

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
Résumé.....	iii
Abstract.....	iii
SOMMAIRE.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
I. INTRODUCTION.....	1
II. GENERALITES.....	4
II.1. Généralités sur le Bassin sédimentaire de Mahajanga.....	4
II.2. Amparafaka (Baie de Baly).....	5
II.3. Cap Tanjona.....	6
II.4. Nosy Mahakamby.....	7
II.5. Généralités sur les Foraminifères.....	11
II.6. Généralités sur les Ostracodes.....	12
II.7. Généralités sur le genre <i>Kuphus</i> Guettard 1770.....	13
III. METHODOLOGIE.....	14
III.1. Les données.....	14
III.2. Analyses.....	15
a. Analyse séquentielle.....	15
b. Analyse des Microfossiles.....	17
III.3. Matériels utilisés.....	19
IV. RESULTATS.....	21
IV.1. Etudes sédimentologiques.....	21
a. Amparafaka.....	21
b. Cap Tanjona.....	23
c. Nosy Mahakamby.....	25
IV.2. Le genre <i>Kuphus</i> Guettard, 1770.....	28
IV.3. Détermination de la microfaune.....	32
a. Les Foraminifères.....	33
b. Les Ostracodes.....	46
V. DISCUSSION ET INTERPRETATION.....	54

V.1. Ecologie du genre <i>Kuphus</i> Guettard, 1770 .....	59
a. A Nosy Mahakamby.....	60
b. A Amparafaka.....	66
V.2. Essai de corrélation entre les trois sites d'étude .....	74
VI. CONCLUSION.....	75
VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	77
VIII. LITTERATURES .....	81
PLANCHES.....	83

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1 Localisation des trois sites d'études : Amparafaka, Cap Tanjona et Nosy Mahakamby .....	5
Fig. 2 Panorama des sites étudiés :.....	8
Fig. 3 Carte géologique du Bassin de Mahajanga montrant la localisation et l'âge des sites étudiés...10	
Fig. 4 Délimitation d'une séquence de dépôt dans l'analyse séquentielle .....	16
Fig. 5 Microscope numérique USB VEHO VMS-001 .....	20
Fig. 6 Microscope stéréoscopique de marque <i>SPENCER</i> .....	20
Fig. 7 Cellules (Source : BIGNOT, 1982) A : modèle allemand, B : modèle international .....	20
Fig. 8 Coupe lithologique du site n°4 d'Amparafaka.....	22
Fig. 9 Coupe lithologique du Cap Tanjona.....	24
Fig. 10 Coupe lithologique du site 2010-10 de Nosy Mahakamby .....	26
Fig. 11 Coupe synthétique montrant les différentes séquences sur la coupe de référence .....	28
Fig. 12 <i>Kuphus in situ</i> montrant un tube flexueux.....	29
Fig. 13 Ouverture du tube A : ouverture avec deux siphons, B : tube vide.....	30
Fig. 14 Répartition dans le domaine marin de quelques genres de Foraminifères représentatifs rencontrés sur les trois sites d'études .....	56
Fig. 15 Corrélation entre l'abondance du genre <i>Kuphus</i> et le nombre des Microfossiles dans chaque couche pour Mahakamby.....	60
Fig. 16 Corrélation entre l'abondance du genre <i>Kuphus</i> et le nombre des Microfossile dans chaque couche pour les deux sites d'Amparafaka.....	65
Fig. 17 Essai de corrélation des sites AMP 1, AMP 4 et MAHAKAMBY .....	73

## LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1 Liste de la microfaune de Nosy Makamby (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010) .....	52
Tab. 2 Liste de la microfaune des deux sites d'Amparafaka (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010) .	53
Tab. 3 Milieu de vie des Foraminifères listés (d'après MURRAY, 2006 modifié) .....	54
Tab. 4 Milieu de vie des Ostracodes listés .....	58
Tab. 5 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 3 .....	61
Tab. 6 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 4 .....	62
Tab. 7 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 5a1 .....	62
Tab. 8 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 5a11 .....	63
Tab. 9 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1(A) .....	66
Tab. 10 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (1) .....	67
Tab. 11 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (2) .....	68
Tab. 12 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (6) .....	68
Tab. 13 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (9) .....	69
Tab. 14 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1 (B) .....	70
Tab. 15 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (3) .....	70
Tab. 16 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (7) .....	71
Tab. 17 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1 (E) .....	71

## I. INTRODUCTION

La recherche de nouveaux affleurements datant du Miocène dans la partie Nord-Ouest de Madagascar, dans le cadre d'une collaboration entre le Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, Université d'Antananarivo, et l'Université McGill Canada, fut les prémices à la découverte de riches gisements fossilifères et de curiosités géologiques dans trois sites d'études : l'île Mahakamby, le Cap Tanjona et Amparafaka (Baie de Baly).

Le présent mémoire constitue une étude sédimentologique et micropaléontologique effectuées sur l'intégralité de ces trois sites.

Ces trois localités ont pour point commun de présenter des formations sédimentaires tertiaires marines du Bassin de Mahajanga, Madagascar.

Actuellement, les études déjà réalisées sur cette côte Nord-Ouest de Madagascar et dans le Canal de Mozambique sont nombreuses telles l'étude de la plateforme continentale, des hauts-fonds, et des anomalies magnétiques du Canal de Mozambique et sur l'ensemble des Bassins océaniques entourant Madagascar. Citons les travaux de SAHABI, 1993 ; FRÖHLICH, 1996 ; SEGOUFIN, 1981, etc.

En outre, les documents concernant les parties littorales et maritimes, les dépôts sédimentaires à l'intérieur du Bassin sont assez nombreux, fruits de plusieurs années de recherches accomplies par plusieurs chercheurs tels que BESAIRIE Henri (1952, 1971), RAHANTARISOA Lydia (2007), SAMONDS Karen (2007) et bien d'autres chercheurs malagasy et étrangers.

Cela dit, les études sur les dépôts cénozoïques sont nombreuses et ont déjà fait l'objet de plusieurs récits et documents depuis plus d'un siècle. En effet, c'est en 1895 que le Révérend et aventurier BARON a signalé pour la première fois la présence de ces formations Tertiaires dans le Nord-Ouest de la Grande Île. Les recherches effectuées depuis plusieurs décennies (HOURQ V., 1949 ; BESAIRIE, 1952 ; HINDERMEYER *et al.* 1959 ; BESAIRIE et COLLIGNON, 1971), ont révélées l'existence du Miocène malagasy presque exclusivement dans la partie Ouest et Nord-Ouest de

Madagascar. La Baie de Baly (Amparafaka et Cap Sada), Nosy Mahakamby, Cap Tanjona, Cap Saint-André, Tambohorano, et Maintirano sont les localités où le Miocène malagasy est le mieux représenté à l'exception d'un petit lambeau à Toliara.

Dès lors, le Miocène a suscité la curiosité de bien des chercheurs entre autre : COLLIGNON et COTTEREAU 1927 ; DOUVILLE 1904, 1908 ; SAMONDS, 2007 ;... Jusqu'à aujourd'hui quelques-uns s'intéressent encore à ce Miocène pour la simple raison que cette période de l'histoire géologique de Madagascar n'a pas encore révélé tous ses secrets.

Un des plus grands mystères qui éveille la curiosité à propos de ces formations du Miocène de Madagascar est sans nul doute un fossile singulier connu sous le nom de *Cyphus*, (Fischer, 1887). En effet, le genre *Cyphus*, connu à Madagascar depuis déjà plus d'un siècle, demeure malgré tout une énigme à part entière. Rencontré dans presque tous les sites de notre étude, le genre *Cyphus* est considéré comme étant la composante la plus constante des formations miocènes à Madagascar (COLLIGNON et COTTREAU, 1927 ; BASSE, 1949), pourtant aucun travail ne lui a été particulièrement consacré.

Tout au long de cette étude il sera établie que le nom générique *Cyphus* Fischer 1887 s'avère être un synonyme, le nom valide étant *Kuphus* Guettard 1770.

Plusieurs questions se posent alors :

- Quel est réellement ce genre *Kuphus* Guettard 1770 ?
- Comment vivait-il ? Quel type d'habitat affectionnait-il ?
- Pourquoi est-il aussi abondant dans ces formations du Miocène malagasy ?

Afin de répondre à ces questions, l'intérêt de ce présent mémoire réside sur le fait que :

- Les échantillons - très abondants dans les formations sédimentaires de Nosy Mahakamby, Cap Tanjona et d'Amparafaka - ont constitué un matériel de choix

à exploiter afin de contribuer à l'étude systématique et paléoécologique du genre *Kuphus* qui, dans l'état actuel de nos connaissances, est encore mal connu.

- Parallèlement, la renommée des microfossiles en tant que bons indicateurs de faciès a conduit à réaliser une analyse de la microfaune associée dans les trois sites étudiés.

Ainsi, l'objectif principal de ce mémoire est d'apporter la lumière sur le genre *Kuphus* Guettard 1770, à savoir sa position systématique, son environnement et son écologie et aussi d'inventorier la microfaune des trois sites d'études.

Pour ce faire, après avoir abordé quelques généralités et les matériels utilisés, les résultats, qui seront ensuite discutés et interprétés, concerneront la sédimentologie, le genre *Kuphus* Guettard 1770 ainsi que la détermination de la microfaune. La conclusion résumera les points essentiels de l'étude.

## II. GENERALITES

Les trois zones d'études font toutes parties intégrantes du Bassin de Mahajanga et bordent le littoral Nord-Ouest de l'île (Fig. 1).

### II.1. Généralités sur le Bassin sédimentaire de Mahajanga

Le Bassin sédimentaire de Mahajanga, situé dans la partie Nord-Ouest de l'île, est constitué par une succession de formations monoclinales s'étendant du Karoo à l'Actuel (Fig. 3). Il s'étend sur près de 650 km allant du Cap Saint André à la presqu'île d'Ampasindava. L'ensemble de ces formations monoclinales dessine, d'une façon générale, une série d'auréoles concentriques concaves vers le Nord-Ouest. La morphologie du Bassin est caractérisée par des lignes parallèles de cuestas dues à des formations indurées et bordant des zones déprimées avec des revers formant des bandes de plateaux faiblement inclinés vers la mer (BESAIRIE et COLLIGNON, 1971).

La série sédimentaire du Bassin est presque complète du Permien supérieur au Quaternaire et présente une alternance de termes marins et continentaux (HINDERMEYER *et al.* 1959).

Une large bordure de mangroves, favorisée par un apport massif d'alluvions provoquant également un envasement des estuaires, marque le paysage de la zone côtière. A ceux-ci succèdent les vastes plaines alluviales internes se développant aux dépens des chenaux étroits ne pouvant satisfaire les débits des crues violentes de la saison des pluies (BESAIRIE et COLLIGNON, 1971).

Le Miocène dans le Bassin de Mahajanga se cantonne le long des côtes (Fig. 3), dans la partie occidentale. Ces formations sont supposées transgressives sur les formations antérieures (HINDERMEYER *et al.* 1959 ; BASSE, 1949).

Le contact du Miocène avec les formations plus anciennes ne s'observe nulle part. Sa limite inférieure reste alors indéfinie (HINDERMEYER *et al.* 1959). Par contre, elles sont presque toujours surplombées par des grès bariolés du Pliocène continental. Ce contact marquerait la limite supérieure du Miocène. Ces dépôts du

Miocène du Bassin de Mahajanga sont exclusivement marins et de nature marno-calcaire.

Chaque partie du Bassin renferme des particularités aussi fascinantes les unes que les autres. Ce qui nous incite à les voir une à une.

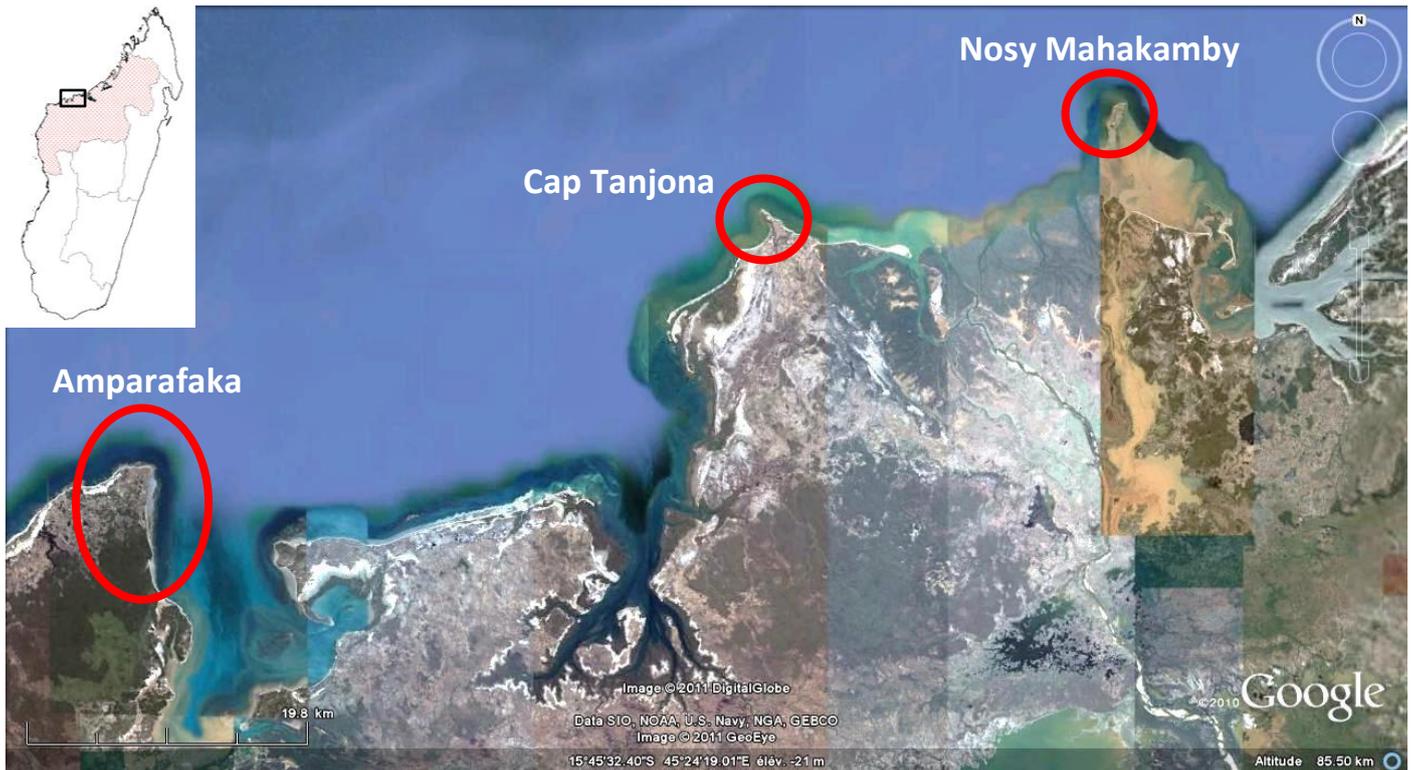


Fig. 1 Localisation des trois sites d'études : Amparafaka, Cap Tanjona et Nosy Mahakamby (Source: Google Earth)

## II.2. Amparafaka (Baie de Baly)

La Baie de Baly, située entre E 45°16' et 45°22' ; et S 15°56' et 16°08', est célèbre surtout pour sa biodiversité, notamment la présence de *Geochelone yniphora* ou " Angonoka " ou encore " tortue à soc " qui est une des tortues les plus rares au monde et qui est restreinte à cette partie de l'île. L'omniprésence des mangroves abritant les crevettes qui y sont exploités à des fins commerciales, fait également la réputation de cette partie de Madagascar. Actuellement, sa renommée repose sur le

gisement de Soalala très riche en fer. Cette baie renferme les villages de Soalala et de Baly, Amparafaka fait partie intégrante du *Fokontany* de Baly.

Depuis le siècle dernier, plusieurs géologues et voyageurs, entre autre BARON et MOUNEYRES, 1904, ont décelé le potentiel géologique que renfermait cette baie de Baly. En effet, deux sites très intéressants se font face sur les deux côtés de la baie : Amparafaka et Sada (Fig. 3). La pointe Sada a relativement plus de renom concernant les formations tertiaires de la Baie de Baly si on se réfère aux rapports et publications des deux derniers siècles (HOURQ V., 1949 ; COLLIGNON et COTTEREAU, 1927). Seulement, étant actuellement inclus parmi les sites protégés par *Madagascar National Parks*, le Cap Sada n'a pas été accessible pendant l'investigation de 2010.

Amparafaka, pointe Ouest de la Baie (Fig. 1 & 3), de son côté recèle une richesse pour le moins insoupçonnée, tant sur la biodiversité que la géologie. L'emplacement de ses falaises abruptes faisant face à la mer (Fig. 2 A) suggère à priori une continuité avec les affleurements tertiaires de la pointe Sada. Les affleurements sont admis être d'âge Miocène (BESAIRIE, 1952).

La pointe Amparafaka a un aspect agréable avec sa forêt longeant la côte et ne laissant qu'une bande de plage où les pêcheurs et les gens de passage peuvent s'installer. La population locale, quant à elle, a élu domicile au sommet des falaises surplombant ainsi la mer et la végétation. Cette dernière y est dense et de type semi-caducifoliée.

### **II.3. Cap Tanjona**

A mi-chemin entre Soalala et Mahajanga, le Cap Tanjona est une bande de terre d'environ 70 m d'altitude se présentant à la mer par une falaise abrupte (Fig. 1 & 3).

Le cap est situé entre E 45°40'10.51'' et 45°40'49.44''

S 15°46'24.00'' et 15°47'10.00''

Sur son côté Est, le Cap Tanjona est à la merci des houles tandis qu'à l'Ouest il forme un abri calme où les pêcheurs font souvent escale.

La végétation y est sensiblement égale à celle d'Amparafaka et est surtout dominée par un arbuste rappelant un petit palmier : le " *Satrana* ".

Comme dans les deux autres sites étudiés, la population locale est très dépendante de la pêche en mer.

Sur le plan géologique, le cap proprement dit exhibe une excellente succession de faciès calcaires et marneux supposés âgés du Miocène (BESAIRIE, 1952, PERRIER DE LA BATHIE, 1921) (Fig. 2 B).

#### II.4. Nosy Mahakamby

Petite île sédimentaire à l'Ouest de Mahajanga, se trouvant à environ quarante kilomètres de ce dernier (Fig. 1 & 3), Mahakamby a révélé bien des richesses sur le plan paléontologique et géologique. C'est une île mesurant, à vol d'oiseau, presque 2 km de long sur environ 0,5 km de large. Des falaises se dressent de tous les côtés de telle sorte que la plage, comme les habitants, y sont très rare (Fig. 2 C). Au centre se trouve un plateau gréseux, rappelant le Cirque Rouge de Mahajanga, d'âge Pliocène et s'élevant jusqu'à environ 70 m d'altitude surmontant ainsi une succession de faciès calcaires et marneux miocènes à priori identique à ceux des deux premières localités.

L'accès y est très difficile et les pêcheurs de passage dans l'île se cantonnent dans des localités bien définies où ils peuvent à la fois bivouaquer et amarrer leurs embarcations. L'autre particularité de cette île est ses nombreux tabous quelquefois insolites. Citons comme exemple les cacahuètes<sup>1</sup>, le dialecte<sup>2</sup>, le fait d'interdire d'utiliser la terre ferme comme latrine<sup>3</sup>, et bien d'autres.

Au fil des siècles, l'île de Mahakamby s'est vue attribuée plusieurs noms apparemment de même origine puisque relativement proches. La raison de

---

<sup>1</sup> Personne n'a le droit d'y faire entrer n'importe quel type de cacahuètes

<sup>2</sup> En effet, il fut un temps où le dialecte " *Merina* " y était tabou.

<sup>3</sup> Cela ne pouvait se faire que dans la mer qui selon la croyance purifierait tout ce qu'on y " *jette* "

l'existence de ces noms est probablement due à des ouï-dire. Les plus retrouvés dans les anciens rapports sont : Makamby, Mahakamby, Makamba.....

Remarquons que globalement seule l'orthographe diffère. Pour notre cas, nous avons choisi arbitrairement *Mahakamby* comme orthographe, ce qui n'enlève en rien la valeur des autres noms.

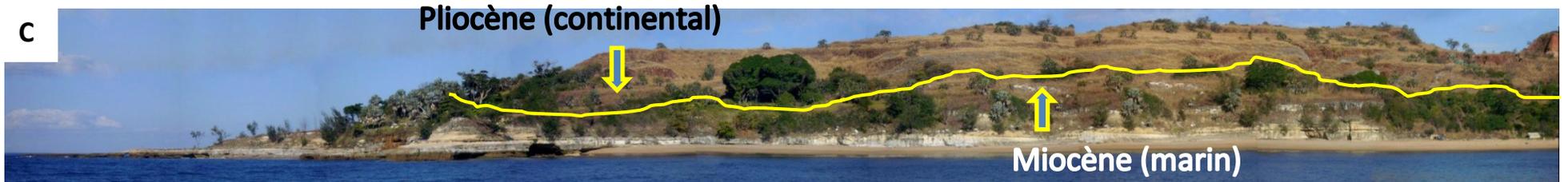
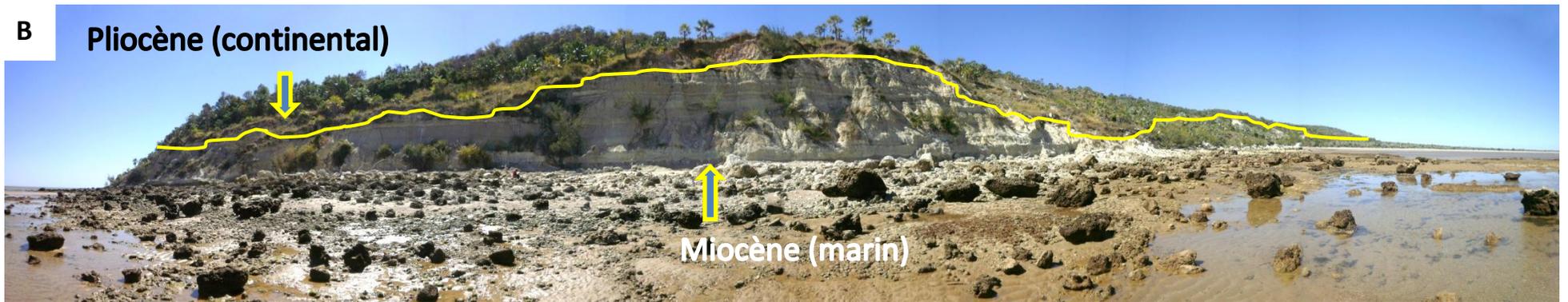
Mahakamby est en réalité une presqu'île, au moins d'une façon intermittente, plutôt qu'une île à part entière car elle fait encore partie intégrante de la partie continentale. D'autant plus qu'à marée basse, Mahakamby est relié à Madagascar grâce à une étroite bande de terre émergée temporairement permettant l'accès de l'île à pied (Fig. 1).

**Fig. 2 Panorama des sites étudiés :**

**A : Panorama montrant un site d'étude à Amparafaka (crédit photo: RAMIHANGIHAJASON T. 2010)**

**B : Panorama du Cap Tanjona (crédit photo RAMIHANGIHAJASON T. 2010)**

**C : Panorama de Nosy Mahakamby (crédit photo RAMIHANGIHAJASON T. 2010)**





## II.5. Généralités sur les Foraminifères

Les Foraminifères ont été enregistrés pour la première fois dans la littérature au V<sup>ème</sup> siècle avant Jésus-Christ par un certain HERODOTUS qui a noté la présence de *Nummulites* dans les pierres utilisées par les égyptiens pour construire leurs Pyramides. Mais ce n'est que 2000 ans plus tard qu'on a reconnu que c'étaient des restes d'organismes fossilisés.

Ce groupe renferme des êtres unicellulaires ayant un réseau de pseudopodes très fins, anastomosés et parcourus de courant de granules de petites tailles sur le vivant. Cela les distinguent des autres protozoaires et plus spécialement des autres Rhizopodes. Parmi les Granuloréticulosa, ils se singularisent par le test, de formation endosquelettique secrété ou construit par cimentation de matériaux exogènes groupés par les pseudopodes. Ce test peut être chitineux, agglutiné, calcaire (microgranuleux, porcelané, hyalin), fibreux et siliceux.

Ce sont des Protozoaires marins, fossiles ou actuels.

Les Foraminifères sont parmi les groupes d'organismes marins les plus nombreux et ont une grande importance scientifique.

Selon les espèces, ils présentent un mode et des milieux de vie variables :

- Benthiques épibiontes (posé sur le fond), ou endobiontes (enfoncés dans le sédiment) (ex : Fusulines, Nummulites)
- Planctoniques, nageurs ou passifs (ex : Globigérines, *Globorotalia*, *Globotruncana*).

Leur développement est en étroite relation avec plusieurs facteurs externes dont : la température, la profondeur, la turbidité de l'eau, la salinité, la turbulence de l'eau, le substratum, les courants et les facteurs physico-chimiques. Et chaque association de Foraminifères requiert des conditions précises de ces facteurs pour pouvoir se développer convenablement.

Dans les trois sites étudiés, chaque groupe de Foraminifères présent dans chaque couche de sédiment peut ainsi nous renseigner sur les conditions du milieu et son biotope.

## **II.6. Généralités sur les Ostracodes**

Les Ostracodes sont de petits crustacés vivant en milieu marin, saumâtre ou eau douce. Ils sont caractérisés par leur coquille formée de deux valves articulées le long du bord dorsal.

Le premier Ostracode a été décrit en 1776 par O.F. MULLER. Il existe des formes benthoniques et des formes pélagiques.

La vie des Ostracodes actuels, et probablement celle des formes fossiles, est conditionnée par plusieurs facteurs extrinsèques. Parmi ces facteurs, les plus importants sont : la salinité du Bassin, la température, la dynamique des eaux, l'oxygène dissout, la lumière, la profondeur, le substratum, la végétation et évidemment la nourriture.

## II.7. Généralités sur le genre *Kuphus* Guettard 1770

*Cyphus arenarius*, Linné, 1758, est considéré comme étant la composante la plus constante des formations miocènes observées à Madagascar (COLLIGNON et COTTREAU, 1927; BASSE, 1949). Associé à de nombreux autres Invertébrés (Echinodermes Bivalves,...), cette espèce constitue un repère pour ces formations miocènes malagasy. Cependant, elle demeure énigmatique car encore très mal connue des paléontologistes. De nos jours, seules quelques notes anciennes (COLLIGNON et COTTREAU, 1927; BASSE E., 1949; HOURQ V., 1949; BESAIRIE, 1952; HINDERMEYER *et al.* 1959; BESAIRIE et COLLIGNON, 1971) mentionnent la présence de *Cyphus arenarius* dans presque toutes les formations miocènes connues à Madagascar. Ces quelques notes, pourtant ne précisent ni la position systématique, ni le mode de vie de ce fossile qui est pourtant abondant. Tout ceci a motivé la réalisation de ce mémoire.

Certains auteurs (COLLIGNON et COTTREAU, 1927) ont toutefois mentionné son appartenance à la Classe Pélécy-podes, anciens noms des Bivalves.

Afin d'éviter toute erreur possible, notre étude se tournera au niveau du genre. Tout au long de cette étude il sera établie que le nom générique *Cyphus* Fischer 1887 s'avère être un synonyme, le nom valide étant *Kuphus* Guettard 1770. Ce dernier, bien qu'inhabituel dans les rapports des derniers siècles sera utilisé dans ce mémoire.

Ce mémoire ne se vante pas de pouvoir résoudre tous les mystères planant autour de ce genre, néanmoins, il se permet de donner quelques informations concernant le milieu de vie de *Kuphus* Guettard 1770 grâce aux résultats fournis par les études sédimentaires appuyées par la micropaléontologie.

### III. METHODOLOGIE

#### III.1. Les données

Pour les trois localités, la récolte des sédiments en surface s'est faite couche par couche lors d'une seule et unique mission (Juin et Juillet 2010). Le positionnement s'est fait grâce à un GPS. Ces observations nous ont permis d'effectuer des profils et des coupes géologiques pour chaque site.

Un total de quarante-sept (47) échantillons de sédiments a été prélevé dans les trois localités dont :

- 24 à Amparafaka
- 11 au Cap Tanjona
- 12 à Nosy Mahakamby

Les microfossiles à étudier se trouvant dans ces sédiments, il n'a pas été nécessaire d'utiliser d'autres procédés pour leur collecte.

Dans certains cas, la collecte du genre *Kuphus* a été plus délicate. Celle-ci nécessitait quelques fois de laborieuses excavations compte tenu de la fragilité de ce fossile.

Comme le genre *Kuphus* est très abondant dans les dépôts des trois sites, quelques-uns des spécimens du genre ont été ramassés en surface, éparpillés à cause des éboulis de roches provenant des falaises du bord de mer.

Néanmoins, des collectes dans les différentes couches sédimentaires de chaque site ont été nécessaires afin de mieux apprécier leur emplacement dans ladite couche. Ce dernier procédé permet en outre de juger de la longueur de l'échantillon ou du moins une partie de sa longueur. Notons que les échantillons dispersés à la surface ne reflètent plus la longueur totale du tube. Malheureusement, même dans les couches sédimentaires, les tubes sont déjà brisés. Toutefois, on peut rencontrer des spécimens presque entiers, l'excavation reste délicate car le tube peut se casser à tout moment. Malencontreusement, cela arrive dans tous les cas car les dépôts dans lesquels ils sont emprisonnés sont assez compacts.

## III.2. Analyses

### a. Analyse séquentielle

La stratigraphie séquentielle est une méthode permettant de définir un cadre chrono-stratigraphique à échelle globale en se basant sur la datation précise de lignes temps entre des discordances d'origines eustatique, qui limitent des unités de dépôt génétiques (VAIL et *al.* 1987).

L'objet de la stratigraphie séquentielle est de définir des unités sédimentaires (séquences) limitées par des surfaces à valeur temporelle correspondant à des périodes particulières de variations du niveau marin relatif (Fig. 4). Il existe plusieurs ordres de variations du niveau relatif de la mer enregistrés dans les séries sédimentaires, et autant d'ordres de séquences de dépôt.

Dans un Bassin, les séries sédimentaires s'organisent en une succession logique de séquences sous le contrôle de l'espace d'accommodation, c'est-à-dire l'épaisseur de la tranche d'eau entre le fond et la surface de l'eau (ou profondeur relative). Le potentiel d'accommodation (ou accommodation) est la vitesse de création d'espace d'accommodation, donc la dérivée première en fonction du temps.

L'espace d'accommodation varie dans le temps et l'espace selon trois facteurs:

1. les apports sédimentaires (détritiques ou de précipitation),
2. la tectonique (subsidence ou élévation du fond),
3. l'eustatisme (changements globaux du niveau « absolu » de la mer par rapport à un *datum* fixe).

Le troisième facteur, l'eustatisme, est généralement le facteur principal.

Une séquence se décompose en trois cortèges de dépôt (= system tracts) :

- un prisme de bas niveau (Lowstand Systems Tract ou LST)
- un cortège transgressif (Transgressive Systems Tract ou TST),
- un prisme de haut niveau (Highstand Systems Tract ou HST).

Les variations du potentiel d'accommodation définissent des surfaces temporelles entre ces trois cortèges :

- La base de séquence (Sequence Boundary ou SB) entre HST et LST.
- La surface transgressive (Transgressive Surface ou TS) entre LST et TST.
- La surface d'inondation maximale (Maximum Flooding Surface ou MFS) entre TST et HST.

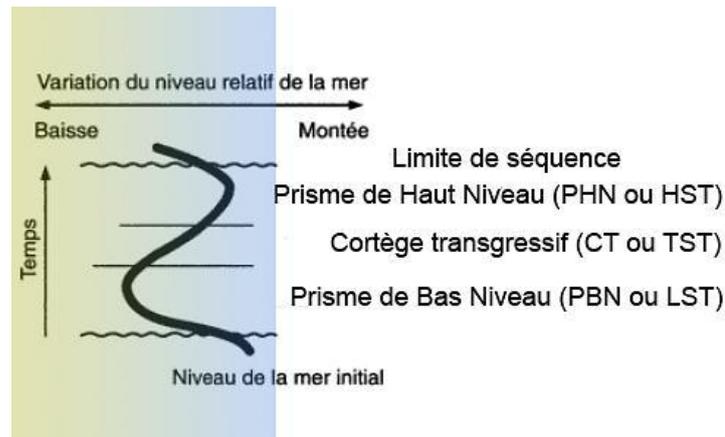


Fig. 4 Délimitation d'une séquence de dépôt dans l'analyse séquentielle (VAIL, 1987)

Quelles sont les réactions sédimentaires à une variation de l'espace d'accommodation ?

Quand la profondeur augmente, une transgression s'opère sur le continent, c'est l'intervalle transgressif :

- des grains de glauconie ou de phosphate se forment,
- le régime des courants change : ces courants réduisent la vitesse de sédimentation et entraînent l'apparition de surfaces d'omission ou d'ablation (hard grounds);
- les fossiles sont conservés en grand nombre.

Quand la profondeur se stabilise, l'espace d'accommodation est élevé et le Bassin se remplit avec un fort taux de sédimentation. On obtient un prisme de haut niveau (HST). On aura :

- des craies blanches et pures (réduction des surfaces continentales);
- si le milieu le permet, des niveaux de silex bien formés et régulièrement espacés;

Quand la profondeur diminue, la mer régresse. La plate-forme s'érode et les sédiments se déposent dans les zones les plus profondes. On aura :

- des niveaux marneux discrets;
- des craies noduleuses, des hard grounds et des horizons d'érosion;
- des surfaces ferrugineuses et des nodules de pyrite.

Dans le présent travail il sera utilisé afin de définir les évènements majeurs qui ont déposés les formations visibles sur les affleurements étudiés.

### **b. Analyse des Microfossiles**

L'analyse des Microfossiles contenus dans les sédiments recueillis s'est effectuée grâce à une étroite collaboration avec le Laboratoire de Micropaléontologie et de Paléobotanique du Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique de l'Université d'Antananarivo.

L'étude de l'association de ces microfossiles, permettra de préciser la paléoécologie de la région étudiée.

La réalisation de cette analyse nécessite trois étapes fondamentales :

- le lavage des roches,
- le tri des résidus de lavages et
- la détermination des microfossiles obtenus.

Les associations faunistiques ainsi observées pourront alors donner un meilleur aperçu paléoenvironnemental et/ou stratigraphique de la région.

Pratiquement, une portion de chaque échantillon de roche a été lavée à travers une série de 4 tamis ayant des mailles de 0,63 ; 0,16 ; 0,125 et 0,063 mm. La méthode utilisée a été celle détaillée par NEUMANN (NEUMANN M., 1967). Cette pratique consiste à désagréger les sédiments grâce à un ou plusieurs procédés avant leur lavage, cela dépend de la dureté de la roche.

Dans notre cas, la première étape de cette désagrégation de la roche consiste à l'immerger dans du pétrole durant 10 à 20 minutes avant de remplacer ce dernier par de l'eau. La désagrégation de la roche peut être accélérée par une ébullition plus ou moins prolongée de cette eau. Pour le souci d'un gain de temps, l'eau bouillante a été sollicitée dans cette étude.

Avant de procéder au lavage proprement dit des roches, il est impératif de préparer tout le matériel. Notamment les tamis, avant et après chaque lavage,

doivent être lavés (brossés vigoureusement) et rincés, l'un après l'autre, avec de l'eau avant leur immersion dans une solution de Bleu de méthylène à 5%. Ceci afin de colorer en bleu tout élément des lavages précédents qui auraient pu rester dans les mailles des tamis malgré toutes les précautions prises.

Le lavage proprement dit consiste à emboîter les tamis de sorte que leurs mailles soient organisées par ordre décroissant de haut en bas, et d'y envoyer un jet d'eau relativement fort tout en frottant la roche désagrégée. Lorsque le filtrat issu des tamis devient clair, le lavage est terminé. Alors on récupère séparément le refus de chaque tamis dans une Boîte de Pétri pour les sécher, à l'étuve ou, dans notre cas, à l'air libre.

Les microfossiles, s'il y en a, se retrouvent normalement dans ces Boîtes de Pétri. Cependant, les résidus de lavages comprennent également des grains de minéraux tels des Quartz, des fragments calcaires, etc... Un tri s'impose.

Il commence seulement lorsque les refus récupérés dans les Boîtes de Pétri sont complètement secs et transvasés dans des tubes ou petits bocaux bien fermés.

Le tri se fait sous le microscope et à grossissement relativement faible, x25. Il consiste à extraire les éléments organiques (Animaux et Végétaux), s'il y en a, et à les placer dans des petits réceptacles fermant appelés *cellules*.

Notons qu'il existe deux principaux modèles de cellules les plus utilisés par les micropaléontologistes : le *modèle allemand* et le *modèle international* (Fig. 7).

Après lavage et tri, la détermination des microfossiles, très importante, ne peut se faire qu'après observation de ces derniers. Comme pour le tri, le microscope est nécessaire pour cette observation. Pour une vision en relief des microfossiles dégagés, la majorité des micropaléontologistes utilise une " loupe " binoculaire.

Après l'observation et avant la détermination proprement dite, l'étape incontournable est la description toujours accompagnée d'une ou plusieurs illustrations. En effet, une bonne illustration, qu'elle soit un dessin ou une photographie, demeure toujours plus expressive que la plus précise des descriptions

(BIGNOT, 1982). Actuellement, du fait de son objectivité et de sa rapidité, la photographie est le plus souvent sollicitée. Ce qui a été notre cas durant la réalisation de ce mémoire.

La comparaison des échantillons étudiés avec les échantillons et les publications dans lesquels les espèces ont été décrites, figurées et nommées pour la première fois est la méthode de détermination idéale (BIGNOT, 1982). Cependant, l'accès à de tels documents originaux est difficile voire impossible, ce qui fut notre cas. Par conséquent, la détermination s'est alors faite en comparant les échantillons ici étudiés avec ceux déterminés dans des ouvrages postérieurs à la description originale.

### III.3. Matériels utilisés

La réalisation de ce travail a nécessité plusieurs matériels indispensables. Ces matériels diffèrent selon le lieu de travail.

Ainsi, sur le terrain, les matériels utilisés sont les marteaux de géologues, des sacs à échantillons (samples bags) en tissus, des marqueurs "Sharpie", des crayons, des carnets de terrains "all-weather", un mètre ruban, de grands et petits pics, des appareils photos, des papiers toilettes et papiers serviettes essuie-tout, des loupes à grossissement X10, des pinceaux et GPS (*Global Positioning System*) marque GARMIN.

Au laboratoire, les différents types d'études pour chaque groupe (roches sédimentaires, *Kuphus* et microfossiles) nécessitent des outils spécifiques.

Aussi, pour les microfossiles, le plus indispensable est la loupe binoculaire (Fig. 6). L'utilisation de cet appareil sollicite d'autres matériels tels que des aiguilles montées, des cellules (de modèle allemand pour notre cas) (Fig. 7) pour conserver les microfossiles. Avant cela une série de 4 tamis (mailles de 0,63 ; 0,16 ; 0,125 et 0,063 mm) a été utilisée pour réaliser le lavage. Pour la photographie des microfossiles, un microscope numérique USB référencié VEHO VMS-001 a été utilisé (Fig. 5).



Fig. 6 Microscope stéréoscopique de marque *SPENCER*  
(crédit photo RAMIHANGIHAJASON T. 2010)



Fig. 5 Microscope numérique USB VEHO VMS-001

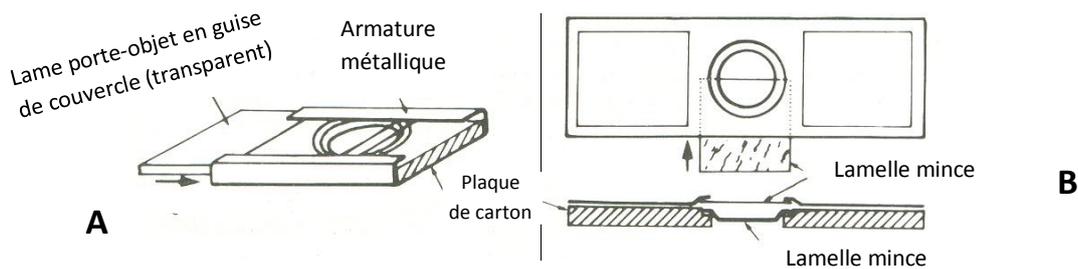


Fig. 7 Cellules (Source : BIGNOT, 1982) A : modèle allemand, B : modèle international

Certes, tout ceci est bien complet, cependant, le plus important des matériels utilisés est le matériel d'étude c'est-à-dire les roches et les fossiles.

L'étude du genre *Kuphus* requiert comme matériel fondamental, plusieurs spécimens : 189 individus.

## IV. RESULTATS

### IV.1. Etudes sédimentologiques

Les trois régions étudiées, comme toutes les formations du Miocène connues à Madagascar, sont marines. Les affleurements sont composés en gros par des sédiments calcaires ou marno-calcaires plus ou moins gréseux de couleur blanchâtre.

#### a. Amparafaka

Les dépôts sont caractérisés par une succession de faciès calcaires et marno-calcaire gréseux ou non (Fig. 8). On a un affleurement, longeant la plage, avec une épaisseur générale d'environ 15 mètres. Les couches se déposent généralement de façon horizontale. Néanmoins, quelques-unes présentent un faible pendage Ouest, comme presque tous les dépôts sédimentaires du Bassin de Mahajanga.

L'affleurement d'Amparafaka présente des couches de couleur claire, surtout blanche. Il est surmonté en son sommet par les grès rouges du Pliocène continental (Fig. 8). Longeant la baie de Baly, les successions d'affleurements miocènes renferment un riche gisement de fossiles, surtout d'Invertébrés. Ces fossiles sont surtout des représentants de Gastéropodes, de Bivalves, de coraux et bien sûr le fameux *Kuphus*, très abondant.

La coupe lithologique du site n°4 d'Amparafaka présente les successions suivantes :

**AMP 4 (1)** : couche d'environ 80 cm d'épaisseur, de nature calcaire marneux et de couleur blanchâtre.

**AMP 4 (2)** : 70 cm d'épaisseur, de nature calcaire à tendance marneuse

**AMP 4 (3)** : avec une épaisseur de 70 cm. Elle est composée de calcaire grossier de couleur verdâtre

**AMP 4 (4)** : avec ses 1,5m d'épaisseur, elle est constituée de calcaire friable à grains fins de couleur blanchâtre

**AMP 4 (5)** : elle a une épaisseur de 60 cm et est constituée de calcaire compacte à grains fins, de couleur blanche

**AMP 4 (6)** : constitué d'un mètre de calcaire gréseux compact

AMP 4 (7) : fait d'environ 1,30 m de calcaire fin de couleur blanche à ocre.

AMP 4 (8) : 80 cm de calcaire gréseux indurés de couleur blanche

AMP 4 (9) : couche de calcaire gréseux blanchâtre de 2 m d'épaisseur

AMP 4 (10) : faite d'1 m de calcaire de couleur jaune orangé

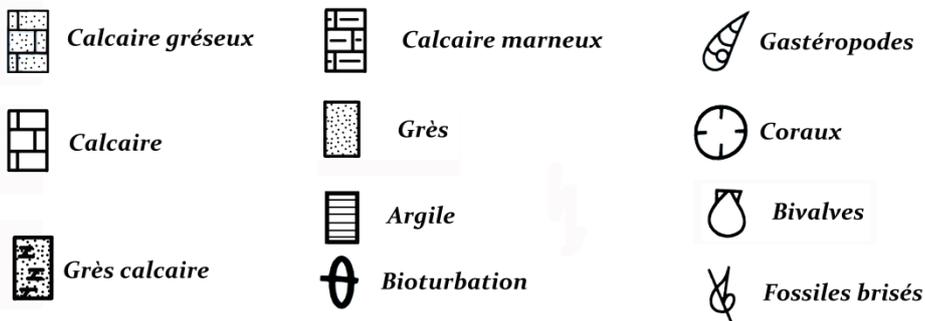
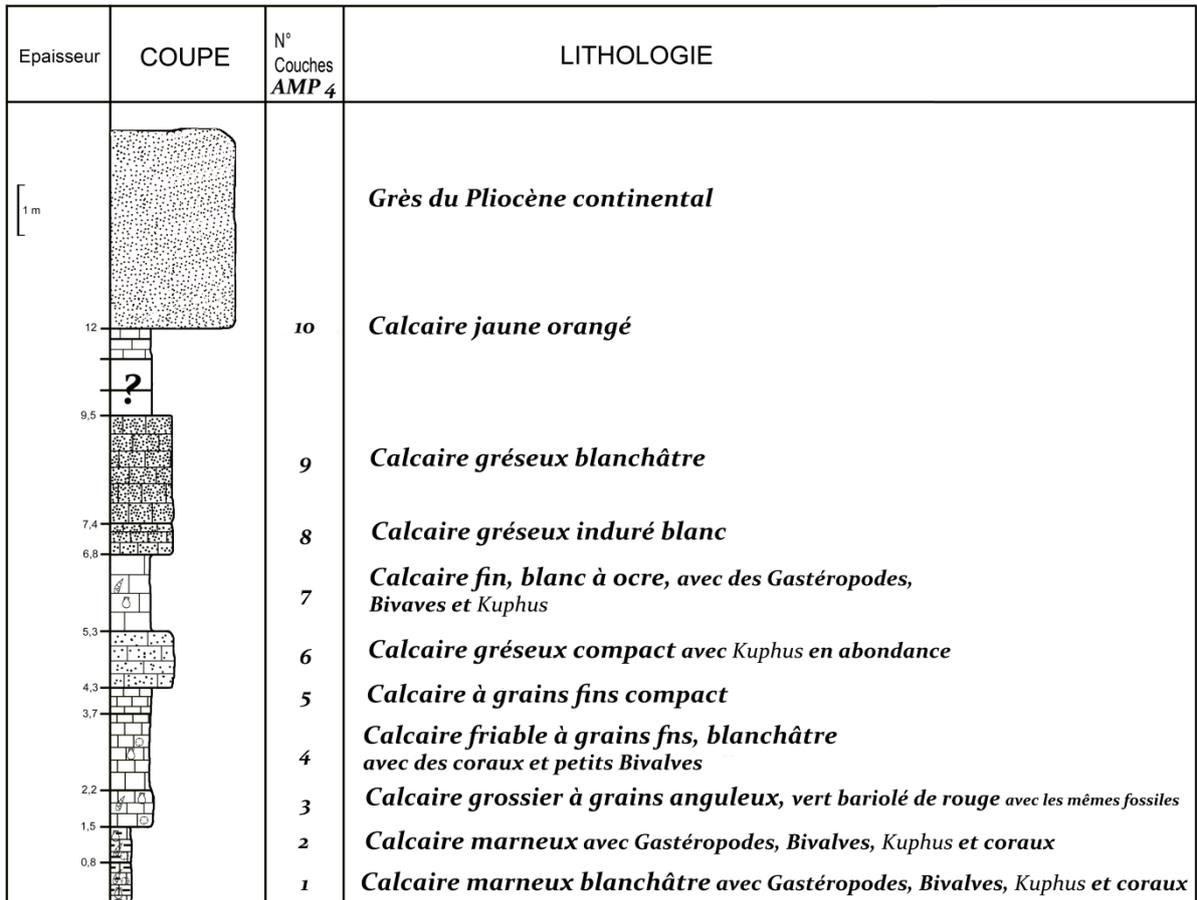


Fig. 8 Coupe lithologique du site n°4 d'Amparafaka (auteur: RAMIHANGIHJASON T. 2010)

## b. Cap Tanjona

Comme pour Amparafaka, les dépôts du Cap Tanjona ont une épaisseur d'environ 15 mètres. Ils montrent également des successions de couches marno-calcaires plus ou moins gréseux de couleur claire (Fig. 9).

La grande différence repose sur le fait qu'au Cap Tanjona, il est plutôt aisé de remarquer la répétition d'un niveau argilo-gréseux de couleur verte. Ce niveau revient au moins quatre fois sur tout l'affleurement et se présente à chaque fois avec une épaisseur différente (Fig. 9).

A part cette remarquable répétition, les dépôts du Cap Tanjona se distinguent aussi par leur pauvreté en microfaunes. L'observation sur terrain a montré que la plupart de ces dépôts sont azoïques.

La coupe lithologique du Cap Tanjona, de bas en haut, montre la succession suivante :

**TAN 1** : 1,3 m de grès fin verdâtre

**TAN 2** : 1,3 m de grès verdâtre à concrétion calcaire

**TAN 3** : épaisse couche de grès fin verdâtre (allant jusqu'à 4 m). On y observe des fentes de retrait

**TAN 4** : couche d'une épaisseur de 70 cm faite de calcaire marneux écaillé et pulvérulente, de couleur blanche. On n'y a relevé aucune forme fossile

**TAN 5** : grès fin verdâtre d'une épaisseur de 3 m

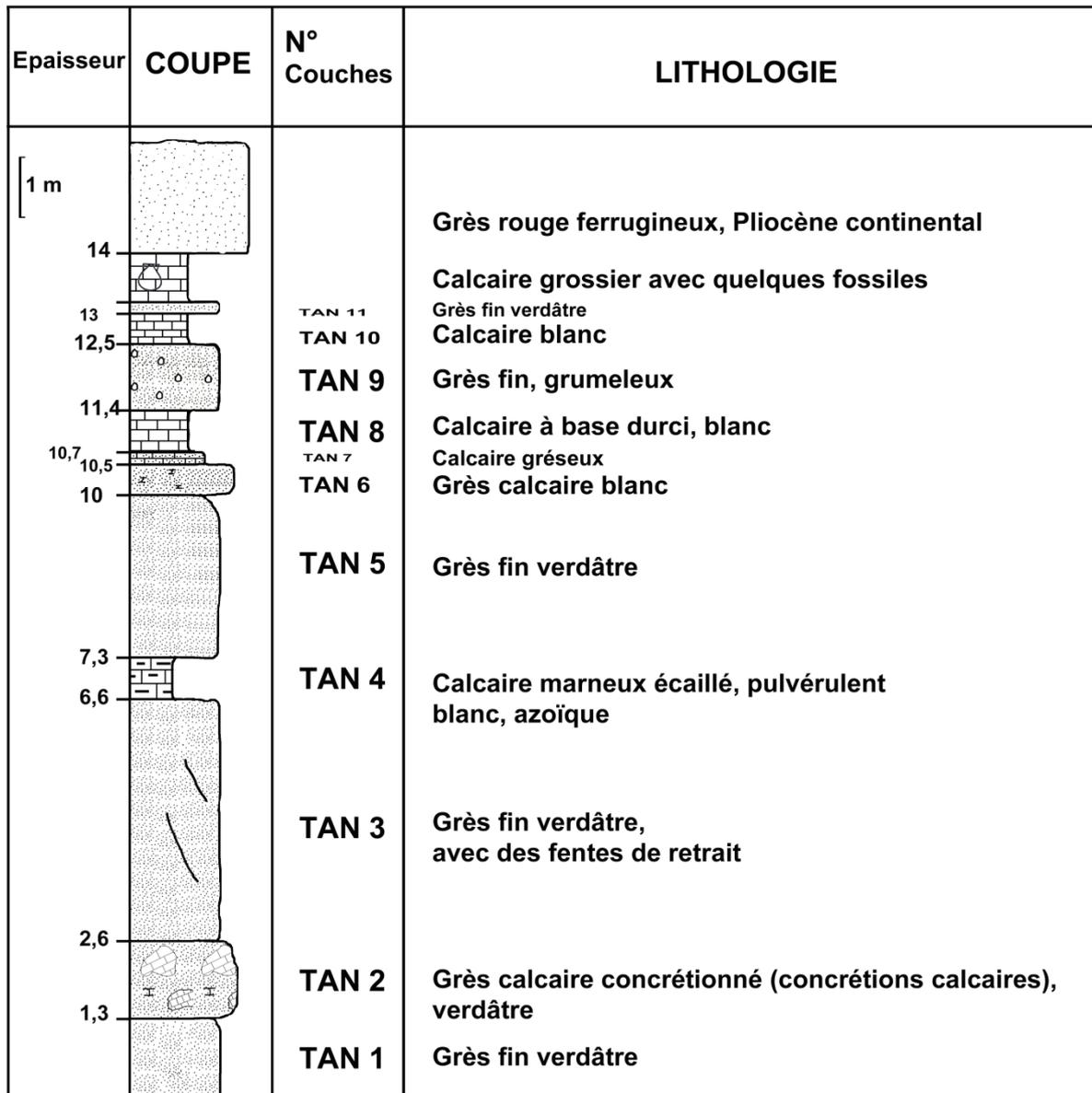
**TAN 6** : couche de 0,5 m d'épaisseur, grès calcaire blanc

**TAN 7** : mince couche de calcaire gréseux (20cm)

**TAN 8** : couche de nature calcaire, de couleur blanche. Son épaisseur est de 70 cm

**TAN 9** : 1 m de grès fin grumeleux

**TAN 10** : mince couche de grès fin verdâtre (50 cm)



Calcaire gréseux

Calcaire marneux

Gastéropodes

Calcaire

Grès

Coraux

Grès calcaire

Argile

Bivalves

Bioturbation

Fossiles brisés

Fig. 9 Coupe lithologique du Cap Tanjona (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010)

### c. Nosy Mahakamby

Auparavant, cette petite île sédimentaire de Mahakamby a déjà fait l'objet de plusieurs études. Le Docteur VOELTZKOW fut l'un des premiers à fournir une description et une coupe géologique des formations rencontrées sur cette île en 1895 (*in* COLLIGNON et COTTREAU, 1927). Une révision de cette coupe a été établie à partir des données recueillies notamment par PERRIER DE LA BATHIE en 1921.

En ce qui nous concerne, la coupe lithologique du site 2010-10 a été tirée des observations faites sur le terrain et au laboratoire. Elle représente, de bas en haut, la succession suivante (Fig. 10) :

**MAK 1** : couche d'environ 1,2 m d'épaisseur formée de calcaire gréseux. La couche se distingue par sa couleur brune.

**MAK 2** : constituée de grès argileux de couleur gris sombre. La couche a 1,7 m d'épaisseur.

**MAK 3** : l'épaisseur est de 1,5 m. la couche est faite de calcaire marneux blanc. Elle renferme beaucoup de *Kuphus*.

**MAK 4** : Calcaire marneux brunâtre, à *Kuphus*, Echinodermes, Bivalves dressés. Couche utilisée comme « banc repère ».

**MAK 5aI** : avec une épaisseur d'environ 1 m, elle est constituée de grès marneux de couleur brun et contient des ossements de Vertébrés à la base. C'est une couche de grès très lumachellique.

**MAK 5aII** : couche calcaire gréseux d'une teinte jaune brunâtre, elle a une épaisseur d'environ 1 m

**MAK 6** : constituée de grès entrecroisés à ciment calcaire, cette couche a moins d'un mètre d'épaisseur

**MAK 7** : d'une épaisseur de 1.20 m, elle est constituée de calcaire gréseux

**MAK 8** : très remarquable par sa couleur verte, cette couche est composée d'argile et mesure 0,5m d'épaisseur

**MAK 9** : constituée de calcaire marneux de couleur jaune, elle mesure à peine 20 cm d'épaisseur

**MAK 10** : couche terminale dans la succession des horizons datant du Miocène et précédant le Pliocène continental, elle est constituée de marne calcaire de couleur blanche et a un demi-mètre d'épaisseur.

Cette succession est disposée d'une manière uniformément horizontale, sans discordance apparente.

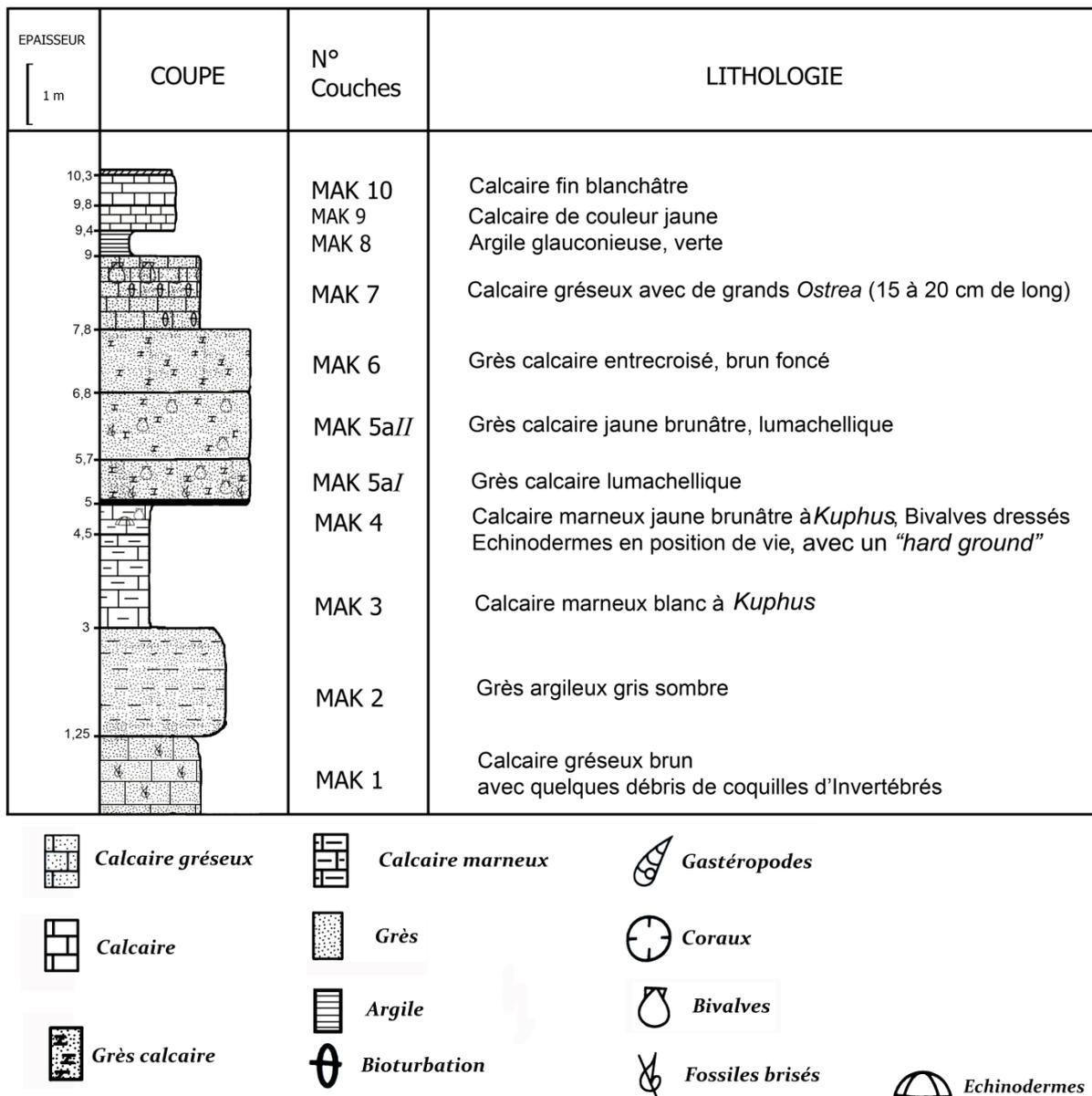


Fig. 10 Coupe lithologique du site 2010-10 de Nosy Mahakamby (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010)

Les formations de Nosy Mahakamby - étant les plus accessibles lors de notre descente sur le terrain, et étant également les plus complètes - ont été choisies afin d'établir une coupe de référence.

L'analyse séquentielle basée sur cette coupe de référence a conduit à la détermination d'unités transgressives et régressives (Fig. 11).

Depuis la base (MAK 1) jusqu'à MAK 4 on remarque des successions de dépôts allant d'un calcaire gréseux vers des dépôts marno-calcaire, en passant par du grès argileux. Cela montre des termes moins marins à la base et plus marins au sommet témoin d'une augmentation de la profondeur (augmentation de l'espace d'accommodation). Une transgression s'opère sur le continent. C'est l'intervalle transgressif, comme le souligne également la présence d'un "hard ground" à la surface supérieure de la couche MAK 4. Lorsque la transgression est maximale, l'espace disponible sur la plate-forme se remplit par progradation vers le Bassin. La sédimentation, argileuse vers la côte, carbonatée plus au large, permet le dépôt d'un Prisme de Haut Niveau (PHN).

Depuis MAK 5a1 jusqu'à MAK 6, on a des grès calcaires. La structure entrecroisée de MAK 6 suggère prédominance des apports fluviaux à haute énergie. Cette unité montre alors un net retrait de la mer qui permet ainsi aux dépôts continentaux de prograder vers la mer. On a alors une séquence régressive. La sédimentation détritique en translation vers le Bassin aboutit au dépôt d'un Prisme de Bas Niveau (PBN).

La dernière unité va de MAK 7 à MAK 10. Depuis MAK 7, on note une nette diminution des dépôts gréseux. On part d'un calcaire gréseux (MAK 7) vers des calcaires francs (MAK 10), en passant par de l'argile glauconieuse (MAK 8). Cette unité suggère une remontée des eaux de mer redonnant aux dépôts calcaires une large importance. Cette série est transgressive, c'est l'intervalle transgressif (IT).

EPAISSEUR 1 m	COUPE	N° Couches	LITHOLOGIE	Séquences	
10,3 9,8 9,4 9		MAK 10 MAK 9 MAK 8 MAK 7	Calcaire fin blanchâtre Calcaire de couleur jaune Argile glauconieuse, verte Calcaire gréseux	←	Transgression (IT)
7,8 6,8 5,7 5		MAK 6 MAK 5aII MAK 5aI MAK 4	Grès calcaire entrecroisé, Grès calcaire jaune brunâ Grès calcaire lumachellique Calcaire marneux jaune b		
4,5 3 1,25		MAK 3 MAK 2 MAK 1	Calcaire marneux blanc à Grès argileux gris sombre Calcaire gréseux brun	←	Transgression (PHN)

IT : Intervalle transgressif  
PBN : Prisme de bas niveau  
PHN : Prisme de haut niveau

Fig. 11 Coupe synthétique montrant les différentes séquences sur la coupe de référence (site 2010-10) (Auteur: RAMIHANGIHJASON T.2010)

#### IV.2. Le genre *Kuphus* Guettard, 1770

Avant de procéder à l'étude du paléoenvironnement du genre *Kuphus* Guettard 1770, il serait plus utile de rappeler sa position systématique. La description du genre précède logiquement dans les lignes qui suivent cette systématique.

Le genre *Kuphus* Guettard 1770 fait partie de ces êtres, vivants ou fossiles, qui ont occasionné maintes et maintes discussions concernant sa position systématique exacte. Toute cette confusion est certainement due à son aspect singulier.

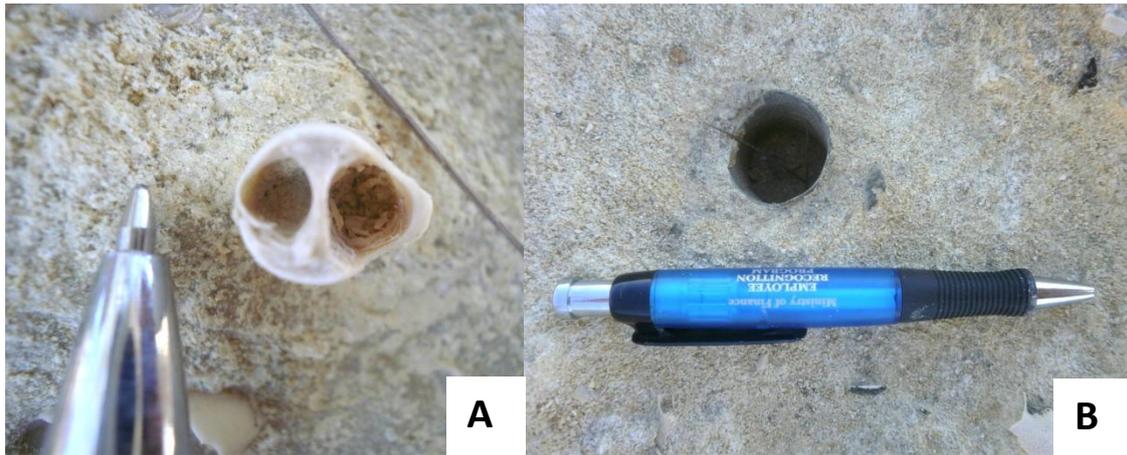
**Description** : *Kuphus* Guettard 1770 se présente sous forme de tube ressemblant à ceux construits par les vers tubulaires (pl. I). De couleur jaune clair à brun en passant par le beige, le tube de *Kuphus* n'est le plus souvent représenté dans les roches sédimentaires miocènes des trois sites étudiés que par des fragments cylindriques droits de quelques centimètres de long. En réalité, grâce à l'exceptionnelle conservation du genre dans les roches sédimentaires de Nosy Mahakamby, on a pu constater *in situ* que ce tube est flexueux (Fig. 12), témoins de changements brusques de direction lors de sa progression dans le sédiment, et d'une longueur considérable (quelquefois plus de 1 mètre).



Fig. 12 *Kuphus in situ* montrant un tube flexueux (crédit photo RAMIHANGIHJASON T. 2010)

Le tube est marqué extérieurement sur toute sa longueur par plusieurs stries parallèles circulaires, probablement des stries d'accroissement, et quelques cicatrices occasionnelles (GARDNER, 1943) (pl. I).

En outre, l'observation du tube de *Kuphus* a mis en évidence la présence de deux petites ouvertures à l'extrémité de plusieurs spécimens (Fig. 13). Certains présentent un tube à l'intérieur duquel on aperçoit des sédiments à ras bord, de telle sorte que ces deux petites ouvertures ne se distinguent plus. Tandis que d'autres se présentent comme des tubes creux vides à l'intérieur ou du moins en partie.



**Fig. 13 Ouverture du tube (crédit photo RAMIHANGIHASON T. 2010)**  
**A : ouverture avec deux siphons, B : tube vide**

La présence de ces deux petites ouvertures suggère que le tube est parcouru sur toute sa longueur ou presque par deux canaux. Ces derniers sont supposés avoir servi pour le passage des siphons (exhalant et inhalant). Ces deux siphons auraient été très utiles à l'animal de son vivant. Ils ont contribué à la fois pour la respiration et l'alimentation de l'animal que pour sa déjection. Ils ont usuellement des diamètres différents. Il est actuellement admis que le plus grand de ces canaux est le canal exhalant et le plus petit est le canal inhalant.

Ces siphons seraient unis à leur origine et se scinderaient en deux vers leur extrémité (JEFFREYS, 1865).

Les spécimens ne montrant pas ces ouvertures auraient tout simplement perdu ces structures lors de la fossilisation.

Le tube à l'aspect cylindrique ne l'est pas tout à fait et a tendance à s'affiner vers une des extrémités (JEFFREYS, 1865).

Les Vermetidae (Gastéropodes vermiformes) détiennent probablement le record de confusion qu'ils promurent du fait qu'ils étaient mal interprétés dans tous les niveaux, des sous-espèces au Phylum (KEEN, 1961 *in* BIELER R. & PETIT R.E., 2011).

Ces Mollusques vermiformes ont été confondus dans les littératures non seulement avec les Polychètes, mais aussi avec les Scaphopodes, les Néogastéropodes (*Magilus*) (BOETTGER, 1963 in BIELER R. & PETIT R.E., 2011).

Le genre *Kuphus* Guettard 1770, étant également vermiforme, n'a pas fait exception quant à cette confusion générale.

Cela dit, malgré le fait que trouver les valves supposées faire partie de *Kuphus* est rare, sa position systématique la plus plausible est celle mentionnée par COX *et al.* en 1969. Celle-ci est basée principalement sur les tubes.

Règne : ANIMALIA Linné, 1758

Embranchement : MOLLUSCA Linné, 1758

Classe : BIVALVIA Linné, 1758

Sous-classe : HETERODONTA Neumar, 1884

Ordre : MYOÏDA Stoliczka, 1870

Sous-ordre : PHOLADINA H. Adams et A. Adams, 1858

Super famille : PHOLADACEA Lamarck, 1809

Famille : TEREDINIDAE Rafinesque, 1815

Sous-famille : KUPHINAE Tryon, 1862

Genre : *Kuphus* Guettard, 1770

(Guettard, 1770, p. 139, pl. 69 fig. 8 ;

Gardner, 1943, p. 143, pl. 23, fig. 35)

Synonymie par Cox et al. 1969 :

*Cyphus* Fischer, 1887  
*Serpula polythalamnia* Linné, 1758  
*Furcella* Lamarck, 1801  
*Septaria* Lamarck, 1818  
*Clossonnaria* Ferussac, 1822  
*Clausaria* Menke, 1828  
*Cloissonaria* Adams, 1858  
*Clossonaria* Paetel, 1875  
*Cloissonaria* Paetel, 1890  
*Cuphus* Agassiz, 1846  
*Kyphus* Herrmannsen, 1847

Cette classification considère le genre *Cyphus* Fischer, 1887 (nom sous lequel le fossile est le plus connu dans les publications anciennes) comme étant un synonyme du genre *Kuphus* Guettard, 1770 qui, selon le principe de priorité du Code International de Nomenclature Zoologique, est le nom valide et qui sera utilisé tout au long de ce travail.

### IV.3. Détermination de la microfaune

Les microfossiles déterminés sont placés dans des cellules bien numérotées afin de faciliter leur conservation et de permettre leur localisation suivant les couches sédimentaires et les différents sites d'études (Tab. 1 & 2).

Des travaux antérieurs sur le Miocène de Madagascar ont défini la **Zone à *Borelis* sp. et *Nonionella* cf. *turgida*** d'après les forages de la Société des Pétroles de Madagascar (S.P.M.) au Cap St-André. Cette zone est définie par l'association : *Borelis* sp. , *Nonionella* cf. *turgida*, *Globigerina* sp. Miliolidae, Rotaliidae, et Ostracodes (DONATO, 1970).

Vu la rareté, voire l'absence, de bibliographie appropriée, et probablement les matériels ne permettant pas une observation en détail, la détermination de plusieurs spécimens demeure imprécise. Cela nous a obligé à nous contenter d'une

détermination incomplète ou " ouverte " s'exprimant en intercalant le signe " cf. " (*confer*) entre les noms générique et spécifique ou en remplaçant le nom spécifique par " sp. " ou simplement en s'arrêtant au niveau générique. La mauvaise conservation de certaines formes ne permettant pas d'apprécier certains détails a d'ailleurs contribué à limiter cette détermination.

Comme le dit si bien BIGNOT (1982): " *une détermination incomplète mais prudente est de loin préférable, par les erreurs qu'elle évite, à une détermination précise et...erronée.* "

#### a. Les Foraminifères

La Classification des Foraminifères utilisée dans ce mémoire est celle proposée par LOEBLICH & TAPPAN, 1964.

Phylum : PROTISTA

Sous-phylum : SARCODINA Schamrda, 1871

Classe : RHIZOPODA Von Siebold, 1845

Sous-classe : GRANULORETICULOSA De Saedeleer, 1934

Ordre : FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830

Sous ordre : MILIOLINA Delage & Hérouard, 1896

Super famille : MILIOLACEA Ehrenberg, 1839

Famille : MILIOLIDAE Ehrenberg, 1839

Sous-famille : QUINQUELOCULININAE Cushman, 1917,

Genre : *Quinqueloculina* d'Orbigny, 1826

*Quinqueloculina* sp.

Pl. III, 3a, 3b

Localisation : MAK 1, MAK 3, MAK 4, MAK 5aI, MAK 5aII, MAK 6, MAK 7, MAK 9

AMP 1 (A), AMP 1 (B), AMP 1(C), AMP 1(D), AMP 1(E), AMP 4 (1), AMP 4 (3), AMP 4 (6), AMP 4 (7), AMP 4 (9),

Répartition stratigraphique : Jurassique - Actuel

Description : Le test est libre et porcelané, à enroulement pelotonné. Il est enroulé suivant cinq plans de telle sorte que les loges visibles à l'extérieur soient au nombre de cinq. Les cinq loges complètent un cycle de deux tours autour d'un axe imaginaire (visible uniquement en section). De cette manière quatre loges sont visibles d'un côté et le reste se trouvant de l'autre côté visibles avec les deux loges les plus distales. L'ouverture est terminale, arrondie ou allongée *avec une dent simple ou bifide*.

Faciès : ce genre est un bon indicateur de la proximité des côtes. Il est très peu nombreux dans le domaine externe de la plateforme continentale (LUCZKOWSKA, 1974). Le genre *Quinqueloculina* se rencontre principalement à l'intérieur de la zone turbulente entre 20 à 30 m (PHLEGER, 1960 *in* LUCZKOWSKA, 1974).

Genre : *Triloculina* d'Orbigny, 1826

*Triloculina* sp.

Pl. III, 1

Localisation : MAK 1, MAK 3, MAK 5aI, MAK 5aII,

AMP 1 (A), AMP 1(C), AMP 1 (D), AMP 4 (1), AMP 4 (3), AMP 4 (9),

Répartition stratigraphique : Trias - Actuel

Description : Le test est de forme ovulaire, avec un enroulement suivant trois plans de telle sorte que les loges visibles à l'extérieur au nombre de trois. Le test, calcaire est porcelané. L'ouverture est en position terminale et est constituée d'une dent bifide.

Faciès : ce genre est un bon indicateur de la proximité des côtes. Généralement en association avec le genre *Quinqueloculina*, il est aussi très peu nombreux dans le domaine externe de la plateforme continentale.

Genre : *Cycloforina* Luczkowska, 1972

*Cycloforina* sp.

Pl. III, 5

Localisation : MAK 5aII, MAK 6, MAK 7,

Description : Le test, porcelané, est assez large, robuste, régulier, généralement de forme ovale, étroit et arqué aux deux extrémités. L'enroulement est de type quinqueloculine. Les loges, ont une largeur uniforme. Celle du milieu est large et en saillie. Les sutures sont bien nettes. La surface externe paraît mate. L'ouverture est terminale, de petite taille, circulaire, et avec une courte dent bifide.

Genre : *Hauerina* d'Orbigny, 1839

*Hauerina* cf. *compressa* d'Orbigny, 1846

Pl. III, 7

Localisation : MAK 3,

Répartition stratigraphique : Eocène à Actuel (*Hauerina*) ; Tortonien (*H. cf. compressa*)

Description : Le test, porcelané, est presque circulaire, aplati et concave dans la partie centrale. La partie périphérique est aiguë ou subaiguë. Les loges sont légèrement renflées, étroites et allongées. Celles-ci sont arrangées de façon planispiralé dont 3 ou 4 loges constituent la dernière spire autour des précédentes. La partie initiale entourée par les spires est distincte au centre du test. Les lignes de sutures sont visibles et inclinées vers l'arrière. La surface externe est lisse. L'ouverture consiste en un ovale étroit composé par des trématophores.

Sous-famille : MILIOLINELLINAE Vella, 1957

Genre : *Pyrgo* DeFrance, 1824

*Pyrgo* sp.

Pl. III, 4

Localisation : MAK 1, MAK 3, MAK 4, MAK 5aI, MAK 5aII, MAK 6, MAK 7

AMP 1(C), AMP 4 (2), AMP 4 (4), AMP 4 (6), AMP 4 (7)

Répartition stratigraphique : depuis le Jurassique

Description : Le test est circulaire, porcelané, ovalaire pour certains spécimens, discoïde à ovoïde pour d'autres, et biloculaire. Seules deux loges constituent l'extérieur. L'ouverture, terminale, consiste en une large dent bifide.

Faciès : dans la zone bathyale, la plupart des Miliolidae se font rares sauf *Pyrgo* (et *Pyrgoella*) qui quant à lui développe plusieurs espèces.

Famille : NUBECULARIIDAE Jones, 1875

Sous-famille : SPIROLOCULININAE Wiesner, 1920

Genre : *Spiroloculina* d'Orbigny, 1826

Pl. III, 2

Localisation : MAK 1, MAK 3,

AMP 4 (1), AMP 4 (6)

Répartition stratigraphique : Crétacé supérieur - Actuel

Description : Le test, elliptique, montre une partie centrale large. Cette partie centrale est comprimée dans chaque face, généralement une face plus que l'autre. La partie périphérique est convexe. Le test est à enroulement planispiralé. L'ouverture est terminale, quadrangulaire et à dent bifide

Faciès : ce genre ne se rencontre généralement que dans la plateforme interne

Famille : ALVEOLINIDAE Ehrenberg, 1839

Genre : *Borelis* Montfort, 1808

*Borelis melo* Fitchell & Moll

Pl. III, 8

Localisation : MAK 1, MAK 3

Répartition stratigraphique : Eocène - Actuel (*Borelis*)

Description : Le test, porcelané, est streptospiralé, subsphérique, avec des loges séparées en logettes alignées. L'ouverture est formée par des rangées de pores alignés.

*Borelis cf. pulchra* d'Orbigny, 1808

Pl. III, 9

Localisation : MAK 1

Répartition stratigraphique : Eocène - Actuel (*Borelis*)

Description : Le test, porcelané, est streptospiralé, allongé, avec des loges séparées en logettes alignées. L'ouverture est formée par des rangées de pores alignés.

Faciès : Cette espèce se rencontre en faible abondance dans les lagons et les récifs (JAVAUX & SCOTT, 2003)

Genre : *Alveolinella* Douvillé, 1906

*Alveolinella* sp.

Pl. III, 6

Localisation : MAK 1, MAK 5AII, MAK 6, MAK 9, AMP 1 (A)

Répartition stratigraphique : Miocène - Actuel

Description : Le test est allongé fusiforme et de nature porcelanée. Les loges sont subdivisées en plusieurs logettes alternes ou petites mansardes. Les nombreuses ouvertures s'alignent en rangées suivant la face orale et diminuent en nombre vers les pôles.

Faciès : caractérise un milieu marin à basse énergie.

Famille SORITIDAE Ehrenberg, 1839

Sous-famille PENEROPLINAE Schultze, 1854

Genre : *Peneroplis* Montfort, 1808

*Peneroplis* sp.

Pl. IV, 2

Localisation : MAK 1, MAK 7

AMP 1 (A), AMP 1 (E), AMP 4 (1), AMP 4 (2), AMP 4 (7)

Répartition stratigraphique : Eocène - Actuel

Description : Le test est planispiralé à enroulement étroit dans les premiers stades de développement. Il est de nature porcelanée. Ce stade est suivi par un stade adulte totalement ou partiellement déroulée, évasé. Les loges sont entières (non divisées). L'ouverture est simple à la base de la face orale, allongée en fente pour certains.

Faciès : leur localisation est très stricte liée à une faible profondeur, un substratum végétal, des eaux limpides et salées. Ainsi, le genre se rencontre le plus souvent dans les plates-formes continentales, dans des lagons, les récifs, l'arrière-récif.

Ils sont abondants dans les eaux littorales superficielles (0 à 60 m), limpides et très éclairées, mers chaudes à salinité élevée sur les marges tropicales et subtropicales des océans.

Genre : *Spirolina* Lamarck, 1804

*Spirolina* sp.

Pl. IV, 1

Localisation : MAK 1, MAK 3, MAK 5aII

AMP 1 (A), AMP 1 (E), AMP 4 (1), AMP 4 (7)

Répartition stratigraphique : Eocène à Actuel

Description : Le test est calcaire, porcelané initialement enroulé de type planispiralé, et aplati suivi d'une portion terminale déroulée, courte et à section cylindrique. Il est lisse. L'ouverture est arrondie et en position terminale.

Faciès : Ce genre tolère les eaux à salinité élevée.

Sous-famille ARCHAIASINAE Cushman 1927

Genre : *Archaias* Montfort, 1808

*A.cf. angulatus* Fitchell & Moll, 1803

Pl. IV, 7

Localisation : MAK 1, MAK 6

Répartition stratigraphique : Eocène - Actuel (*Archaias*)

Description : Le test est planispiralé et lenticulaire au début du développement. Il est de nature porcelané et est bilatéralement symétrique. Les loges suivantes deviennent évasées voire même annulaire. Les loges sont divisées en logettes. Les ouvertures consistent en des rangées de pores, face orale très étroite.

Faciès : cette espèce est abondante dans les récifs de plusieurs régions tropicales et subtropicales. Elle se rencontre également dans les mangroves, l'arrière-récif, les lagons.

Sous-ordre : TEXTULARIINA Delage & Hérouard, 1896

Super famille : LITUOLACEA De Blainville, 1825

Famille : LITUOLIDAE De Blainville, 1825

Sous-Famille : CYCLAMMININAE Marie, 1941

Genre : *Cyclammina* Brady, 1879

*Cyclammina* sp.

Localisation : MAK 1, MAK 6,

AMP 1 (A), AMP 4 (3)

Répartition stratigraphique : Crétacé - Actuel

Description : Le test est comprimé, planispiralé et partiellement ou entièrement involute. La partie périphérique est subaiguë et légèrement lobée. La région ombilicale est assez déprimée. La spire renferme 10 ou 11 loges. Les sutures sont distinctes et radiales.

Faciès : genre à test agglutiné qui affectionne les grandes profondeurs.

Super-famille : AMMODISCACEA, Reuss, 1862

Famille : AMMODISCIDAE Reuss, 1862

Sous-famille : AMMODISCINAE Reuss, 1862

Genre : *Ammodiscus* Reuss, 1862

*Ammodiscus* sp.

Pl. IV, 11

Localisation : AMP 1 (B),

Répartition stratigraphique : Silurien - Actuel

Description : Le test est discoïde et arénacé. Le proloculus est directement suivi par un tube non divisé enroulé de façon planispiralée. Ouverture formée par le bout du tube.

Faciès : genre se rencontrant le plus souvent dans les environnements marins côtiers.

Famille : ASTRORHIZIDAE Brady, 1881

Sous-famille : ASTRORHIZINAE Brady, 1881

Genre : *Rhabdammina* M. Sars, 1869

*Rhabdammina* sp.

Pl. IV, 13

Localisation : AMP 4 (1)

Répartition stratigraphique : Silurien à Actuel

Description : Le test, de type agglutiné, est libre et rayonnante, subcylindrique et ramifié. La paroi fermement cimentés, probablement par du sable de couleur jaunâtre à marron. Les extrémités des tubes servent d'ouvertures.

Faciès : c'est une forme des grandes profondeurs.

Sous-ordre : ROTALIINA Delage & Hérouard, 1896

Super famille : ROTALIACEA Ehrenberg, 1839

Famille : ROTALIIDAE Ehrenberg, 1839

Sous-famille : ROTALIINAE Ehrenberg, 1839

Genre : *Ammonia* Brünnich, 1772

*Ammonia* cf. *beccarii* Linnaeus, 1758

Pl. IV, 10a, 10b

Localisation : MAK 7, AMP 1 (C), AMP 4 (3), AMP 4 (6), AMP 4 (7), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Miocène à Actuel

Description : Le test est trochospiralé, hyalin, à spire base avec une face ombilicale faiblement convexe et une face spirale toujours plus convexe. Les bords périphériques sont arrondis ou lobés. Le dernier tour compte 10 à 12 loges augmentant graduellement de taille. Les sutures sont très déprimées et radiales sur la face ombilicale. Sur la face spirale, elles sont moins déprimées et souvent peu apparentes au niveau des premières loges.

Faciès : se rencontre le plus souvent dans le même milieu que *Quinqueloculina* et *Elphidium*. C'est une espèce que l'on associe le plus souvent à des mangroves ou des lagons. Elle se développe aussi dans des zones à basse énergie telle qu'une baie protégée. Elle est tolérante sur la salinité de l'eau car elle se rencontre même dans des eaux saumâtres.

Famille : ELPHIDIIDAE Galloway, 1933

Sous-Famille : ELPHIDIINAE Galloway, 1933

Genre : *Elphidium* Montfort, 1808

*Elphidium* sp.

Pl. III, 10

Localisation : MAK 7, AMP 1 (A), AMP 1 (B), AMP 1 (C), AMP 1 (D), AMP 1 (E), AMP 4 (1), AMP 4 (2), AMP 4 (3), AMP 4 (6), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Eocène à Actuel

Description : Le test est planispiralé, bilatéralement symétrique et surtout involute. Il est de nature hyalin. Les loges sont nombreuses et ne varient presque pas de taille dans le dernier tour. Les sutures sont bien distinctes, soient déprimées, soient surélevées avec des ponts septaux. L'ouverture se situe à la base de la face orale. Le test est à paroi calcaire.

Faciès : se rencontre le plus souvent dans la même zone que *Quinqueloculina* et *Ammonia* cf. *beccarii*. Le genre est le plus souvent associé à un milieu littoral : lagons, arrière-récif et récif, plateforme continentale.

Super famille: CASSIDULINACEA d'Orbigny, 1839

Famille: NONIONIDAE Schultze, 1854

Sous-famille: NONIONINAE Schultze, 1854

Genre: *Nonion* Monfort, 1808

*Nonion* sp.

Pl. III, 11

Localisation : MAK 6, AMP 4 (1), AMP 4 (7)

Répartition stratigraphique : Eocène - Miocène

Description : Le test est libre, planispiralé, plus ou moins involute, ovale, lisse, à pourtour anguleux, et symétrique bilatéralement. Il est de nature hyalin. Les loges sont nombreuses. La face orale est losangique et les sutures, peu déprimées.

Faciès : Cette espèce caractérise aussi des milieux de dépôt de faibles profondeurs. Les *Nonion*, comme les *Elphidium* préfèrent les zones littorales ; les premiers sont plus abondants dans les mers froides, les seconds dans les mers chaudes mais tous deux vivent en général dans les eaux superficielles.

Genre : *Nonionella* Cushman, 1926

*Nonionella* sp.

Pl. IV, 9

Localisation : MAK 6

AMP 4 (7)

Répartition stratigraphique : Crétacé - Actuel

Description : Le test est libre, subtrochospiralé et hyalin. Le côté dorsal est partiellement involute tandis que le côté ventral l'est complètement, donc les tours sont très proches.

Les loges sont inéquilatérales chez l'adulte. Le côté ventral développe un long lobe distinct dans la partie ombilicale qui couvre l'ombilic. L'ouverture se situe à la base de la face orale, étendue de la périphérie vers la face ventrale (le côté involute).

Faciès : se rencontre autant sur les plates-formes que dans les grandes profondeurs.

Famille : CASSIDULINIDAE d'Orbigny, 1839

Genre : *Cassidulina* d'Orbigny, 1826

Pl. IV, 6

Localisation : MAK 3

Répartition stratigraphique : Crétacé supérieur - Actuel

Description : Le test est à enroulement étroit, subglobulaire et globalement involute. Les loges sont lisses et alternées sur les deux côtés. La paroi, calcaire hyalin, est perforée. L'ouverture est allongée et près des périphéries (virguline).

Faciès : Presque entièrement au-delà des 75 m de profondeur. C'est un genre des grandes profondeurs.

Super-famille : NODOSARIACEA Ehrenberg, 1838

Famille : NODOSARIIDAE Ehrenberg, 1838

Sous-famille : NODOSARIINAE Ehrenberg, 1838

Genre : *Lagena* Walker & Jacob, 1798

*Lagena* sp.

Pl. IV, 4

Localisation : AMP 1 (B)

Répartition stratigraphique : Jurassique - Actuel

Description : Le test lisse à paroi calcaire perforée, est constitué par une seule et unique loge (uniloculaire) avec un col réduit. L'ouverture est terminale et semble être arrondie et radiée.

Remarque : Les espèces dans ce genre sont très variable, voire trop. Cela induit une appartenance douteuse de certaines formes au genre.

Faciès : le genre s'est spécialisé à un habitat froid et profond or la plupart des Lagenidae préfèrent les eaux superficielles et chaudes où l'ornementation de leur coquille prend une richesse qu'elles ne peuvent atteindre dans les mers froides

Genre : *Dentalina* Risso, 1826

*Dentalina* sp.

Pl. IV, 3

Localisation : MAK 6

Répartition stratigraphique : Carbonifère - Actuel

Description : Le test est arqué, allongé et à paroi calcaire perforée. Les nombreuses loges s'arrangent en séries linéaires. Les sutures sont obliques. L'ouverture semble terminale et centrale.

Genre : *Nodosaria* Lamarck, 1812

*Nodosaria* sp.

Pl. IV, 8

Localisation : MAK 1, AMP 1 (A), AMP 1 (B), AMP 4 (2), AMP 4 (3), AMP 4 (6), AMP 4 (7), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Permien - Actuel

Description : Le test est composé de plusieurs loges arrangées en séries linéaires rectiligne. Les sutures sont nettes et perpendiculaires à l'axe du test. Le test a une surface lisse, une section circulaire et une paroi calcaire perforée. L'ouverture est terminale.

Superfamille : BULIMINACEA Jones, 1875

Famille : BOLIVINITIDAE Cushman, 1927

Genre : *Bolivina* d'Orbigny, 1839

*Bolivina* sp.

Pl. IV, 14

Localisation : AMP 1 (B), AMP 4 (1)

Répartition stratigraphique : Crétacé - Actuel

Description : Test allongé, hyalin, comprimé et décroissant dont la plus grande largeur se situe vers l'extrémité orale. Les loges sont vastes, arrangées de façon bisériée et sont dirigées vers l'arrière tout en se chevauchant. L'ouverture est allongée et terminale.

Faciès : genre qui affectionne les sédiments vaseux.

Super-famille : ORBITOIDACEA Schwager, 1876

Famille : LEPIDOCYCLINIDAE Scheffen, 1932

Sous-famille : LEPIDOCYCLININAE Scheffen 1932

Genre : *Lepidocyclus* Gümbel, 1870

*Lepidocyclus* sp.

Pl. IV, 5

Localisation : MAK 5aI et MAK 5aII

Répartition stratigraphique : Miocène moyen - Miocène supérieur

Description : Le test est circulaire, lenticulaire et pourvu de " papilles " à la surface.

Faciès : le genre est très abondant dans les sédiments des mers peu profondes des latitudes tropicales et alentours.

Super-famille : SPIRILLINACEA Reuss, 1862

Famille : SPIRILLINIDAE Reuss, 1862

Sous-famille : SPIRILLININAE Reuss, 1862

Genre : *Spirillina* Ehrenberg, 1843

*Spirillina* sp.

Pl. IV, 12

Localisation : MAK 7

Répartition stratigraphique : Carbonifère - Actuel

Description : Genre à test hyalin calcaire, planispiralé. Le proloculus est suivi de près par une seconde loge tubulaire spirale, non divisée. Ouverture terminale, à l'extrémité de la deuxième loge. Le dernier tour repose sur le précédent

Faciès : genre que l'on trouve le plus souvent sur les plates-formes continentales.

## b. Les Ostracodes

La Classification des Ostracodes utilisée dans ce mémoire est celle proposée par BENSON R.H. *et al.*, 1961.

Phylum : ARTHROPODA

Sous-phylum : MANDIBULATA Clairville, 1798

Class : CRUSTACEA Pennant, 1777

Sous-classe : OSTRACODA Latreille, 1806

Ordre : PODOCOPIDA Müller, 1894

Sous Ordre : PODOCOPINA Sars, 1866

Superfamille : CYTHERACEA Baird, 1850

Famille CYTHERIDEIDAE Sars, 1925

Sous famille : CYTHERIDEINAE Sars, 1925

Genre : *Cyprideis* Jones, 1857

*Cyprideis* sp.

Pl. II, 3

Localisation : AMP 1 (B), AMP 1 (D)

Répartition stratigraphique: Miocène - Actuel

Description : Forme à coquille allongée et subrectangulaire. Le bord antérieur est arrondi. Le bord postérieur est tronqué avec un apex en position sub-dorsal à la valve droite. Un sillon médian faiblement développé se voit discrètement sur le profile.

Faciès : c'est un Ostracode typique des eaux saumâtres hypersalines et de faible profondeur des lagons. Associé aussi aux assemblages de Foraminifères de la zone de balancement des marées. Son trait caractéristique est la présence de nodosités sur le test qui sont d'autant plus développées à mesure que la salinité du milieu augmente.

Famille : HEMICYTHERIDAE Puri, 1953

Genre : *Aurila* Pokorný, 1955

*Aurila* sp.

Pl. II, 1

Localisation : MAK 3, MAK 4, MAK 5aII, AMP 1 (A), AMP 1 (B), AMP 1 (C), AMP 4 (6), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Miocène - Actuel

Description : La coquille est globuleuse et de petite taille. L'ornementation est faite de fossettes arrondies, très denses devenant très petites le long des bords.

Faciès : C'est un Ostracode associé souvent aux eaux saumâtres. Il est typique des eaux de faible profondeur de la zone infralittoral.

Famille CYTHERURIDAE, G. W. Müller, 1894

Genre : *Cytheropteron* Sars, 1866

*Cytheropteron* sp.

Pl. II, 9

Localisation : AMP 1 (A)

Répartition stratigraphique : Jurassique - Actuel

Description : La carapace est ovale en vue latérale. La marge dorsale est convexe. La marge ventrale droite montre un processus alaire en position ventro-latérale

Le bord antérieur est arrondi. Tandis que le bord postérieur possède un processus caudal. La surface externe est faiblement réticulée.

Faciès : C'est un genre ubiquiste mais la majorité des espèces appartenant à ce genre occupe l'étage circalittoral. On le retrouve généralement dans la faune des grandes profondeurs et de la plateforme externe (marin ouvert) de l'Atlantique et de l'Océan Indien. L'expansion aliforme ventro-latérale qu'il possède donne à ce genre une allure caractéristique.

Famille XESTOLEBERIDIDAE Sars, 1928

Genre : *Xestoleberis* Sars 1866

*Xestoleberis* sp.

Pl. II, 8

Localisation : MAK 3

Répartition stratigraphique : Crétacé - récent

Description : Le contour de la coquille est globuleux étant plus anguleux dans l'angle postéro-ventral. La surface externe est lisse.

Faciès : C'est un Ostracode typique des eaux peu profondes du domaine infralittoral. On ne le trouve presque jamais dans le domaine circalittoral. Il est étroitement associé aux prairies sous-marines et aux algueraies.

Famille : TRACHYLEBERIDIDAE Sylvester-Bradley, 1948

Genre : *Quadracythere* Hornibrook, 1952

*Quadracythere* sp.

Pl. II, 7

Localisation : AMP 1 (B), AMP 1 (C), AMP 4 (6)

Répartition stratigraphique : Eocène - Actuel

Description : La coquille affiche un contour subrectangulaire à réticulations irrégulières. On remarque la présence d'un tubercule subcentral. Le bord postérieur est orné d'épines marginales en position ventrale.

Faciès : C'est un Ostracode de la zone infralittorale, de faible profondeur, que l'on peut aussi retrouver en zone littorale.

Genre : *Hermanites* Puri, 1955

*Hermanites* sp.

Pl. II, 5

Localisation : AMP 4 (1)

Répartition stratigraphique : Eocène - Miocène

Description : La carapace est sub-rectangulaire, réticulé avec un tubercule subcentral très marquée et des crêtes dorsale et ventrale.

Faciès : Occupe le domaine marin néritique de la zone littorale. Il est à l'aise dans les eaux à salinité normale.

Super famille BAIRDIACEA Sars, 1888

Famille BAIRDIIDAE Sars, 1888

Genre : *Bairdopillata* Coryell, Sample & Jennings, 1935

*Bairdopillata* sp.

Pl. II, 10a, 10b

Localisation : MAK 1, MAK 6,

AMP 1 (B), AMP 4 (4), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Crétacé - Tertiaire

Description : La coquille est relativement de grande taille avec des bords convexes. La largeur maximum se situe dans le tiers antérieur. La pointe postérieure est relevée en position médiane.

Faciès : C'est un genre ubiquiste : on peut le retrouver aussi bien dans la zone infralittoral que circalittorale.

Genre : *Bairdia* McCoy, 1844

*Bairdia* sp.

Pl. II, 2

Localisation : AMP 1 (A), AMP 1 (C), AMP 1 (E), AMP 4 (4)

Répartition stratigraphique : Ordovicien - Actuel

Description : La carapace est de taille relativement grande. L'extrémité postérieure est étirée et relevée en un long processus caudal. Le bord dorsal convexe tandis que le bord ventral est rectiligne. La surface est lisse.

Faciès : *Bairdia* est un genre ubiquiste connu pour sa faculté d'adaptation à un environnement infra-néritique. Il est aussi connu pour sa préférence pour les eaux à salinité normale, c'est un genre polyhalin.

Super-famille CYPRIDACEA Baird, 1845

Famille : PARACYPRIDIDAE Sars, 1923

Genre : *Paracypris* Sars 1866

*Paracypris* sp.

Pl. II, 6

Localisation : AMP 4 (4)

Répartition stratigraphique : Trias - Actuel

Description : le bord postérieur et antérieur est très incurvé. Le bord dorsal est modérément convexe et incliné vers l'arrière. Le bord ventral présente une légère concavité en son milieu. La surface de la carapace est lisse.

Faciès : *Paracypris* se rencontre en plus grand nombres dans les vases argileuses.

Sous-Ordre PLATYCOPINA Sars, 1866

Famille CYTHERELLIDAE Sars, 1866

Genre : *Cytherella* Jones, 1849

*Cytherella* sp.

Pl. II, 4

Localisation : MAK 5aI, MAK 5aII, MAK 6, MAK 7

AMP 4 (6), AMP 4 (9)

Répartition stratigraphique : Jurassique - Actuel

Description : surface lisse, en forme d'œuf en vue latérale. Bord antérieur plutôt comprimé, bord postérieur plus gonflé.

Faciès : C'est un genre ubiquiste. Il vit généralement dans des conditions eumarines, dans l'étage infralittoral mais il peut très bien être infranéritique et néritique. Il affectionne les eaux à salinité normale.

Dans les roches sédimentaires récoltées au Cap Tanjona, aucun microfossile n'a été repéré.

Tab. 1 Liste de la microfaune de Nosy Makamby (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010)

Couches	Foraminifères	Ostracodes
MAK 10	-	-
MAK 9	<i>Quinqueloculina</i> sp. <i>Alveolinella</i>	-
MAK 8	-	-
MAK 7	<i>Pyrgo</i> <i>Quinqueloculina</i> <i>Peneroplis</i> <i>Spirillina</i>	<i>Elphidium</i> <i>Ammonia</i> cf. <i>beccarii</i> <i>Cycloforina</i>
MAK 6	<i>Cycloforina</i> <i>Quinqueloculina</i> <i>Archaias</i> cf. <i>angulatus</i> <i>Nonionella</i> <i>Nonion</i>	<i>Cyclammina</i> <i>Pyrgo</i> <i>Alveolinella</i> <i>Dentalina</i>
MAK 5aII	<i>Cycloforina</i> <i>Quinqueloculina</i> <i>Triloculina</i> <i>Pyrgo</i>	<i>Lepidocyclina</i> <i>Alveolinella</i> <i>Spirolina</i> <i>Cytherella</i> <i>Aurila</i>
MAK 5aI	<i>Quinqueloculina</i> <i>Triloculina</i> <i>Pyrgo</i> <i>Lepidocyclina</i>	<i>Cytherella</i>
MAK 4	<i>Quinqueloculina</i> <i>Pyrgo</i>	<i>Aurila</i>
MAK 3	<i>Spiroloculina</i> <i>Quinqueloculina</i> <i>Hauerina</i> <i>Pyrgo</i>	<i>Borelis melo</i> <i>Triloculina</i> <i>Spirolina</i> <i>Cassidulina</i>
MAK 2	-	-
MAK 1	<i>Spiroloculina</i> <i>Pyrgo</i> <i>Quinqueloculina</i> <i>Triloculina</i> <i>Borelis melo</i> <i>B. cf. pulchra</i>	<i>Alveolinella</i> <i>Peneroplis</i> <i>Spirolina</i> <i>Cyclammina</i> <i>Nodosaria</i> <i>Archaias</i> cf. <i>angulatus</i> <i>Bairdoppilata</i>

Tab. 2 Liste de la microfaune des deux sites d'Amparafaka (Auteur: RAMIHANGIHAJASON T. 2010)

Couches	Foraminifères		Ostracodes
AMP 4 (10)	-		-
AMP 4 (9)	<i>Nodosaria</i>	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Bairdopillata</i>
	<i>Ammonia</i> cf. <i>beccarii</i>	<i>Triloculina</i> <i>Elphidium</i>	<i>Aurila</i> <i>Cytherella</i>
AMP 4 (8)	-		-
AMP 4 (7)	<i>Nodosaria</i>	<i>Ammonia</i> cf. <i>beccarii</i>	
	<i>Pyrgo</i>	<i>Nonion</i>	
	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Nonionella</i>	-
	<i>Spirolina</i>	<i>Peneroplis</i>	
AMP 4 (6)	<i>Elphidium</i>	<i>Ammonia</i> cf. <i>beccarii</i>	<i>Aurila</i>
	<i>Spiroloculina</i>	<i>Nodosaria</i>	<i>Cytherella</i>
	<i>Pyrgo</i>	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quadracythere</i>
AMP 4 (5)	-		-
AMP 4 (4)	<i>Pyrgo</i>		<i>Bairdopillata</i> <i>Bairdia</i> <i>Paracypris</i>
AMP 4 (3)	<i>Elphidium</i>	<i>Ammonia</i> cf. <i>beccarii</i> .	
	<i>Cyclammina</i>	<i>Nodosaria</i>	-
	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Triloculina</i>	
AMP 4 (2)	<i>Peneroplis</i>	<i>Nodosaria</i>	
	<i>Triloculina</i>	<i>Elphidium</i>	-
	<i>Pyrgo</i>		
AMP 4 (1)	<i>Peneroplis</i>	<i>Rhabdammina</i>	
	<i>Spirolina</i>	<i>Nonion</i>	
	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Bolivina</i>	<i>Hermanites</i>
	<i>Spiroloculina</i>	<i>Triloculina</i>	
	<i>Elphidium</i>		

Couches	Foraminifères		Ostracodes
AMP 1 (E)	<i>Peneroplis</i>	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Bairdia</i>
	<i>Spirolina</i>	<i>Elphidium</i>	
AMP 1 (D)	<i>Elphidium</i>	<i>Triloculina</i>	<i>Cyprideis</i>
	<i>Quinqueloculina</i>		
AMP 1 (C)	<i>Ammonia</i>	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Aurila</i>
	<i>Elphidium</i>	<i>Triloculina</i>	<i>Quadracythere</i>
	<i>Pyrgo</i>		<i>Bairdia</i>
AMP 1 (B)	<i>Lagena</i>	<i>Elphidium</i>	<i>Cyprideis</i> <i>Quadracythere</i>
	<i>Bolivina</i>	<i>Ammodiscus</i>	<i>Bairdopillata</i> <i>Aurila</i>
	<i>Nodosaria</i>	<i>Quinqueloculina</i>	
AMP 1 (A)	<i>Peneroplis</i>	<i>Nodosaria</i>	<i>Bairdia</i>
	<i>Cyclammina</i>	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Cytheropteron</i>
	<i>Alveolinella</i>	<i>Triloculina</i>	<i>Aurila</i>
	<i>Elphidium</i>	<i>Spirolina</i>	

## V. DISCUSSION ET INTERPRETATION

La méthode la plus logique pour la reconstitution du paléoenvironnement est l'observation du mode de vie des formes actuelles (Tab. 3 ; Fig. 14). Pour les formes Cénozoïque, la comparaison est relativement facile car de nombreux genres tertiaires vivent encore actuellement (GREKOFF, 1960).

Tab. 3 Milieu de vie des Foraminifères listés (d'après MURRAY, 2006 modifié)

Genres	Température	Salinité	Profondeur	Substrat	Zonation
<i>Alveolinella</i>	18 - 26°C	Normale	5 - 100 m	-	Plateforme interne Lagons
<i>Ammonia</i>	Chaud Tempérée Tropicale	Saumâtre à hypersalines	0 - 50 m	Vases sableuses	Plateforme interne Lagons
<i>Archaias</i>	Supérieur à 22°C	Normale	0 - 20 m	Végétaux	Plateforme interne
<i>Bolivina</i>	Froid à Chaud	Normale	-	Vases	Plateforme interne à Bathyal
<i>Borelis</i>	18 -26°C	Marine normale	0 - 40 m	Algues Prairies sous-marines Sédiments grossiers	Récifs Lagons
<i>Cassidulina</i>	Froid à tempérée	Marine normale	-	Vases Sables	Plateforme Bathyale
<i>Cyclammina</i>	-	Marine normale	> 100 m	Vases Sables	Plateforme externe et abyssale
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70 g/L	0 - 50 m	Vases Sables	Plateforme interne

<i>Nonion</i>	Froid à chaud	30 -35 g/L	0 – 180 m	Végétaux Vases	Plateforme
	Tempérée à chaud	Marine normale	10 – 1000 m	Vases	Plateforme Bathyale
<i>Peneroplis</i>	18 – 27°C	35-53 g/L	0-70m	Plantes Fonds endurcis	Lagons Plateforme interne
<i>Pyrgo</i>	Tempérée à chaud	Marine normale	-	Plantes Sédiments	Plateforme interne Bathyale
<i>Quinqueloculina</i>	Froid – chaud	32-65g/L	-	Plantes Sédiments	Marais Plateforme
<i>Spirillina</i>	Froid- tempérée	Marine normale	0 – 100 m	Substrat dur	Plateforme interne
<i>Spirolina</i>	18 -26°C	37 -50g/L	-	Plantes	Lagons Nearshore
<i>Spiroloculina</i>	Tempérée – chaud	Marine normale à hypersalines	0 – 40 m	Sédiments ou plantes	Lagons plateforme interne
<i>Triloculina</i>	Froid (bathyal)	32 -55g/L	-	Vases	Lagons hypersalines
	Tempérée – chaud			Sables plantes	Plateforme interne Bathyal

Remarques sur les taux de salinité de l'eau de mer :

- Eaux saumâtres ou hyposalines : 0 à 33 g/L
- Salinité marine normale ou euhalines : 33 à 37 g/L
- Hypersalines : supérieure à 37g/L

D'une manière générale, les Foraminifères tolèrent une salinité allant de 0 à 70 g/L et ne peuvent survivre au-delà du seuil de 45°C (MURRAY, 2006).

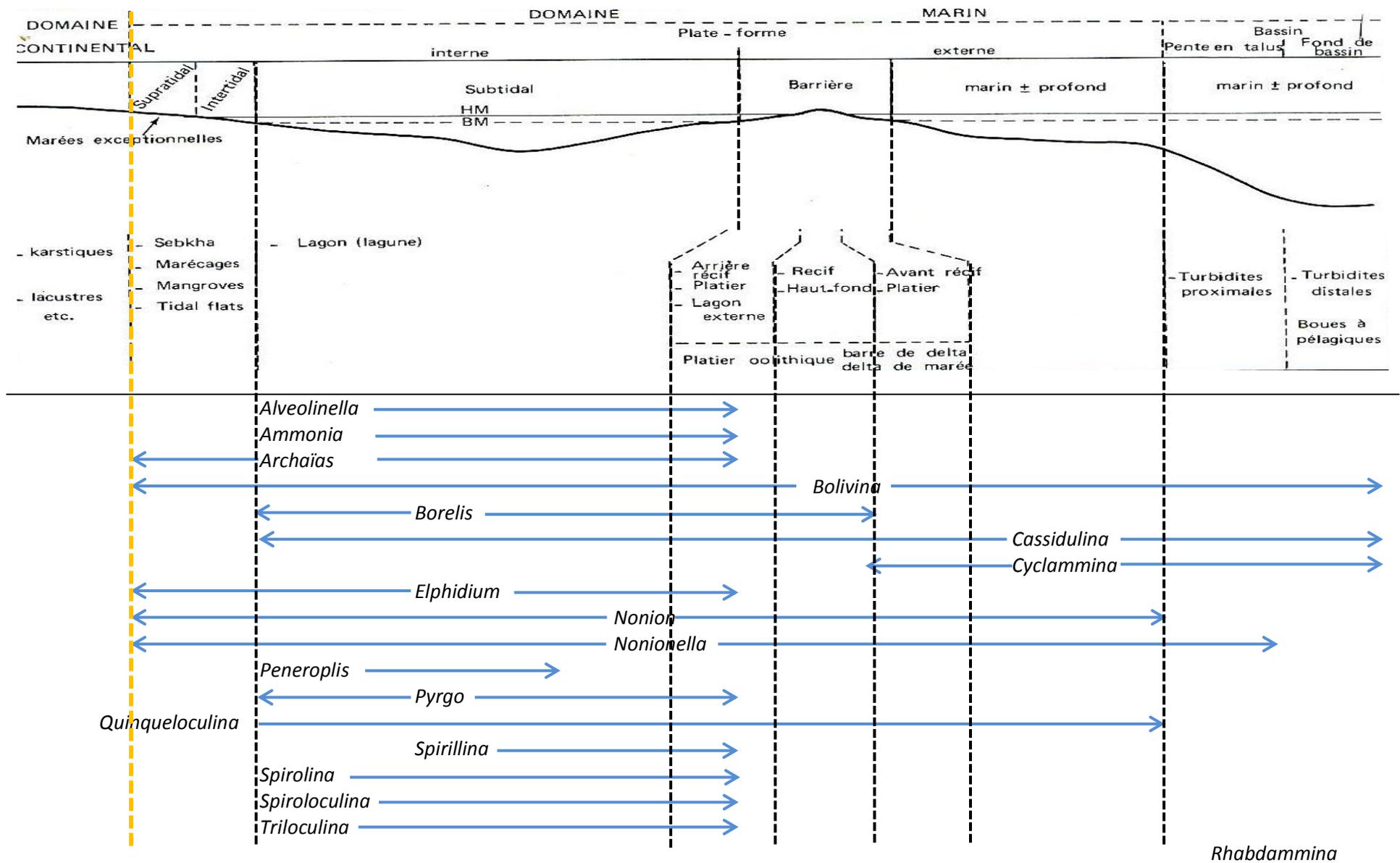


Fig. 14 Répartition dans le domaine marin de quelques genres de Foraminifères représentatifs rencontrés sur les trois sites d'études (Etudes écologiques d'après Murray, 2006, modifié - Répartition du domaine marin d'après ELF-AQUITAINE, 1977, Modifié)

### Précisions :

**La zone supralittorale**, est la zone au-dessus du niveau de la haute mer mais soumise cependant à l'influence marine ;

**La zone médiolittorale**, de battement des marées, dite aussi zone littorale au sens strict;

**La zone infralittorale**, entre la basse mer et la limite inférieure de la zone de survie des algues photosynthétiques (en moyenne vers -50 m) ;

**La zone circalittorale**, de -50 m environ à -200 m (bord du talus continental). Au-delà vient la zone bathyale.

Chacune de ces zones présente des associations de faunes et de flores caractéristiques. V. aussi tidal, et marin (milieu).

### Remarques :

16 genres sur les 17, soit 95%, se rencontrent dans la plateforme interne. 15 d'entre eux se rencontrent à nouveau dans l'arrière-récif (Tab. 3 ; Fig. 14).

L'association des genres : *Alveolinella*, *Ammonia*, *Archaias*, *Peneroplis*, *Spirillina*, *Spirolina*, *Spiroloculina*, *Triloculina*, *Elphidium* indique sans nul doute la localisation du site dans la plate-forme interne, domaine infra-littoral.

*Cassidulina* et *Cyclammina* sont les deux seuls genres indicateurs d'un milieu profond dans le domaine bathyal de la zone circalittorale. *Nonionella* et *Bolivina* renferment aussi des espèces qui peuvent y survivre.

La présence de ces genres benthiques d'eaux profondes (tels *Cassidulina*, *Cyclammina*, *Rhabdammina*) dans les formations de plate-forme interne occupé par les formes résidentes pourrait être causée par l'existence d'un phénomène d'" upwelling ". La remontée d'eau (upwelling en anglais) est un phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface des océans laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elle une quantité importante de nutriments qui a généralement pour conséquence l'épanouissement des formes autochtones.

Tab. 4 Milieu de vie des Ostracodes listés

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Zonation
<i>Cyprideis</i>		1-10	Faible	Infralittoral
<i>Cytheropteron</i>		33-37	Grande	Circalittoral
<i>Quadracythere</i>		1-10	Faible	Infralittoral
<i>Paracypris</i>			Faible à profond	Ubiquiste
<i>Bairdia</i>		33-37		Ubiquiste
<i>Bairdopillata</i>				Ubiquiste
<i>Hermanites</i>		33-37	Faible	Littoral
<i>Aurila</i>	-	1-10		Infralittoral
<i>Xestoleberis</i>	-	-		Infralittoral
<i>Cytherella</i>		33-37	Faible à profond	Ubiquiste

La salinité : *Aurila*, *Cyprideis* sont deux genres d'Ostracodes typiques du milieu saumâtre ce qui indique une salinité entre 1 et 10‰ (Tab. 4).

Les genres *Hermanites*, *Bairdia* et *Cytherella* quant à eux sont des genres qui se développent dans une mer à salinité normale (Tab. 4).

L'oxygène dissout : Le taux d'oxygène dissout est élevé dans les couches où l'on a retrouvé un foisonnement d'Ostracodes.

La profondeur : la totalité des Ostracodes relevées dans les trois sites sont des formes benthiques. Or, la présence des formes benthiques suggère un environnement littoral peu profond (Tab. 4).

Zonation : (Tab. 4)

*Cyprideis* est typique des lagons et de la zone de balancement des marées

*Xestoleberis* et *Aurila* occupent la zone infralittorale.

*Cytheropteron* se rencontre dans la partie circalittorale.

*Hermanites* est un genre marin néritique qui peut se trouver également dans les lagons. Il occupe généralement le littoral.

Les genres *Cytherella*, *Bairdia*, *Bairdoppilata* quant à eux sont des genres ubiquistes.

### **Récapitulation**

La faune d'Ostracode relevée dans les trois sites a une tendance benthique (Tab. 4).

La présence des genres typiques d'eaux saumâtres comme *Aurila* et *Cyprideis* informe sur la présence d'une addition d'eau douce (diminution de la salinité). Elle indique aussi un faible taux d'oxygénation dans la profondeur du sédiment où ces genres vivent.

### **V.1. Ecologie du genre *Kuphus* Guettard, 1770**

L'écologie tirée dans le présent paragraphe résulte de l'analyse des données fournies par les Foraminifères, les Ostracodes et la Stratigraphie Séquentielle. Les figures 15 et 16 représentent une corrélation entre l'abondance du *Kuphus* et le nombre de genre de Foraminifères et d'Ostracodes relevé dans chaque couche, tous deux combinés avec une coupe lithologique qui montre la nature de chaque strate.

Parmi les Ostracodes, ceux à affinités saumâtres ont été représentés à part afin de souligner l'importance de la salinité des eaux.

Afin de faciliter la compréhension des résultats et leurs interprétations, le présent paragraphe étudie chaque site un par un. Les différentes couches sédimentaires étudiées dans chaque site sont regroupées selon qu'elles renferment le genre *Kuphus* en abondance, ou contiennent quelques spécimens du genre *Kuphus*, ou n'en possèdent pas du tout.

Une récapitulation clôt l'étude de chaque site et propose ainsi le paléoenvironnement autour du genre *Kuphus* pour chaque site.

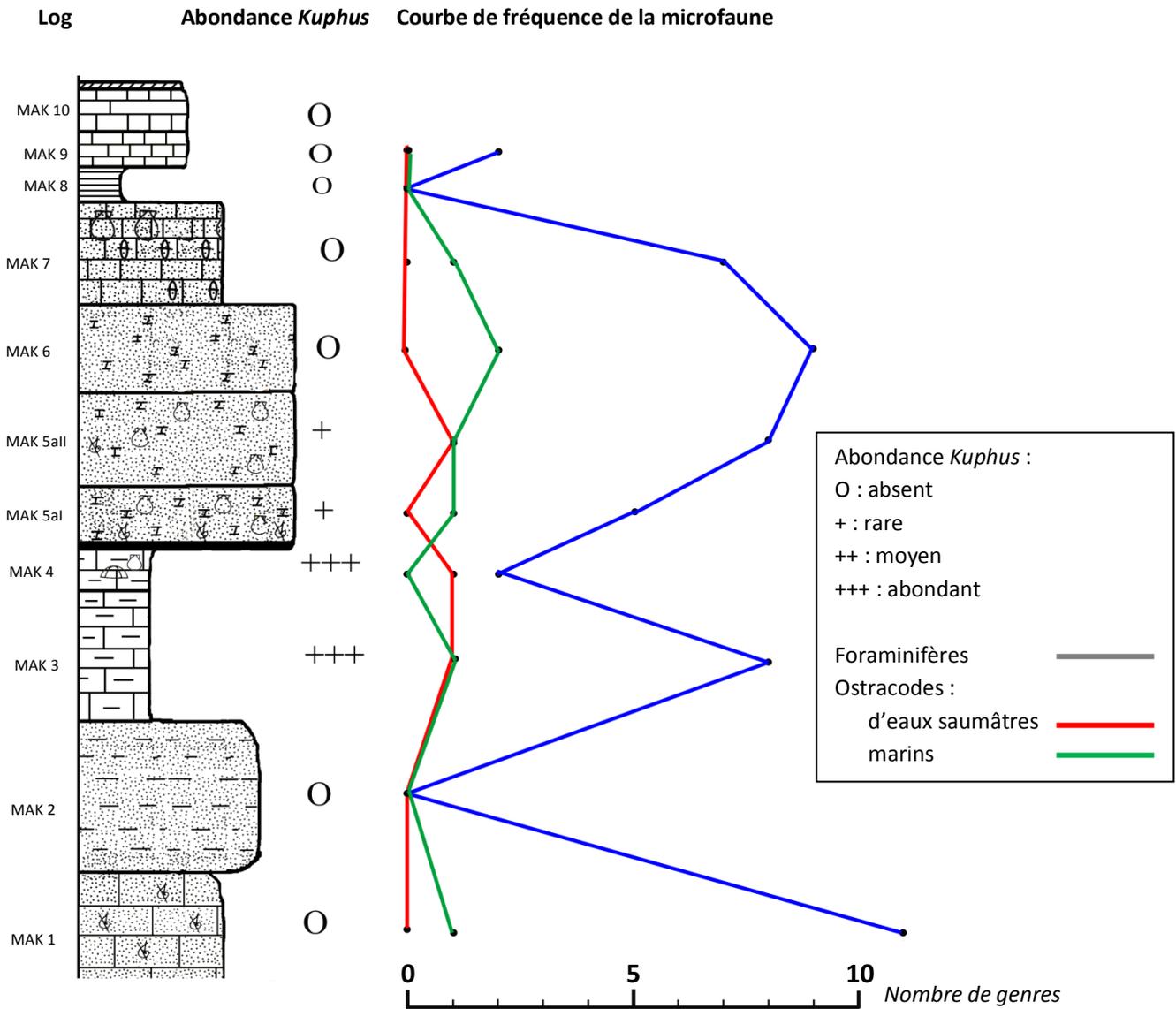


Fig. 15 Corrélation entre l'abondance du genre *Kuphus* et le nombre des Microfossiles dans chaque couche pour Mahakamby (Auteur :RAMIHANGIHASON T. 2010)

#### a. A Nosy Mahakamby

Pour l'ensemble des formations de Nosy Mahakamby, on note en général l'occurrence du genre *Kuphus* dans les sédiments de nature calcaire et marno-calcaire (MAK 3, MAK 4) (Fig. 15) et leur absence en partie ou totale en fonction de la teneur en grès du sédiment (MAK 1, MAK 2).

a<sub>1</sub>. Couches à *Kuphus* abondant (+++) : MAK 3, MAK 4

Tab. 5 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 3

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Zonation
<i>Borelis</i>	18-26	33-37	0-40	Récif-Lagon
<i>Cassidulina</i>	Froid à tempérée	à 33-37		Plate-forme à bathyale
<i>Spiroloculina</i>	Tempéré chaud	à 33-37	0-40	Lagon
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-65		Plate-forme
<i>Pyrgo</i>	Tempéré chaud	à 33-37		Plate-forme interne
<i>Triloculina</i>	Tempéré chaud	à 32-55		Lagon
<i>Spirolina</i>	18 à 26	37-55		Lagon
<i>Aurila</i>	-	1-10		Infralittoral
<i>Xestoleberis</i>	-	-		Infralittoral

**Nature du sédiment** : Calcaire marneux

**Rapport Foraminifères/Ostracodes** : faible taux d'Ostracodes (2 genres) par rapport aux Foraminifères (11 genres)

Les Foraminifères présents sur la couche MAK 3 ont pour point commun d'appartenir à une microfaune occupant en général la plate-forme interne et plus spécialement le lagon (Fig. 15 ; Tab. 5).

Leur présence suggère une température variant entre 18 et 26°C, température qui caractérise les zones tropicales. Le milieu est sous une eau de faible profondeur (variant entre 0 et 40 m). La salinité supportée par les Foraminifères présents dans cette couche oscille entre 32 et 55g/L. Toutefois, la majorité de ces genres présents préfèrent les eaux à salinité normale (entre 33 et 37).

Il n'existe pas de genre adapté à un milieu saumâtre ; mais par contre, trois genres (*Quinqueloculina*, *Triloculina* et *Spirolina*) ayant une abondance relativement élevée dans l'ensemble des Foraminifères triés s'adaptent bien à une mer ayant une salinité élevée (hypersaline, >37g/L).

Les deux genres d'Ostracodes de MAK 3 se localisent dans la zone infralittorale dans une eau hyposaline, ce qui suggèrerait la proximité d'une eau douce qui se jette dans la mer à cet endroit.

Conséquemment, si l'on considère les deux groupes ensemble, vu le nombre élevé de Foraminifères strictement marin et affectionnant en particulier les eaux à salinité normale à élevée, il semble que l'influence de la mer prédomine.

Tab. 6 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 4

Genres	Température	Salinité	Zonation
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62	Plate-forme
<i>Pyrgo</i>	Tempéré à chaud	33-37	Plate-forme
<i>Aurila</i>	-	1-10	Infralittorale

Nature du sédiment : calcaire marneux

Rapport Foraminifères/Ostracodes : équilibré

Les deux genres de Foraminifères présents sur MAK 4 sont typiques des zones à climat chaud des plates-formes carbonatées tropicales ((Tab. 6). Tous-deux sont à l'aise dans une mer à salinité normale même si *Quinqueloculina* peut se permettre un peu d'écart (>37 g/L : eaux hypersalines).

#### a<sub>2</sub>. Couches à *Kuphus* peu abondant (+) : MAK 5aI, MAK 5aII

Tab. 7 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 5aI

Genres	Température	Salinité (g/L)	Zonation
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62	Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré à chaud	32-55	Lagon
<i>Pyrgo</i>	Tempéré à chaud	33-37	Plate-forme
<i>Lepidocyclina</i>			
<i>Cytherella</i>		33-37	Ubiquiste

Nature du sédiment : grès calcaire

Rapport Foraminifères/Ostracodes : faible nombre des Ostracodes

Les trois genres de Foraminifères relevés sur MAK 5aI ont en commun leur préférence pour les climats tempérés à chaud ainsi qu'une grande tolérance à une forte salinité (pouvant atteindre 62g/L). Les trois sont toutes des formes qui occupent la plate-forme continentale (Tab. 7).

Tab. 8 Milieu de vie des microfossiles relevés sur MAK 5aII

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Zonation
<i>Cycloforina</i>				
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62		Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré chaud	à 32-55		Lagon
<i>Pyrgo</i>	Tempéré chaud	à 33-37		Plate-forme
<i>Lepidocyclina</i>	Tropical		Peu profond	
<i>Alveolinella</i>	18 - 26°C	33-37	5 - 100 m	Plateforme interne - Lagon
<i>Spirolina</i>	18 à 26	37-55		Lagon
<i>Cytherella</i>		33-37		Ubiquiste
<i>Aurila</i>	-	1-10		Infralittorale

Nature du sédiment : grès calcaire

**Rapport Foraminifères/Ostracodes** : microfaune dominé par les Foraminifères

Fréquentant les lagons de la plate-forme interne des mers chaudes, les Foraminifères présents sur MAK 5aII supportent un large éventail de salinité, de la normale jusqu'à superhaline (*Quinqueloculina* et *Triloculina* qui forment le plus grand nombre de l'assemblage). La profondeur occupée varie entre 0 à 20 mètres (Tab. 8).

La présence d'*Aurila* dans l'association indique la présence d'eau douce à proximité du site.

**a3. Couches sans *Kuphus* : MAK1, MAK2, MAK6, MAK7, MAK8, MAK9, MAK10**

**Nature du sédiment :** allant du calcaire gréseux à l'argile, en passant par le grès argileux. Ces couches, excepté MAK8, constitué à 100% d'argile, ont pour point commun la présence, avec un taux élevé, de grès parmi leur constituant.

**Rapport Foraminifère/ Ostracodes :**

MAK1, MAK6 et MAK7 : le nombre d'Ostracodes est considérablement inférieur à celui des Foraminifères.

MAK2 et MAK8: absence totale des deux groupes

MAK9 et MAK10 : faible nombre et mauvais état des Foraminifères ainsi que des Ostracodes.

***Récapitulation***

A Mahakamby le genre *Kuphus* occupe un habitat défini par les conditions suivantes :

- Localisation : plateforme interne, probablement un lagon
- Profondeur : faible (de 0 à 20 m)
- Température : typique des climats chauds tropicaux
- Salinité : préférence pour les eaux hypersalines des lagons (>37g/L)

Facteur limitant :

- la salinité : la présence d'eau douce (traduit par un affaiblissement de la salinité) semble non favorable à son développement

Ceci suggère une vie préférant les conditions marines strictes et un milieu proche du littoral.

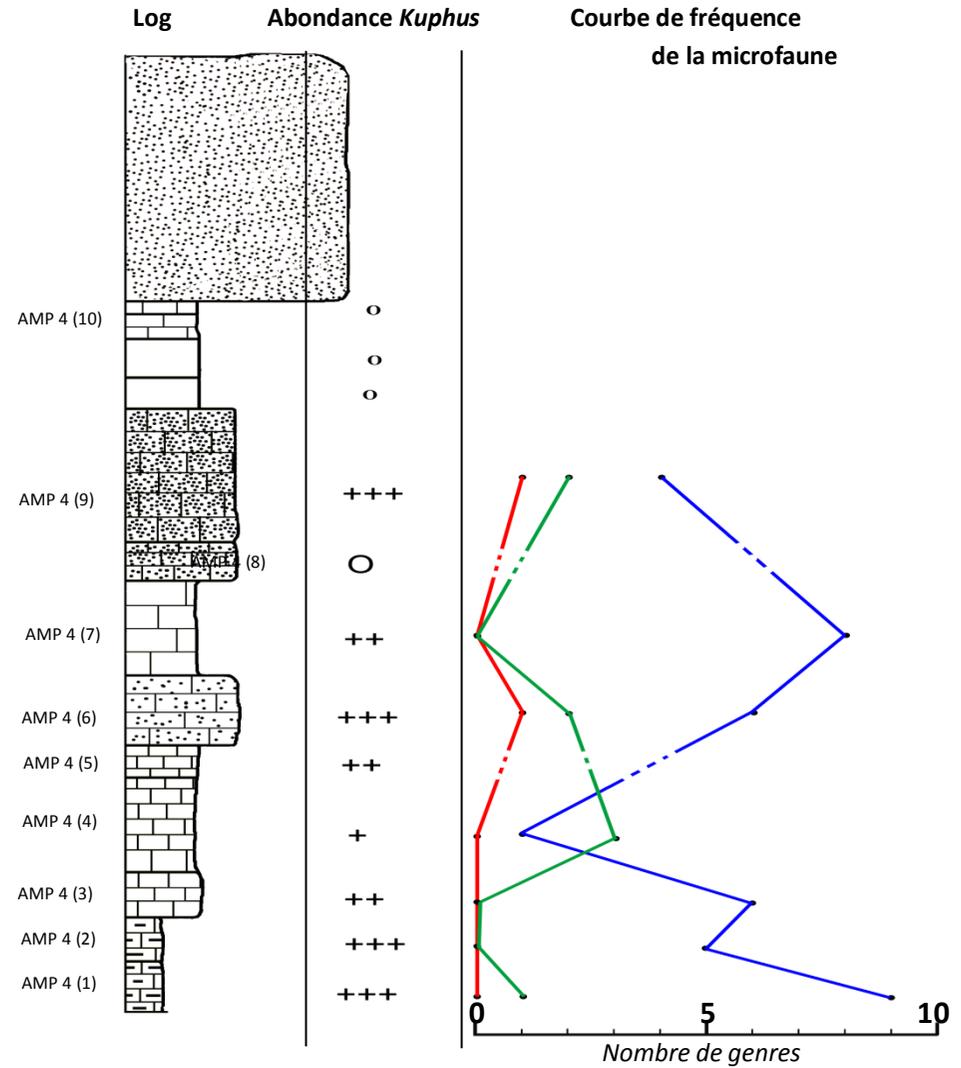
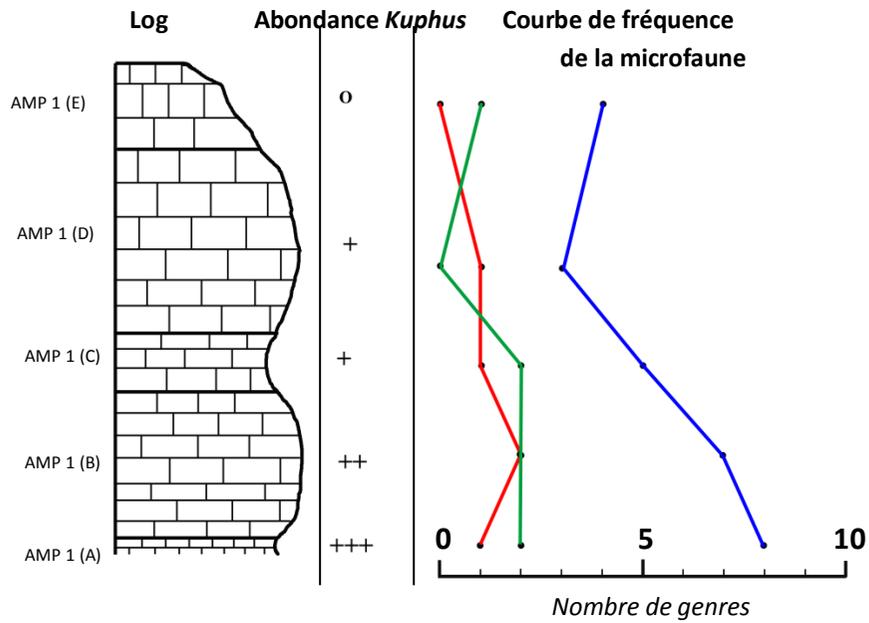
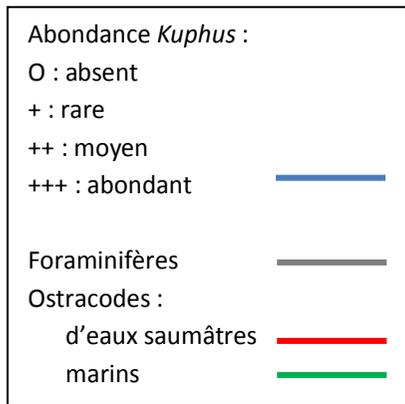


Fig. 16 Corrélation entre l'abondance du genre *Kuphus* et le nombre des Microfossile dans chaque couche pour les deux sites d'Amparafaka (Auteur :RAMIHANGIHJASON T. 2010)

## b. A Amparafaka

A Amparafaka, on a choisi d'étudier le genre *Kuphus* dans deux sites AMP1 et AMP4, car ces deux sites représentent les affleurements les plus complets (Fig. 16).

### b<sub>1</sub>. Couches à *Kuphus* abondant : AMP 1 (A), AMP4 (1), AMP4 (2), AMP 4 (6), AMP4 (9)

Tab. 9 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1(A)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Peneroplis</i>	18 - 27	35-53	0-70m	Plantes	Plateforme interne - Lagon
<i>Cyclammina</i>		33-37	>100	Vases sable	Plateforme externe et abyssale
<i>Alveolinella</i>	18 - 26	33-37	5 - 100		Plateforme interne - Lagon
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70	0 - 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62			Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré à chaud	32-55			Lagon
<i>Spirolina</i>	Tempéré à chaud	33-37			Plate-forme
<i>Bairdia</i>		33-37			Ubiquiste
<i>Cytheropteron</i>		33-37			Circalittoral
<i>Aurila</i>		1-10			Infralittorale

Nature du sédiment : calcaire

**Rapport Foraminifères / Ostracodes** : microfaune dominée par les Foraminifères

Les Foraminifères qui vivent dans une eau à salinité normale sont nombreux par rapport aux genres hyposalines ou hypersalines (Tab. 9).

L'association suggère un climat chaud, tropical (MURRAY, 2006).

Les genres présents ont une préférence pour les supports végétaux et la vase, ce qui suggèrerait la présence de structure végétale important (herbier ou algueraie),

ce qui soutient l'occurrence de la majorité des genres dans un milieu peu profond de la plate-forme interne.

Tab. 10 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (1)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Peneroplis</i>	18 - 27	35-53	0-70	Plantes	Plateforme interne - Lagon
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70	0 - 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62			Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré à chaud	32-55			Lagon
<i>Spirolina</i>	Tempéré à chaud	33-37			Plate-forme
<i>Spiroloculina</i>	Tempérée à chaud	33-37 >37	0 - 40	Sédiments ou plantes	Lagons-plateforme interne
<i>Bolivina</i>	Froid à Chaud	33-37		Vases	Plateforme interne à Bathyal
<i>Nonion</i>	Froid à chaud	30 -35	0 - 180	Vases	Plateforme
<i>Rhabdammina</i>			Grande profondeur		Circalittoral

**Nature du sédiment** : calcaire marneux

**Rapport Foraminifères/Ostracodes** : microfaune dominée par les Foraminifères, dont un genre des grands fonds (*Rhabdammina*), la présence d'Ostracode n'est pas noté (Tab. 10).

La présence de *Rhabdammina*, excluant le fruit du hasard, pourrait s'interpréter par une remontée des eaux de profondeur, ce qui, par définition, constitue le phénomène d'"upwelling". La remontée des eaux froides des profondeurs s'accompagnent souvent d'éléments nutritifs importants, ce qui pourrait aussi expliquer le grand développement de tous les genres, y compris *Kuphus*, à ce niveau.

Les conditions qui prévalent à ce niveau sont franchement marines.

Tab. 11 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (2)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Peneroplis</i>	18 – 27	35-53	0-70	Plantes	Plateforme interne - Lagon
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 – 70	0 – 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Triloculina</i>	Tempéré chaud	à 32-55			Lagon
<i>Pyrgo</i>	Tempéré chaud	à 33-37		Plate-forme	

Nature du sédiment : calcaire marneux

**Rapport Foraminifères / Ostracodes** : microfaune dominée par les Foraminifères. Les Ostracodes n'y ont pas de représentant (Tab. 11).

La majorité des genres sont les occupants d'un écosystème à prairie sous-marine ou algueraie, dans un lagon hypersalin des mers tropicales.

Tab. 12 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (6)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	à 0 – 70	0 – 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	à 32-62			Plate-forme
<i>Aurila</i>		1-10			Infralittoral
<i>Cytherella</i>		33-37			Circalittoral
<i>Quadracythere</i>		1-10			Infralittorale

Nature du sédiment : calcaire

**Rapport Foraminifères / Ostracodes** : microfaune diversifiée

Deux genres d'Ostracodes d'eaux saumâtres (*Aurila* et *Quadracythere*) viennent souligner la présence d'un affaiblissement de la salinité. Cet affaiblissement n'est pas

très marqué car la majorité des genres présents, surtout les Foraminifères à tolérance faible face à la diminution de la salinité, sont encore présents (Tab. 12).

On est encore dans la zone infralittorale du plateau continental.

Tab. 13 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (9)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70	0 - 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62			Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré et chaud	32-55			Lagon
<i>Ammonia cf. beccarii</i>	Tempéré à Tropical	1 à >37	0 - 50	Vase	Lagon (saumâtre ou hypersalin)
<i>Bairdoppilata</i>					Ubiquiste
<i>Cytherella</i>		33-37			circalittorale
<i>Aurila</i>		1-10			Infralittorale

Nature du sédiment : calcaire gréseux

Rapport Foraminifères / Ostracodes : microfaune dominée par les Foraminifères (Tab. 13.)

#### b<sub>2</sub>. Couches à *Kuphus* moyennement abondant

Dans les deux zones d'études d'Amparafaka, ces sites sont : AMP 1 (B), AMP 4 (3), AMP 4 (5), AMP 4 (7) (Tab. 14, 15 & 16).

Trois couches (exception faite pour AMP 4 (7)) ont en commun la diminution en nombre des Foraminifères et l'augmentation de celui des Ostracodes d'eaux saumâtres (*Cyprideis*, *Aurila*). Cette remarque implique la relation qu'il y a entre le développement du genre *Kuphus* et la baisse de la salinité.

Pour AMP 4 (7), l'explication que l'on pourrait donner pour interpréter la diminution de l'abondance du genre *Kuphus*, malgré le fait que le nombre des Foraminifères augmente (ce qui traduit des conditions marines évidentes) est que le genre a du mal à se remettre des changements de ses conditions optimum de vie (ce qui s'est produit sur AMP 4 (6) : augmentation des Ostracodes d'eaux saumâtres,

donc diminution de la salinité). De cette manière, même si les conditions optimales sont de nouveaux réunis, *Kuphus* affiche une faible abondance.

Tab. 14 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1 (B)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70	0 - 50	Vases, Sables, Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62			Plate-forme
<i>Bolivina</i>	Froid à chaud	33 - 37		Vases	Plateforme interne à Bathyal
<i>Bairdoppilata</i>					Ubiquiste
<i>Quadracythere</i>		1-10			Infralittoral
<i>Aurila</i>		1-10			Infralittoral
<i>Cyprideis</i>		1-10			Infralittoral

Nature du sédiment : calcaire

Tab. 15 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (3)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Cyclammmina</i>		33-37	>100	Vases - sable	Plateforme externe et abyssale
<i>Elphidium</i>	Tempérée à chaud	0 - 70	0 - 50	Vases, Sables, Végétaux	Plateforme interne
<i>Quinqueloculina</i>	Froid à chaud	32-62			Plate-forme
<i>Triloculina</i>	Tempéré à chaud	32-55			Lagon
<i>Ammonia beccarii</i> cf.	Tempéré Tropical	1 à >37	0 - 50	vase	Lagon (saumâtre ou hypersalin)

Nature du sédiment : calcaire

Tab. 16 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 4 (7)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Peneroplis</i>	18 - 27	35-53	0-70	Plantes	Plateforme interne - Lagon
<i>Quinqueloculina</i>	Froid chaud	à 32-62			Plate-forme
<i>Spirolina</i>	Tempéré chaud	à 33-37			Plate-forme
<i>Nonion</i>	Froid chaud	à 30 -35	0 - 180	Vases	Plateforme
<i>Nonionella</i>	Tempérée à chaud	Marine normale	10 - 1000 m	Vases	Plateforme Bathyale
<i>Ammonia beccarii</i> cf.	Tempéré Tropical	à 1 à >37	0 - 50	Vase	Lagon (saumâtre ou hypersalin)
<i>Pyrgo</i>	Tempérée à chaud	Marine normale		Plantes Sédiments	Plateforme interne Bathyale

Nature du sédiment : calcaire

### b<sub>3</sub>. Couches sans *Kuphus*

Les couches dans lesquelles on n'a pas relevé la présence du genre *Kuphus* pour Amparafaka sont les suivantes : AMP 1 (E) (Tab. 17), AMP 4 (8) (sans *Kuphus* et sans données micropaléontologiques à cause de la nature indurée de la couche rendant le lavage impossible).

Tab. 17 Milieu de vie des microfossiles relevés sur AMP 1 (E)

Genres	Température	Salinité (g/L)	Profondeur (m)	Support	Zonation
<i>Peneroplis</i>	18 - 27	35-53	0-70	Plantes	Plateforme interne - Lagon
<i>Quinqueloculina</i>	Froid chaud	à 32-62			Plate-forme
<i>Spirolina</i>	Tempéré chaud	à 33-37			Plate-forme
<i>Elphidium</i>	Tempérée chaud	à 0 - 70	0 - 50	Vases Sables Végétaux	Plateforme interne
<i>Bairdia</i>		33-37			Ubiquiste

**Nature du sédiment** : calcaire

**Rapport Foraminifères/Ostracodes** : le nombre des Foraminifères et des Ostracodes marins strict est élevé par rapport aux Ostracodes d'eaux saumâtres.

On observe sur AMP 1 (E) le même phénomène que sur AMP 4 (7) : les conditions connus jusqu'ici pour favoriser le bon développement du genre *Kuphus* sont remplis (salinité, profondeur), pourtant il brille par son absence. Ce phénomène traduit une difficulté pour le genre de se réadapter aux conditions du milieu après une période défavorable à leur bon développement.

#### **Récapitulation :**

Pour les deux sites d'Amparafaka, on a observé que les conditions suivantes sont favorables au développement du genre *Kuphus* :

- climat tropical
- milieu peu profond de la zone infralittorale (lagon, herbier, algueraie)
- eaux à salinité normale à élevée
- nutriments abondants (apporté par exemple par un phénomène d'« upwelling »)

Par contre on a constaté qu'une baisse de la salinité entraîne une régression rapide du genre *Kuphus* qui aurait eu du mal à se réadapter à son milieu de vie suite à un changement brusque des conditions du milieu, même si les conditions optimales pour son bon développement sont de nouveau réunies.

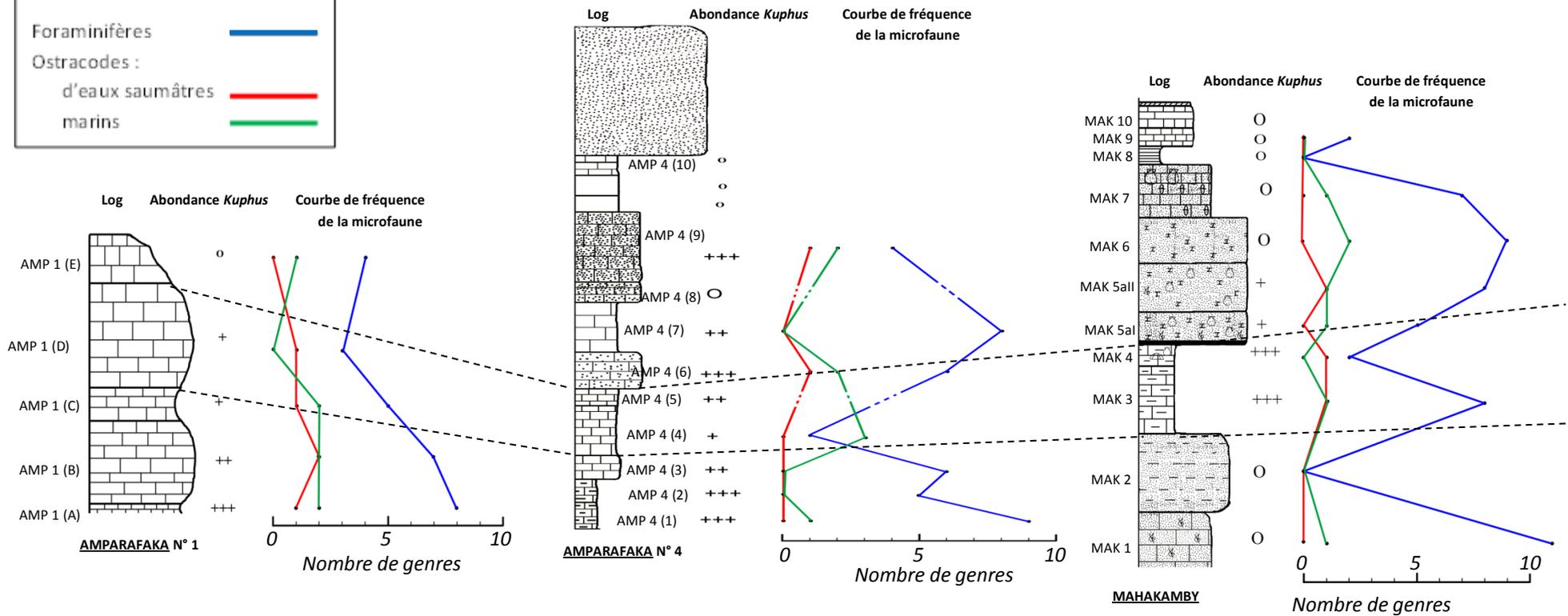
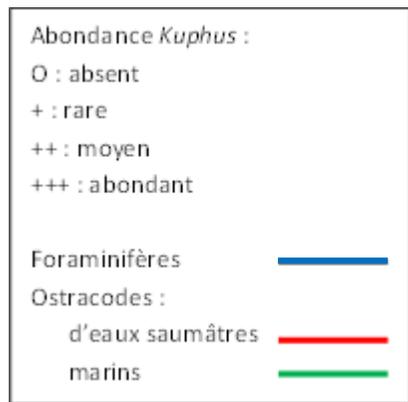


Fig. 17 Essai de corrélation des sites AMP 1, AMP 4 et MAHAKAMBY (Auteur : RAMIHANGIHASON T. 2010)

## V.2. Essai de corrélation entre les trois sites d'étude

Si l'on considère l'allure générale des courbes (Fig. 17), on remarque une même tendance : lorsque le nombre de genres de Foraminifères et d'Ostracodes marins est le plus près de zéro, celui des Ostracodes saumâtres augmente.

La corrélation entre ces trois coupes montre une similarité parmi les couches de calcaires blancs à *Kuphus*. Ces couches ont pour point commun une baisse du nombre de genres de Foraminifères et d'Ostracodes marins, leur amplitude et leur nature calcaire, exception faite pour Nosy Mahakamby où l'on a une tendance marneuse. De même pour le genre *Kuphus* : on a partout une baisse progressive du genre avant cette période pour aboutir à une strate à *Kuphus* peu abondant, voire rare à Amparafaka n°1. Pourtant, à Mahakamby, cette strate, en plus d'être marneuse, contient le genre *Kuphus* en abondance.

Ce fait pourrait s'expliquer par la situation géographique des trois sites : les deux sites d'Amparafaka (n°1, n°4) se situent sur la marge Sud du Bassin et se trouvent sous l'influence directe du courant marin venant du Sud (ceci est vérifié par l'absence de dépôt d'argile accompagnant les dépôts calcaires, d'où la nature franchement calcaire des sédiments), tandis que Nosy Mahakamby, qui se localise un peu plus au Nord, serait plus à l'abri de l'action directe des courants, d'où le dépôt d'une couche calcaire marneuse. L'abondance du genre *Kuphus*, serait donc liée à l'énergie du courant. Ce genre préfère un milieu calme et protégé pour pouvoir prospérer.

En considérant l'analyse séquentielle réalisée à Mahakamby (Fig. 11), on constate que la zone à *Kuphus* abondant (MAK 4, MAK 3) correspond à la fin d'une transgression marine. Ce qui traduit une influence plus prononcée de la mer. L'arrêt de sédimentation remarquée sur la couche MAK 4 suggère un début de retrait de la mer qui est enregistré au sein de la microfaune par la baisse rapide des nombres de genres. La forte salinité qui prévaut à ce moment-là dans le peu de mer encore emprisonné dans un lagon est alors associée à l'abondance du genre *Kuphus*. Il semble donc s'adapter à un milieu hypersalin, ce qui confirme également les résultats obtenus par l'analyse de la microfaune (Tab. 6, 7, 11).

## VI. CONCLUSION

Les trois sites étudiés lors de la mission " Paléontologie du Cénozoïque 2010 et 2011 " dans la partie Nord-Ouest de Madagascar, à savoir Amparafaka, Cap Tanjona et Nosy Mahakamby, ont livré une partie de leur secret grâce au présent travail.

Un des objectifs fixés par ce travail est de caractériser le paléoenvironnement du genre *Kuphus*, jusqu'à présent mal connu et pourtant très abondant dans les terrains d'âge Miocène malagasy. En réalité, *Cyphus* Fischer, 1887 n'est qu'un synonyme, le nom disponible pour ce genre est plutôt *Kuphus* Guettard, 1770. La détermination et l'analyse de la microfaune qui lui est associée a contribué à une meilleure connaissance du paléoenvironnement complétée par l'analyse séquentielle des dépôts sédimentaires miocènes de cette partie du Bassin de Mahajanga.

Les résultats obtenus montrent que le genre *Kuphus* Guettard, 1770 se développe bien sous les conditions suivantes :

- climat tropical
- milieu peu profond (allant de 0 à 20 m) de la zone infralittorale (lagon, herbier, algueraie), calme et protégé
- eaux à salinité normale (33 à 37g/L) à élevée (>37g/L)
- nutriments abondants apportés, par exemple, par un phénomène d'« upwelling »

Par contre on a constaté:

- une régression rapide du genre en réponse à une baisse de la salinité
- une difficulté à se réadapter à son milieu de vie suite à un changement brusque des conditions de celui-ci, même si les conditions optimales pour son bon développement sont de nouveau réunies.

En résumé, le genre *Kuphus* Guettard, 1770 est strictement marin typique du Miocène de Madagascar. Toutefois, dans le monde, ce genre se retrouve depuis l'Eocène (Cox et *al.*, 1969). On a même relevé la présence du genre actuellement en Inde, en Afrique de l'Est, et dans la Mer Rouge (COX, 1927 in GARDNER, 1943).

Parallèlement, vingt-cinq (25) genres de Foraminifères et dix (10) genres d'Ostracodes ont été identifiés. La liste établie n'est pas exhaustive mais contribue déjà à une meilleure connaissance de la microfaune miocène malagasy.

La tendance séquentielle obtenue grâce aux dépôts sédimentaires pour Nosy Mahakamby révèle l'existence d'une période de transgression suivi d'une phase de régression et d'une reprise de la transgression marine.

Finalement, l'ensemble des résultats obtenus a permis de lever une partie du voile sur la contribution du genre *Kuphus* Guettard 1770 à une meilleure connaissance du Miocène de Mahajanga.

## VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BARON et MOUNEYRES, 1904. – Rapport sur une tournée géologique effectuée dans l’Ouest et le Nord-Ouest de Madagascar. *Bulletin économique*, 4<sup>ème</sup> année, 1<sup>er</sup> trimestre, pp 1-20.
2. BARON, 1889-1895. – Geology of Madagascar. – The age of Madagascar as an island. pp. 248-249. From a paper read by R. BARON at the meeting of the Geological Society of London, March 6, 1889.
3. BASSE E., 1949. – Histoire géologique de Madagascar. - *Mémoires de l’Institut Scientifique de Madagascar*. - Série D, Tome I, fasc. 2, p. 53 – 67.
4. BENSON R.H. *et al.*, 1961. – Systematic descriptions, in *Treatise on Invertebrate Paleontology*. – Moore R.C. ed. The Geological Society of America and the University of Kansas. Part Q, Arthropoda 3, pp 99-414.
5. BERETTI A., 1973. – *Recherches biométriques sur les Lépidocyclines du Nord de Madagascar*. Thèse de Doctorat de Troisième Cycle. Paris, Université de Paris VI. tome 1, 238 p, tome 2, 25 pl.
6. BESAIRIE H., 1952. – Géologie de Madagascar.- Le Bassin de Majunga. Travaux du Bureau Géologique. 92 p.
7. BESAIRIE H., COLLIGNON M., 1971. – Géologie de Madagascar, Les terrains Sédimentaires. Le Bassin de Mahajanga in *Annales géologiques de Madagascar*, fascicule n° XXXV. Antananarivo Imprimerie Nationale p. 87-191, 14 pl.
8. BIELER R. & PETIT R.E., 2011. – Catalogue of Recent and fossil “worm-snail” taxa of the Families Vermetidae, Siliquariidae, and Turritellidae (Mollusca: Caenogastropoda). Monograph Zootaxa Ed. Magnolia Press Auckland, New Zealand. 103 p. ISSN 1175-5334 (online edition) available in [www.mapress.com/zootaxa/](http://www.mapress.com/zootaxa/)
9. BIGNOT G., 1982. Les microfossiles : Les différents groupes, Exploitation paléobiologique et géologique. Dunod Université. Bordas, Paris. 212 p.
10. COLLIGNON M., COTTREAU J., 1927. – Paléontologie de Madagascar, Fossiles du Miocène marin, *Annales de Paléontologie* t. XVI. Paris Masson et Cie, Editeurs. 120, Boulevard Saint-Germain, 120. p. 135-170, 4 pl.

11. COX L.R. *et al.*, 1969. – Systematic descriptions, in *Treatise on Invertebrate Paleontology*. – Moore R.C. ed. The Geological Society of America and the University of Kansas. Part N, Mollusca 6, vol. 1-2, pp 225-907.
12. CUSHMAN J.A., 1955. – Foraminifera, their classification and economic use. Fourth edition, revised and enlarged, with an illustrated key to the genera. Cambridge, Massachusetts, Harvard University press. 605p., 55 pl.
13. DONATO S. M., Mai 1970. Madagascar : Campagne Géologique 1968- 1969. Atlas Paléontologique : Etude Paléontologique et Stratigraphique des Bassins de Morondava et Majunga. S.P.M.
14. ELF-AQUITAINE, 1977. – Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés. 2. Eléments d'interprétation. \_ ELF-AQUITAINE, Centres de Recherches de Bousens et de Pau.
15. FRÖHLICH F., 1996. La position de Madagascar dans le cadre de l'évolution géodynamique et de l'environnement de l'Océan Indien. – Biogéographie de Madagascar. Edition de l'ORSTOM, Paris. pp 19-26.
16. GARDNER J., 1943. – Mollusca from the Miocene and Lower Pliocene of Virginia and North Carolina Part 1. Pelecypoda. United States Department of Interior. Geological Survey. United States Government Printing Office. 178 p. 23 pl.
17. GREKOFF N., 1960. – Aperçu sur les Ostracodes fossiles. Publication de l'Institut Français du Pétrole. 105 p.
18. GUETTARD J.E., 1770. – Mémoires sur différentes parties des sciences et arts. Académie Royale des Sciences. Laurent Prault, Paris. Tome III, 544 p.
19. HINDERMEYER J. *et al.*, 1959. – Préreconnaissance de Majunga, Rapport de fin de mission (Campagnes 1957 et 1958). Mission B.R.P. – S.P.M. Institut Français du Pétrole. 166 p., 35 pl.
20. HOURQ V., 1949. – Notice explicative sur la Feuille Besalampy F.G. 40-41 (404). Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 200 000<sup>e</sup>. Gouvernement Général de Madagascar et Dépendances. Imprimerie Nationale, Paris XV<sup>e</sup>. 12 p.
21. HOURQ V., 1949. – Notice explicative sur la Feuille Soalala HI. 40-41 (405). Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 200 000<sup>e</sup>. Gouvernement Général de Madagascar et Dépendances. Imprimerie Nationale, Paris XV<sup>e</sup>. 19 p.

[http://palaeo-electronica.org/paleo/2003\\_1/benthic/issue1\\_03.htm](http://palaeo-electronica.org/paleo/2003_1/benthic/issue1_03.htm)

22. JAVAUX & SCOTT, 2003. – Illustration of modern benthic foraminifera from Bermuda and remarks on distribution in other subtropical/tropical areas. *Palaeontologia Electronica* 6(4):29pp, 2.1MB; available in : [http://palaeo-electronica.org/paleo/2003\\_1/benthic/issue1\\_03.htm](http://palaeo-electronica.org/paleo/2003_1/benthic/issue1_03.htm)
23. JEFFREYS J. G., 1865. – "British conchology, or an account of the Mollusca which now inhabit the British Isles and the surrounding seas". London: John Van Voorst, Paternoster Row. Vol. III. 393 p. VIII pl.
24. LE CALVEZ Y., 1970. – Contribution à l'étude des Foraminifères Paléogènes du Bassin de Paris. Cahier de Paléontologie. Editions CNRS. Paris VII. pl XLVIII.
25. LOEBLICH & TAPPAN, 1964. – Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida, in *Treatise on Invertebrate Paleontology*. – Moore R.C. ed. The Geological Society of America and the University of Kansas. Part C, Protista 2, 900p.
26. LUCZKOWSKA E., 1972. Miliolidae (Foraminiferida) from the Miocene of Poland. Part I: Revision of the classification. - *Acta Palaeontologica Polonica*, 17, 3, 341-377, Warszawa.
27. LUCZKOWSKA E., 1974. Miliolidae (Foraminiferida) from the Miocene of Poland, Part II: Biostratigraphy, Palaeoecology, and Systematics. *Acta Palaeontologica Polonica*, Vol XIX/1 27 pl. 176 p.
28. MURRAY J.W., 2006. – Ecology and application of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press, New York. 426 p. ISBN -13 978-0-511-33519-8 available in [www.cambridge.org/9780521828390](http://www.cambridge.org/9780521828390)
29. NEUMANN M., 1967. – Manuel de Micropaléontologie des Foraminifères (Systématique et Stratigraphie). Gauthier-Villards, Paris. Tome I, 297 p. 60 pl. 182 figs.
30. PERRIER de la BATHIE H., 1921. – Les terrains postérieurs au Crétacé moyen de la région de Majunga. Bulletin de l'Académie Malgache. N.S. tome IV, p. 208 et coupes du Cap Tanjona et de l'île Mahakamby.
31. RAHANTARISOA L. J., 2007. – *Biostratigraphie et paléoécologie du Maastrichtien de Berivotra (Bassin de Mahajanga)*. Thèse de Doctorat de l'Université d'Antananarivo – Faculté des Sciences – Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique. 126 p.
32. SAHABI M., 1993. – Un modèle général de l'évolution de l'Océan Indien. – Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale. – 383 p. XII pl.

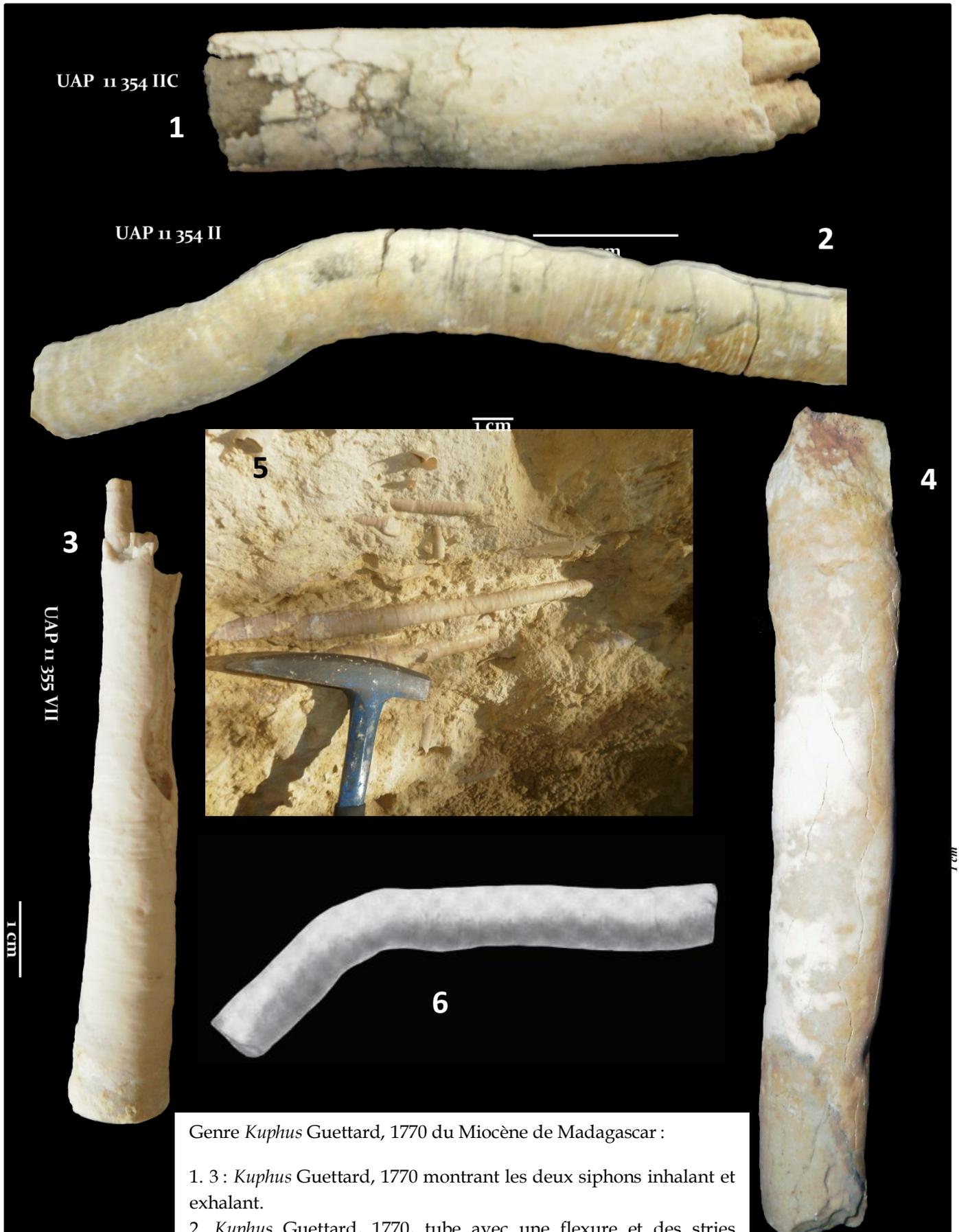
33. SAMONDS K.E. et *al.*, 2007. Sirenian postcrania from Nosy Mahakamby, Northwestern Madagascar. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27(3): 139A.
34. SEGOUFIN, J., 1981. Morphologie et structure du canal du Mozambique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 236p.
35. VAIL P.R., 1987. - Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure, in A.W. BALLY eds., *Atlas of Seismic Stratigraphy v. 1, AAPG studies in Geology* p. 27
36. WEBSTER R.E. & ENSIGN P.S., 2007. - Exploring the Jurassic carbonate platform margin, Majunga basin, Madagascar. *Search and Discovery Article #10128* (2007). Hunt Oil Company, Dallas, Texas, 75202.

## VIII. LITTERATURES

1. BASSEY & AGYINGI, 2005. – Biostratigraphie des Foraminifères et interprétation paléoenvironnementale du puits Opolo- i dans le delta du Niger, Nigeria. – African Journal of Sciences and Technology, *vol. 6, N°2*, pp 1-11.
2. BENTHOS'86, 1988. – Revue de Paléobiologie. Volume spécial n°2, partie II. 3<sup>ème</sup> Symposium international sur les Foraminifères benthiques 22-28 Septembre 1986. MNHN – Genève – Suisse. ISSN 0253 – 6730
3. CROSSE & FISCHER, 1864. – Journal de conchyliologie. – 3<sup>e</sup> série, Tome IV, vol. XII, Paris. 418p, XVpl.
4. DONCIEUX L., 1948. – Les Foraminifères Eocènes et Oligocènes de l'Ouest de Madagascar. Annales géologiques des Services des Mines. Fasc. N° XIII. Paris, Imprimerie Nationale.
5. DOUVILLE R., 1904. – Sur quelques fossiles de Madagascar. Bulletin de la Société Géologique de France, Paris VI. 4<sup>ème</sup> série, tome IV, p 207.
6. DOUVILLE R., 1908. – Sur des Foraminifères Oligocènes et Miocènes de Madagascar. Bulletin de la Société Géologique de France, Paris VI. 4<sup>ème</sup> série, tome VIII, pp 321-323.
7. FOURMANOIR *et al.*, 1958. – Les récifs coralliens des îles Radama et de la baie Ramanetaka (côte Nord-Ouest de Madagascar), étude géomorphologique et sédimentologique. Mém. IRSM, série F, tome II, pp 117-200, pl. XVIII à XXXI, 33 figs.
8. LY A., 1985. – *Le Tertiaire de Casamance (Sénégal) : Biostratigraphie (Foraminifères) et Sédimentologie d'après les données de subsurface*. Spécialité : Géologie. Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme. 238p.
9. Mc GLASSON, R. H. 1959. – Foraminiferal biofacies around Santa Catalina Island, California. - *Micropaleontology*, 5, 2, 217-240, New York.
10. NAIR N.B. & SARASWATHY M, 1971. – The biology of wood-boring Teredinid molluscs. *Adv Mar Biol* 9:335-509.
11. OERTLI H.J. (ed.), 1985. – Atlas des Ostracodes de France (Paléozoïque-Actuel). – Bull. Centres Rech. Explor. – Prod. Elf-Aquitaine, Mém. 9. ISBN : 2-901026-18-4  
ISSN : 0181-0901

12. PECHENIK J.A., 2005 – Biology of the Invertebrates. Fifth Edition. Mc-Graw-Hill. New York, USA. 590 p.
13. RAZAFIMBELO R., 1992. – *Etude de la répartition du Carbone organique dans la série Miocène du delta de la Mahakam (Indonésie) par la méthode Carbolog – Interprétation sédimentologique*. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans. – IFP 40 773. 122p.
14. SANTOS, 2005 Taxonomic implications of molecular studies on Northern Brazilian Teredinidae (Mollusca: Bivalvia) specimens *Cyphus*
15. TRYON G.W., 1862. – A monograph of the Order Pholadacea, and other papers. *Contributions to conchology*. Vol. 2. Philadelphia. 127p.
16. TURNER RD (1966) A Survey and Illustrated Catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia). The Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, 265 pp.

## **PLANCHES**



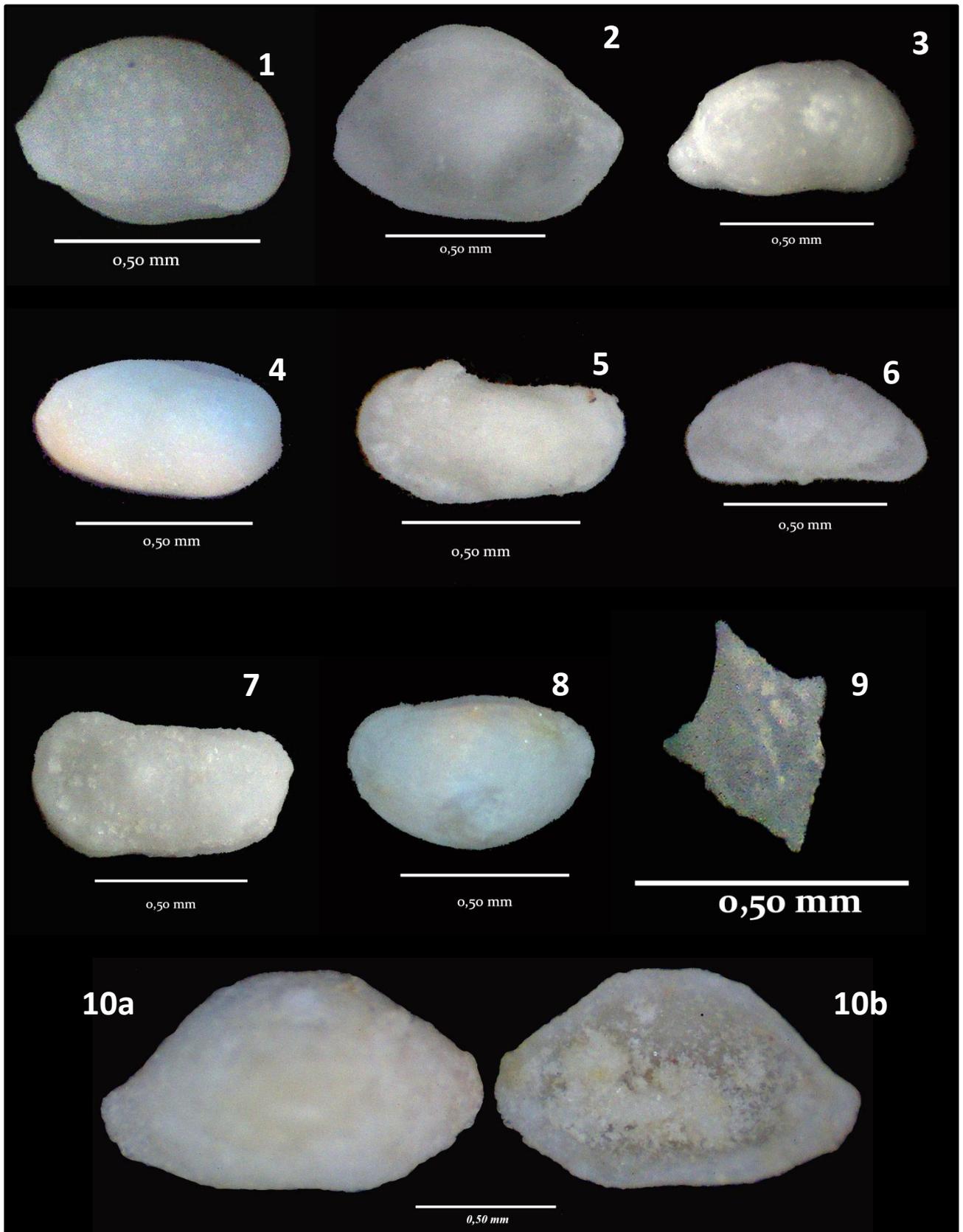
Genre *Kuphus* Guettard, 1770 du Miocène de Madagascar :

1. 3 : *Kuphus* Guettard, 1770 montrant les deux siphons inhalant et exhalant.

2. *Kuphus* Guettard, 1770, tube avec une flexure et des stries d'accroissements visibles. 4. *Kuphus* Guettard, 1770, moule interne.

5. *Kuphus* Guettard, 1770 in situ.

6. *Kuphus* in Gardner, 1943 pl. 23 fig. 35.

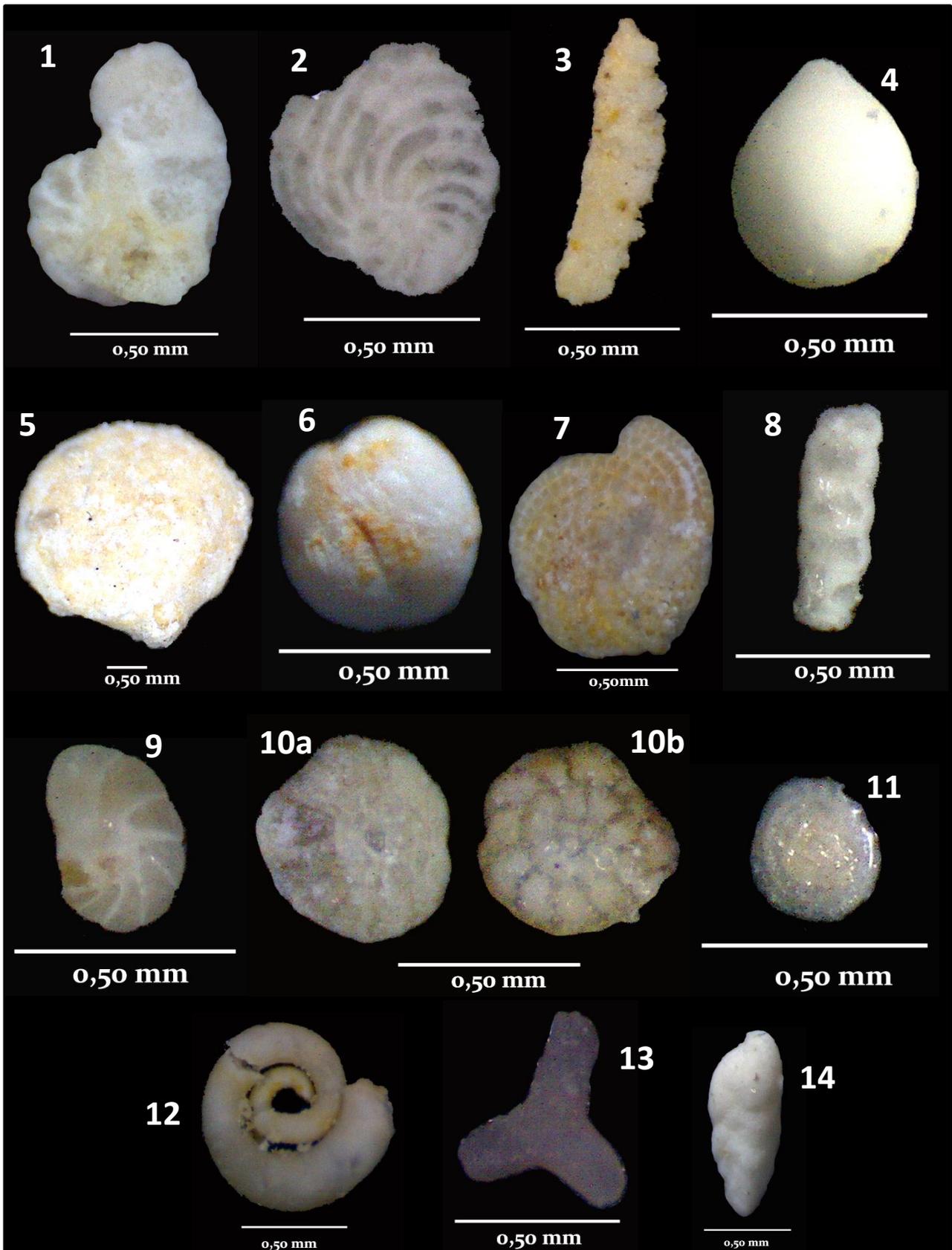


Ostracodes du Miocène de Madagascar : 1. *Aurila* sp., 2. *Bairdia* sp., 3. *Cyprideis* sp., 4. *Cytherella* sp., 5. *Hermanites* sp., 6. *Paracypris* sp., 7. *Quadracythere* sp., 8. *Xestoleberis* sp., 9. *Cytheropteron* sp., 10. *Bairdopillata* sp. a. Vue externe, b. vue interne



Foraminifères du Miocène du Bassin de Mahajanga :

1. *Triloculina* sp., 2. *Spiroloculina* sp., 3. a, b *Quinqueloculina*, 4. *Pyrgo* sp., 5. *Cycloforina* sp., 6. *Alveolinella* sp.,  
 7. *Hauerina* cf. *compressa*, 8. *Borelis melo*, 9. *Borelis* cf. *pulchra*, 10. *Elphidium* sp., 11. *Nonion* sp.



Foraminifères du Miocène du Bassin de Mahajanga : 1. *Spirolina* sp.; 2. *Peneroplis* sp.; 3. *Dentalina* sp.; 4. *Lagena* sp.; 5. *Lepidocyclina* sp.; 6. *Cassidulina* sp.; 7. *Archaias* cf. *angulatus*; 8. *Nodosaria* sp.; 9. *Nonionella* sp.; 10. *Ammonia* cf. *beccarii* a. face ombilicale, b. face spirale; 11. *Ammodiscus* sp.; 12. *Spirillina* sp.; 13. *Rhabdammina* sp.; 14. *Bolivina* sp.

**Auteur** : RAMIHANGIHAJASON Tolotra Niaina

**e-mail** : [ainaramihangi@gmail.com](mailto:ainaramihangi@gmail.com)

**Titre** : "Le Miocène du Bassin de Mahajanga : Paléoenvironnement basé sur les microfossiles, l'analyse séquentielle et le genre *Kuphus* Guettard 1770"

**Encadreur** : RAZAFIMBELO M. Rachel,

Maître de Conférences, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, Madagascar

---

### Résumé

Les recherches menées sur les formations fossilifères du Miocène dans le Bassin de Mahajanga (Amparafaka, Cap Tanjona et Nosy Mahakamby) en 2010, ont permis d'avoir une meilleure connaissance du genre *Kuphus* Guettard 1770 (connu sous son synonyme *Cyphus* Fischer 1887).

Dans la même mesure, vingt-cinq (25) genres de Foraminifères et dix (10) genres d'Ostracodes ont été identifiés dans ces formations miocènes. Combinée à une analyse séquentielle, l'étude de cette microfaune a permis d'identifier le paléoenvironnement du genre *Kuphus* comme étant un genre exclusivement marin, littoral, préférant les eaux à salinité normale et de faible énergie.

Ces résultats contribuent d'une part à la révision systématique du genre *Kuphus* Guettard, 1770, et d'autre part, à enrichir les connaissances du paléoenvironnement du Miocène du Bassin de Mahajanga, Madagascar. Ce genre est typique du Miocène de Madagascar, il est pourtant encore retrouvé actuellement en Inde, en Afrique de l'Est et dans la Mer Rouge.

**Mots clés**: *Kuphus* - Foraminifères - Ostracodes - Miocène - Paléoenvironnement - Mahakamby - Amparafaka - Cap Tanjona

### Abstract

Paleontological investigations in Miocene fossiliferous formations in the Mahajanga Basin (Amparafaka, Cap Tanjona and Nosy Mahakamby) on 2010 allow to have more informations about the genus *Kuphus* Guettard 1770 (well-known as *Cyphus* Fischer 1887).

On the same way, twenty five (25) Foraminifera genera and ten (10) Ostracods genera were identified. Their study, combined with sequential analysis, allow us to define *Kuphus* palaeoecology: it's a restricted marine genus, living in littoral zone of normal to high salinity and low energy water.

These results contribute to enhance knowledge about this fossil (Systematic and Paleoenvironment), typical genus of Madagascar's Miocene formations but found in recent formation in India, East Africa and the Red Sea.

**Key words**: *Kuphus* - Foraminifera - Ostracods - Miocene - paleoenvironment - Mahakamby - Amparafaka - Cap Tanjona