

INTRODUCTION

Généralités

Chaque année, Madagascar représente une destination de choix pour des centaines de milliers de touristes de par le monde, attirés surtout par sa biodiversité exceptionnelle. Si la flore Malagasy montre un potentiel et une endémicité très élevée, la faune y est également exceptionnelle. Beaucoup de questions, néanmoins, se posent toujours sur l'origine de cette faune exceptionnelle.

Plusieurs études ont révélé l'histoire naturelle de Madagascar. Beaucoup ont démontré sa richesse en paléodiversité même dans les ères anciennes du Mésozoïque et du Paléozoïque (ex : Obata et Kanie, 1977 ; Krause *et al.*, 2006 ; Krause, 2014). La faune du Cénozoïque, est d'autant plus intéressante que la faune actuelle est remarquable. En effet, il est admis que cette faune cénozoïque de Madagascar serait parmi les souches de la faune moderne Malagasy (Samonds *et al.*, 2012).

Il apparaît ainsi intéressant de connaître les fossiles de ces formations cénozoïques et leurs milieux de vie. Ces renseignements contribueraient à une meilleure compréhension sur l'origine, l'historique et l'évolution de la faune moderne si singulière de Madagascar.

Problématique et Objectifs de la thèse

Force est de constater que dans la littérature scientifique, le Cénozoïque demeure une période mal connue de l'histoire géologique de Madagascar car peu d'informations sont disponibles pour ère. Très peu de fossiles ont été découverts dans les formations de cette période jusqu'à présent malgré les études déjà menées depuis longtemps (Douvillé, 1908, Collignon et Cottreau, 1927). Cette grande lacune de données paléontologiques contribue à masquer encore la vérité scientifique sur cette origine et évolution de la biodiversité actuelle de Madagascar. Cela aboutit alors à des interprétations variables sur la probable origine de cette faune actuelle de Madagascar.

C'est dans le but d'élucider ces incertitudes que le Professeur Samonds et son équipe ont mis au point un grand projet scientifique. Ceci a pour but de reconstituer et de vérifier l'origine de la faune de Vertébrés de Madagascar pour éclaircir l'histoire du Cénozoïque, période pendant laquelle leurs ancêtres auraient vécu et peuplés la Grande Ile de Madagascar.

La présente recherche fait partie intégrante de ce projet sur l'origine de la faune originale de Madagascar. Elle se penche en particulier sur la microfaune et la macrofaune des Invertébrés du Cénozoïque, notamment celles des dépôts sédimentaires de Nosy Makamby. Cette petite île offre une des successions de couches les plus complètes du Miocène de Madagascar, ce qui a incité notre choix du site.

L'objectif est de dresser l'inventaire de cette faune d'Invertébrés en particulier les foraminifères et un fossile Invertébré très répandu dans les formations miocènes de Madagascar, le genre *Kuphus*. Les informations obtenues à partir de l'étude de ces fossiles offriront des renseignements supplémentaires sur leur milieu de vie et ainsi des Vertébrés qui leur sont contemporains. Une étude granulométrique donnera plus d'informations sur la mise en place des sédiments de Nosy Makamby.

Organisation des chapitres

Afin de mieux aborder ces objectifs, ce travail est divisé en cinq chapitres dont les deux premiers parlent de l'histoire géologique de Madagascar ainsi que d'un bref aperçu géologique du site d'étude, Nosy Makamby. Le chapitre suivant, montre les méthodes utilisées pour atteindre les objectifs de ce travail.

Ce chapitre sur la méthodologie est suivi par le quatrième chapitre détaillant les résultats de chaque partie de cette étude. Les interprétations possibles sur le paléoenvironnement du Miocène de Nosy Makamby et les conditions de dépôts de ses sédiments sont ensuite présentées dans le cinquième chapitre.

La dernière partie présente les conclusions et les directions encore à entreprendre pour les études futures.

CHAP. I BREF APERÇU SUR L'HISTOIRE
GEOLOGIQUE DES FORMATIONS
SEDIMENTAIRES DE MADAGASCAR

Avant le Cénozoïque

Le Cénozoïque à Madagascar

CHAP. II NOSY MAKAMBY

Localisation

Aperçu géologique

CHAP. III METHODOLOGIE

Collecte des échantillons

Pour les foraminifères

*Etude des tubes de *Kuphus**

Analyse Granulométrique

Chapitre I - BREF APERÇU SUR L'HISTOIRE GEOLOGIQUE DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DE MADAGASCAR

Avant le Cénozoïque

L'histoire naturelle de Madagascar a suscité l'intérêt de plusieurs investigations scientifiques. Les études sur la géologie de Madagascar se sont déjà succédées avant et pendant la colonisation (Baron, 1889-1895 ; Baron et Mouneyres, 1904 ; Besairie, 1946, 1971 ; Basse, 1949).

Les plus grands travaux effectués sur l'histoire géologique de Madagascar demeurent jusqu'à présent ceux de Besairie (Besairie, 1946, 1971, 1972). Cela dit, beaucoup de géologues malagasy et étrangers ont contribué aussi à l'étude de la géologie de Madagascar autant avant qu'après Besairie (Basse, 1949 ; Rasamimanana *et al.*, 1998 ; Segoufin, 1981 ; Fröhlich, 1996 ; Rogers, 2005).

Les formations géologiques de Madagascar peuvent, d'une manière générale, être subdivisées en deux grands groupes : les terrains cristallins anciens et les terrains sédimentaires (Besairie, 1946, Basse, 1949). Les terrains cristallins anciens (socle cristallin) sont du Précambrien et sont fortement plissés et métamorphisés.

Les couvertures sédimentaires de Madagascar occupent le bord occidental du socle cristallin et plongent avec un pendage régulier vers l'Ouest (Basse, 1949 ; Besairie, 1946, 1972). La partie orientale ne présente qu'une étroite étendue discontinue longeant la côte. Ces couvertures sédimentaires débutent par les dépôts du Karoo (allant du Carbonifère au Jurassique moyen). Ce sont des dépôts continentaux de la région orientale de l'Amérique du Sud, l'Afrique centrale et australe (y compris Madagascar), l'Inde péninsulaire, l'Australie et l'Antarctique. Le système Karoo de Madagascar se distingue surtout par la présence d'intercalations marines, témoins de la naissance du Canal de Mozambique.

Les formations supérieures, notamment le Jurassique supérieur et le Crétacé, montrent une prédominance de faciès marins renfermant surtout des Ammonites accompagnées par d'autres fossiles marins. De très importants dépôts continentaux

datés du Crétacé ont aussi dévoilé la présence de plusieurs fossiles de dinosauriens et d'autres Vertébrés terrestres (Oiseaux, Crocodyliens). En particulier, le Bassin de Mahajanga, dans le Nord-Ouest de Madagascar, s'est révélé être riche en fossiles de Vertébrés du Crétacé supérieur. Depuis plus d'un siècle, différentes équipes et expéditions scientifiques (françaises, malagasy, japonaises) s'y sont succédées pour ainsi découvrir et décrire plusieurs taxa du Crétacé supérieur provenant des dépôts continentaux de la formation de Maevarano (ex : Boule 1896 ; Depéret 1896a, 1896b ; Russell *et al.* 1976 ; Obata et Kanie, 1977).

Vers le début des années 90, des équipes mixtes américaines et malagasy commencent à travailler sur ces formations du Crétacé supérieur et continuent actuellement de livrer de nouvelles découvertes tel que *Vintana sertichi*, un Mammifère du Crétacé supérieur récemment découvert dans les formations du Bassin de Mahajanga, (Krause, 2014).

La partie supérieure du Crétacé montre aussi une première invasion de la mer sur la côte Est de Madagascar (Besairie, 1946). Cette dernière, avec le magmatisme imposant durant et après le *rifting indo-malgache* (Rasamimanana *et al.*, 1998), sont des preuves de la séparation de Madagascar de l'Inde ; début de l'insularité de Madagascar. Le magmatisme durant et après ce *rifting indo-malgache*, s'est surtout manifestée dans le bassin de Morondava, dans l'Ouest de Madagascar (Rasamimanana *et al.*, 1998).

Les études de Rogers *et al.* (2000) ont permis une revue plus précise des formations du Crétacé supérieur de Madagascar, en particulier dans le Bassin sédimentaire de Mahajanga. Les membres de Masorobe, Anembalemba et Miadana ont alors été proposés (Rogers *et al.*, 2000) et demeurent utilisés actuellement dans la stratigraphie du Bassin de Mahajanga. La limite supérieure du Crétacé (limite K-T) est marquée par une discordance entre le Maastrichtien et le Danien (Abramovich *et al.*, 2002). Le Danien est composé par des roches à faciès carbonatés, référencées par Besairie comme étant les « calcaires et marnes du Danien » (Besairie, 1972). Ce Danien est confirmé par les études et datation faites par Abramovich et consorts (Abramovich *et al.*, 2002).

Le Cénozoïque à Madagascar

C'est en 1895 que les dépôts du Tertiaire de Madagascar furent signalés pour la première fois par Baron, un voyageur et géologue anglais (Collignon et Cottreau, 1927).

Le début du Cénozoïque est marqué par une transgression marine dans presque tout Madagascar. Les calcaires de Betsiboka, indiquent un nouveau cycle sédimentaire qui débute par un environnement marin peu profond tendant progressivement vers un milieu marin franc et plus profond dans les dépôts supérieurs (Abramovich *et al.*, 2002). On note toutefois une régression généralisée à l'Oligocène (Beretti, 1973). Le Miocène témoigne une nouvelle transgression suivie d'une autre régression et aboutissant finalement par de brèves incursions durant les périodes plus récentes. Les dépôts du Cénozoïque de Madagascar sont répartis dans des formations discontinues bordant le Canal de Mozambique pour la plupart.

Dans l'extrême Sud, la zone côtière, entre Lavanono et le Cap Sainte Marie montre des calcaires durs que plusieurs géologues ont mentionnés renfermant des fossiles de *Kuphus* (nommé *Cyphus arenarius*, dans les œuvres de Collignon et Cottreau, 1927 ; Besairie, 1972 ; Beretti, 1973). Cette formation entre Lavanono et le Cap Sainte Marie est datée de l'Aquitainien (Beretti, 1973) et est généralement masquée. Basse (1949) a mentionné la présence de formations karstiques typiques (*ex : vallées sèches, écoulement souterrains des eaux, cascades, dolines, lapiez*) parmi les calcaires du Sud-Ouest de Madagascar.

Dans le Bassin de Morondava, l'Eocène (inférieur et moyen) forme une bande presque continue depuis le Sud de Madagascar jusqu'à la Tsiribihina (Basse, 1949). Le Miocène se rencontre dans quelques affleurements discontinus : Maintirano, Tambohorano, Besalampy. Là, le Miocène est recouvert par les grès du Pliocène (Besairie, 1972). Un sondage du Cap Saint André (Besairie, 1972) dévoile un Miocène d'une épaisseur de 150 à 200 m constitué essentiellement de calcaires et de marnes. Plusieurs sondages réalisés par la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) et la Compagnie Pétrolière Total Madagascar (COPETMA) ont permis une meilleure connaissance de la microfaune de l'Oligo-Miocène du Bassin de Morondava. Nous

n'allons pas dresser une liste complète de ces microfaunes ni de ces sondages, cela étant au-delà des objectifs de ce travail, mais un bref résumé des résultats de ces travaux est donné par Beretti en 1973.

Dans le Nord de Madagascar, le Bassin de Sambirano renferme des dépôts marins éocènes suivi d'une régression d'une durée assez longue (Besairie, 1972). Mais le point le plus important concernant le Cénozoïque dans le Nord sont surtout les manifestations volcaniques. Ayant débuté au Turonien, ces manifestations volcaniques s'amplifient à l'Eocène jusqu'à une période très récente (Besairie, 1972 ; Beretti, 1973 ; Rasamimanana et *al.*, 1998).

Dans le Bassin de Mahajanga, où se sont focalisées nos recherches, les formations cénozoïques affleurent surtout le long des côtes et au niveau des îles proches dont les îles Kalakajoro et d'Antanimora qui offrent de bons affleurements avec un Oligocène marin (Kalakajoro).

La stratigraphie de l'Eocène et de l'Oligocène a été possible pour la première fois grâce à la contribution de Doncieux (1948) qui a déterminé les foraminifères provenant de l'Ouest de Madagascar. Beretti, en 1973, grâce à sa thèse sur les Lépidocyclines, donne une excellente contribution à la stratigraphie de l'Oligo-Miocène du Nord de Madagascar. Les dépôts du Miocène marin sont généralement recouverts par les grès continentaux du Pliocène. Ces dépôts du Miocène marin se rencontrent en particulier à Amparafaka (Baie de Baly, Soalala), au Cap Tanjona et à Nosy Makamby. D'après nos observations, les affleurements de Makamby représentent une des formations les plus complètes du Miocène dans le Bassin de Mahajanga. Ceci est la raison qui a motivé notre choix du site intéressé par nos recherches.

Chapitre II - NOSY MAKAMBY

Localisation

Makamby est une petite île déserte (environ 1,6 km de long sur 0,4 km de large) se trouvant au large du delta de la Mahavavy, pas très loin de la côte (Fig. 1, p. 8) à environ 50 km vers l'Ouest de la Ville de Mahajanga (Andrianavalona 2011, Ramihangihajason, 2011, Ramihangihajason *et al.*, 2014).

Géographiquement, Makamby se situe entre les coordonnées

Sud $15^{\circ}42'24.46''$ et $15^{\circ}43'16.33''$

Est $45^{\circ}53'47.04''$ et $45^{\circ}54'38.88''$

Sur presque tous les côtés de l'île se dressent des falaises aux pieds desquels sont tombées des blocs le long du bord de la mer de telle sorte que la plage y est très rare (Fig. 4, p. 12).

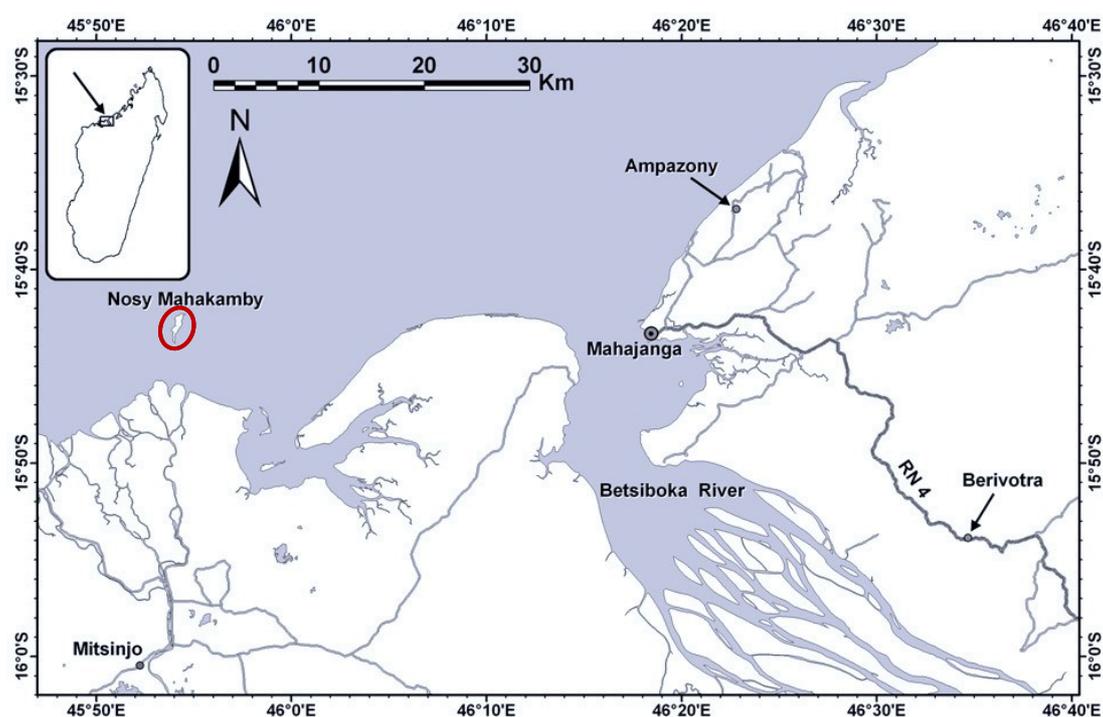


Fig. 1. Carte de la localisation de Nosy Makamby (ou Mahakamby) Nord-Ouest de Madagascar (modifiée d'après Samonds *et al.*, 2009)

Administrativement, Makamby fait partie du Fokontany d'Ankoapasy, dans la Commune d'Antongomena-Bevary, District de Mitsinjo (Fig. 1, p. 8). L'île représente un site de passage très apprécié des pêcheurs des villages alentours, et même de

quelques-uns venant de localités éloignées. En effet, ces pêcheurs passent à Makamby pendant plusieurs périodes de l'année malgré l'accès difficile. Ses eaux, réputées poissonneuses, commencent cependant à s'appauvrir sérieusement ne pouvant plus satisfaire leurs besoin pour le commerce. Beaucoup restent dans l'île ne rapportant qu'un très maigre rendement.

Concernant la biodiversité terrestre de Makamby, quelques Vertébrés peuvent y être rencontrés, en particulier des Oiseaux (Hérons cendrés, surtout des rapaces...). Mais la population dominante de l'île est, sans aucun doute, celle des rats qui y prospèrent malgré la présence d'oiseaux rapaces, leurs principaux prédateurs. Les autres Mammifères y sont assez rares, représentés généralement par les animaux domestiques amenés par les pêcheurs. On y rencontre également des reptiles tels que les caméléons, des petits serpents... Vu l'insularité de Makamby, on est tenté de penser que sa biodiversité s'épanouit paisiblement et est à l'abri des actions anthropiques. Cependant, les feux de brousses n'ont pas épargné l'île. Ainsi, actuellement et à chaque passage dans l'île on remarque toujours de nouvelles traces d'incendies. Les feux de brousse y sont aussi fréquents que dans la Grande île de telle sorte que dans quelques parties de l'île la végétation ne peut plus se renouveler entraînant ainsi un gigantesque phénomène d'érosion (Fig. 2, p. 9).



Fig. 2. Phénomènes d'érosions à Nosy Makamby, causé principalement par la pluie et une disparition de la végétation. Cette photo montre également les grès continentaux du Pliocène de Makamby (Crédit photo: Ramihangihajason, 2014)

Aperçu géologique

Nosy Makamby fait partie du Bassin sédimentaire de Mahajanga, dans le Nord-Ouest de Madagascar. L'île représente une des plus complètes formations marines du Miocène de Madagascar, avec quelques extensions latérales qui affleurent suivant les côtes du Cap Tanjona, Cap Sada et d'Amparafaka dans la Baie de Baly (Collignon et Cottreau, 1927 ; Ramihangihajason *et al.*, 2014).

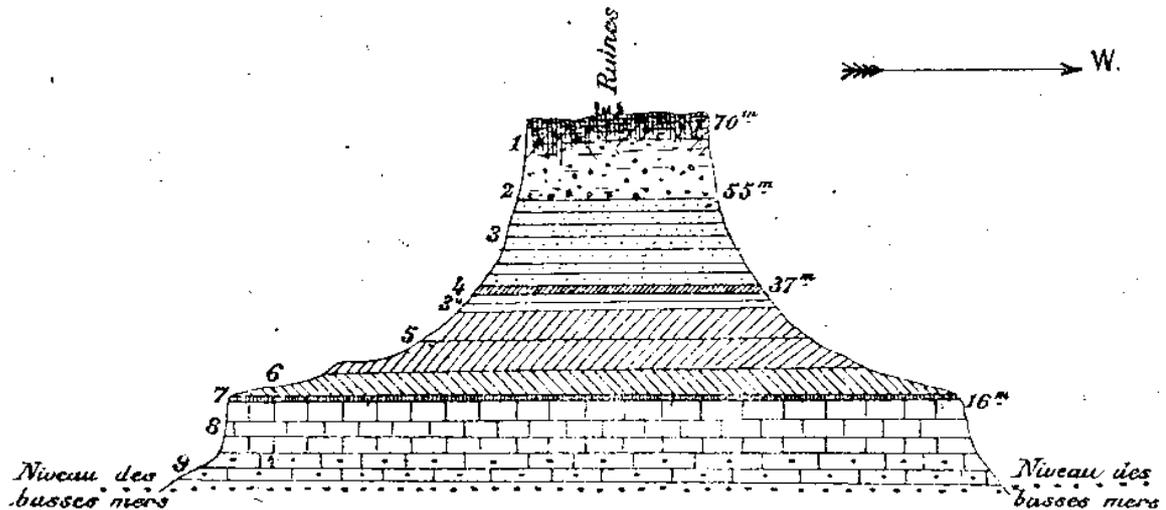
Les dépôts sédimentaires de Makamby montrent surtout une alternance de grès calcaires et de calcaires gréseux. Ces couches, visibles le long des côtes de Makamby, sont recouvertes par les grès continentaux du Pliocène (Collignon et Cottreau, 1927 ; Besairie, 1972, Ramihangihajason *et al.*, 2014) (Fig. 2, p. 9 ; Fig. 5, p. 12 et Fig. 6, p. 13).

Le Docteur Voeltzkow en 1895 est l'un des premiers à avoir réalisé une coupe géologique des formations de Makamby accompagnée par une description (*in* Collignon et Cottreau, 1927). Il nous est malheureusement impossible pour le moment d'accéder à ses données. Une révision de cette coupe a ensuite été établie par Perrier de la Bathie en 1921 (Fig. 3, p. 11).

Nos observations *in situ* nous permettent de dire que les dépôts sédimentaires du Miocène de Makamby ont une épaisseur d'environ 10 mètres. Outre les foraminifères, une association diversifiée comprenant des invertébrés et des vertébrés fossiles est observée incluant des bivalves, gastropodes, échinodermes, crabes, poissons ostéichthyens, sélaciens (requins, raies), reptiles (tortues, crocodyliens) et des mammifères siréniens (Collignon et Cottreau, 1927 ; Besairie, 1972 ; Samonds *et al.*, 2007 ; Charbonnier *et al.*, 2012).

Coupe de l'île Makamba

(Perrier de la Bathie, 1921)



Echelle des hauteurs : 1/2 000

„ des longueurs : 1/10 000

- 1- Sables de plus en plus rouges en approchant du sommet, parfois grossiers avec galets de quartz et calcédoines. 15^m.
- 2- Concrétions latéritiques (grès ferrugineux en concrétions irrégulières)
- 3 et 3''- Sables fins blancs ou roses, sans fossiles - 3 = 18^m ; 3'' = 4^m.
- 4- Couche argilo-calcaire à *Ostrea* 2^m.
- 5- Marnes blanches sans fossiles 10^m.
- 6- Marnes blanches à *Magilus grandis* et ossements 5^m.
- 7- Petite couche de calcaire tendre riche en ossements
- 8- Calcaires gréseux à *Magilus grandis* et *Schizaster Hova Tomy* 8^m.
- 9- Grès à ciment calcaire sans fossiles.

Fig. 3. Coupe de Nosy Makamby effectuée par Perrier de la Bathie en 1921.



Fig. 4. Vue panoramique du Sud de Makamby en marée basse. On remarque les gros blocs basculés le long de la côte. La petite plage visible est recouverte par la mer en marée haute. Photo: Ramihangihajason, 2014



Fig. 5. Vue panoramique de Makamby montrant la superposition de formations marine (Miocène) et continentale (Pliocène). Photo: Ramihangihajason, 2010

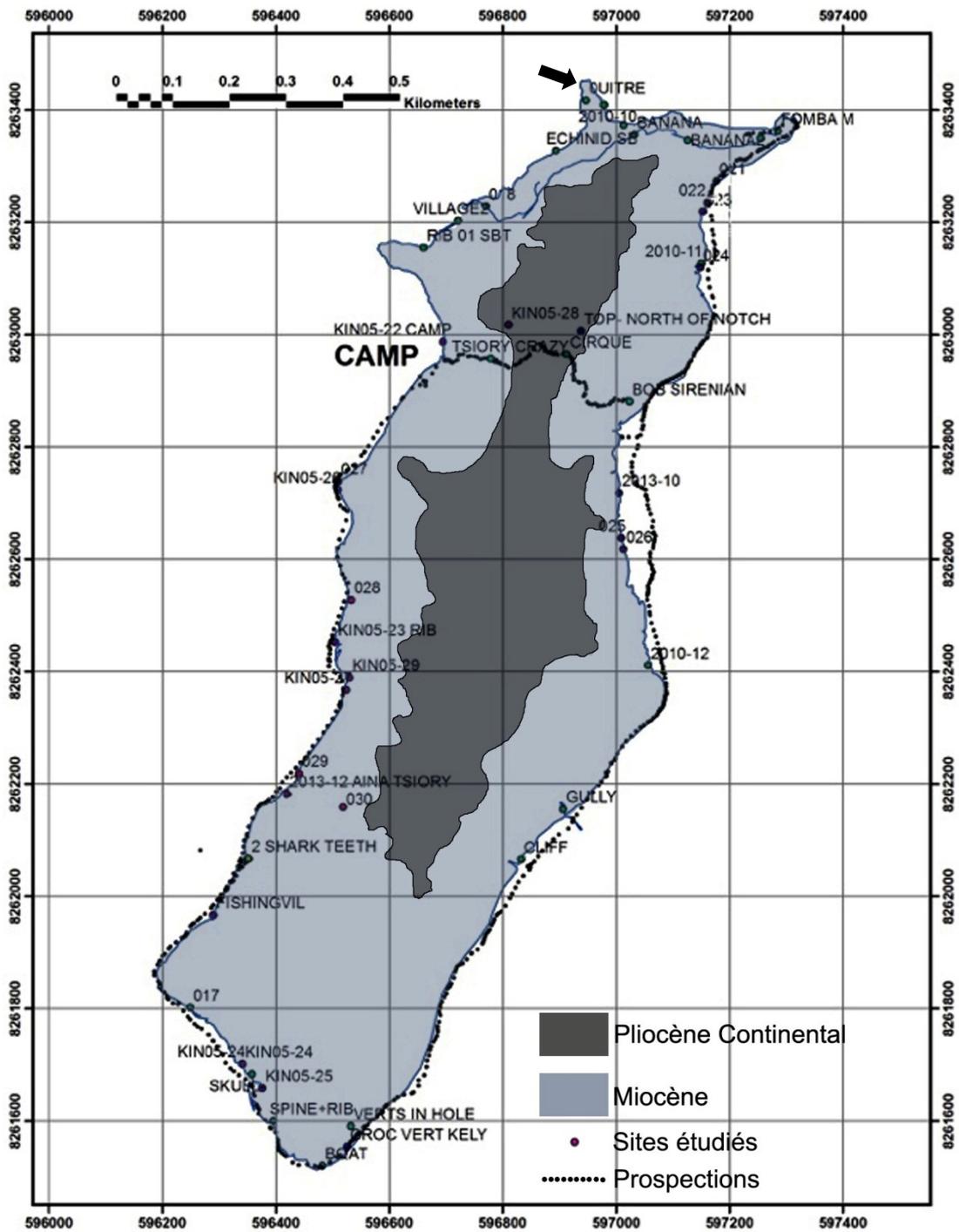


Fig. 6. Carte géologique simplifiée de Nosy Makamby montrant les divers tracés et sentiers suivis ainsi que les sites étudiés lors des travaux sur terrains de 2010, 2011, 2013, 2014 et 2015 (modifiée d'après M. Irwin, inédit). La flèche noire indique le site 2010-10.

Chapitre III - METHODOLOGIE

Collecte des échantillons

La collecte des échantillons est faite au cours de descentes sur terrain. Après les prospections sur tous les dépôts sédimentaires de l'île, des échantillons représentatifs sont récoltés, suivi de travaux d'analyses aux laboratoires. Ces derniers présentent des différences notables pour chaque groupe de fossiles étudiés que nous verrons dans les paragraphes qui suivent.

Les formations de Makamby affleurent le long des falaises autour de l'île. Cela implique une certaine difficulté de la collecte des échantillons nécessaires pour les analyses aux laboratoires. Chaque échantillon est rangé dans un sac à échantillons individuel et étiqueté soigneusement.

Les foraminifères

Les échantillons de roches sont prélevés durant les saisons de 2010, 2011, 2014 et 2015. La récolte et le traitement des échantillons sont réalisés suivant le mode opératoire classique, à savoir :

- ***Imbibition*** : pour les roches consolidées, dans le but de faciliter le lavage et le tamisage des sédiments.
- ***Tamisage*** : qui consiste au lavage des roches à travers une série de quatre (4) tamis à mailles décroissantes du haut vers le bas (2mm, 1mm, 0.5mm, 0.2mm).

Les refus de tamis sont récupérés dans une coupelle ou une boîte de Pétri et sont ensuite séchés. Une fois secs, ils sont placés dans des récipients fermés et soigneusement étiquetés.

- ***Tri*** : des éléments minéraux et organiques des refus des tamis sous loupe binoculaire avec un agrandissement d'environ 40x.

De ces différentes étapes sont triées des formes dégagées de foraminifères.

Outre le lavage des sédiments, quelques lames minces ont été réalisées au cours des travaux de laboratoire au Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique de l'Université d'Antananarivo et de *Naturalis Biodiversity Center (NBC)*, Leiden, The Netherlands.

Les lames minces sont confectionnées pour les grands foraminifères benthiques rencontrés dans les sédiments. La préparation des lames minces se déroule en quelques étapes.

La préparation des échantillons consiste d'abord à réaliser les différentes étapes de lavage mentionnées plus haut afin d'avoir des formes dégagées.

Une lame est alors placée sur une plaque chauffante. On ajoute un petit morceau de résine artificielle sur cette lame et on le laisse fondre. Ceci fait, on place le foraminifère sur la résine fondue. Sous le microscope, il faut bien positionner le foraminifère, avec une aiguille montée, afin qu'il soit bien horizontal. Toutes ces étapes doivent être faites assez rapidement car la résine se solidifie très vite. Cela dit, il est toujours possible de la refondre et de repositionner le foraminifère. Une fois l'échantillon bien placé, on laisse la lame et la résine refroidir et se solidifier en maintenant le test en place.

Le test fixé sur la lame est alors gratté manuellement avec un papier abrasif humide à grains très fins. Il est nécessaire de vérifier régulièrement au microscope la progression de la manipulation pour avoir la bonne épaisseur. Lorsque le proloculus devient visible, la manipulation est terminée. On peut alors commencer les observations au microscope. L'appréciation des structures internes et du proloculus est l'un des principaux objectifs de la réalisation de ces lames minces.

Les spécimens sont photographiés sous microscope *Leica M205C – DFC425*, assisté par ordinateur au laboratoire de micropaléontologie de *Naturalis Biodiversity Center*, Leiden, The Netherlands. Quelques spécimens ont aussi été préparés pour des photographies sous Microscope Electronique à Balayage (MEB/ SEM : Scanning Electron Microscope) toujours dans les locaux du NBC.

Après les tris et les photographies, les foraminifères préparés sont décrits. Les identifications sont basées sur les travaux de Loeblich et Tappan (1964, 1982, 1988) ainsi que ceux des autres auteurs tels que Hottinger, 1977, Luczkowska, 1972, Renema, 2008 par comparaison avec les matériels étudiés.

Etude des tubes de Kuphus

Sur le terrain, le travail consiste à prélever les échantillons dans les affleurements.

Le prélèvement se fait généralement en surface sur les parois des falaises. Néanmoins, les tubes de *Kuphus* nécessitent fréquemment de petites excavations étant donné qu'ils s'enfoncent verticalement dans les roches encaissantes. Malgré les précautions prises, nombreux sont les tubes qui se cassent et se brisent durant l'excavation ou pendant le transport jusqu'au laboratoire. De ce fait, la totalité des tubes rapportés sont des fragments et non le tube en entier. Un total de 189 spécimens a été étudié.

Au laboratoire, à la suite des observations de chaque tube, des mensurations de chaque spécimen sont faites. L'épaisseur, la longueur et le diamètre de chaque tube sont alors mesurés.

La détermination taxonomique repose sur les descriptions des spécimens et des comparaisons avec celles faites par d'autres auteurs (Gardner, 1943 ; Cox *et al.* 1969 ; Zammit Maempel, 1993). En comparant avec les formes actuelles rencontrées dans quelques régions du globe, il est possible de donner une interprétation sur le mode de vie de *Kuphus* durant le Miocène de Makamby et peut-être également son rôle écologique.

Analyse granulométrique

Les sédiments recueillis à Makamby ont fait l'objet d'une analyse granulométrique dans le but d'obtenir le maximum d'informations sur le site. Etant donné la présence de particules fines parmi les échantillons, un tamisage à sec aurait probablement faussé les résultats. En effet, les particules fines peuvent se cimenter entre elles ou avec les grains plus gros et ainsi vont être arrêtées par les tamis de mailles largement plus grandes que leur propre taille. Pour éviter cette cimentation des particules fines, il est préférable d'effectuer un tamisage sous filet d'eau. Les sédiments sont tamisés sur une série de tamis dont les mailles sont de dimensions : 2000, 1000, 500 et 200 μm . Les refus récoltés sur chaque tamis sont pesés sur une balance de précision.

Les données pondérales obtenues permettent d'établir, pour chaque échantillon, des histogrammes de fréquences et des courbes cumulatives à partir des pourcentages des classes granulométriques retenues. Les indices granulométriques et paramètres statistiques (*Kurtosis*, *Skewness*, standard déviation, moyenne) sont ensuite calculés à l'aide d'un programme mis au point par S. Blott, GRADISTAT 8.0 et qui fonctionne sous Microsoft Excel[®]. Ces analyses sont réalisées afin de mesurer la taille des particules et de définir la fréquence des différentes tailles de grains dans les sédiments. Elles permettent ainsi d'avoir un aperçu sur les conditions dynamiques de dépôt et l'environnement de sédimentation.

Accompagnant ces analyses granulométriques, une coupe du site le plus représentatif, site 2010-10, est réalisée. C'est sur ce site situé dans la partie Nord de l'île que les éléments de la microfaune et pour la granulométrie ont été récoltés. Les observations et prélèvements de *Kuphus*, au contraire se sont effectués en suivant les couches tout autour de l'île.

Remarque :

Les spécimens de *Kuphus* et les échantillons de roches de cette étude sont déposés parmi les collections du Laboratoire de Paléontologie et de Biostratigraphie de la Mention *Bassin sédimentaires, Evolution, Conservation* (BEC), ex-Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique (DPAB) de l'Université d'Antananarivo, Madagascar ainsi que dans le Laboratoire de Biologie du Professeur. Samonds, Department of Biological Sciences, Northern Illinois University, Illinois, USA.

Les foraminifères sont déposés exclusivement Laboratoire de Paléontologie et de Biostratigraphie de la Mention *Bassin sédimentaires, Evolution, Conservation* (BEC), ex-Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique (DPAB) de l'Université d'Antananarivo, Madagascar.

Afin de vérifier la présence ou non de calcite (CaCO_3) dans les sédiments de Makamby, un test avec de l'acide dilué (HCl à 10%) est effectué sur place durant les investigations sur terrain.

CHAP. IV RESULTATS

Microfaune (systématique, description)

Kuphus Guettard, 1770

CHAP. V INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

Diversité faunistique

Paléoenvironnement

Granulométrie

Kuphus

Chapitre IV - RESULTATS

Microfaune (systématique, description)

Les examens des sédiments, après les différentes étapes des traitements appliqués au laboratoire, ont révélé une association de foraminifères benthiques, accompagnés de quelques gastéropodes et de différents spicules. En dépit de plusieurs observations successives des échantillons, les sédiments de Nosy Makamby paraissent être dépourvus de foraminifères planctoniques.

Au cours des manipulations, force est de constater que l'état de conservation des spécimens est malheureusement imparfait dans toute la formation. Apparemment, Lavocat, en 1955, a déjà rencontré le même problème concernant la conservation des spécimens provenant de Nosy Makamby (Lavocat *et al.*, 1955). Dans notre démarche, nous avons essayé plusieurs fois de rapporter des échantillons de roches en tentant de modifier notre méthode de prélèvement. Malgré nos essais de prise de photographies sur MEB (Microscope Electronique à Balayage) les spécimens de foraminifères observés n'ont guère montré de caractères nets et appréciables. En particulier, l'ouverture des tests de la majorité des foraminifères de Makamby semble être obturée par des particules sédimentaires empêchant une description précise. Ce manque de détails précis rend la détermination spécifique très difficile et nous a obligés d'adopter une nomenclature « ouverte ». En effet, il est parfois préférable de faire une détermination incomplète mais prudente, plutôt qu'une détermination précise mais erronée (Bignot, 1982).

Néanmoins, certains genres montrent différentes formes distinctes permettant de caractériser des groupes morphologiques (morphes) non encore déterminés notés « sp. 1, 2, ou 3... ».

Les genres rencontrés incluent les suivants :

Hauerina, *Pyrgo* sp1, *P.* sp2, *P.* sp3 (Famille : HAUERINIDAE)

Quinqueloculina sp1, *Q.* sp2, *Q.* sp3, *Q.* sp4, *Q.* sp5, (Famille : MILIOLIDAE)

Austrotrillina (Famille : AUSTROTRILLINIDAE)

Borelis (Famille : ALVEOLINIDAE)

Peneroplis sp1, *P.* sp2, *Spirolina*, (Famille : PENEROPLIDAE)

Pseudotaberina, *Archaias* (Famille : SORITIDAE)

Ammonia sp1, *A.* sp2, *A.* sp3 (Famille : ROTALIIDAE),

Elphidium (Famille : ELPHIDIDAE),

Miogypsina (Famille : MIOGYPSINIDAE)

Operculina (Famille : NUMMULITIDAE)

Nodosaria (Famille : NODOSARIIDAE)

Lepidocyclina (Famille : LEPIDOCYCLINIDAE),

Sphaerogypsina (Famille : ACERVULINIDAE)

Ainsi, dans ces formations du Miocène de Nosy Makamby, nous avons recensé et étudié plus de deux mille deux cent cinquante (2250) spécimens de foraminifères répartis dans 16 genres. Certains de ces genres sont déjà mentionnés dans une étude récente (Ramihangihajason *et al.*, 2014). Chaque genre est étudié et une description est faite pour chacun de ces genres. La position systématique des foraminifères de Makamby est établie comme ce qui suit :

Systématique et description

Phylum PROTISTA Haeckel 1866

Subphylum SARCODINA Schmarda 1871

Classe RHIZOPODA Von Siebold 1845

Sous-classe GRANULORETICULOSA De Saedeleer 1934

Ordre FORAMINIFERIDA Eichwald 1830

Sous-ordre MILIOLINA Delage & Hérouard 1896

Superfamille MILIOLACEA Ehrenberg 1839

Famille MILIOLIDAE Ehrenberg, 1839

Sous-famille QUINQUELOCULININAE Cushman 1917

Quinqueloculina d'Orbigny 1826 pl. VI (1-10)

Espèce type. *Serpula seminulum* Linné 1758

Matériels : UAP-10.553; UAP-10.561; UAP-10.564; UAP-10.567; UAP-10.571; UAP-10.580; UAP-10.585; UAP-10.586; UAP-10.592; UAP-10.598; UAP-10.602; UAP-10.604; UAP-10.608; UAP-10.619; UAP-10.625; UAP-10.631; UAP-10.639.

Description : Test à arrangement des loges de type quinquéloculine, avec une alternance régulière en 5 plans. A l'extérieur, 3 loges sont visibles sur un côté du test, et 4 sont visibles sur le côté opposé. Le test est calcaire porcelané. Quelques espèces cependant montrent des agglutinats sur le test. L'ouverture est terminale avec une dent simple.

Des groupes morphologiques sont discernés dans les formations de Makamby. Nous en avons recensé cinq appartenant au genre *Quinqueloculina*.

Quinqueloculina sp. 1 pl. VI (1-2)

Le test présente une forme générale ovalaire. Les loges sont longues et étroites. Donnant un aspect pointu vers les deux extrémités du test. Parfois un col est observé précédant l'ouverture.

Quinqueloculina sp. 2 pl. VI (3-5)

Les loges sont très courbées aux extrémités. La forme générale est ovale avec des extrémités arrondies.

Quinqueloculina sp. 3 pl. VI (6-8)

Test ayant un aspect globulaire. Les loges sont plus larges que longues. La forme générale globulaire du test est caractérisée par des bords sur les côtés lui conférant une section plus ou moins triangulaire.

Quinqueloculina sp. 4 pl. VI (9)

Le test est presque sphérique. Les loges, courtes, sont recourbées et larges.

Quinqueloculina sp. 5 pl. VI (10)

Une forme avec un test ayant un aspect globulaire. Les loges courtes non solidaires, se détachant facilement les uns des autres.

Caractéristique écologique et milieu de vie : Le genre est un bon indicateur de la proximité des côtes (Luczkowska, 1974). Il se retrouve dans la plate-forme interne, les golfs ouverts et dans les mers chaudes et peu profondes, tropicales ou subtropicales, de 0 à 100 m.

Répartition stratigraphique : Crétacé à Holocène (Loeblich et Tappan, 1988).

Famille HAUERINIDAE Schwager 1876

Sous-famille HAUERININAE Schwager 1876

Hauerina d'Orbigny 1839 pl. VII (5)

Espèce type. *Hauerina compressa* D'Orbigny 1846

Matériels : UAP-10.556; UAP-10.559.

Description : Le test est presque discoïde (aplatis et à contour subcirculaire) et est concave dans la partie centrale. Les premiers stades de développement sont quinqueloculines. Les dernières loges sont nombreuses et planispiralées. Le dernier tour renferme 3 ou 4 loges qui entourent les précédentes et recouvrent la partie initiale du test. Les lignes de sutures sont incurvées en arrière. L'ouverture est étroite et ovale avec des trématophores.

Milieu de vie : Plusieurs espèces du genre *Hauerina* sont associées à un environnement de récif ou une profondeur néritique moyenne (Havach et Collins, 1997).

Répartition stratigraphique : Eocène à Holocène (*Hauerina*; Loeblich et Tappan, 1964); *H. cf. compressa*. Pologne : Tortonien supérieur (Gliwice Stare, Weglinek). Autriche : au voisinage de Vienne. Roumanie : Tortonien, Buitur. ex-URSS: Tortonien supérieur, la plate-forme Volhyn-Podolian (Luczkowska, 1974).