des macrofossiles d'Ammonites et des Bélemnites.

Certains genres Foraminifères sont caractéristiques d'une profondeur (PHLEGER, 1951) :

- le genre *Saracenaria* est caractéristique d'eau peu profonde et chaude, se situant à 110 mètres de profondeur.
- le genre *Marginulina* se trouve à une profondeur moins de 200 mètres

Pour les Ostracodes, les valves sont assez bien conservées, ce qui témoigne d'un transport faible et d'un hydrodynamisme peu important.

2.3 Niveau III

Le niveau est marqué par une réduction de la faune surtout aux nombres des espèces et des individus.

Chez les Foraminifères, quelques genres caractérisent une profondeur comme :

- genre *Saracenaria* caractéristique d'eau peu profonde et chaude, qui se situant à 110 mètres de profondeur ;
- genre *Marginulina* affectionne les zones peu profondes, se situant à moins de 200 mètres.

Chez les Ostracodes, les valves sont bien conservées, ce qui est en relation avec le mode de transport (faible ou nul).

La prédominance des Foraminifères benthiques confirme que le milieu est à salure normal (CHAMLEY H., 2000).

L'abondance des Foraminifères à test hyalins indique que le milieu appartient aux mers chaudes.

3. Paléobiogéographie

La distribution géographique des microfossiles marins (Foraminifères, Ostracodes) est en relation avec l'ouverture de l'Océan et la subduction de la Téthys. En effet, on peut voir la similitude et l'évolution des organismes dans chaque partie après la dislocation du continent.

Quelques genres ou espèces de microfossiles rencontrés dans ce travail ont été trouvés dans de nombreux gisements de Madagascar et décrits aussi dans des différents pays du monde.

Tableau 4 : Répartition paléobiogéographique des Foraminifères et des Ostracodes.

| Foraminifères et Ostracodes | MADAGASCAR | | AUTRES PAYS |
|-------------------------------------|--|----------------------|--|
| | ESPITALIE ET SIGAL(1963) ; GREKOFF N. (1963) | ETUDE PRESENTE | ESPITALIE ET SIGAL1963), GREKOFF N., 1963) |
| <i>Astacolus</i> | Malakialina, Port-Berger, Tsaramandroso, | Nord d'Andranomavo I | Amérique |
| <i>Lenticulina</i> | Antorolava, Ambanjabe, Tsaramandroso, Port- Berger | Nord d'Andranomavo I | Allemagne |
| <i>Marginulinopsis</i> | Tsaramandroso | Nord d'Andranomavo I | Pologne |
| <i>Marginulina</i> | Marobaria, Tsararivotra | Nord d'Andranomavo I | Allemagne |
| <i>Saracenaria</i> | Tsaramandroso | Nord d'Andranomavo I | Allemagne, Pays-Bas |
| <i>Planularia</i> | Malakialina | Nord d'Andranomavo I | Angleterre |
| <i>Lingulina</i> | Malakialina | Nord d'Andranomavo I | Allemagne, Pays-Bas, Texas |
| <i>Epistomina</i> | Antorolava, Ambohimanga, Befotaka, Tsaramandroso, Marokara | Nord d'Andranomavo I | Somalie, Russie |
| <i>Cytherella index</i> | Ihopy | Nord Andranomavo I | Europe Occidentale, Jura Suisse |
| <i>Cytherella ex gr. pyriformis</i> | Andranomavo, Marobaria, Mahajanga, Tsararivotra | Nord d'Andranomavo I | Bassin de Paris |

La relation structurale entre Madagascar et la côte Est de l'Afrique est confirmée par la ressemblance des faunes notamment les microfossiles : le genre *Epistomina* observé dans les différents gisements de Madagascar a été décrit en Somalie. La distribution de ce genre nous amène à supposer que Madagascar s'est détaché de l'Afrique de l'Est (Figure 6).

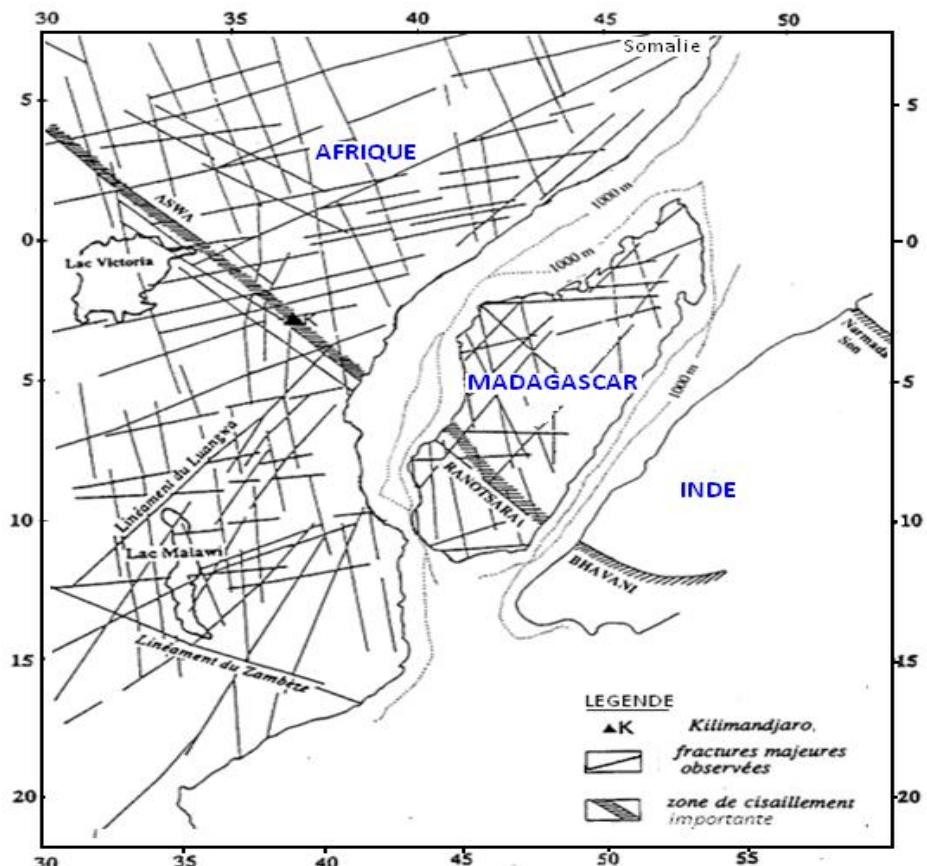


Figure 6 : Ajustement de la position initiale de Madagascar d'après les linéaments tectoniques (RAJAOMAZAVA F., 1992).

CONCLUSION

L'étude biostratigraphique du gisement fossile au Nord d'Andranomavo I permet de déterminer 16 espèces de Foraminifères benthiques et 2 espèces d'Ostracodes.

D'après la répartition stratigraphique des associations faunistiques des microfossiles et les macrofossiles découverts, la formation marneuse au Nord d'Andranomavo I est subdivisée en trois niveaux :

- niveau I : Callovien,
- niveau II : Oxfordien –Portlandien (Jurassique supérieur),
- niveau III : Berriasien–Hauterivien (Crétacé inférieur).

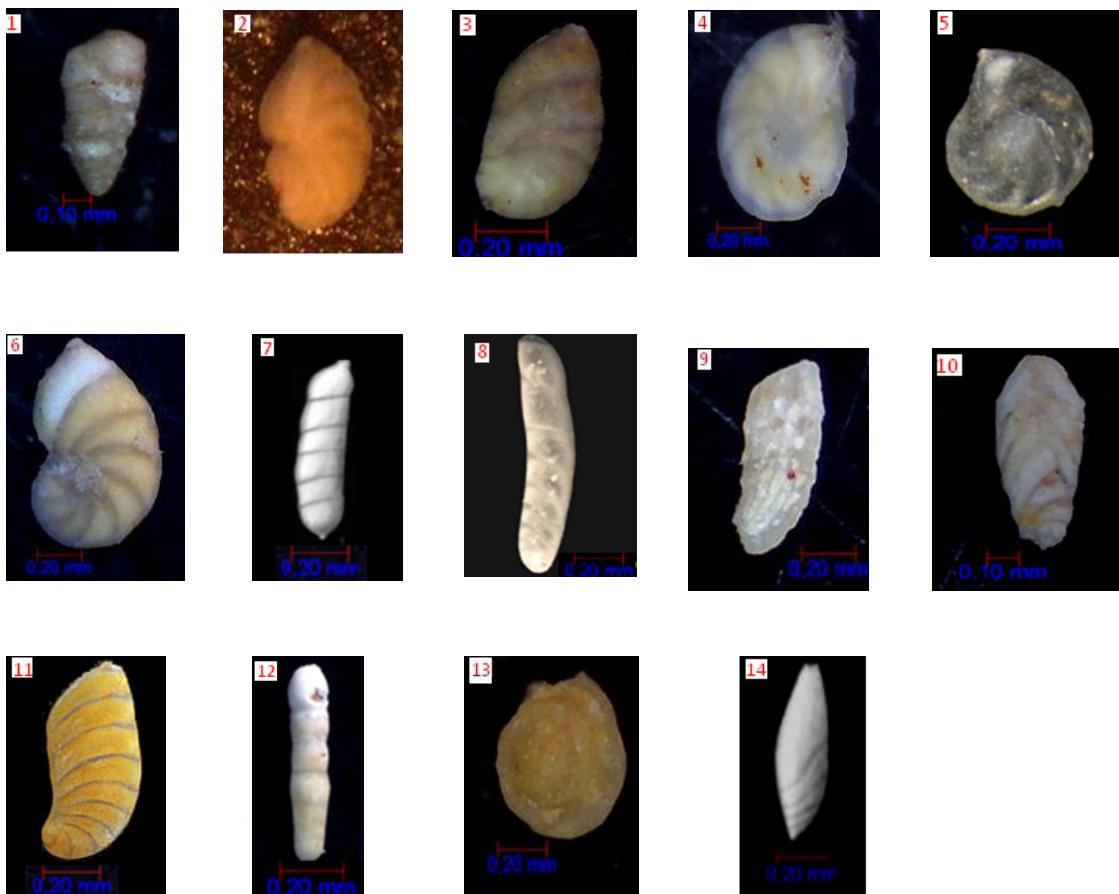
Le site est caractérisé par un milieu peu profond (0 à 200 m) chaud à salure normale.

La distribution géographique des Foraminifères vérifie la séparation de Madagascar avec l'Afrique.

Les microfossiles sont des outils très perfectionnistes pour la détermination l'âge et la nature des couches traversées par le forage lors de la prospection ou l'exploration pétrolière et sur la réalisation des grands travaux : tunnels, barrages, routes,...et ce pour en conclure qu'en matière de roches sédimentaires, rappelons qu'elles possèdent du contenu (marne ou calcaire) et du contenu (les microfossiles et / ou macrofossiles), objet de cette étude, la marne d'après les résultats d'étude géochimique montre un potentiel de valorisation directe ou transformée en matériaux et en amendements agricoles. A noter que la marne est valorisable utilisée en produit d'amendement des cultures afin de rendre les sols moins acides, donc un plus pour l'agriculture et pour le développement en général.

Planche

FORAMINIFERES



1. *Textularia* sp., 2. *Astacolus mutilatus*, 3. *Astacolus* aff. *Insecta*, 4. *Lenticulina* sp., 5. *Lenticulina collignonii*, 6. *Lenticulina subtilis*, 7. *Marginulina gracilissima*, 8. *Marginulina* sp., 9. *Marginulopsis embaensis*, 10. *Neoflabellina lanceolata*, 11. *Planularia madagascariensis*, 12. *Lingulina* sp., 13. *Epistomina ventriosa*.

OSTRACODES



15. *Cytherella index*

16. *Cytherella ex gr. Pyriformis*.

BIBLIOGRAPHIE

1. ESPITALIE J. & SIGAL J. (1963).- Contribution à l'étude des Foraminifères du Jurassique supérieur et du Néocomien du bassin de Majunga. *Ann. géol. Madagascar, fasc. XXXII, 99 p., XXXVI pl.*
2. GREKOFF N. (1963).- Contribution à l'étude des Ostracodes du Mésozoïque moyen (Bathonien-Valanginien) du bassin de Majunga, Madagascar, *Ann. géol. Madagascar, fasc. XXXIII, 167 p., 10 pl.*
3. LOEBLICH A. & TAPPAN H. (1987). - Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold, New York, vol. 1, 970 p.; vol. 2, 212 p., 847 pls.
4. OERTLI H. J. (1971).-Paléoécology of Ostracodes, *vol.5, 953 p.*
5. RAFAMANTANANTSOA J. G. (1987).-Contribution à l'étude micropaléontologique d'une tourbière de Marotampona-Betafo (W Antsirabe) essai d'interprétation paléobiochimique et paléoécologique-valorisation, *Mém. rech. DEA, Univ. Tana., Fac. Sciences, D.P.A.B., p 23-27*
6. CHAMLEY H., (2000). Bases de sédimentologie 2ème édition, DUNOD, Paris 1987 420p.
7. RAJAOMAZAVA F. (1992).- Etude de la subsidence du bassin de Morondava (Madagascar) dans le cadre de l'évolution géodynamique de la marge Est – Africaine, Centre Géologique et Géophysique Université des Sciences et Techniques du Languedoc 34095 – Montpellier, cedex 5 – France, 204 p.
8. RASOLOFOTIANA E. (2016).- Biostratigraphie et Paléoécologie comparée du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur dans les régions d'Andranomavo (bassin de Mahajanga) et d'Antsalova (bassin de Morondava), Madagascar, thèse, Univ. Tana, 189p.

WEBOGRAPHIE

1. Le « Principe d'Actualisme » (James-Hutton, 1726-1797) ;

Page web: <https://fr.wikipedia.org/wiki/James-Hutton>, consulté le 14 Février 2016.

2. La sédimentation littorale carbonatée (J. Beauchamp, 2013) ;

Page web: <http://www.u-picardie.fr/beaucham/cours-sed/sed-8.htm>, consulté le 18 Février 2014.

TABLE DE MATIERES

| | |
|---|----|
| REMERCIEMENTS | i |
| SOMMAIRE | iv |
| PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION | |
| 1. 1 TRAVAUX ANTERIEURS..... | 3 |
| 1.1.1. Bassin de Mahajanga | 3 |
| 1.1.2 Bassin de Morondava..... | 3 |
| 1. 2 CADRE GENERAL..... | 4 |
| 1.2.1. Bassin de Mahajanga..... | 8 |
| 1.2.1.1. Cadre géographique | 8 |
| 1.2.1.2. Cadre structural | 8 |
| 1.2.2. Bassin de Morondava | 10 |
| 1.2.2.1. Cadre géographique | 10 |
| 1.2.2.2. Cadre structural..... | 10 |
| 1.2.3. Le Jurassique supérieur et le Crétacé inferieur du bassin de Mahajanga..... | 12 |
| 1.2.3.1. Le Jurassique supérieur..... | 12 |
| 1.2.3.2. Le Crétacé inferieur..... | 12 |
| 1.2.4. Le Jurassique supérieur et le Crétacé inferieur du bassin de Morondava | 12 |
| 1.2.4.1. Le Jurassique supérieur | 12 |
| 1.2.4.2. Le Crétacé inferieur | 13 |
| 1.2.5. Le Jurassique supérieur et le Crétacé inferieur du secteur d'Andranomavo et d'Antsalova..... | 13 |
| 1.3 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE..... | 15 |
| DEUXIEME PARTIE : BASES METHODOLOGIQUES | |
| 2.1 Echantillonnage | 19 |
| 2.1.1 Echantillonnage des sédiments meubles..... | 19 |
| 2.1.2 Echantillonnage des sédiments indurés | 19 |
| 2.2 Analyse des échantillons pour l'étude des microfossiles | 19 |
| 2.2.1. Cas des sédiments meubles | 19 |
| 2.2.2 Cas des sédiments indurés | 20 |
| 2.3 Analyse géochimique | 23 |
| 2.3.1 Fusion alcaline | 23 |
| 2.3.2 Dosage de SiO ₂ | 24 |
| 2.3.3 Dosage des hydroxydes | 24 |
| 2.3.4 Dosage CaO..... | 27 |
| 2.3.5 Dosage MgO | 28 |
| 2.4 Méthode quantitative | 31 |
| 2.4.1 Calcul des fréquences | 31 |
| 2.4.2 Test d'homogénéité..... | 31 |
| 2.4.3 Test d'indépendance | 33 |
| 2.5 Révision systématique et esquisse phylogénétique | 33 |
| TROISIEME PARTIE : RESULTATS | |
| 3.1. LITHOSTRATIGRAPHIE | 35 |
| 3.1.1 Les coupes au Nord d'Andranomavo | 35 |
| 3.1.1.1 La coupe au Nord d'Andranomavo I..... | 35 |
| 3.1.1.2 La coupe au Nord d'Andranomavo II | 36 |
| 3.1.1.3 La coupe de Komihevitra | 38 |
| 3.1.2 La coupe au Sud d'Antsalova | 39 |
| 3.1.2.1 La coupe au Sud d'Antsalova I | 39 |
| 3.1.2.2 La coupe au Sud d'Antsalova II | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3 Abondance des microfossiles | 43 |
| 3.1.3.1 La Composition des résidus..... | 43 |
| 3.1.3.2 La Composition faunistique..... | 44 |
| 3.2 ANALYSE GEOCHIMIQUE | 47 |
| 3.2.1 Sites d'Andranomavo | 48 |
| 3.2.2 Site d'Antsalova..... | 49 |
| 3.3MICROFOSSILES..... | 49 |
| 3.3.1 Dans la région d'Andranomavo | 49 |
| 3.3.2 Dans la région d'Antsalova | 49 |
| 3.3.3 Les Foraminifères | 52 |
| 3.3.3.1 Les Foraminifères Benthiques..... | 52 |
| 3.3.3.2 Les Foraminifères Planctoniques | 68 |
| 3.3.4 Les Ostracodes..... | 68 |
| 3.3.5 Autres fossiles | 75 |
| 3.3.5.1 Les spicules des Spongiaires..... | 75 |
| 3.3.5.2 Les Macrofossiles | 76 |
| 3.3.6 Microfaciès | 76 |
| 3. 4. CLADOGRAMME DES FORAMINIFERES AU NIVEAU DE LA FAMILLE | 77 |

QUATRIEME PARTIE : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

4.1 BIOSTRATIGRAPHIE

| | |
|--|-----|
| 4.1.1 Biostratigraphie des deux régions dans l'étude présente | 93 |
| 4.1.1.1 La région d'Andranomavo | 93 |
| 4.1.1.2 La région d'Antsalova | 102 |
| 4.1.2 Comparaison biostratigraphique des deux régions | 109 |
| 4.1.2.1 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau I d'Andranomavo I et d' Antsalova I..... | 109 |
| 4.1.2.2 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II d'Andranomavo I et d'Antsalova I | 111 |
| 4.1.2.3 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau III d'Andranomavo I et d'Antsalova I | 113 |
| 4.1.2.4 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II d'Andranomavo II et d'Antsalova I | 115 |
| 4.1.2.5 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau III d'Andranomavo II et d'Antsalova I | 116 |
| 4.1.2.6 Comparaison des espèces rencontrées dans le niveau II de Komihevitra et d'Antsalova I | 119 |
| 4.1.3 Corrélation stratigraphique des différents sites étudiés | 121 |

4.2 PALEOECOLOGIE

| | |
|---|-----|
| 4.2.1 Résultats et interprétations | 124 |
| 4.2.1.1 Région Andranomavo | 124 |
| 4.2.1.2 Région Antsalova | 129 |
| 4.2.2 Paléoécologie comparée des régions d'Andranomavo et d'Antsalova | 132 |
| 4.2.3 Essai de détermination de l'ancêtre des Foraminifère benthiques..... | 142 |

4.3 PALEOGEOGRAPHIE ET PALEOBIOGEOGRAPHIE

| | |
|--|-----|
| 4.3.1. Paléogéographie de Madagascar | 148 |
| 4.3.1.1. Position de Madagascar dans l'ensemble du continent Gondwanien..... | 148 |
| 4.3.1.2 Les données océaniques | 150 |
| 4.3.1.3 Les bassins sédimentaires de la côte ouest de Madagascar | 151 |
| 4.3.1.4. Relation structurale entre Madagascar l'Afrique | 152 |
| 4.3.2. Paléobiogéographie | 155 |
| 4.3.2.1 Les données apportées par les microfossiles | 155 |
| 4.3.2.2 Paléoclimat du globe au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur | 157 |

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|-----|
| Figure 1 : Carte des divisions des blocs pétrolières à Madagascar (Sources : OMNIS) | 2 |
| Figure 2 : Carte géologique simplifiée de Madagascar (H.BESAIRIE, 1964) | 5 |
| Figure 3 : légende de la carte géologique de Madagascar | 6 |
| Figure 4 : légende de la carte géologique de Madagascar | 7 |
| Figure 5 : Schéma structural du bassin de Mahajanga (H. BESAIRIE et M. COLLIGNON, 1971)..... | 9 |
| Figure 6 : Schéma structural du bassin de Morondava (H. BESAIRIE et M. COLLIGNON, 1971)..... | 11 |
| Figure 7 : Localisation des zones d'études..... | 15 |
| Figure 8 : Localisation des sites d'études dans la région d'Andranomavo | 16 |
| Figure 9 : Localisation des sites d'études dans la région d'Antsalova | 17 |
| Figure 10 : Traitement physico – chimique des sédiments meubles et indurés..... | 22 |
| Figure 11 : Analyse géochimiques des sédiments..... | 30 |
| Figure 12 : Coupe lithologique I au Nord d'Andranomavo | 35 |
| Figure 13 : Coupe lithologique II au Nord d'Andranomavo | 36 |
| Figure 14 : Coupe lithologique de Komihevitra | 38 |
| Figure 15 : Coupe lithologique I au Sud d'Antsalova | 39 |
| Figure 16 : Coupe lithologique II au Sud d'Antsalova | 40 |
| Figure 17 : Coupe lithologique de référence (Nord d'Andranomavo I) avec les différents niveaux..... | 41 |
| Figure 18 : Coupe lithologique de référence (Sud d'Antsalova I) avec les différents niveaux | 42 |
| Figure 19 : Répartition des matériaux non biogéniques et des microfossiles dans la région d'Andranomavo (Niveau I, II, III) | 50 |
| Figure 20 : Répartition des matériaux non biogéniques et des microfossiles dans la région d'Antsalova | 51 |
| Figure 21 : Cladogramme de récapitulation des taxons | 81 |
| Figure 22 : Répartition stratigraphiques des microfaunes et des macrofaunes rencontrés | 97 |
| Figure 23 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Andranomavo I | 99 |
| Figure 24 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Andranomavo II | 100 |
| Figure 25 : Courbe de la richesse spécifique des microfossiles d'Andranomavo | 101 |
| Figure 26 : Répartition stratigraphiques des microfaunes et des macrofaunes rencontrés | 105 |
| Figure 27 : Diagramme montrant les pourcentages relatifs des microfossiles dans le site d'Antsalova I | 107 |
| Figure 28 : Courbe de la richesse spécifique des microfossiles d'Antsalova | 108 |
| Figure 29 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau I. d'Andranomavo I et d'Antsalova I | 109 |
| Figure 30 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau II d'Andranomavo I et d'Antsalova I | 111 |
| Figure 31 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau III d'Andranomavo I et d'Antsalova I | 113 |
| Figure 32 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau II d'Andranomavo II et d'Antsalova I | 115 |
| Figure 33 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau III d'Andranomavo II et d'Antsalova I | 117 |
| Figure 34 : Répartition des espèces de Foraminifères et des Ostracodes dans le niveau II de Komihevitra et d'Antsalova | 119 |
| Figure 35 : Corrélation stratigraphique des différents sites étudiés avec la stratigraphie proposée par V. HOURCQ (1950) & M. COLLIGNON (1959- 1960) à Antsalova | 122 |
| Figure 36 : Courbe de répartition de % SiO ₂ , CaO, MgO dans sites d'Andranomavo I | 128 |
| Figure 37 : Courbe de répartition de % SiO ₂ , CaO, MgO dans sites d'Andranomavo II | 129 |
| Figure 38 : Courbe de répartition de % SiO ₂ , CaO, MgO dans site d'Antsalova I | 132 |
| Figure 39 : Emplacement sur un diagramme triangulaire des biocénoses des domaines infra- et circa- littoraux (Murray,1991) | 136 |
| Figure 40 : Variation eustatique du niveau de la mer et paléobathymétrie Jurassique supérieur- Crétacé inférieur (Andranomavo)..... | 138 |
| Figure 41 : Variation eustatique du niveau de la mer et paléobathymétrie Jurassique supérieur- Crétacé inférieur (Antsalova)..... | 139 |
| Figure 42 : Zonation d'un littoral à sédimentation carbonatée (BAUCHAMP J.) | 140 |
| Figure 43 : Diversité des Foraminifères et paléo- environnements. (BRUNO GARNIER et al) | 140 |

| | |
|---|-----|
| Figure 44 : Schéma illustrant l'origine des Foraminifères (Classification et biostratigraphie des principaux protistes fossiles d'après Anne de Vernal & Julie Leduc, 2000 | 142 |
| Figure 45 : Cladogramme regroupant les différents caractères des Familles des Foraminifères rencontrés | 144 |
| Figure 46 : Analyse de Correspondance entre les taxons et les caractères..... | 145 |
| Figure 47 : Phylogramme des Familles des Foraminifères rencontrés..... | 146 |
| Figure 48 : Récapitulation l'essai de détermination l'ancêtre des foraminifères Benthiques (Source : Auteur)..... | 149 |
| Figure 49 : Position de Madagascar au Carbonifère (SCOTese, 2001)..... | 149 |
| Figure 50 : Position de Madagascar à la Jurassique (SCOTese, 1997) | 150 |
| Figure 51 : Position de Madagascar à la fin Crétacé (SCOTese, 1997) | 150 |
| Figure 52 : Reconstitution des déplacements du bloc Antarctique, Madagascar, Inde par rapport à l'Afrique, (FRÖHLICH F., 1996)..... | 151 |
| Figure 53 : Ajustement de la position initiale de Madagascar d'après les linéaments tectoniques (RAJAOMAZAVA F., 1992)..... | 153 |
| Figure 54 : Domaine géodynamique de l'Afrique de l'Est et de Madagascar (RAJAOMAZAVA F., 1992) | 154 |
| Figure 55 : Répartition mondiale de quelques roches sédimentaires au Crétacé (PALEOMAP, 2000) | 158 |
| Figure 56 : Paléoclimat du globe au Crétacé (PEOMAP, 2000) | 158 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Répartition des matériels dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Andranomavo..... | 43 |
| Tableau 2 : Répartition des matériels dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Antsalova | 43 |
| Tableau 3 : partition des microfossiles dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Andranomavo | 44 |
| Tableau 4 : Répartition des microfossiles dans les trois niveaux de la coupe de référence dans la région d'Antsalova | 44 |
| Tableau 5 : Répartition de quelques groupes de Foraminifères benthiques dans les sites de la région d'Andranomavo..... | 45 |
| Tableau 6 : Répartition des Foraminifères et des Ostracodes au Nord d'Andranomavo I | 45 |
| Tableau 7 : Répartition des Foraminifères benthiques au Nord d'Andranomavo II | 46 |
| Tableau 8 : Répartition des Foraminifères et des Ostracodes Komihevitra | 46 |
| Tableau 9 : Répartition des Foraminifères benthiques et des Ostracodes d'Antsalova | 47 |
| Tableau 10 : Analyse géochimique des échantillons | 48 |
| Tableau 11 : Matrice Taxons et Caractères des Foraminifères..... | 79 |
| Tableau 12 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau dans le site d'Andranomavo I..... | 82 |
| Tableau 13 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau. dans le site d'Andranomavo II | 83 |
| Tableau 14 : Tableau de contingence concernant les taxons caractéristiques de chaque niveau dans le site d'Antsalova I | 84 |
| Tableau 15 : Pourcentage relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Andranomavo I | 85 |
| Tableau 16 : Pourcentage relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Andranomavo II | 86 |
| Tableau 17 : Pourcentage relatifs des microfossiles déterminés dans le site d'Antsalova I..... | 87 |
| Tableau 18 : Effectifs par espèce et pourcentage relatifs dans le niveau I au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I..... | 88 |
| Tableau 19 : Effectifs par espèce et pourcentage relatifs dans le niveau II au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I | 88 |
| Tableau 20 : Effectifs par espèce et pourcentage relatifs dans le niveau III au Nord d'Andranomavo I et Antsalova I | 89 |
| Tableau 21 : Effectifs par espèces dans le niveau II au Nord d'Andranomavo II et Antsalova I... .. | 90 |
| Tableau 22 : Effectifs par espèces dans le niveau III au Nord d'Andranomavo II et Antsalova I .. | 91 |
| Tableau 23 : Effectifs par espèces dans le niveau II de Komihevitra et Antsalova I..... | 91 |
| Tableau 24 : Comparaison stratigraphique des régions étudiées avec la stratigraphie de V. HOURCQ (1950) & M. COLLIGNON (1959- 1960) à Antsalova | 123 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 25 : comparaison paléoécologique dans le niveau I des deux régions | 133 |
| Tableau 26 : comparaison paléoecologique dans le niveau II des deux régions | 134 |
| Tableau 27 : comparaison paléoécologique dans le niveau III des deux régions | 135 |
| Tableau 28 : Microhabitat, mode d'alimentation associé à la morphologie du test de quelques genre des Foraminifères du Jurassique (REOLID et al., 2008) | 141 |
| Tableau 29 : matrice regroupant les taxons et les caractères | 143 |
| Tableau 30 : Répartition paléobiogéographique des Foraminifères benthiques | 155 |
| Tableau 31 : Répartition paléobiogéographique des Ostracodes | 156 |

LISTE DES ACRONYMES

D.P.A.B. : Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique.

OMNIS : Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques.

PAST : Paleontological Statistics.

Nom : RASOLOFOTIANA
Prénom : Edmond
E-mail : edmondrasolofotiana@yahoo.fr
Titre : **BIOSTRATIGRAPHIE ET PALEOECOLOGIE COMPAREES DU JURASSIQUE SUPERIEUR ET DU CRETACE INFERIEUR DES REGIONS D'ANDRANOMAVO ET D'ANTSALOVA, MADAGASCAR.**

Directeur de thèse : Pr. RAFAMANTANANTSOA Jean Gervais

RESUME

La biostratigraphie et la paléoécologie des formations marneuses d'Andranomavo (Sud du bassin de Mahajanga) et d'Antsalova (Nord du bassin de Morondava) sont réalisées par l'étude des microfossiles et les analyses géochimiques. Leur stratigraphie est caractérisée par trois niveaux différents allant du Callovien à l'Hauterivien. Les microfossiles rencontrés sont constituées par des Foraminifères, des Ostracodes et des Spicules de Spongiaires. L'esquisse phylogénétique des Foraminifères benthiques est effectuée au niveau de la Famille. La comparaison biostratigraphique des associations des microfossiles dans les deux régions a montré que les sites d'Andranomavo I et d'Antsalova I sont homogènes ; mais hétérogènes dans les autres sites : Andranomavo II et Antsalova I, Komihevitra et Antsalova I.

Le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur sont caractérisés par un milieu marin peu profond à salure normale de plate forme externe, à moyenne énergie avec une profondeur entre 0 à 200 mètres avec un paléoclimat chaud.

La distribution des microfossiles rencontrés témoigne de la relation structurale entre Madagascar et l'Afrique et leur séparation. Les microfossiles constituent un outil géo-paléontologique très important dans le cadre de l'étude stratigraphique.

Madagascar possède des potentialités élevées en ressources pétrolières. La filière pétrole est vraisemblablement un point fort pour le développement économique de Madagascar.

Mots-clés : Bassin de Mahajanga-Bassin de Morondava-Microfaunes-Jurassique supérieur-Crétacé inférieur-Biostratigraphie-Paléoécologie.

ABSTRACT

Biostratigraphy and paleoecology of Andranomavo marl formations (South Mahajanga Basin) and Antsalova (North Morondava Basin) are realized by microfossils study and geochemical analysis. Their stratigraphy is characterized by three different levels from the Callovian to Hauterivien. Microfossils are constituted by Foraminifera, Ostracoda and Spicules of Sponges. Phylogenetic sketch of benthic Foraminifera is done at the Family level. Biostratigraphy comparison by microfossils associations of in the two areas of the site Andranomavo I and Antsalova I is homogeneous, heterogeneous in the other sites: Andranomavo II and Antsalova I, Komihevitra and Antsalova I. The upper Jurassic and the lower Cretaceous are characterized by a shallow marine environment of external platform, normal salinity, middle energy with a depth between 0 to 200 meters, with a hot paleoclimate. Microfossils distribution of testifies the structural relation between Madagascar and Africa and their separation. Microfossils constitutes a tool géo-paleontological very significant within stratigraphy frame study.

Madagascar has high potentialities in oil resources. The spinneret oil is present strong point for the economic development of Madagascar.

Key-words : Mahajanga basin-Morondava basin-Microfauna-Upper Jurassic-Lower Cretaceous-Biostratigraphy-Paleoecology