

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iii
FAMINTINANA.....	iv
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTES DES FIGURES	vii
LISTES DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	vii
GLOSSAIRE.....	ix
INTRODUCTION.....	1
I. GENERALITES.....	3
1.1. Situation et limites géographiques	3
1.1.1. Localisation du site d'étude.....	3
1.1.2. Contexte géographique.....	5
1.2. Les Etudes menées dans la région	6
1.2.1. Historique des recherches paléocologiques à Vakinankaratra.....	6
1.2.2. Paléoécologie	8
II. METHODOLOGIE	9
2.1. Matériels	9
2.1.1. Matériels utilisés sur terrains	9
2.1.2. Matériels de laboratoire	9
2.1.3. Matériels d'étude	10
2.2. Méthodes.....	13
2.2.1. Méthodes sur terrain	13
2.2.2. Méthodes au laboratoire.....	13
2.2.3. Observation et détermination	18
2.2.4. Classification	18
III. RESULTATS	20
3.1. Lithologie	20
3.1.1. Coupe lithologique du site	20
3.1.2. Coupe stratigraphique du site.....	21
3.2. Spores et Pollens	22
3.2.1. Pourcentages des éléments sporopolliniques par niveau dans le site	22
3.2.2. Les rapports AP/NAP*100 (arboreal pollen/ non arboreal pollen).....	25

3.3. Vertébrés	25
3.4. Diatomées	26
3.4.1. Sous classe des Centrophycidées.....	26
3.4.2. Sous classe des Pennatophycées	26
IV. DISCUSSION	28
4.1. Les coupes géologiques	28
4.2. Les témoins de la végétation	28
4.2.1. Proportion des arbres face aux herbacées	30
4.2.2. Les significations de l'existence des taxons	30
4.3. Les espèces animales.....	40
4.4. Les microalgues.....	40
CONCLUSION.....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	42
ANNEXES.....	I
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES TAXONS OBSERVÉS	I
ANNEXE 2 : TEXTURES DES SURFACES.....	XXIV
ANNEXE 3 : TYPE DES POLLENS	XXV
ANNEXE 4 : PLANCHES	XXVI

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 : Extraction standard de pollens Holocène à partir de tourbe de marécage	15
Tableau n° 2 : Pourcentage des taxons terrestres dans le site.....	22
Tableau n° 3 : Pourcentage des taxons aquatiques dans le site	24
Tableau n° 4 : Valeurs des AP/NAP du site.....	25

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude	4
Figure 2 : Coupe de grain de pollen d'angiosperme observée au microscope électronique	11
Figure 3 : Structure et sculpture de la paroi des pollens.....	11
Figure 4 : Schéma du frustule d'une diatomée centrale en vue connective.....	12
Figure 5 : Vue valvaire d'une diatomée pennale	12
Figure 6 : Les échantillons	14
Figure 7 : Processus de traitement chimique des sédiments.....	17
Figure 8 : Coupe lithologique du site	20
Figure 9 : Coupe stratigraphique du site.....	21
Figure 10 : Diagramme pollinique des Arbres et Arbustes essentiels	23
Figure 11 : Diagramme pollinique des Herbaceae essentielles	24
Figure 12 : Diagramme pollinique des taxons aquatiques.....	24
Figure 13 : Courbe des AP, NAP et AP/NAP*100 du site.....	25

LISTES DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

AP : Arboreal Pollen

BEC : Bassins sédimentaires Evolution Conservation

BP : Before Present

cm : centimètre

cm³ : centimètre cube

¹⁴C : Carbone 14

°C : Dégré Celsius

CO₂ : Gaz carbonique

E : Est

FT : Fonction de Transfert

GPS : Global Positioning System

ha : hectare

HCl : Acide chlorhydrique

HF : Acide fluorhydrique

H₂SO₄ : Acide sulfurique

H₂O : Eau

KOH : Hydroxyde de Potasse

KClO : Perchlorate de potassium

Km : kilomètre

Ma : Million d'année

MCA : Miora Christelle ANDRIAMBELOMANANA

m : mètre

µm : micromètre

mm : millimètre

mn : minute

NAP : Non Arboreal Pollen

N(X) : Niveau X

N° : Numéro

P (cm) : Profondeur en centimètre

RN : Route Nationale

S : Sud

TSM : Tsaramody

GLOSSAIRE

Baculum : projections dans lesquelles la hauteur est plus grande que le diamètre fondamental (Grebe, 1971).

Bissaccate : grains de pollen avec deux sacs aéifères survenant généralement dans les Conifères mais rencontrés aussi dans d'autres Gymnospermes (Traverse, 1988).

Calymée : ectexine enveloppant l'ensemble des spores d'une tetrade ou d'une polyade sans présenter d'interruptions d'un grain à l'autre (STRAKA, 1964).

Colpe : ouverture très allongée.

Costae : côtés radiales.

Crassiexineux : épaisseur maximale d'exine supérieur à 1/10 du diamètre maximal de la spore (STRAKA, 1964).

Crassisexineux : sexine approximativement la même à la nexine (STRAKA, 1964).

Crassitegillé : épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums (STRAKA, 1964).

Diagramme pollinique : ensemble des spectres polliniques pour un site carotté.

Tout diagramme d'abondance du pollen montre les variations de concentration de plusieurs types de pollen, dans le temps comme révélé l'étude de carotte et d'autres échantillons de sédiment (Traverse 1988).

Diatomées : algues Chrysophytes unicellulaires à squelette interne siliceux (RAMAROLAHY, 2007).

Echinulé : épine supérieur à 3 microns (STRAKA, 1964).

Ectexine : partie externe de l'exine, incluant le pied couche si présent (Faegri, 1956 ; Punt *et al.*, 1994).

Endexine : partie interne de l'exine (Faegri, 1956). L'endexine n'inclut pas la nexine qui est considéré comme partie de l'ectexine (Punt *et al.*, 1994).

Exine : paroi externe de l'enveloppe pollinique (sporoderme), formée de sporopollénine (polymère oxydée de caroténoïdes et d'esters de caroténoïdes), pouvant être fossilisée dans les sédiments (RAMAROLAHY, 2007).

Hilium : ouverture proximal ou distal de certaines spores. L'hilum résulte d'un échec naturel du sclerine dans une région qui montre des modifications structurales ou sculpturales au sujet du pôle distal (Erdtman, 1952).

Insulé : frustille (STRAKA, 1964).

Intine : couche mince, couche intérieure des deux couches majeures formant le mur de spores et pollens, composée de cellulose et pectates et a située à l'intérieur de l'exine, en entourant le cytoplasme et normalement, n'est pas présent dans le sporomorphe du fossile (Traverse, 1988).

Laesurea : aperture proximale des spores trilètes et monolètes (Erdtman, 1952).

Lithologie : étude de la composition et de la succession des roches.

Marge : région d'exine autour d'un ectocolpus qui est différenciée du reste de la sexine, ou dans la structure ou par différence dans l'épaisseur (Iversen & Troels-Smith, 1950).

Microcharbons : débris de charbons microscopiques dérivant des feux de végétation et conservés dans les sédiments limniques (RAMAROLAHY, 2007).

Monolète : spore avec un seul laesurae (Erdtman, 1943).

Monoporé : grain de pollen avec seule pore (Traverse, 1988).

Monossaccate : grain de pollen avec un seul sac (Potonié & Kremp, 1954).

Monosulqué : ayant un seul colpe ou sillon germinal (Traverse, 1988).

Nexine : partie non – sculpturée de l'exine, lequel se trouve au-dessous de la sexine (Erdtman, 1952).

Oblée : forme de pollen si le ratio entre la longueur de l'axe polaire (P) et le diamètre équatorial (E) (ratio P/E) entre 0,5 à 0,75, il est équiaxe à bréviaxe (STRAKA, 1964).

Oligotrème : pauci aperture 7 à 12 apertures (STRAKA, 1964).

Paléopalynologie : étude des spores et des pollens fossiles conservés dans les sédiments.

Périporé : pores arrangés sur l'équateur i.e. dispersés sur la surface du grain du pollen (Traverse 1988).

Pléistocène : première des deux périodes de l'ère quaternaire, comprise entre le Pliocène (dernière époque de l'ère tertiaire) et l'Holocène, couvrant une période allant de - 1,8 millions d'années (Ma) à - 12 000 ans.

Pliocène : cinquième époque du Cénozoïque, entre le Miocène et le Quaternaire sur l'échelle des temps géologiques, couvrant la période comprise entre - 5,5 et - 1,8 millions d'années (Ma).

Palynofacies : terme utilisé en paléopalynologie pour l'assemblage de taxa palynomorphe dans une portion de sédiment, représentant les conditions environnementales locales et pas typique de palynoflore régionale (Traverse 1988).

Assemblage des phytoclastes fondés dans des sédiments particuliers, comme palynomorphes, bois, cuticules etc. (Combaz, 1964).

Palynologie : étude des spores et des grains de pollen et d'autres matières biologiques qui peuvent être étudiées au moyen de techniques palynologiques (Hyde, 1944).

Etude des spores et des pollens produits par des végétaux inférieurs et supérieurs.

Palynomorphe : terme général pour toutes les entités trouvées dans les préparations palynologiques (Tschudy, 1961).

Perprolée : forme de pollen si le ratio P/E >2, le pollen est longiaxe (STRAKA, 1964).

Pollens (grains de pollens) : organes reproducteurs mâles (gametophyte mâle) des plantes à fleurs.

Pore : terme général appliqué en palynologie pour les apertures circulaires ou élliptiques avec un ratio longueur/largeur inférieur à 2 (Jackson, 1928 et Wodehouse, 1935).

Prolée : forme de pollen si le ratio P/E entre 1,33 et 2, il est longiaxe à équiaxe (STRAKA, 1964).

Sexine : couche interne sculpturée de l'exine, lequel se trouve au-dessus de la nexine (Erdtman 1952).

Subechinulé : épine inférieure à 3 microns (STRAKA, 1964).

Subprolée : forme de pollen si le ratio (P/E) entre 1,14 et 1,33 (STRAKA, 1964).

Spore : terme général pour les unités habituellement microscopiques, unicellulaires, asexuées, organe reproductrices des cryptogrammes (Jackson, 1928).

Sporomorphe : fossil dispersed pollen grain or spore (Traverse, 1988).

Stephanocolporé : grains de pollen qui a plus de 3 colpes arrangés méridionalement et pourvus des pores (Traverse, 1988).

Stephanoporé : grains de pollen ayant plus de 3 pores équatoriaux, également des pores disposés sur l'équateur (Traverse, 1988).

Sulcus : elongated latitudinal ectoaperture sited at the distal or proximal pole of a pollen grain (Erdtman, 1947). Elongate aperture in the exine of pollen grains (Traverse, 1988).

Syncolpé : grains de pollen dans lesquels les colpes sont normallement proche des pôles (Traverse, 1988).

Tenuiexineux : épaisseur maximale d'exine inférieur à 1/20 du diamètre maximal de la spore (STRAKA, 1964).

Trème : aperture.

Tricolpé : grains de pollen ayant trois colpes méridionalement arrangés lesquels sont dépourvus de pores, des sillons transversaux ou d'autre modifications semblables (Traverse, 1988).

Trilète : spore avec trois laesurae, de plus montre une marque trilète (Erdtman, 1943).

Tricolporé : grains de pollen ayant trois colpes lesquels sont pourvus des pores ou généralement d'autres modifications équatoriales (Traverse, 1988).

Triporé : trois apertures germinales plus ou moins isodiamétriques dans la position équatoriale.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La couverture forestière de Madagascar ne représente plus qu'une surface de 5 500 000 ha de forêt sempervirente et une superficie d'environ 4 110 000 ha pour la forêt sèche avec un taux de déforestation de 102 000 ha par an (LOWRY P. P. et al., 1995, 1997) (38, 39). Ainsi, la théorie évoquée par PERRIER DE LA BATHIE H. en 1921 reprise par HUMBERT en 1927 (dans HUMBERT, 1981(30)), préconisant Madagascar comme une île verte est sujet de controverse.

La palynologie couplée avec d'autres disciplines scientifiques permet d'étoffer l'écologie historique de Vakinankaratra, ou du moins l'évolution environnementale de Tsaramody / Sambaina. En effet, notre Ile ne cesse de subir les impacts que l'homme lui impose dès son arrivée jusqu'à nos jours. Ses activités entraînent une perturbation voire dégradation de la nature et de la biodiversité tant en quantité qu'en qualité. De tel changement entraîne une évolution rapide à la fois dévastatrice dans l'ensemble floro – faunistique. Les acquis des recherches déjà faites semblent témoigner d'autres possibilités insinuant que l'homme n'est peut – être pas le seul responsable de ce changement qui a déjà commencé avant l'occupation sinon le débarquement dans l'Ile.

Toute variation de type d'écosystème depuis des milles et millions d'années est enregistrée, rassemblée et conservée dans les strates sédimentaires par les restes et traces qui font les objets de la paléontologie. Pour le cas d'une ancienne végétation, elle laisse des traces ou preuves par des empreintes dans les sédiments, et/ou par des fragments de tiges, et surtout par les pollens et spores ensevelis dans divers dépôts géologiques, à divers endroits où ils ont pu être produits, emportés ou déposés, KAPP et al., 2000 (31). Ces derniers éléments cités servent pour l'étude palynologique en vue d'une histoire écologique et d'un essai de reconstitution environnementale.

La région de Sambaina est une plaine dans une cuvette intramontagnarde des Hautes Terres Centrales de Madagascar, BESAIRIE H. et COLLIGNON M., 1972 (3). Elle est entourée de reliefs d'altitude plus élevée notamment le grand massif volcanique de l'Ankaratra qui culmine à 2644m au Tsiafajavona. (LAGEAT Y. & PEYROT B., 1972) (36).

La plaine est constituée par des sols volcaniques et des sédiments lacustres qui renferment des ossements (LAGEAT Y. & PEYROT B., 1972 (36) – RASOLOFOMANANA R. T. N., 2016 (57)) subfossiles très caractéristiques comprenant des oiseaux, des reptiles et des mammifères. Cette tourbière va présenter certainement des associations microfloristiques

qui ont enregistré des informations écologiques certaines sinon certaines informations écologiques.

Le but de cette investigation est de retracer l'histoire de la végétation aux environs de Tsaramody afin de pouvoir analyser l'équilibre du passé (dernières décades voire des derniers centenaires ou des derniers millénaires) avant et après le dépôt du travertin, puis pendant le changement de faciès tourbeux. En plus, de constituer une banque de données pour une meilleure vision du futur plus adapté et plus réaliste. Enfin d'apporter un plus aux solutions de valorisation de la zone palustre et sa préservation, autant que faire se peut, de la biodiversité de Madagascar, extraordinaire mais fragile et en danger permanent. Dans ce sens, les intérêts de cette étude se résument dans l'objectif d'établir :

- les différentes phases de dégradation voire de fragmentation des végétations existantes (montagnarde et marécageuse) : biodiversité, en l'occurrence végétale, changement au cours du temps,
- la nature et l'origine des feux donc des charbons au cours du temps,
- les implications et effets des activités humaines sur la végétation originelle,
- l'évolution des savanes : origine, devenir, le rôle du feu dans son installation ou son maintien.

Ce Mémoire a donc pour objectif, d'abord, de mettre en relation l'histoire sédimentologique du site de Tsaramody et les phénomènes liés au volcanisme de l'Ankaratra avec l'évolution de la végétation à partir du diagramme pollinique et la variation des associations diatomées du site pour les faciès et les paramètres écologiques ; ensuite de comparer ce site avec celui d'Ampasambazimba, une autre tourbière vulcano-lacustre sise à Itasy. Ceci contribue à étoffer les données sur l'étude paléoécologique de Madagascar en général, et celles de l'histoire de la végétation et de la flore microalgale en particulier.

Ainsi, le travail est constitué de quatre parties :

- les généralités avec l'historique des recherches sur le Quaternaire de Vakinankaratra renfermant un concentré de géologie avec les séries volcaniques, suivie des acquis sur des études paléoécologiques jusqu'à très récemment ;
- la méthodologie comprennant les matériels utilisés et les méthodes adoptées pour la réalisation de ce travail ;
- les résultats ;
- la discussion avec la comparaison avec le cas du site d'Ampasambazimba.

I. GENERALITES

I. GENERALITES

Les Hautes Terres Centrales de Madagascar appartiennent à une zone tropicale d'altitude avec une température moyenne de 17 °C, une pluviosité moyenne de 1451 mm par an, un vent de mousson et un vent d'alizé. Ils représentent plus de 40% de la surface de l'île mais très peu de forêt naturelle existe dans la région. La majorité est isolée comme des forêts galeries contenant de nombreux fragments. La végétation des Hautes – Terres Centrales est influencée par des types de formation géologique sur laquelle elle se trouve. Les succulents et xérophytes se rencontrent sur les roches métamorphiques tandis que les différentes espèces endémiques sont aperçues sur les roches granitiques. (RAMAROLAHY F. M. F., 2007) (54).

Le bassin d'Antsirabe, d'origine tectonique, présente un socle cristallin faillé et bordé à l'Ouest par des édifices volcaniques récents (Vakinankaratra). Le bassin sédimentaire présente deux surfaces planes, étagées et légèrement inclinées vers le sud, qui ont été considérées jusqu'alors comme témoignant chacune d'un remplissage lacustre. Les datations ¹⁴C obtenues placent les alluvions fluviopalustres entre 35 000 BP et 14 400 BP. La série volcanique explosive majeure est donc plus récente que 14 400 BP. Elle aurait duré 6 000 ans. Le remplissage du bassin d'Antsirabe constitue une archive sédimentaire remarquable.

1.1. Situation et limites géographiques

Le sous – bassin de Sambaina est dans le bassin d'Antsirabe, limité par des socles au Sud et au Nord, à l'Est par des socles ou des failles et à l'Ouest par le complexe volcanique de l'Ankaratra ou encore le socle de Betafo. L'émission de lave volcanique de l'Ankaratra a 4 phases, la première phase est l'éruption trachytique et phonolitique qui est trouvé à Tsaramody, le deuxième est l'éruption basaltique, le troisième est l'éruption d'Ankaratrite et la dernière éruption est le Basanite.

1.1.1. Localisation du site d'étude

Il se trouve à Ankeniheny, dans le village de Tsaramody, de coordonnées GPS : 19° 36' 01.5''S, 047° 10' 38.2'' E, à 1655m d'altitude, les limites sont mentionnées sur la figure 1. Il se situe à 30km au Nord d'Antsirabe suivant la RN7, à 1km du croisement de Kelivozona dans la région de Vakinakaratra.

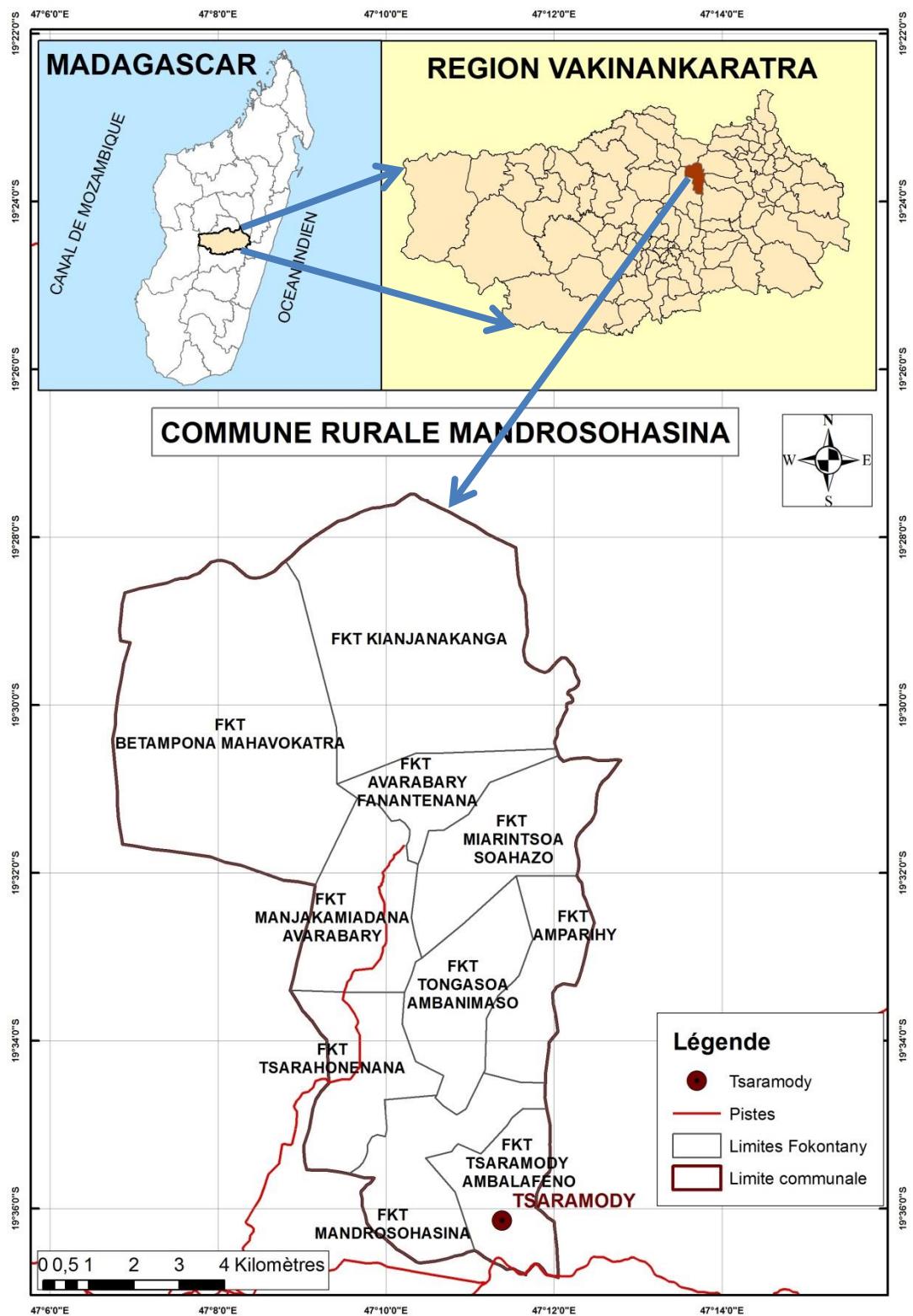


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude – Source : BD 500 FTM, modifiée par l'auteur : Avril 2017

Traversé par la rivière d'Ilempona, Ankeniheny appartient au Sous Bassin de Sambaina d'âge Pliocène – Pléistocène. Il est caractérisé par de coulée basaltique notamment de basalte phonolitique du volcanisme du massif de l'Ankaratra et des sédiments argileux.

1.1.2. Contexte géographique

Le bassin d'Antsirabe offre des paysages contrastés entre de remarquables escarpements de faille rectiligne et de zones planes, toutefois fréquemment disséquées par les cours d'eau. En plus, la partie Ouest du bassin est dominée par des cônes volcaniques de type strombolien qui atteint une centaine de mètres de hauteur. A l'Est, il est limité par l'escarpement de faille rectiligne de Betampona affectant le socle cristallin. Au Centre, l'escarpement du Mandray, parallèle au précédent, s'étend sur une vingtaine de kilomètres. Pour LENOBLE *et al.* (1949), les reliefs plans du bassin d'Antsirabe sont spectaculaires dans le paysage avec « leur horizontalité presque parfaite de Vinaninkarena au Sud à Sambaina au Nord » selon une surface d'accumulation de sédiments « lacustres ». Pour Mottet (1980), c'est une surface d'aplanissement. Ces sous – bassins ont une forme très allongée en relation avec la structure géologique. A la fin du Tertiaire (Pliocène particulièrement), une tectonique d'extension a accéléré l'activité volcanique, édifiant les imposants massifs de l'Ankaratra et du Vakinankaratra. Celle – ci s'est poursuivie durant le Quaternaire jusqu'à l'Holocène. Elle s'est accompagnée de la formation de fossés d'effondrement, en semi – grabens, orientés Nord – Sud, effondrés à l'Est le long de failles majeures (Betampona, Mandray) (RAZAFIMAHEFA *et al.*, 2012) (58).

La mise en place du fossé d'effondrement d'Antsirabe est certainement liée à la tectonique, ancienne et récente. La première phase majeure est attribuée à la période Mio – Pliocène avec la création des bassins de Sambaina et d'Antanifotsy au Nord de la région étudiée, accompagnant l'édification du complexe volcanique de l'Ankaratra. Ces deux bassins sont caractérisés par d'épais remplissages limono – sableux et argileux à lignite, d'âge Mio – Pliocène. Les restes de sédiments dans le bassin d'Antsirabe témoignent que celui – ci a été affecté par la tectonique Mio – Pliocène. A cette dernière peut se rattacher des coulées basaltiques le long de l'escarpement de Betampona, à l'Est d'Antsirabe ($16,9 \pm 0,4$ Ma, B7249-2) et à Vinaninkarena au Sud-Ouest (3,7 à 3,9 Ma). C'est durant le Pléistocène supérieur que se produisent les affaissements longitudinaux submériadiens de Betampona et du Mandray qui ont entraîné la formation des semi – grabens de la Manandona et de la Sahatsio et, à un degré moindre, de la Sahalombo avec la faille de Mahabatry. Les formations superficielles sont considérées comme «lacustres» (RAZAFIMAHEFA *et al.*, 2012) (58) au vu de la morphologie plane, de dépôts de pyroclastites stratifiés horizontalement et de niveaux de tourbes considérés comme lacustres. L'interprétation ne fait aucune référence à des barrages lacustres successifs, ni à l'organisation sédimentaire des dépôts. Les sédiments sont définis comme « volcano – fluvio – lacustres » selon Mottet (1980). Les niveaux de tourbe

des Hautes Terres Centrales de Madagascar ont indubitablement une signification paléoclimatique, comme l'ont montré les analyses palynologiques antérieures.

1.2. Les Etudes menées dans la région

1.2.1. Historique des recherches paléocologiques à Vakinankaratra

La Paléoécologie est définie simplement, en tant qu'écologie du passé, plus précisément, c'est de l'écologie évolutive. L'étude des archives biologiques emprisonnées dans les sédiments, depuis des temps plus ou moins reculés, apporte des éléments clés afin de reconstruire les paléoenvironnements et leur évolution au cours du temps, mais aussi les interactions entre le vivant, son environnement et le climat.

La paléoécologie définit l'étude des relations entre des organismes disparus et l'environnement dans lequel ils vivaient, en traitant de l'**histoire écologique des écosystèmes, communautés ou espèces** grâce à la localisation, l'identification, la quantification et la datation de restes biologiques (pollens, charbons de bois, cernes de bois, coléoptères fossiles, foraminifères, chironomides, coquilles de mollusques...), à des échelles temporelles souvent anciennes et vastes.

L'étude des spores et des grains de pollen fossilisés (c'est la palynologie) que recèlent les sédiments accumulés dans les tourbières et les lacs, permet de connaître l'environnement végétal passé. L'analyse pollinique des sédiments est un moyen efficace pour retracer l'histoire climato – floristique d'un milieu de manière diachronique. Cette discipline est fondamentale pour reconstituer les phases majeures d'évolution de la végétation (les chronozones) et du climat depuis le dernier maximum glaciaire, il y a environ 20 000 ans. En outre, elle fournit une gamme de renseignements inestimables en ce qui concerne les modifications imposées par l'homme sur le milieu.

Dans cette région, les études faites ont porté en même temps sur les dépôts lacustres (géologie), les restes fossiles figurés et vaguement sur le paléoenvironnement.

- En 1949, A. LENOBLE a publié l'âge des dépôts lacustres de l'Ankaratra en les présentants comme l'ancien lac du Nord d'Antsirabe dans les hauts plateaux de Madagascar. Les explorations ont donné des fossiles de vertébrés. Mais la région a été largement inexplorée sur le plan paléontologique étant donné que cette première recherche est concentrée sur la géologie. Le résultat précisa surtout que les roches en question étaient de l'Ankaratrite avec du phonolite.

- Après cela mais la même année, A. LENOBLE avec E. BOUREAU qui travaillait sur le plan paléobotanique, avec E. MANGUIN qui se fixa sur les Diatomées, a appuyé beaucoup plus sur les réalisés du Plio – Pléistocènes de l’Ankaratra. C’était le début de l’étude de la paléovégétation.
- RAFAMANTANANTSOA, J. G., 1987, 1991 travaillait sur la micropaléontologie végétale de l’Holocène des sites de Betafo (Ouest Antsirabe).
- En 1987, 1991 RAKOTONDRAZAFY, T., par la micropaléontologie végétale de l’Holocène du site volcano – lacustre d’Ampasambazimba, Analavory avec introduction de l’analyse des diatomées, et le site Holocène de Tritrivakely Betafo.
- En 1987, D. A. BURNEY a affirmé en publiant les résultats de ses recherches qu’il y avait effectivement des changements indéniables dans les végétations successives après l’installation des premiers habitants de Madagascar en utilisant l’outil palynologique dans des carottes prélevées à Tritrivakely BETAFO.
- En 2010, l’équipe de SAMONDS a mené une prospection dans la région en suivant les subdivisions cartographiées par LENOBLE. Cette reconnaissance a permis d’identifier un nouveau site subfossilière.
- En 2014, dans le cadre d’un «*fieldschool* » et la préparation du DEA de SANDIARISATA, la même équipe est descendue sur le site, et a collecté plus d’une centaine de restes subfossiles.
- En 2015, pour le tournage d’un film documentaire sur Madagascar réalisé par la chaîne BBC, l’initiation à la paléontologie des étudiants de NIU et la réalisation du présent projet axé notamment sur la reconstitution du paysage, des expéditions ont été menées ; lesquelles ont permis de collecter des centaines d’ossements.
- En 2016, dans le cadre de la collaboration entre le Projet Cénozoïque et la Mention BEC plusieurs étudiants de l’Université d’Antananarivo et de l’Université de l’Illinois ont effectué un stage de terrain sur le site, le présent Mémoire a eu son premier balbutiement lors de ce stage.
- La même année et après quelques travaux de laboratoire, un retour au dit site a été nécessaire pour des compléments d’informations, d’échantillons pour l’étude palynologique et d’autres investigations.

1.2.2. Paléoécologie

1.2.2.1. Palynologie – type de végétation – type de climat

Le mot «palynologie» vient du mot Grec « παλυνοεῖν (palunein) » signifiant saupoudrer ou « palè » qui veut dire farine et poussière pollinique. La palynologie est une science qui étudie généralement des spores et pollens, importants objets d'étude en paléoécologie.

Une **fonction de transfert FT** est une représentation mathématique de la relation entre l'entrée u et la sortie y d'un système linéaire, le plus souvent invariant, par exemple l'entrée est le diagramme pollinique, et la sortie est le type de végétation correspondante ou bien, le type de végétation comme entrée et le climat correspondant comme sortie.

La reconstruction des changements climatiques survenus dans les derniers milliers d'années est cruciale pour comprendre la dynamique du climat dans des conditions différentes de celles enregistrées de nos jours (e.g insolation, concentration en CO₂). De telles reconstructions peuvent être obtenues en modélisant les relations entre le climat et les pollens retrouvés dans les sédiments lacustres. Ces modèles, appelés Fonction de Transfert (FT), sont des modèles statistiques purement descriptifs qui, malgré la diversité de leur forme, se basent tous sur un même groupe d'hypothèses. Les FT basées sur les mécanismes liant l'environnement à la végétation et au pollen fourniraient des reconstructions basées sur des hypothèses différentes et soutenues par les recherches récentes en écologie.

1.2.2.2. Association diatoméenne – type de climat

Il en est de même pour les diatomées, l'interprétation du passé s'appuie sur la connaissance de l'écologie actuelle de chaque espèce. La calibration des milieux actuels permet une reconstitution des variables physico – chimiques de l'eau dans le passé. Cette calibration s'appuie sur des prélèvements de diatomées associés à la mesure des paramètres physico – chimiques (profondeur, salinité, pH, composition ionique, transparence...) de l'eau. Grâce à des calculs statistiques, les relations entre les diatomées et les paramètres mesurés sont recherchées. Si cette relation existe, une fonction mathématique linéaire est calculée entre la flore des diatomées et les paramètres mesurés. Cette fonction est appliquée à la flore de diatomées fossiles observées dans les sédiments. C'est ce qu'on appelle la méthode de la fonction de transfert, couramment utilisée pour les diatomées. Cette approche associée à la compréhension du fonctionnement hydrologique du milieu étudié (C. Vallet-Coulob) permet de reconstituer les paramètres paléoclimatiques et de mieux contraindre la connaissance des climats passés.

II. METHODOLOGIE

II. METHODOLOGIE

2.1. Matériels

Lors des travaux de recherches scientifiques, beaucoup de matériels sont nécessaires pour l'échantillonnage sur terrain et aussi pour le traitement au laboratoire. Il y a les appareils de mesures et les différents outils.

2.1.1. Matériels utilisés sur terrains

Il s'agit des matériels et outils ordinaires de travaux sur terrain. C'est le minimum indispensable, à savoir :

- Marteau de géologue pour casser les roches,
- GPS pour avoir les coordonnées géographiques,
- Sacs à échantillons avec étiquette libellée, pour contenir et protéger les échantillons,
- Carnet de note et crayon pour enregistrer les observations référencées identiquement au sac ou à l'échantillon,
- Marqueur pour noter l'identité de chaque échantillon,
- Brosses pour nettoyer les échantillons,
- Instrument de mensuration du type rouleau de mètre gradué,
- Colle pour renforcer certaine partie des échantillons jugée fragile,
- Bêche, pelle, pique ou piolet, truelle, pour creuser ou gratter les sédiments,
- Tape (plastique adhésif pour sceller et étiquetter éventuellement les emballages),
- Appareil photo pour prendre les formes observées sur place et immortaliser les données sur place,
- Seaux et pompe à eau pour évacuer l'eau du trou d'excavation,
- Tamis à maille de 1cm pour tamiser les boues et repérer les petits échantillons.

2.1.2. Matériels de laboratoire

Il s'agit surtout des divers matériels pour les traitements au laboratoire. A cela s'ajoute les matériels de conservation entre les diverses étapes de manipulation et des matériels de mesure :

- Echantillons d'étude (sédiments et ossements),
- Accessoires corporels d'habillement (Blouse, gants, lunette pour la protection, ...),
- Verreries (tube à essai, bêchers, boites de pétri, entonnoir) pour la préparation au traitement chimique,
- Récipients plastiques,
- « Munsell soil color chart » pour déterminer la couleur des échantillons,

- Produits chimiques (acide chlorhydrique, acide fluorhydrique, perchlorate de potassium, eau de javel, potasse, phénol, acétone, glycérine, vernis) pour l'extraction chimique,
- Eau de robinet et eau distillée pour les lavages,
- Perfuseur pour siphonner la préparation,
- Lame et lamelle,
- Loupe et microscope pour l'observation,
- Essuie-tout,
- Appareil photo,
- VINAC (mélange d'Acryloid B6 et d'acétone) afin de raffermir les fossiles et les rendre brillants,
- Sac de sable,
- Marqueur à encre indélébile pour écrire les numéros de catalogages sur les lames,
- Ordinateur et logiciels (arc GIS pour faire la carte et STRATER pour réaliser la coupe lithologique et stratigraphique).

2.1.3. Matériels d'étude

Il s'agit des échantillons collectés et ramenés au laboratoire après les travaux de terrain. Ils sont de trois sortes : les sédiments de chaque niveau ayant contenus les spécimens d'étude aussi bien les formes microscopiques que quelques ossements de vertébrés.

2.1.3.1. *Les spores et pollens*

Les grains de pollens sont des organes reproducteurs des plantes à fleurs et les spores sont des organes de dissémination et de reproduction des autres groupes de plantes telles que les algues, les fougères, les mousses et les «champignons». Ils sont dispersés en grand nombre. Un pollen est constitué de plusieurs cellules. Ces cellules sont enfermées dans une enveloppe complexe constituée (figure 2) schématiquement de 2 parties :

- l'intine constituée de polysaccharides est peu résistante et donc non fossilisable,
- l'exine est formée de **sporopollénine** (matière organique terpéniique polymérisée) qui n'est détruite que par oxydation. Elle est très résistante (imputrescible) et donc fossilisable.

Sur un pollen fossilisé, l'intine disparaît complètement ; seule l'exine est conservée. Elle présente la structure schématique (figure 3) suivante.

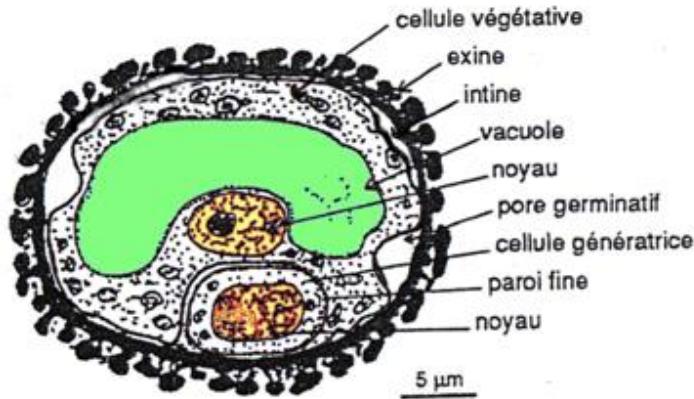


Figure 2 : Coupe de grain de pollen d'angiosperme observée au microscope électronique – Source : reproduction et développement des végétaux (I. Genèves) Ed. Dunod

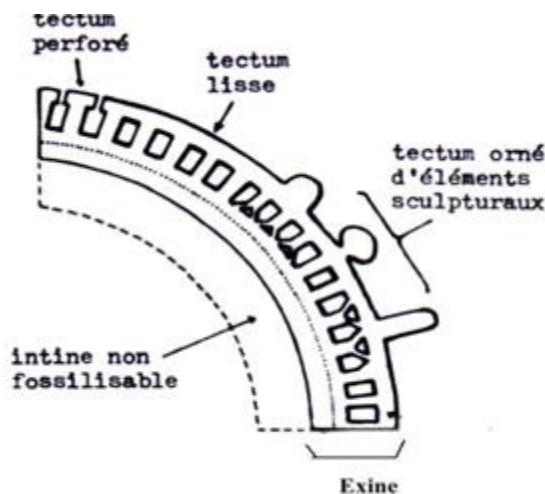


Figure 3 : Structure et sculpture de la paroi des pollens – Source : BIGNOT G., Micropaléontologie

La classification repose donc sur l'aspect de l'enveloppe (exine) :

- présence ou absence de pores ou (et) de sillons :
 - ❖ Sans ouverture (ni sillon, ni pore) : Pollen inaperturé
 - ❖ Pores seuls (petites ouvertures circulaires) : Pollen poré
 - ❖ Sillons seuls (ouvertures très allongées) : Pollen colpé
 - ❖ Sillons et pores peuvent coexister : Pollen colporé
- aspect de la surface (ornementation et structure de l'exine).
- taille et allongement peuvent aussi être pris en compte.

2.1.3.2. Les diatomées

Les Diatomées ou Diatomophycées (ou Bacillariophycées) sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelquefois filamentueuses, à plastides bruns ou jaunes contenant de la

chlorophylle a et c, du β – carotène et plusieurs xanthophylles. Elles sont caractérisées par leurs parois cellulaires imprégnées de silice formant une logette bivalve appelée frustule. Celui – ci a l’aspect d’une boîte surmontée d’un couvercle, ce sont les deux valves. Ce frustule (figure 4), la partie fossilisable a l’aspect d’une boîte hypo valve (hypothèque) surmontée d’un couvercle épivalve (épithèque).

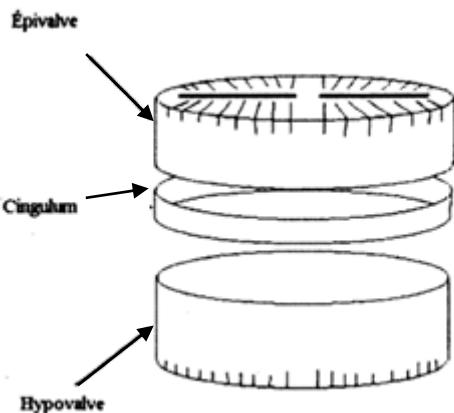


Figure 4 : Schéma du frustule d'une diatomée centrale en vue connective

La cohésion entre la boîte et le couvercle est assurée par des bandes connectives (cingulum). Le frustule est orné de très fines sculptures, pores, aiguillons, épines, cette ornementation (figure 5) étant à la base de la reconnaissance et de la classification des diatomées.



Figure 5 : Vue valvaire d'une diatomée pennale

Les Centrales ont une symétrie radiaire alors que les deux valves ont une symétrie bilatérale par rapport à l’axe formée par les deux nœuds périphériques pour les Pennales.

D’autres microalgues ont été également observées comme les Dinophycées, ou Péridiniens à fouets dirigés perpendiculairement l’un par rapport à l’autre, l’un longitudinal, l’autre transversal. Elles ont un très gros noyau à structure filamentueuse.

2.1.3.3. Restes de vertébrés

Les vertébrés diffèrent des autres groupes d'animaux par l'armature d'un squelette interne, y compris les différents os constituant les ossements des membres. La méthode de détermination se réfère à l'anatomie comparée.

2.2. Méthodes

2.2.1. Méthodes sur terrain

Les microfossiles sont invisibles à l'œil nu sur terrain mais ils peuvent exister dans le sédiment. Pendant le travail sur terrain, les techniques d'échantillonnage sont différentes selon la nature du sédiment. Dans notre cas, le sédiment est du type meuble. D'abord, il faut faire une excavation sur le site d'étude ; après, rafraîchir la surface d'affleurement pour décontaminer la surface. Cette décontamination se fait de haut en bas. Ensuite, le prélèvement s'effectue dans la partie nettoyée qui se fait de bas en haut. Ces sédiments sont emballés dans des sacs à échantillon à étiquette avec codage qui comprend le nom du site, la date de prélèvement et le numéro de chaque niveau des couches.

Pour les macrofossiles, les échantillons obtenus sont nettoyés et asséchés au soleil avant de les emballer dans les sacs à échantillon. Si les échantillons sont fragiles, il est important de les raffermir à l'aide des colles spéciales (paleobond), des fois le recours au platrage est obligatoire, sinon les boîtes plastiques sont d'inestimable secours pour les minuscules échantillons.

Les échantillons collectés (sédiments et fossiles) sont ramenés au laboratoire.

2.2.2. Méthodes au laboratoire

2.2.2.1. Préparation

Les traitements au laboratoire sont précédés du test de présence de carbonate à l'aide de l'acide chlorhydrique attesté par une effervescence positive. Ensuite la détermination de la présence de la matière organique est évaluée à partir de la couleur et de la teinte de l'échantillon en utilisant l'échelle préétablie du «Munsell soil color chart».

Au laboratoire, les échantillons sont rangés selon leur code. Avant toutes les opérations, tous les matériels de traitement sont bien nettoyés car les contaminations de tout genre peuvent survenir à tout moment (des tubes à essai, des boîtes de pétri, des bêchers, des récipients plastiques). Ces matériels sont également codifiés pour éviter les confusions. Le tamis inox de 200 µm, coûteux, peut être remplacé par de la toile à bluter (avec le même maillage). Cette toile à bluter, synthétique, se vend au mètre chez les fournisseurs d'articles de

séigraphie (publicité peinte), et est disponible avec des mailles de tailles variées... Il est alors facile de réaliser des tamis pour chaque groupe d'étudiants (collage – sertissage au bout d'un tube PVC de 80 mm de diamètre et 60 à 100 mm de long).

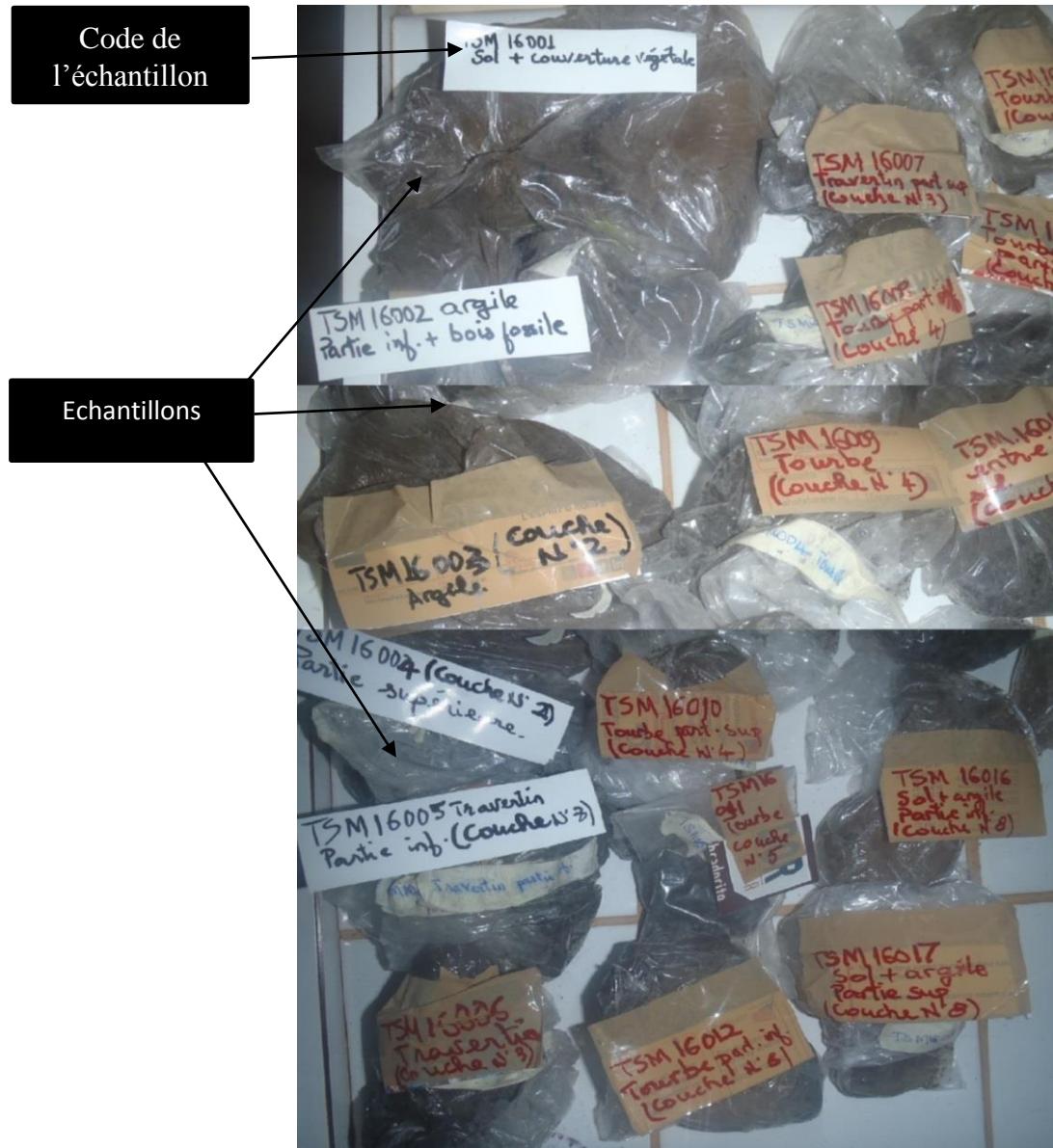


Figure 6 : Les échantillons (ANDRIAMBELOMANANA, 2016)

2.2.2.2. Mode opératoire pour obtention des Spores et Pollens

L'extraction doit se faire suivant des règles strictes et rigoureuses, technique développée par FAEGRI K. et IVERSEN J., 1989 (24) évitant la pollution des échantillons entre eux ou par l'introduction de matériel sporo – pollinique venu des grains de pollen et des spores contenus dans l'air par exemple. Le tableau n°1 suivant résume les traitements nécessaires.

Tableau n° 1 : Extraction standard de pollens Holocène à partir de tourbe de marécage

	Echantillon brut	Indiquer le poids ou le volume, l'aspect (ex : tourbe brune ou noire), et si possible le type de tourbe (ex : à <i>Sphagnum</i> ; ou à <i>Cyperus</i> ,...).
1	Hexamétaphosphate à 10% + H ₂ O distillée	Les tourbes hachées finement sont placées dans un bécher 15 minutes environ en remuant de temps en temps. L'hexamétaphosphate (+ eau distillée) est un défloculant => libération des pollens.
2	Tamis 200 µm	- laver correctement la tourbe à H ₂ O distillée au dessus d'un bécher. - le refus du tamis sera jeté ou mis de côté (les pollens sont compris entre 5 µm et 200 µm). - le liquide récupéré (avec les pollens) dans le bécher sera centrifugé jusqu'à totale élimination de l'eau.
(3)	HCL quelques gouttes (acide chlorydrique)	Vérifier la présence de calcaire (effervescence ou pas) jusqu'à cessation de l'effervescence.
(4)	Echantillon brut HF à 40% (acide fluorhydrique) destruction de la silice	Remplir le tube (en téflon ou plastique assez épaisse) environ à moitié, le laisser toute une nuit puis centrifuger. les gants sont obligatoires, travailler sous la hotte.
(5)	HCl (à 37%) (destruction des fluosilicates)	Bain – marie à 100° trois fois 10 mn environ. Cette opération élimine les fluosilicates formés pendant l'attaque à HF. Centrifuger après chaque bain – marie puis laver à H ₂ O distillée et centrifuger jusqu'à neutralité.
6	KOH à 10% (100g / l) (potassium hydroxyde) destruction de la matière organique	Bain – marie 15 mn : possibilité de constater une coloration du surnageant en brun, après centrifugation bien sûr. Amener de nouveau à neutralité par lavages et centrifugations.
7	Coloration par la fuchsine	Après tous ces traitements les pollens sont toujours là.

	ou la safranine	
8	Montage dans la gélatine glycérinée	Les lames doivent se trouver sur une plaque chauffante (40°) pour faire fondre la gélatine glycérinée. Prendre une partie du culot avec une pipette Pasteur, le mettre sur une lame préalablement nettoyée, avec un peu de gélatine glycérinée, homogénéiser avec une petite spatule et poser votre lamelle dessus avec délicatesse.
	Reste	Conserver le reste du culot pour, éventuellement d'autres montages. Préciser sa quantité.
9	Test au microscope	Lecture d'une ligne pour évaluer le taux d'abondance.

Remarque :

- Si, sur terrain, les échantillons ont été prélevés avec précaution, sans terre ni sable, les traitements chimiques 3, 4 & 5 sont inutiles,
- L'hexamétaphosphate peut être remplacé par un détergent pour vaisselle,
- A défaut de centrifugeuse, il est possible de laisser déposer dans une boîte de Pétri la préparation traitée et le surnageant est voué à être éliminé soigneusement,
- Le montage entre lame et lamelle (8) peut se faire simplement dans de l'eau si les lames minces observées ne sont pas destinées à être conservées.

2.2.2.3. Traitements chimiques des sédiments

Plusieurs produits et matériels de laboratoire ne sont pas trouvables, le protocole standard a été légèrement modifié et adapté à la réalité du laboratoire. Le protocole du mode opératoire comprend quatre principales étapes. Cela commence par la déminéralisation des échantillons c'est-à-dire décarbonatation suivie de désilicification. Ensuite, l'oxydation avec perchlorate de potassium et d'anhydride carbonique. La troisième étape c'est l'alcalinisation avec la potasse ou la soude. Enfin la fossilisation artificielle additionnée de l'aséptie de la préparation. Tout devrait être séparé par la neutralisation du pH sauf qu'au niveau de désilicification après laquelle l'excès d'acide fluorhydrique ou de fluosilicate nécessite une attaque chlorhydrique avant le lavage de neutralisation.

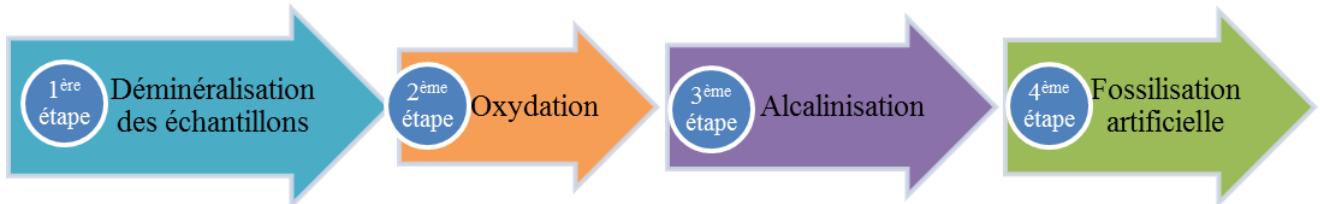


Figure 7 : Processus de traitement chimique des sédiments

2.2.2.3.1. Pour les matériaux sporopolliniques

- Enlèvement des gros composants dans le sédiment,
- Quantité de sédiment à traiter : 1cm^3 par tube,
- Décarbonatation avec l'HCl (50%) : 5cm^3 par tube pendant 30mn,
- Lavages par décantation pour ramener en pH neutre,
- Désilicification avec l'HF (50%) à froid pendant 48 heures, qui est une phase d'attaque pour les échantillons non carbonatés,
- Défluoruration avec l'HCl (50%) à chaud (bain – marie) durant 8 heures,
- Lavages,
- Oxydation avec le KClO (3cm^3 par tube) puis agitation ; avec l'HNO₃ (1cm^3 par tube) pendant 30mn et après au bain – marie pour éliminer les matières organiques fines et pour éclaircir le matériel sporopollinique,
- Lavages,
- Ajout de solution de KOH (1cm^3 par tube),
- Lavages,
- Ajout de 3 gouttes de phénol dans chaque récipient.

2.2.2.3.2. Pour les Diatomées

- Enlèvements des gros composants dans les sédiments,
- Trempage des sédiments dans la solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) suivi d'une agitation,
- Ajout d'eau froid dans la préparation,
- Décantation,
- Siphonage et ajout d'acide chlorhydrique (HCl),
- Lavages avec l'eau vive pour neutraliser la préparation,
- Transfert de préparation dans la petite bouteille.

2.2.2.3.3. Montage de lames minces

- Nettoyage des matériaux (microscopes, lames et lamelles),
- Mise en place des échantillons sur la lame,

- Lutage au vernis,
- Ajout d'une goutte de glycérine sur la lamelle,
- Montage des lames et lamelles,
- Codification des lames suivant le code : initiale du site (TSM pour Tsaramody) – année de fouille – N° de l'échantillon – ST (Standard) – MCA (Miora Christelle ANDRIAMBELOMANANA).

Exemple : TSM – 16 – 001 – ST – MCA

2.2.3. Observation et détermination

L'observation effectuée au microscope est obligatoire pour voir et apprécier les formes sporopolliniques et diatoméennes présentes sur la préparation. Une vue générale au faible grossissement est nécessaire pour localiser ces matériaux microscopiques. Une observation au fort grossissement doit ensuite préciser les paramètres nécessaires pour la détermination des taxons sur le champ de vision.

L'identification se fait, compte tenu de la diagnose, par comparaison avec les formes-types dites holotypes établies par différents auteurs, surtout :

- a) APLF, 1974 ; tous les travaux de D. A. BURNEY ; H. STRAKA, 1964, 1967, 1970, 1971, 1996 et FAEGRI and IVERSEN, 1989 pour les formes de bases des spores et pollens.
- b) E. MANGUIN, 1949, P. BOURRELLY, 1968, N. REYES & T. RAKOTONDRAZAFY, 1992 pour les Diatomées.

2.2.4. Classification

Alors que la détermination se réfère aux quatre paramètres (CHATEUNEUF J. J. et REYRE Y., 1974) (18), à savoir la taille avec la forme, l'ouverture, l'ornementation et la structure de l'écine, la classification ; elle se rapporte à l'appartenance botanique des formes observées. Donc la classification naturelle est utilisée pour les spores et pollens, elle est basée sur les travaux de LOWRY et al., 1995 & 1997 (38) (39). Le niveau hiérarchique est souvent facilement reconnaissable, surtout au niveau de la famille. En gros, il y a le règne qui est Végétal ou règne Plantae (Viridis Plantae) – Embranchement – Classe – Ordre – Famille – Genre – Espèce.

Exemple : pollen

Règne : Plantae (Haeckel, 1866)

Embranchement : Spermaphytes (Cronquist, 1981)

Classe : Magnoliopsida (Cronquist, 1981)

Ordre : Ericales (Cronquist, 1981)

Famille : Ericaceae (Juss, 1789)

Genre : *Philippia*

Espèce : *floribunda*

Exemple : diatomées

Règne : Plantae (Haeckel, 1866)

Embranchement : Chromophytes (Cavalier-Smith, 1995)

Classe : Bacillariophyceae (Haeckel, 1878)

Ordre : Biraphideae (Bessey, 1907)

Famille : Naviculaceae

Genre : *Pinnularia* (Ehrenberg, 1843)

Espèce : *sp*

III. RESULTATS

III. RESULTATS

3.1. Lithologie

3.1.1. Coupe lithologique du site

Les échantillons provenant de Tsaramody sont formées par dix niveaux collectés et montrés sur la figure 8 et la figure 9.

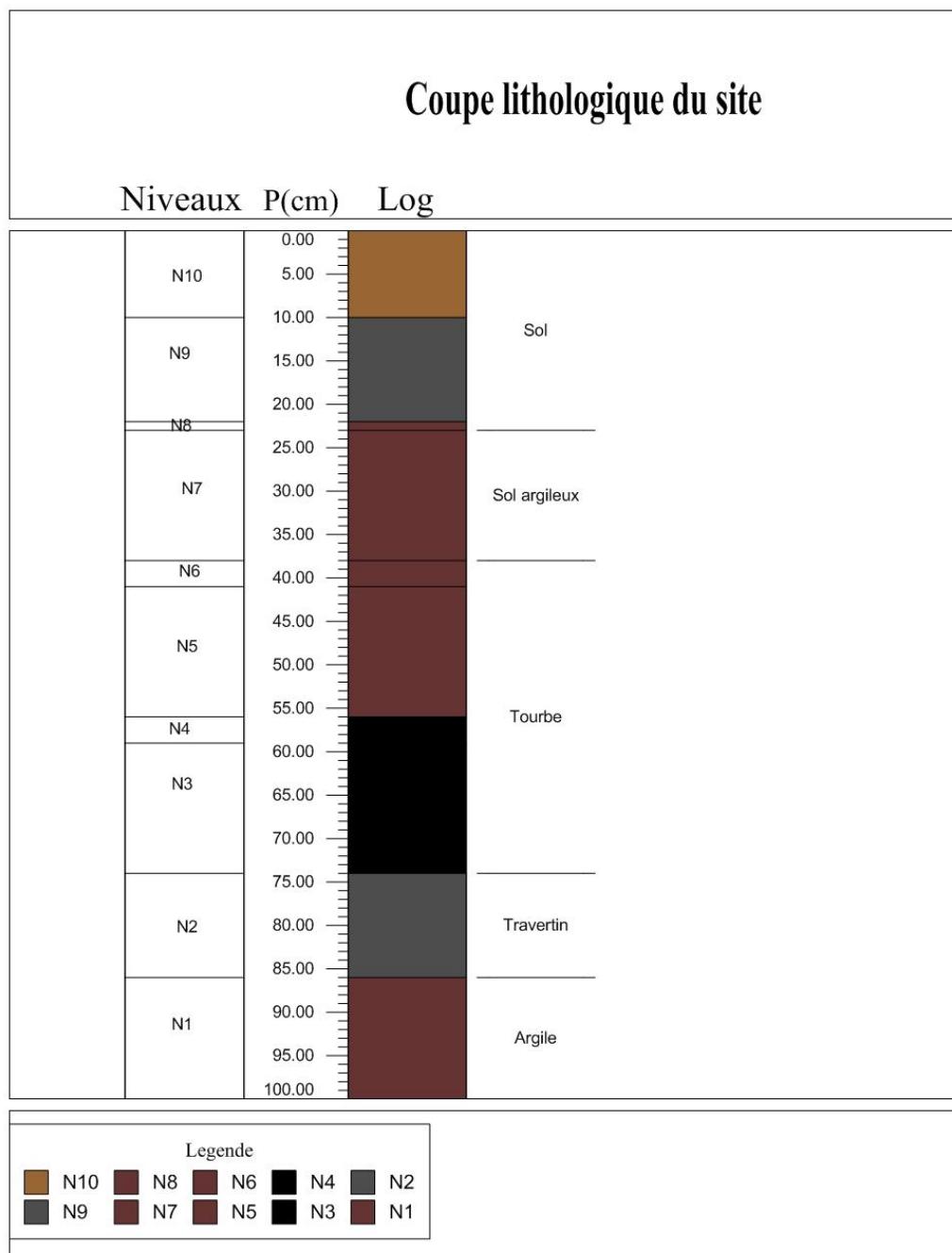


Figure 8 : Coupe lithologique du site

3.1.2. Coupe stratigraphique du site

Le niveau 2, formé par la partie calcaire, est du travertin, issu de l'activité volcanique.

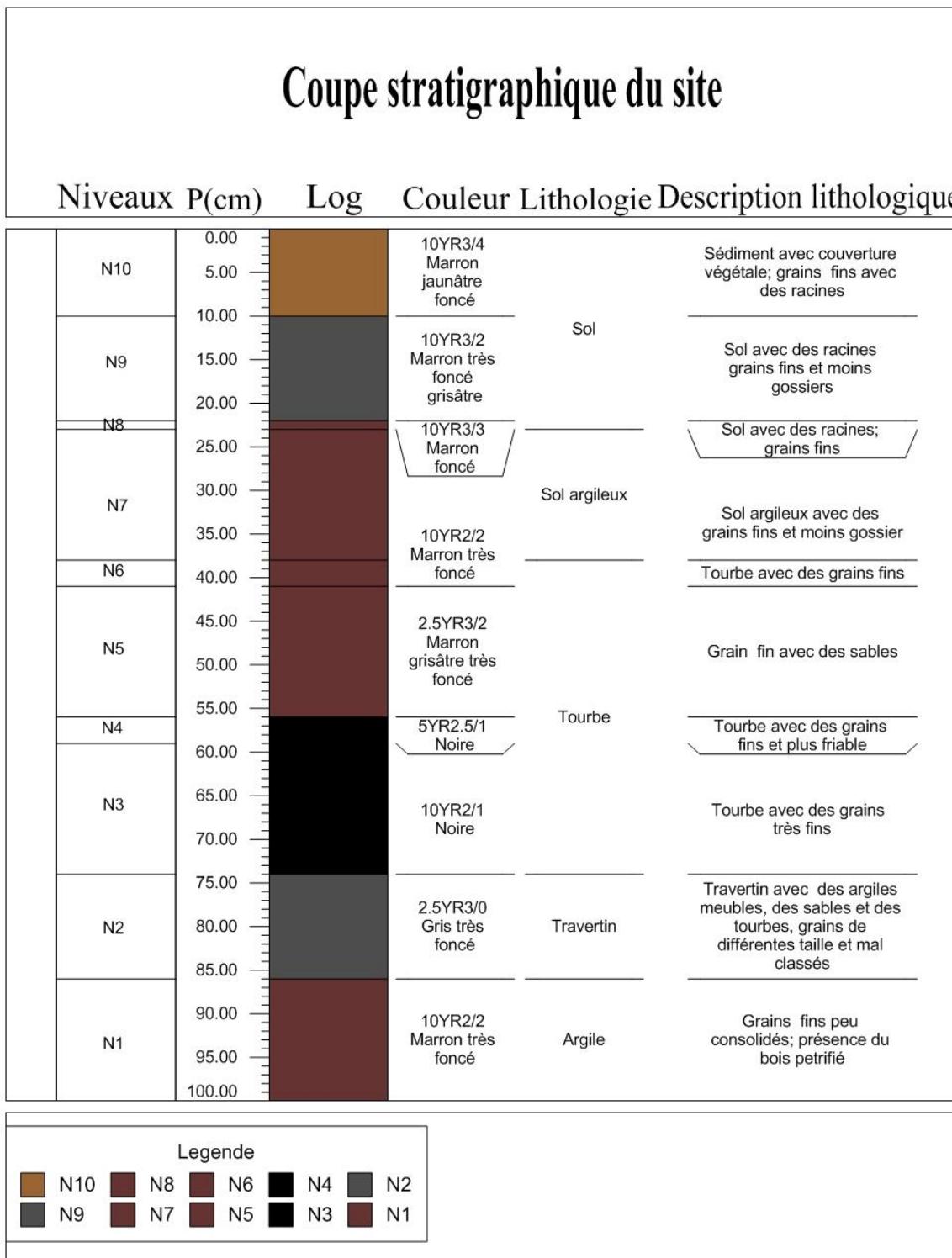


Figure 9 : Coupe stratigraphique du site

3.2. Spores et Pollens

3.2.1. Pourcentages des éléments sporopolliniques par niveau dans le site

62 taxons terrestres ont été observés (Tableau n° 2) et la plupart des taxons existant ont des pourcentages caractéristiques. Parmi eux 38 représentent des arbres ou arbustes et 24 des formes herbeuses. Les cinq restants sont des champignons ou des spores à port inconnu. Les taxons aquatiques (Tableau n° 3) qui sont au nombre de douze, sont caractérisés par les Cyperaceae et les Podostemonaceae.

Tableau n° 2 : Pourcentage des taxons terrestres dans le site

TAXONS/NIVEAUX cm	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10
<i>Arecaceae</i>	0,00	0,24	0,00	0,00	0,24	9,09	0,96	0,38	0,00	1,31
<i>Amaryllidaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Apocynaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00
<i>Araceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Burseraceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Buxaceae</i>	0,00	0,56	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Caesalpinioidae</i>	0,00	2,44	0,00	0,09	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Conifères</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cycadaceae</i>	0,25	0,64	0,00	0,00	0,04	0,00	0,40	0,14	0,35	0,19
<i>Dioscoreaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Elaeocarpaceae</i>	0,00	0,08	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,75
<i>Juniperus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ericaceae</i>	72,30	6,83	0,26	0,19	0,06	0,00	0,00	0,35	0,12	0,00
<i>Hamamelidaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Icacinaceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Liliaceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Loranthaceae</i>	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mimosoïdeae</i>	0,00	0,00	0,16	0,19	0,84	0,00	0,10	0,00	0,00	0,19
<i>Moraceae</i>	0,00	1,27	24,98	11,83	2,80	0,00	28,18	12,61	17,97	7,46
<i>Myrtaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
<i>Pittosporaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Podocarpaceae</i>	0,70	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,20	0,24	0,19
<i>Ranunculaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
<i>Rhizophoraceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
<i>Rosaceae</i>	0,05	0,00	0,00	0,24	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
<i>Rutaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Passifloraceae</i>	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pandanaceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pinaceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sapindaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Solanaceae</i>	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sterculiaceae</i>	0,20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,00	0,19
<i>Rafflesiaceae</i>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trigoniaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Thymelaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
<i>Ulmaceae</i>	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<i>Verbenaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Vitaceae</i>	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Acanthaceae</i>	0,00	0,08	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
<i>Asclepiadaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,00	0,05	0,10	0,12	0,00	0,00
<i>Asteraceae</i>	1,51	4,85	1,57	0,24	0,24	0,00	0,00	0,41	0,24	0,37	
<i>Balsaminaceae</i>	0,15	0,16	0,03	0,00	0,03	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Campanulaceae</i>	0,05	0,95	0,00	0,00	0,87	0,00	2,08	0,00	0,00	0,00	1,31
<i>Caryophyllaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Dennstaedtiaceae</i>	0,20	0,00	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Dyade</i>	0,24	0,15	0,13	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
<i>Fougeres</i>	0,80	0,87	3,44	0,49	0,17	0,00	0,91	1,80	0,47	5,22	
<i>Lindsayceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,12	0,00	
<i>Gramineae</i>	7,93	30,34	21,60	33,61	22,94	0,00	26,16	45,04	34,16	13,62	
<i>Iridaceae</i>	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,12	0,19	
<i>Lycopodium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	
<i>Lentibulariaceae</i>	0,00	1,75	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Malvaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,34	0,07	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	
<i>Papilioideae</i>	0,00	0,16	0,03	0,14	0,27	0,00	0,50	0,20	0,24	0,37	
<i>Myrothamnaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	
<i>Scrophulariaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Restionaceae</i>	0,00	0,56	0,00	0,00	3,75	0,00	0,45	0,10	0,00	0,37	
<i>Scheuchzeriaceae</i>	0,00	0,00	0,43	0,00	1,69	0,00	2,84	0,00	0,00	0,00	
<i>Saxifragaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Xyridaceae</i>	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Zygophyllaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	0,24	2,05	
<i>Umbelliferae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	
NON AQUATIQUE	96,28	94,31	97,95	96,29	84,96	45,83	94,25	93,56	96,80	92,41	
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

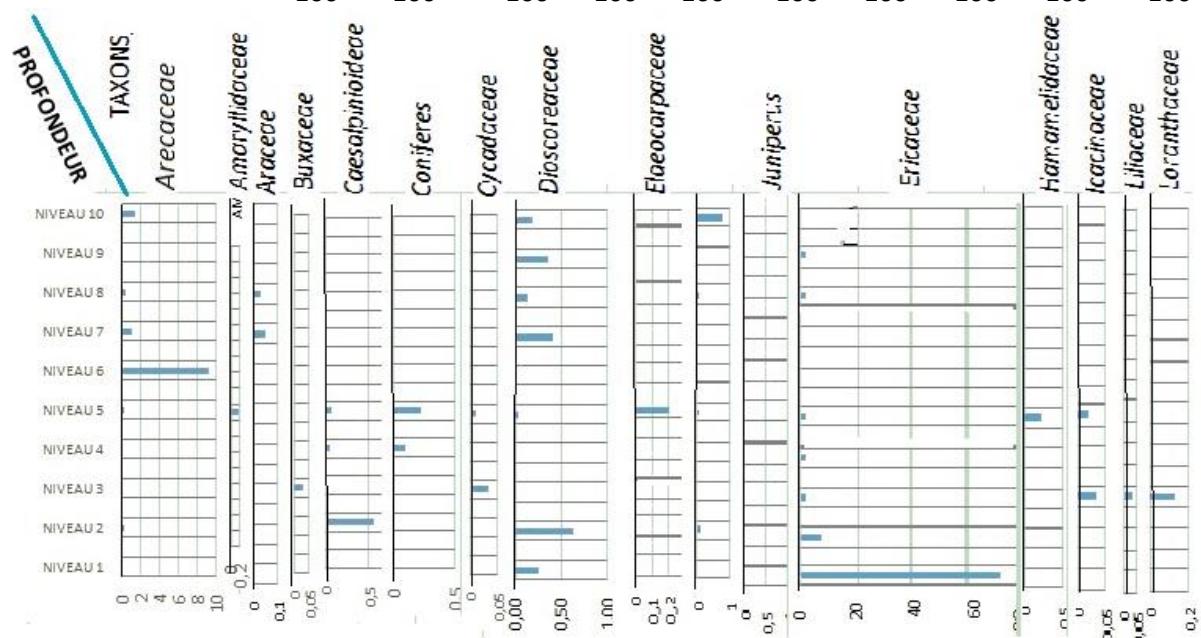


Figure 10 : Diagramme pollinique des Arbres et Arbustes essentiels

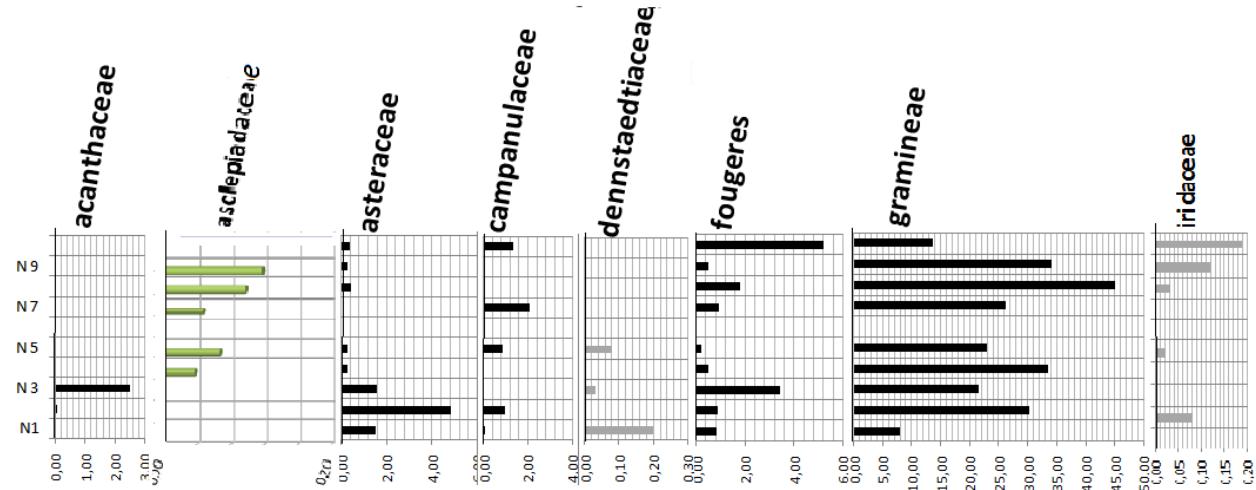


Figure 11 : Diagramme pollinique des Herbaceae essentielles

Tableau n° 3 : Pourcentage des taxons aquatiques dans le site

TAXONS/NIVEAUX cm	N1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10
<i>Champignon</i>	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cicatricosisporites</i>	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Crassulaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cyperaceae</i>	0,19	5,47	0,51	0,19	2,69	0,00	4,59	5,98	2,29	7,07
<i>Menyanthaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nymphaeaceae</i>	0,00	0,00	0,58	0,00	0,19	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
<i>Podostemonaceae</i>	0,00	0,00	0,67	3,08	12,01	54,17	0,81	0,32	0,92	0,00
<i>Pontederiaceae</i>	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
<i>Rafflesiaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sporormiella</i>	0,10	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Typhaceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
<i>Hydnoraceae</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

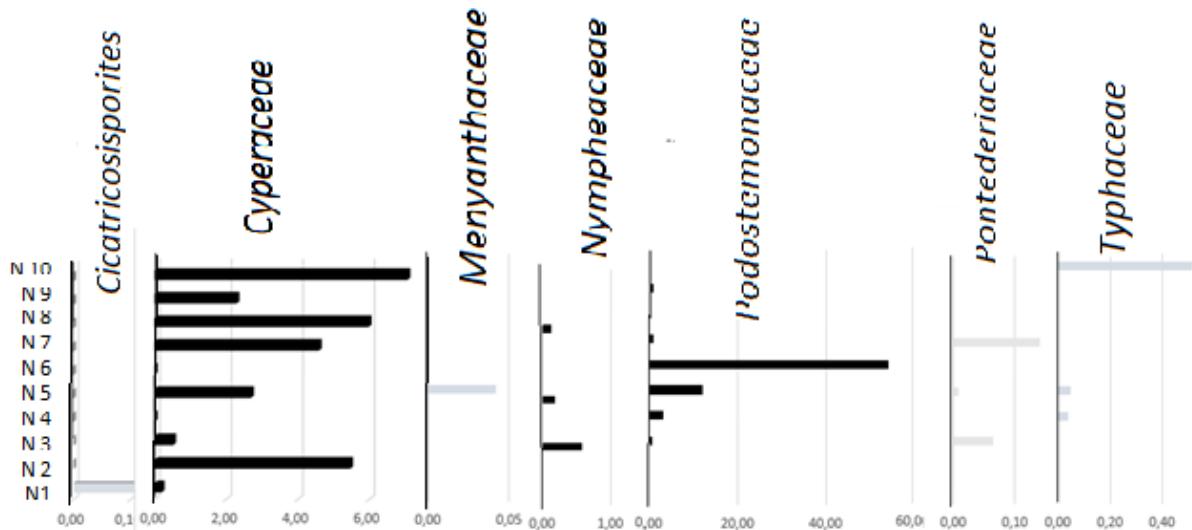


Figure 12 : Diagramme pollinique des taxons aquatiques

3.2.2. Les rapports AP/NAP*100 (arboreal pollen/ non arboreal pollen)

Les résultats des calculs des AP/NAP sont présentés dans ce tableau.

Tableau n° 4 : Valeurs des AP/NAP du site

TAXONS/NIVEAUX	N1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10
ARBRE&ARBUSTE	73,71	10,01	25,96	12,73	5,27	18,18	23,96	14,00	18,68	10,45
HERBACEAE	10,64	47,34	29,99	34,81	0,01	0,00	31,43	49,49	35,58	23,88
AP/NAP	692,92	21,14	86,56	36,58	16,94	0,00	95,31	28,30	52,49	43,75

Sur le tableau 4, le niveau 1 représente une valeur très remarquable de AP/NAP*100 (692,92). Les niveaux 3 et 7 ont des valeurs supérieures à 80. Le niveau 6 a de valeur nulle et tous les autres niveaux sont d'une valeur inférieure à 80.

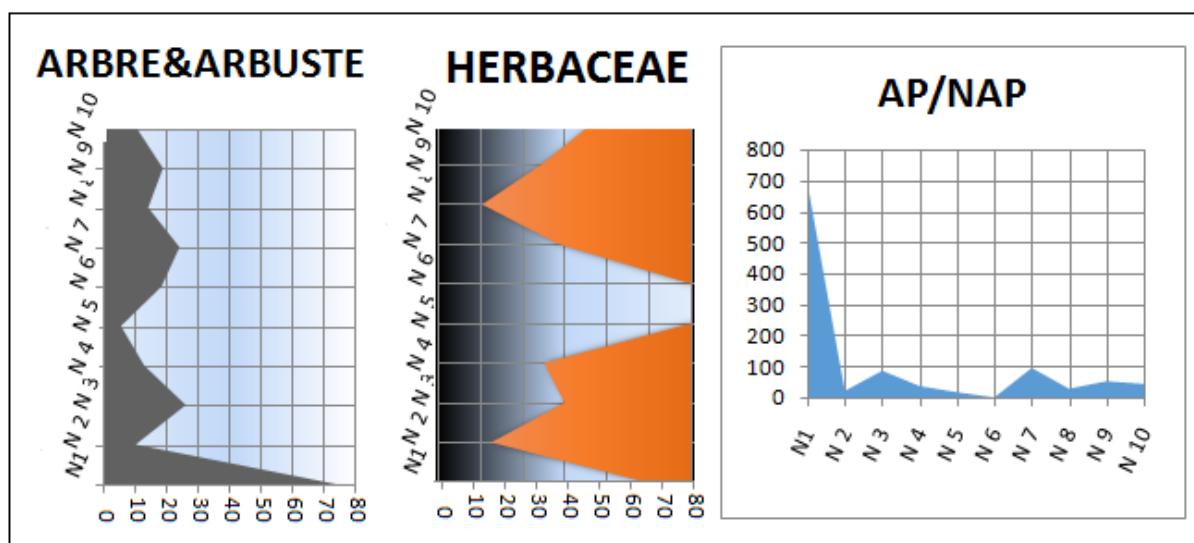


Figure 13 : Courbe des AP, NAP et AP/NAP*100 du site

Les courbes de la figure 13 présentent des pics bien différents dont le niveau 1 indique la zone des AP/NAP*100 supérieure à 120%. Les niveaux 5 et 6 ont une valeur presque nulle des NAP. Les niveaux 3 et 7 ont des pourcentages des AP/NAP*100 de 80 % à 120 % et les autres symbolisent la zone des AP/NAP*100 inférieure à 80 %.

3.3. Vertébrés

Concernant les Vertébrés, quelques ossements ont été trouvés dans le site.

Un ossement lisse, de couleur marron, a été trouvé au niveau 2 (couche de travertin). L'échantillon est pourvu d'un bec d'olécrâne dans la partie proximale et se termine par des condyles séparés par la trochilée. Il est formé par deux os soudés.

Dans le lavaka, il y a un os ayant une forme plus ou moins carrée, petite et massive ; la face ventrale est faiblement bombée que la face dorsale. L'extrémité inférieure de l'os est un

plateau d'articulation. En plus de ces ossements, il y a aussi quelques fragments d'os et des vertèbres.

3.4. Diatomées

Deux grandes catégories de Diatomées sont rencontrées selon la géométrie de leur frustule :

- la sous – classe des Centrophycidées ou Centrales, à symétrie radiale au frustule circulaire portant des stries, rayonnant depuis un point, ordre des Coscinodiscales, composé de genres *Melosira* et *Cyclotella*.
- la sous – classe des Pennatophycidées ou Pennales, avec plusieurs genres notamment *Navicula*, *Pinnularia*, *Surirella*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Synedra*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Achnanthes* (Planche 11, ANNEXE 4) : le frustule allongé présente des stries disposées autour d'un plan de symétrie bilatérale. De nombreuses Diatomées Pennales montrent sur ce plan de symétrie une fente, le raphé, interrompu par un nodule de silice central. Cette association microalgale correspond au groupe III C (GASSE et al., 1983 (27)).

3.4.1. Sous classe des Centrophycidées

Une valve montrant une symétrie radiale ou concentrique, sans raphé ni pseudoraphé. Une Vue valvaire circulaire et une vue connective en forme de plaque de petri ou tambour, en cylindre - Ornancement du marteau très faible. g. *Melosira*

Ornementation de la face valvaire dans l'aire centrale différente de celle de la périphérie ; ouverture externe des fultoportules marginales généralement non prolongées en tube ouvert. g. *Cyclotella*

Diamètres : 13,5 - 14,5 µm. - Écologie : espèce commune, rarement planctonique ; étangs, tourbières.

3.4.2. Sous classe des Pennatophycées (Planche 11, ANNEXE 4)

Une frustule pourvue d'un raphé au moins sur une valve, le raphé parfois court et limité aux pôles. - Une vue montrant une symétrie bilatérale, structure pennée avec raphé ou pseudoraphé au moins sur une valve. - Vue valvaire très rarement circulaire, forme allongée plus ou moins elliptique.

3.4.2.1. Ordre des Araphidés (ou Fragilariales, D.G. Mann 2011)

Sans vrai raphé mais pseudoraphé. - Ornamentation interrompue le long de l'axe longitudinal médian par une aire hyaline, cellules très allongées. g. *Synedra*

3.4.2.2. Ordre des Brachyraphidés (ou Eunotiales, D.G. Mann 2011)

Avec raphé, courts ou limités aux pôles pour les deux valves. - Cellules isopolaires, raphé disjoint et très réduit. - Raccourci et parallèle aux deux pôles éloignés. - Pore plus ou moins perpendiculaire aux deux pôles. g. *Eunotia*

Longueur : 32 µm. - Largeur : 8,5 µm. - 15 à 16 stries / 10 µm. - Présence d'un raphé très court à chaque extrémité de la valve. - Écologie : étangs tourbeux, tourbières. - Espèce légèrement acidophile.

3.4.2.3. Ordre des Biraphidés (ou Naviculales, Bessey 1990)

Deux valves à vrai raphé, équivalves à axe méridien. - Raphé en fente longitudinale dans la partie médiane de la valve, formé de deux branches s'étendent chacune d'un pôle au nodule central ; nodules terminaux non enveloppés transversalement. - Valves asymétriques par rapport à l'axe longitudinal. g. *Navicula*

Valves linéaires, lanceolées, oblongues, jamais typiquement elliptique. - Longueur : 99 µm.

Largeur : 14 µm. - 9 stries / 10 µm. - Écologie : espèce euryhaline, acidophile ; eaux stagnantes : étangs. g. *Pinnularia*

Nodule central formé d'une côté siliceuse épaisse, lus ou moins large, perpendiculaire à l'axe longitudinal. - Longueurs des valves : 224 et 188 µm. - Largeurs des valves : 35 et 32 µm. 5 stries / 10 µm. - Écologie : espèce acidophile, présente dans tourbières, étangs, fossés; peut être planctonique. g. *Stauroneis*

Le plus souvent elliptique ou ovoïdes, les cellules comportent un canal raphéen qui fait quasiment le tour de la face valvaire. Présence de fibules. g. *Surirella*

Cellules solitaires, naviculoides ou à peine dorsiventrales; pas de stigma. g. *Cymbella*

IV. DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1. Les coupes géologiques

Dans le site, le log a montré la présence des sols de 0 à 23cm de couleur marron où les sédiments sont généralement combinés avec des racines. De 23 à 38 cm, une couche de sol argileux a de couleur marron très foncée. Les sédiments dans ce niveau sont à grains fins à moins grossiers.

Dans les niveaux 6 à 3, de 38 à 74 cm, les tourbes de couleur sombre peut passer de marron foncé à la noire. De 74 à 86 cm, c'est la couche de Travertin de couleur gris très foncée avec des argiles meubles, des sables et des tourbes. Les grains sont de différentes tailles et mal classé. Le niveau 1, de 86 à 101 cm, est l'argile de couleur marron très foncée avec des grains fins peu consolidés.

Cette coupe géologique est environ de 1m de profondeur. Des formes macros ont été trouvées dans la couche de travertin et de bois pétrifié dans la couche d'argile en dessous de travertin.

Les couches supérieures sont plus claires par rapport à celles inférieures. La couleur des sédiments varie en fonction de la profondeur. Les sédiments de couleur gris à noir sont fossilifères et très riches en spores et pollens.

Les échantillons (4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 20) ont réagi avec l'acide chlorhydrique à froid indiquant qu'il y a effervescence (signe +). Donc, dans ce site d'étude, le carbonate de calcium est présent dans plusieurs niveaux d'échantillonnages. Celle – ci montre que le calcaire est présent.

4.2. Les témoins de la végétation

Dans le niveau 1, la majorité des taxons témoigne d'une végétation de montagne et les taxons dominants sont caractéristiques de la région des hautes montagnes du Centre. La différence de ce niveau avec les autres est la présence des Passifloraceae qui est une forme fortuite (si elle représente moins de 10% de la communauté). Les Passifloraceae sont des plantes naturalisées et rudérales.

Au niveau 2, la dominance des Gramineae (30,34 %) caractérise les savanes secondaires du Centre. Les autres sont des formes compagnes mais les Ericaceae (6,83 %) peuvent être rencontrées dans les endroits secs et bien éclairés, les sables, rochers, savokas de la région du Centre de Madagascar surtout dans les montagnes. Les Acanthaceae sont caractéristiques des

zones humides à sèches comme les bords des étangs, des lacs, des ruisseaux, des coteaux calcaires, des sables littoraux, des forêts basses xérophiles, des bushs xérophiles. Les Lentibulariaceae témoignent du milieu marécageux.

Au niveau 3, les Moraceae sont des plantes introduites et cultivées, et qui se rencontrent partout à Madagascar. La plupart des taxons dans ce niveau témoigne d'une végétation montagnarde et caractéristique de la région des hautes montagnes du Centre. Les Ulmaceae peuvent se retrouver aux bords des eaux, dans les alluvions, les forêts, jusqu'à des altitudes de 300m. La présence des Asteraceae (1,57%) montre qu'ils sont des plantes de port très varié et colonisent les lieux humides, à découverts, les rocallles sèches ou humides, des sols sablonneux, des bushs xérophiles, des berges des ruisseaux, des lisières des forêts, des forêts tropophiles, ombrophiles, des silves à lichens, du savoka, des végétations éricoïdes, des dunes, des marais salants, des plantes rudérales ou messicoles donc dans la végétation secondaire.

Au niveau 4, les Gramineae (33,61 %) sont plus dominants et accompagnés par les Moraceae (11,83%) qui sont des plantes introduites et cultivées. Les Malvaceae sont aussi des formes compagnes et caractéristiques des endroits plus ou moins secs. Dans ce niveau, le site était asséché et que des espèces aient été cultivées par les habitants.

Au niveau 5, les *Sporormiella* sont des spores indiquant la présence des grands mammifères comme les équidés et les bovidés.

Au niveau 6, les taxons terrestres sont rares. Les Podostemonaceae sont la seule forme aquatique à ce niveau avec un pourcentage remarquable de 54, 17%, ils sont caractéristiques de la région centrale de Madagascar. Donc à cette période, ce site était humide.

Au niveau 7, en plus des Moraceae et des Gramineae, l'existence des Campanulaceae caractérise une prairie altimontagne des Hautes plateaux de Madagascar. La présence des Rhizophoraceae témoigne de la végétation montagnarde. Les Caryophyllaceae sont caractéristiques des zones marécageuses et les Fougères indiquent la présence de l'humidité. Ces taxons peuvent se rencontrer dans la région du Centre.

Le niveau 8 est caractérisé par un tapis graminéen à cause de pourcentage remarquable.

Au niveau 9, comme le niveau précédent, il possède des Gramineae et des Moraceae en pourcentage caractéristique 34,16% et 17,97%. Les autres sont tous des formes compagnes (0,12% à 0,47%).

Au niveau 10, de 0 à 10 cm, à part les Moraceae et les Gramineae, les Campanulaceae et les Iridaceae sont caractéristiques des Hauts plateaux de Madagascar. Les Umbelliferae sont des plantes herbacées du Centre de Madagascar. Les Cyperaceae et les Thymelaeae constituent les seuls taxons aquatiques dans ce niveau.

Dans tous les niveaux, les Gramineae dominent, ceux qui expliquent le phénomène de défrichement apporté par les activités humaines de la population riveraine pour la culture vivrière (légumes).

4.2.1. Proportion des arbres face aux herbacées

Dans notre cas, la majorité des pourcentages des AP/NAP*100 n'atteint pas les 80 %, donc il y a une dominance de la végétation herbeuse dans tous les niveaux. Les taxons arbres et arbustes sont complémentaires sauf pour le niveau 1. Ce dernier montre une valeur AP/NAP*100 supérieure à 120 % car il a un taux de Gramineae inférieur à 10 %. Ainsi aux alentours du site la végétation est de type forestier en mosaïque avec des zones éclaircies.

Les Gramineae sont caractéristiques d'une végétation montagnarde aux environs du site ; elles ont souvent de fortes pourcentages (pouvant atteindre jusqu'à 45,04% pour le niveau 9).

4.2.2. Les significations de l'existence des taxons

Familles des Acanthaceae

Distribution : tout Madagascar Station: arbustes, herbes ou lianes de stations très diverses, humides à sèches. Forêts humides et ombrophiles, à sous-bois herbacé, à lichens, tropophiles, bois sablonneux, calcaires, des villages, haies, talus, endroits humides, bords des étangs, des lacs, des ruisseaux, coteaux calcaires, sables littoraux, forêt basses xérophiles, bush xérophile. Ecologie florale : disque plus ou moins développé, corolles à couleurs vives. Zoophilie. Dissémination : capsules, autochories, épizoochorie. g. *Strobilanthes madagascariensis*

Familles des Araceae

Ce sont des arbres terrestres, parfois des arbustes grimpants ou épiphytes situées dans la région de l'Est, du Sambirano, du Centre, de l'Ouest de Madagascar. Ecologie florale : entomophilie. Dissémination : baies, endozoochorie.

Familles des Asclepiadaceae

Familles dominantes dans la région de l'Ouest et Sud – Ouest, mais aussi dans les autres régions de Madagascar. Stations: herbes, lianes, quelques arbustes (beaucoup de xérophile)

dans les forêts et bois de type divers, rocallles, dunes littorales. Ecologie florale : Entomophilie, très variée (mouches, papillons). Dissémination : graine avec touffe aigrette de poils), anémochorie.

Familles des Amaryllidaceae

Distribution : tout Madagascar avec plusieurs espèces cultivées ou naturalisées. Station : diverses, arides et humides. Ecologie florale : entomophilie, chiropterophilie et ornithophilie. Dissemination : capsules ou baies ; bulilles. Hydrochorie. g. *Agave sisalaena*

Familles des Asteraceae

Présent dans toutes les régions de Madagascar. Stations : divers et très variées. Plantes de port très varié, herbacées à arbres. Stationnées dans des lieux humides, à découvertes, des rocallles sèches ou humides, des sols sablonneux, de bush xérophile, berge des ruisseaux, lisières des forêts, des forêts tropophiles, ombrophiles, des silves à lichens, savoka, de la végétation éricoïde, des dunes, des marais salants, p.p. plantes rudérales ou messicoles donc dans la végétation secondaire. Ecologie florale : corolle à couleurs vives pour la plupart : zoophilie (entomophilie), *Ambrosia* anémophilie. Dissémination : Akènes souvent avec pappus, s'il persiste : Anémochorie ou avec glandes ou dentées ou hérissée. Epizoochorie, hydrochorie. Anthropochorie.

Familles des Apocynaceae

On peut les rencontrer partout à Madagascar. Stations : rarement herbes ou sous – arbrisseaux, plantes ligneuses, arbres, arbustes ou lianes. Stations diverses : forêts ombrophiles et tropophiles, sèches, marécageuses, costières, galerie, sylve à lichens, bords des rivières, dunes broussailleuses, buissons de montagnes, prairie et savane, aussi des ubiquistes. Ecologie florale : disque présent. Entomophilie (souvent papillons nocturnes). Dissémination : fruit très divers (baies, drupes, capsules, follicules), p.p.anémochorie (graine avec touffe de poils), p.p. zoothorie, p.p. hydrochorie.

Familles des Balsaminaceae

Elles sont représentées par un seul genre avec une centaine d'espèce dont à peu près toutes les espèces sont dans la région de l'Est, du Sambirano et du Centre de Madagascar. Ce sont des herbes et plantes sémiligneuses, en sous-bois dans les endroits frais, bords des ruisseaux, rochers suintants. Mais aussi, dans l'Ouest, épilithes sur les rochers très ensoleillés. Ecologie florale : entomophilie et ornithophilie.

Familles des Burseraceae

Distribution : Régions de l'Est. Stations : Forêts ambrophiles, tropophiles et xérophiles. Ecologie florale : Disques, zoophilie. Dissémination : Fruits drupacés, endozoochorie, dyszoochorie.

Familles des Buxaceae

Ce sont des arbres ou arbustes dans l'Est, du Centre, du Sambirano, de l'Ouest et du Sud – Ouest de Madagascar. Station : très diverses. Ecologie florale : fleurs apétales, sans disques, anémophilie, entomophilie. Dissémination : capsule coriace, explosive, graine noire, luisantes, elaiosonne, myrmécochorie.

Familles des Campanulaceae

Ce sont des plantes caractéristiques des hauts plateaux de Madagascar. Stations : Prairies altimontagnes, bords de chemins, diguettes de rizières. Ecologie florale : zoophilie. Dissémination : Anémochorie, autochorie (balistaires).

Familles des Capparidaceae

Elle se repartit dans tout Madagascar. Stations : arbustes et petites arbres ou herbes de diverses stations, surtout dans les forêts de bush xérophile, quelques-unes dans les forêts tropophiles, aussi herbes rudérales. Ecologie florale : disque, entomophilie, ornithophilie. Dissémination : capsule ou (fausse) silique, myrméchorie, hydrochorie. g. *Boscia longifolia*

Familles des Caryophyllaceae

Dans toute Madagascar. Stations : herbes, p.p introduites et rudérales et mauvaises herbes des rizières. Stations humides, rochers, forêts, marécages, rivage des eaux, mais aussi xéophytes des sables et des dunes. Ecologie florale : Anémophilie, p.p autogamie. Dissémination : capsule déhiscentes. Epizoochorie, endozoochorie. g. *Telephium Imperati*

Familles des Crassulaceae

Distribution : région du Centre et du Sud-Ouest de Madagascar. Stations : rochers, bush xérophile. Ecologie florale: zoophilie. Dissémination : follicules, graines petites. Anémochorie, ombrochorie, épiornithochorie(?)

Familles des Cyperaceae

Distribution : tout Madagascar. Stations : surtout marais, rizières, étangs, bords des eaux, pelouses humides, aussi des dunes, des sables, rarement stations sèches, des forêts, savoka, des eaux saumâtres, des mauvaises herbes. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : Akènes à péricarpe sec. Hydrochorie, parfois endo- ou épizoochorie.

Familles des Discoreaceae

Distribution : Toutes les régions de Madagascar, jusqu'à 2300m d'altitude. Stations : Géophytes pour la plupart à tige annuelle volubile. Forêts, buissons xérophiles. Ecologie florale : Anémophilie, entomophilie. Dissémination : capsule ailée ou rarement baies. Graines ailées (Anénochorie), bulbillles (hydrochorie, aussi courants marins). Seul genre à Madagascar : *Discorea fandra*.

Familles des Poaceae (ou Gramineae)

Distribution : tout Madagascar. Stations : très diverses, surtout dominant dans les savanes secondaires. Espèces cultivées. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : Hydrochorie, anénochorie, épizoochorie, endozoochorie, dyszoochorie.

Familles des Hamamelidaceae

Ce sont des arbustes de la région de l'Est et du Centre de Madagascar. Ecologie florale : entomophilie. Dissémination : capsule (?).

Familles des Hydnoraceae

Distribution : Région du Sud-Ouest de Madagascar. Station : parasite sur *Acacia*. Ecologie florale : probablement entomophilie. Dissémination : zoothorie.

Famille des Icacinaceae

Distribution : Régions de l'Est, du centre, de l'Ouest, du Sud – Ouest. Stations : Forêts ombrophiles. Ecologie florale : fleur petites, disque nul ou très petit. Autogamie, anémophilie (?). Dissémination : fruit drupacé. Zoothorie. g. *Iodes globulifera*

Familles des Iridaceae

Distribution : Régions de l'Est, du centre, de l'Ouest, du Sud – Ouest. Stations : Forêts, Savoka, près des eaux, des rocallles (jusqu'à 2500m d'altitude), des prairies, des lieux découvertes, des sables secs, p. p. installés le long des chemins. Ecologie florale : zoophilie,

entomophilie (?). Dissémination : capsule p. p. graines ailées, Anémochorie (?), ornithochorie (?)

Familles des Juncaceae

Distribution : Région de l'Est, du Centre et du Sud – Ouest de Madagascar. Stations : forêts dans la montagne, voisinage des eaux saumâtres ou du littoral, sol marécageux. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : capsule. Epizoochorie, hydrochorie. Seul genre à Madagascar : *Juncus maritimus*

Familles des Liliaceae

Distribution : Tout Madagascar. Stations : très divers. Ecologie florale : Anémophilie, zoophilie, ornithophilie. Dissémination : capsule: Anémochorie, hydrochorie, endozoochorie, myrmecochorie. g. *Caesia subulata*

Familles des Lentibulariaceae

Dans toutes les régions de Madagascar. Stations : herbes aquatiques ou des marécages, rochers suintants. Ecologie florale : zoophilie (entomophilie). Dissémination : capsules, graines nombreuses. Hydrochorie.

Familles des Loranthaceae

Sa distribution est dans toute l'île entière. Stations : parasites, forêts ombrophiles, tropophiles, sclérophiles, bois littoraux et sablonneux, forêt à mousses, silve à lichens, brousse éricoïde, mangroves, bush xérophile. Ecologie florale : mono- ou dioïque, fleurs généralement vivement colorées, disque. Donc zoophilie, ornithophilie ; aussi autofécondation. Dissémination : baies (faux fruits), activement ou passivement par des animaux (oiseaux). Zoochorie- ornithochorie. g. *Korthalsella opuntia*

Familles des Malvaceae

Dans tout Madagascar mais rares dans les Hautes Montagnes. Station : très divers, de préférence plus ou moins sèche. Arbres des forêts ou arbrisseaux, herbes, bois de broussailles, aussi bush xérophile, rocailles, aux bords des ruisseaux, marais, dunes, sables, prairies, endroits cultivés ou habités, plusieurs espèces introduites. Ecologie florale : zoophilie. Dissémination : anémochorie, hydrochorie possible, épizoochorie.

Familles des Menyanthaceae

Ce sont des plantes aquatiques avec une seule espèce à Madagascar, zoophile. Dissémination Hydrochorie, épizoochorie.

Familles des Mimosoideae

Ce sont des arbres ou arbustes de diverses stations, qui peuvent se rencontrer partout à Madagascar surtout dans les régions de l'Ouest et du Sud-ouest. Ecologie florale : zoophilie. Dissémination : autochorie ou zoochorie (épizoochorie).

Familles des Moraceae

Ce sont des plantes introduits et cultivés qui se rencontrent partout à Madagascar. Station : arbres, arbustes ou rarement herbes de diverses formations forestières, également aussi xérophyles rupicoles et du bush. Ecologie florale : anémophiles ou parfois entomophiles. Dissémination : Endozoochores ou synzoochores fréquent (*Artocarpus*, *Chlorophora* et *Ficus* : chiroptero- et ornithochores), autochores (*Dorstenia*), hydrochores (courants marins : *Artoocarpus*)

Familles des Myrothamnaceae

Rencontrées dans la partie Centrale de Madagascar et représentées par une seule espèce : *Myrothamnus moschata*. Stations: Arbuste des roches nudes. Ecologie florale : Anemophilie. Dissémination : Capsule

Familles des Myrtaceae

La famille manque seulement dans le Sud-Ouest de Madagascar. Les Eucalyptus sont très importants comme arbres forestiers introduits. Stations : surtout dans les forets. Ecologie florale : Zoophiles. Dissémination : fruits bacciformes, indéhiscents ; endozoochores ; les grains d'eucalyptus sont anémochores.

Familles des Nymphaeaceae

On peut se trouver dans toutes les régions de Madagascar. Stations : plantes aquatiques des étangs et des lacs. Ecologie florale : entomophilie, aussi autogamie. Dissémination : hydrochorie. g. *Nymphaea lotus*, *Nymphaea stellata*, *Nymphaea capensis* et *Nuphar lutea*

Familles des Pandanaceae

Distribution : région de l'Est, du Sambirano, du Centre et de l'Ouest. Stations : Forêts, marais. Ecologie florale : Anémophilie (?), entomophilie (?). Dissémination : drupes, chiropterochorie, hydrochorie (courants marins), endozoochorie ou synzoochorie. Seul genre à Madagascar : g. *Pandanus*

Familles des Fabaceae –Tribu Papilioïdæ

Elles peuvent se rencontrer dans toutes les régions de Madagascar. Stations : surtout herbes, mais aussi arbustes, lianes ou arbres. Ecologie florale : zoophilie (entomophilie, p.p. ornithophilie, p.p. chiropterophilie). Dissémination : autochorie, p.p. Zoochorie (épizoochorie), p.p.anémochorie, p.p. hydrochorie. g. *Cadia ellisiada*, *Vigna reticulata*

Familles des Passifloraceae

Ce sont des plantes qui peuvent se rencontrer partout à Madagascar. Station : arbres et arbustes, lianes, herbes grimpantes des forêts orientales, tropophiles, xérophiles et littorales, du bush xérophile, aussi naturalisés et rudérales. Ecologie florale : zoophilie (entomophilie et aussi ornithophilie). Dissémination : capsules (graines avec arilles) ou baies plus ou moins charnues. Endozoochorie.

Familles des Pittosporaceae

Dominant dans la région du Centre et dans les montagnes de Madagascar, mais aussi région de l'Est, du Sambirano et de l'Ouest. Stations : Arbuste ou arbres de la forêt à lichens, aussi forêt des autres régions : ombrophiles, littorales. Ecologie florale : fleurs blanches à vertes jaunâtres, d'odeur généralement agréable. Entomophile, ornithophile. Dissémination : fruits capsulaires, déhiscents, graines couvertes d'un suc visqueux à odeur de résine. Ornithochorie.

Familles des Plantagonaceae

Ce sont des mauvaises herbes. Ecologie florale : Anémophilie et aussi entomophilie. Dissémination : Epizoochorie, anthropochorie.

Familles des Podocarpaceae

Seul genre *Podocarpus* à Madagascar avec 4 espèces. Distribution : région de l'Est et du Centre, surtout parties montagneuses. Stations : forêts de montagne et côtières. Ecologie

florale : Anémophilie. Dissémination : enveloppe de la graine (sarcotesta) plus ou moins charnue et colorée. Zoochorie.

Familles des Podostemonaceae

Distribution : région de l'Est, du Centre, du Sambirano et l'Ouest de Madagascar. Ce sont des plantes aquatiques des eaux courantes : torrents rapides des rivières. Ecologie florale: fleurs petites ; anémophilie, entomophilie. Dissémination : capsules, hydrochorie, épizoochorie.

Familles des Pontederiaceae

Distribution : g. *Eichornia crassipes* introduit à Madagascar. Station : plantes aquatiques, étang, mares, ruisseaux. Ecologie florale : entomophilie. Dissemination : capsules. Hydrochorie.

Familles des Rafflesiaceae

Ce sont des plantes parasites de la forêt ombrophile, rencontrées dans la région du Sambirano et de l'Est. Ecologie florale : entomophilie (?). Dissémination : graines très petites, anénochorie.

Familles des Restionaceae

Distribution : Région du Centre de Madagascar. Stations : tourbières et rocallles humides des montagnes, entre 1800 et 2600m d'altitude. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : capsule, parfois tardivement déhiscente, graines disséminée par l'eau (hydrochorie). Seule espèce à Madagascar : g. *Restio madagascariensis*.

Familles des Rhizophoraceae

Présent dans la région de l'Est, du Sambirano, du Centre et de l'Ouest de Madagascar. Stations Arbres, arbustes ou arbrisseaux des mangroves, forêt de Palétuviers, forêts littorales et montagnardes. Ecologie florale : fleurs petites, pétales parfois colores, parfois caduque. *Rhizophora* et *Bruguiera* zoophiles. Dissémination : Fruit charnu (baie) ou sec et coriace, indéhiscent ou plus rarement septicide ; graine souvent arillée ou ailée, chez *Rhizophora*, *Bruguiera* et *Ceriops* ‘vivipare’ et barochore, dissémination par des courants marins.

Familles des Rosaceae

Distribution : Madagascar ? Stations: p.p. introduites. Ecologie florale : Entomophilie. Dissémination : zoochorie, hydrochorie possible.

Familles des Rutaceae

Ce sont des plantes rencontrées dans la région de l'Est et du Centre de Madagascar. Station : dans toutes les formations mais surtout dans les forets. Ecologie florale : anémophiles ou parfois entomophiles. Dissémination : Endozoochorie, autochorie. Fruits : capsules (*Evodia*, *Zanthoxylum*), hespéridées avec endocarpe charnu (*Zanthoxylum*, *Clausena*, *Citrus*), drupacé (*Verpis*, *Todalia*, *Teclea*).

Familles des Sapindaceae

Sa distribution est partout à Madagascar, mais plus répandu sur le versant oriental. Elles sont très diverses, surtout des arbres ainsi que des arbustes et des lianes herbes. Ecologie florale : fleurs petites à assez grandes, monoecie, droecie, disque presque toujours présent, pétales parfois nulles. Zoophilie. Dissémination : drupes, akènes, capsules ; graines pour la plus grande partie arillées. Zoochorie, anémochorie, hydrochorie. Dissémination : autochorie.

Familles des Scheuzcheriaceae

Distribution : Région du Sud – Ouest de Madagascar. Stations : herbes palustres, des eaux salées ou saumâtres. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : Fruit à 3-6 carpelles libres, monospermes, carpelles stériles réduits en une lame membraneuse adhérente à l'axe central.

Familles des Solanaceae

Distribution : Madagascar?, p.p. introduits. Ecologie florale : disque fréquent. Zoophilie (Entomophilie, ornithophilie). Dissémination : baies ou capsules. Zoochorie, anémochorie (?)

Famille des Trigoniaceae

Une seule espèce connue à Madagascar, ce sont des plantes ligneuses grimpantes dans la forêt littorale de l'Est. Ecologie florale : fleurs hermaphrodites, zygomorphes, pétales rougeâtres, disque, probablement zoophilie. Dissémination : samares à trois ailes, probablement anémochorie.

Familles des Typhaceae

Distribution : Toutes les régions de Madagascar. Stations : Marais jusqu'à 1500m, surtout dans la partie littorale. Ecologie florale : Anémophilie. Dissémination : Anémochorie.

Familles des Ulmaceae

Ce sont des arbres et arbustes situées dans la partie Ouest, Sud – Ouest, Est, Centre et du Sambirano. Aux bords des eaux, alluvions, forêts, jusqu'à des altitudes de 300m. Ecologie florale : fleurs apétales, anémophiles. Dissémination : fruit samaroïdes ou drupacé.

Familles des Umbelliferae

Distribution : plantes herbacées du Centre de Madagascar. Stations : diverses. Ecologie florale : entomophilie, autogamie. Dissémination : schizocarpe, mode divers de dissemination : hydrochorie, épizoochorie, anémochorie.

Familles des Vacciniaceae et Familles Ericaceae

Rencontrées dans la région du Centre et de l'Est de Madagascar et représenté par un seul genre *Vaccinium secundiflorum*. Stations: surtout stations sèches et bien éclairées, sables, rochers, savokas ; caractéristique de la région des Hautes Montagnes. Ecologie florale : entomophilie (?), ornithophilie (?), autogamie (?). Dissémination : fruits bacciformes, comestibles ; endozoochorie.

Ericaceae : *Agauria* et *Philippia*. Rencontrée dans la région du Centre et de l'Est de Madagascar surtout dans les montagnes. Stations : *Philippia*, arbustes à petits arbres depuis le bord de la mer jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, surtout endroit ensoleillés. *Agauria* : arbre, même répartition. Ecologie florale : disque présent ou rudimentaire. Entomophilie (?). Dissémination : fruits capsulaires, graines petites, anémochorie (?).

Familles des Verbenaceae

Ce sont des plantes rencontrées partout à Madagascar. Station : plusieurs espèces cultivées ou introduites et ruderales. Herbes, arbustes, lianes ou arbres de diverses forêts, du bush xérophile de la brousse éricoïde, des bords des marais, des rochers, du sable, du littoral. Ecologie florale : corolle ou calice à couleurs vives, disque peu développé. Entomophilie Dissémination : fruits schizocarpes secs ou drupes. Zoochorie.

Familles des Vitaceae

Ce sont des plantes rencontrées partout à Madagascar. Station : lianes grimpantes, grêles, herbacées ou fortes et ligneuses, parfois munies d'un tronc épais à la base surtout rocailes, lieux découverts, arbustes ou rarement herbes de diverses formations forestières, également

aussi xéophytes rupicoles et du bush. Ecologie florale : entomophilie. Dissémination : zoothorie.

Familles des Xyridaceae

Ce sont des plantes dans la région de l'Est, de l'Ouest et du Centre de Madagascar. Station : tourbières, marais, rizières, jusqu'à 2000m d'altitude. Ecologie florale : fleurs jaunes, entomophilie (?). Dissémination : capsules, parfois indéhiscentes, hydrochorie.

Familles des Zygophyllaceae

Ce sont des arbustes de la région du Sud – Ouest de Madagascar. Station : rocallles et sables au bord de la mer. Ecologie florale : zoophilie. Dissémination : capsules, hygrochastiques, ombrohydrochorie.

4.3. Les espèces animales

Les groupes les plus représentés dans ce site sont le genre *Hippopotamus* et *Aepyornis*. viennent ensuite les Crocodilidae.

Il s'agit d'un radius cubitus et de phalange. Son aspect massif ainsi que sa structure permet de l'attribuer au genre *Hippopotamus*. Les hippopotames consomment principalement des Cyperacées, des Graminées, ou des fougères, des racines tendres, de l'herbe, des tiges et des feuilles de jeunes arbres. Ils habitent principalement dans la forêt primaire près des rivières, ruisseaux et aussi des marécages de palmiers de *Raphia*. Avec une profondeur optimale légèrement supérieure à 1,5 mètre, dépassant ainsi quelque peu la hauteur à l'épaule de l'animal (RASOLOFOMANANA, 2016) (57).

4.4. Les microalgues

Les Diatomées fossiles permettent de reconstituer les variations paléohydrologiques des milieux aquatiques, notamment des lacs. Elles sont couramment étudiées dans les sédiments couvrant les derniers millions voire les dernières milliers d'années. Les Diatomées sont des algues unicellulaires à plastides jaunes ou bruns, la taille varie entre 2 à 500µm. g. *Stauroneis anceps* : espèce benthique non fixée qui se rencontre dans les étangs, rivières, ruisseaux.

La présence des *Melosira* indique que ce site était une vaste étendue d'eau avec une profondeur de 1m environ.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les résultats de l'étude sédimentologique et de celle de la description stratigraphique témoignent du rôle de l'érosion et du transport des charges charriées qui provenaient des bassins versants entourant la tourbière de Tsaramody. Les sédiments témoignent un dépôt lacustre notamment par des argiles à granulation très fine et qui en outre marque l'influence volcanique ou du moins de la source thermale. C'est donc une formation lacustre. Cette marécage aurait été une zone remplie d'eau en permanence, ou même un lac peu profond, indiquée par la présence des diatomées planctoniques. Cela est également confirmé par les végétaux franchement aquatiques tels que les Nymphéacées et les Pontédériacées.

Quant aux formations végétales qui occupaient les environnements avoisinants, cela aurait été une formation savanicole boisée avec des arbres tels que les Moraceae, Passifloraceae, Myrtaceae,... Sauf au niveau 1, juste en dessous du travertin qui était tout au moins une mosaïque de forêt de montagne.

Selon un modèle de reconstitution traditionnelle, mais jusqu'ici non testée, de l'environnement Holocène de Madagascar, une forêt continue a précédé les formations monotones de prairies qui couvrent maintenant la plupart de l'intérieur de l'île. Les analyses préliminaires des échantillons de pollen recueillies à l'horizon 14C à Ampasambazimba (Madagascar central) indiquent qu'une mosaïque de forêts, de prairies et de savanes existaient à proximité de cet important site de vertébrés subfossiles autour de 7 000 à 8 000 BP.

PERSPECTIVES

Plusieurs questions restent encore non élucidées d'autant plus que l'investigation paléoécologique requiert d'autres datations précises. Il est donc nécessaire d'approfondir la variation du paysage environnemental. Il en est de même pour le changement climatique qui, en plus de la quantification des paramètres, devrait se rajouter d'autres données de compilation pour étoffer les recherches actuelles. Les résultats obtenus incitent à approfondir les acquis les études effectuées. Ainsi, il faut :

-  Chercher une explication sur la situation au niveau 6,
-  Continuer les études vers les niveaux plus bas (pour les 4 phases du volcanisme de Vakinankaratra si c'est possible),
-  Etoffer les acquis sur les bases de données et les reconstitutions environnementales,
-  Obtenir des datations radiocarbonées pour les repères et l'histoire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 AYMONIN, M., STRAKA, H. et FRIEDERICH, B., *Palynologia madagassica et mascarenica* Ed. Herbert STRAKA. FAM, 184 – 188.
- 2 ASSOCIATION DES PALYNOLOGUES DE LANGUE FRANÇAISE, 1974.- *Pollens et Spores d'Afrique Tropicale* (Travaux et documents de Géographie Tropicale. n°16).- CNRS, Univ. Bordeaux, Talence, France.- 283 p., 98 pl.
- 3 BESAIRIE, H., COLLIGNON, M., 1972.- Géologie de Madagascar. Les terrains sédimentaires.- *Ann. Géol. de Madagascar* (xxv), Tananarive, 463 p., 89 pl.
- 4 BONNEFILLE, R. & RIOLLET, G., 1980.- *Pollen des Savanes d'Afrique Orientale*. Editions du CNRS.- Paris : 140p., 113pl.
- 5 BURNEY, D.A., 1987 a.- Late Holocene vegetational change in central Madagascar.- in *Quaternary research* 28 : 130-143.
- 6 BURNEY, D.A., 1987 b.- Late Quaternary stratigraphic charcoal records from Madagascar.- in *Quaternary research* 28 : 274- 280, fig., bibl.
- 7 BURNEY, D.A., 1987 c.- Pre-settlement vegetation changes at lake Tritrivakely, Madagascar.- in *Palaeoecology of Africa and the surrounding Islands* 18.- J.A.
- 8 BURNEY, D.A., 1988.- Modern pollen spectra from Madagascar.- in *Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66 : 63- 75.
- 9 BURNEY, D.A., 1996.- Climate and fire ecology as factors in the quaternary biogeography of Madagascar.- in *Biogéographie de Madagascar*, ORSTOM Paris, W.R. Lourenço (éd.), pp. 49- 58.
- 10 BURNEY, D.A., 1997.- Theories and facts regarding Holocene Environmental Change before and after Human Colonization, in *Natural Change and human impact in Madagascar*.- Washington 1997, pp. 75-92.
- 11 BURNEY, D. A., 1999.- Rates, patterns, and processes of Landscapes Transformation and extinction in Madagascar.- in *Extinction in Near Time*, MacPhee, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, pp.145-164, réf., fig.
- 12 BURNEY, D. A., 2003.- Madagascar's Prehistoric Ecosystems.- in *The Natural History of Madagascar*.- Ed. Steven Goodman and Jonathan P. Benstead.- Univ. of Chicago Press.- pp. 47- 51, 1 fig., 1tabl.
- 13 BURNEY, D. A., STEADMAN, D. A., MARTIN, P. S., 2002.- Evolution's second chance : Forward- thinking paleoecologists advocate "jump- starting" diminishing biodiversity.- in *Wild Earth, the Journal of Wildlands Project*, pp. 12- 15, 2 photos, 1fig.

- 14 BURNEY, D. A., ROBINSON, G. S., BURNEY, L. P., 2003.- Sporormiella and the late Holocene extinctions in Madagascar.- in *PNAS* vol. 100, n° 19, pp. 10800-10805, figs., tabl., bibl.
- 15 BURNEY, D. A., BURNEY, L. P., GODFREY, L. R., JUNGERS, W. L., GOODMAN, S. M., WRIGHT, H. T., JULL, A.J., 2004.- A chronology for late prehistoric Madagascar.- in *Journal of Human Evolution*, Elsevier Ltd. n°47 (2004), pp.25-63, 2 figs., 3 tabl., bibl.
- 16 CAILLEUX, A., TRICART, J., 1959.- Initiation à l'étude des sables et des galets.- C. D. U. edit., Paris.- t. 1, 376 p.
- 17 CARATINI, C., GUINET, P., 1974.- Pollens et spores d'Afrique tropicale.- Centre National de Recherches Scientifiques et Centre d'Etudes de Géographie Tropicale, Domaine Universitaire de Bordeaux, Talence.- 282p. 131
- 18 CHATEAUNEUF J. -J. et Y. REYERE, 1974._Elements de palynologie applications géologiques
- 19 CORREIA, M., 1967.- Caractéristiques des différents états de conservation par groupes de microfossiles.- in *Revue de l'Institut Français de pétrole*, 22, n°9, pp.1296-1304.
- 20 DOUBINGER, J., 1984.- Les techniques d'études des microfossiles organiques.- Université de Strasbourg; France.- pp. 13-19, fig. , tabl.
- 21 DUFILS, J-M., 2003.- Remaining Forest Cover.- in *The Natural History of Madagascar*.- Ed. Steven Goodman and Jonathan P. Benstead.- Univ. of Chicago Press.- pp. 88-111.
- 22 DU PUY, D. J., MOAT, J., 2003.- Using Geological Substrate to Identify and Map Primary Vegetation in *Madagascar and the Implication for Planning Biodiversity Conservation*.- in *The Natural History of Madagascar*.- Ed. Steven Goodman and Jonathan P. Benstead.- Univ. of Chicago Press.- pp. 51-67.
- 23 DUSSARAT, B., FERRY, L., 1995.- Bilan des eaux, typologie des bas - fonds, érosion et modélisation sur des bassins emboîtés des Hautes Terres de Madagascar.- *Bulletin de l'Académie Malgache*, Antananarivo, Numéro spécial du 50ème anniversaire de l'ORSTOM : pp. 47- 60.
- 24 FAEGRI, K. & IVERSEN, J., 1989.- Textbook of pollen analysis (4th edition).- John Wiley & Sons, Chichester, New York.- 328 p.

- 25 FERRY, L., DEPRAETERE, C., GASSE, F., ROBINSON, L., 1995.- Lacs et Paléoclimats à Madagascar.- ORSTOM Actualités: num. 46, 1995, pp. 2-8, photogr., cartes.
- 26 GALL, J. C., 1998. – Paléoécologie, Paysages et environnements disparus (2 ème édition). – Masson S. A., 120, Bvd. Saint Germain Paris.- 239p. 132
- 27 GASSE, F., TALLING, J.F., KILHAM, P., 1983.- Diatom assemblages in East Africa: classification, distribution and ecology.– in Rev. Hydrobiology Trop., 16/1 , U. S. A, pp. 1-34, fig., bibl.
- 28 GUYOT, G., 1999. – Climatologie de l'environnement. – Dunod, Paris.- 525p.- 7 chap., annexes.
- 29 HUARD J., *Palynologia madagassica et mascarenica*. Ed. Hebert STRAKA. FAM, 129: *Icacinaceae*.
- 30 HUMBERT, H., 1981.- La destruction d'une flore insulaire par le feu.- in *Renaud PAULIAN : Madagascar, un sanctuaire de la nature*.-Philipe Oberlé (Editor).- Paris, 116p.
- 31 KAPP, O. R., DAVIS, O. K., KING, J. E., 2000.- Pollen and Spores.- *The American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, Library of Congress Catalog.- 279p., gloss., index, systematic, bibl.
- 32 KILHAM, S. S., and KILHAM, P., 1975. - Melosira granulata (Ehrenberg) RALFS: morphology and ecology of a cosmopolitan freshwater diatom. - *Verh.Internat. Verein. Limnol.* n° 19. Stuttgart, pp. 2716-2721., 2 fig., 1 tabl.
- 33 KOECHLIN, J., GUILLAUMET, J. L., MORAT, P., 1974.- Flore et végétation de Madagascar.- Série Flore et Végétation Mundi Band V.- J. CRAMER In der A. R.Gantner Verlag Kommandigesellschaft F. L., 9490 Vaduz.- 687 p. : 16 chap., index, 39 fig., 23 cartes, bibl.
- 34 KULL, C. A., 2003.- Fire and the Management of Highland vegetation.- in *The Natural History of Madagascar*.- Ed. Steven Goodman and Jonathan P. Benstead.- Univ. of Chicago Press.- pp. 153-157.
- 35 JANSONUS J., D.C. MACGREGOR.- *Palynology : principles and applications.*, volume 1 American Association of Stratigraphic Palynologists, 457 p.
- 36 LAGEAT Y. et B. PEYROT, *Contribution à l'étude de la tectonique plioquaternaire des Hautes Terres centrales de Madagascar : la plaine de Sambaina- Ambohibary et ses bordures*

- 37 LIENAU Klaus, STRAKA H. et FRIEDERICH Brigitte. *Palynologia madagassica et mascarenica* Ed. Hebert STRAKA. FAM, 167 – 181.
- 38 LOWRY II, P. P., SCHATZ, G. E., PHILIPSON, P. B., 1995.- Classification de la végétation naturelle et anthropique de Madagascar.- in *Bull. Acad. Malg.*, n. s. t.73/1-2, pp. 219-233.
- 39 LOWRY II, P. P., SCHATZ, G. E., PHILIPSON, P. B., 1997.- The classification of natural and anthropogenic Vegetation in Madagascar.- in *Natural Change and Human impact in Madagascar*.- Steven Goodman and Bruce D. Patterson (Editors), Washington.- pp. 93-123.
- 40 MacPHEE, R. D. E., BURNEY, D. A. & WELLS, N. A., 1985.- Early Holocene Chronology and Environment of Ampasambazimba, a Malagasy subfossil Lemur site.- in International Journal of Primatology, vol. 6, n° 5, pp. 463- 489.
- 41 MOLLER J., M. SCHULER, H. STRAKA et B. FRIEDRICH, *Palynologia Madagassica et Mascarenica*
- 42 POMEROL, C., 1973.- Stratigraphie et paléogéographie : ERE CENOZOIQUE (tertiaire et quaternaire).- DOIN, éditeurs, 8 place de l'Odéon 75006 Paris VIè, France.- pp.
- 43 PRINN, R.G., 1998.- Changement climatique, état présent et politique future.- in «Energies », n°35, printemps 1998, Nanterre, Hauts- de Seine, France.- pp.7-11.
- 44 PUNT W., S. BLACKMORE, S. NILSSON, and A. LE THOMAS, *Glossary of pollen and spore terminology*
- 45 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 1987.- Contribution à l'étude micro-paléontologique (Spores pollens et diatomées) d'une tourbière de Marotampona, Betafo (Ouest Antsirabe) : Paléoécologie, valorisation.- *Mém. DEA Sci. Paléontologiques appliquées* E.E.S.S., Univ. Madagascar, Antananarivo, 68 p., fig., tabl., bibl., annexe.
- 46 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 1991.- Contribution à l'étude micro-paléontologique (Spores pollens et diatomées) de quatre tourbières des Hautes Terres de Madagascar, Valorisation énergétique, paléoécologie : Dynamique des environnements.- *Thèse 3 ème cycle*, Univ. Antananarivo. Fac. Sc.- Paléontologie appliquée.- Option Micro paléontologie, 223 p., 6pl., fig.
- 47 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 1995.- Paléoécologie des Hautes Terres et du Nord – Ouest d'après les données palynologiques, spéléologiques et

- dendrochronologiques.- Essai d'ergostratigraphie et d'ichthyopalyologie.- *Thèse de Doctorat d'Etat*.- Fac. Sciences, Université d'Antananarivo, 387 p., 3 tomes.
- 48 RAFAMANTANANTSOA, J. G., RAKOTOARIVELO, H. J., 1995.- Contribution à l'étude paléoécologique des Hautes- Terres du centre de Madagascar d'après les données limnopalynologiques et géochronologiques.- *II ème Symposium de la Palynologie Africaine*, Musée Royale d'Afrique Centrale, Bruxelles, communication en séance plénière, p.27.
- 49 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 1996 (1997).- La limnologie paléoécologique, recherche pluridisciplinaire en Enérgétique et Biodiversité, in *Bull. Acad. Malg.*, n. s. t. 74 / 1-2 , pp. 105-112.
- 50 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 2003 (2004).- Tena nosy maitso tokoa ve i Madagasikara taloha ?- in *Bull. Acad. Natl. Arts Lett. Sci.*, 82 / 1-2, pp. 447- 450, bibl.
- 51 RAFAMANTANANTSOA, J. G., 2005.- La matrice des innovations : Théorie et pratique.- in *Bull. Acad. Natl. Arts Lett. Sci* (in press), 21p., 7 tabl., bibl.
- 52 RAKOTONDRAZAFY, T., 1987.- Contribution à l'étude micropaléontologique du bassin sédimentaire volcano-lacustre d'Ampasambazimba, Analavory : Essai d'interprétation des données micropaléontologiques et chimiques.- *Mém. D.E.A*, Univ. Antananarivo.- 78p., 8pl., 9 tabl., 11 fig., bibl.
- 53 RAKOTONDRAZAFY, T., 1992.- Dynamique des environnements quaternaires de Madagascar par l'étude sédimentologique, l'analyse palynologique et la diatomologie de quelques bassins lacustres.- *Thèse de Doctorat de 3ème cycle*, Univ. d'Antananarivo.- 172p., 3pl., bibl.
- 54 RAMAROLAHY F. M. F., 2007.- Paléoécologie de deux sites holocènes, d'Ambohimanala et de Dorodosy, par la Palynologie.- *Thèse de Doctorat de 3ème cycle*, Univ. d'Antananarivo.- 179p
- 55 RAMAVOVOLOLONA, 1998.- Etude palynologique et immunoallergique de 8 espèces de Graminae et d'une espèce d'Asteraceae (Compositae) communes de Madagascar.- Thèse d'Etat, Biologie et Ecologie Végétale, Université d'Antananarivo.- 142p., 2 cartes, 29 fig., 16 ph., 22 tabl., bibl.
- 56 RASOARIMALALAL., F. ALBERS et H. STRAKA, *Palynologia Madagassica et Mascarenica*
- 57 RASOLOFOMANANA R. T. N., 2016.- Essai de reconstitution de milieu du site à subfossiles de Tsaramody (Sous-bassin de Sambaina-Antsirabe) *Mém. Master*, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 69p.

- 58 RAZAFIMAHEFA RASOANIMANANA R., NICOUD Gérard, MIETTON Michel, PAILLET André, 2012. - *Réinterprétation des formations superficielles Pléistocènes du Bassin d'Antsirabe (Hautes Terres Centrales de Madagascar)*
- 59 RENAULT-MISKOVSKY, J. & PETZOLD, M., 1989.- SPORES ET POLLENS.- La Duraolie, Cabries, France : 360p. 91. SCOTT, D. F., LEESCH, W., 1997.- Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa.- J. hydrol.: vol.199 ; n°3-4, pp. 360-377; ill. ; 4 tabl.
- 60 SIWERT Nilsson, Jan Muller ,1978._*Recommended palynological terms and definitions*, Grana, 17:1, 55-58
- 61 STRAKA, H., 1989.- *Palynologia Madagassica et mascarenica: palynomorphologie*, tome I, Stuttgart : Acad. Wiss. Lit., 23cm, figs., index, 670p.
- 62 STRAKA, H., 1989.- *Palynologia Madagassica et mascarenica Palynomorphologie*, tome II, Stuttgart : Acad. Wiss. Lit., 23cm, figs., index.
- 63 STRAKA, H., MULLER, J., SCHULLER und FRIEDRICH, B., 1989.- *Palynologia Madagassica et Mascarenica*: Familien 60, 98, 98ter, 111, 120, 182 bis, 183, 189, Addenda.- Stuttgart: Acad. Wissens. Lit.- 225 p., 124 pl. 96.
- 64 STRAKA, H. et A. SIMON, *Palynologia madagassica et mascarenica* Ed. Hebert STRAKA. FAM, 122 – 125.
- 65 STRAKA, H., A. SIMON, KERANDREN – M. AYMONIN. *Palynologia madagassica et mascarenica* Ed. Hebert STRAKA. FAM, 184 – 188.
- 66 STRAKA, H., A. SIMON, Marie – Therèse, CERCEAN – LARRIVAL. *Palynologia madagassica et mascarenica* Ed. Hebert STRAKA. FAM, 155 – 166.
- 67 STRAUB, F., 1984.- On the occurrence of several species of *Cyclotella* in the Epilithon of two lakes in the Swiss Jura.- *in 8th Diatom Symposium*, pp. 409- 419, 3pl., 2fig., 1 tabl.
- 68 STRAUB, F., 1987.- A propos de *Cyclotella comensis* Grunow (Bacillariophyceae).- in *Cah. Biol. Mar.*, 28: 319- 322 Roscoff.
- 69 TRAVERSE, A., 1988.- *Paleopalynology*, Unwin Hyman, Boston- London : 600p. (Chapter on Holocene palynology: pp.349-374, pl., bibl.)
- 70 WUTHRICH, M., 1979.- Note sur une forme tripolaire de *Fragilaria leptostauron* (Ehrenberg) Hust., Extrait du *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences Naturelles*, t.102, pp. 69-71.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES TAXONS OBSERVÉS

Familles des Acanthaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 5)

Description : Type *Strobilanthes*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour subcirculaire. – Tetra à hexapentoporé. Nexine à une couche, sexine à une couche. Exine moyenne, crassisexineux. Echinulé. g. *Strobilanthes madagascariensis*

Présent dans le niveau 2 ; 3 et 8.

Familles des Amaryllidaceae

Description : Type *Hypoxis*

Eumonades hétéropolaires disymétrie, grandes, breviaxes. – Vue méridienne : contour convexo – concave. – Vue polaire : contour elliptique. – Monoanacolpé. Nexine à une couche, sexine intactée, épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Exine moyenne ou tenui – exineux, crassisexineux ou sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre. g. *Agave sisalaena*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Apocynaceae

Description : 1^{er} type *Carissa*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes à grandes, suboblates à sphéroïdales. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et périrème à plus ou moins triangulaire ou quadrangulaire et quinquangulaire et goniotrème.

Trizonocolporé pour la plupart, endotréma souvent allongé suivant l'équateur, colpus à bords rectilignes ou à bords faiblement à distinctement irréguliers, endotréma partimarginé.

Nexine à une couche, sexine crassitectée, tectum souvent perforé. – Crassiexineux à tenui – exineux, une partie avec aperture vestibulées ou une autre crassimarginées. – Crassisexineux ou sexine approximativement égale à la nexine, pour les apertures et endotréma

crassimarginés, c'est la nexine qui augmente brusquement autour d'eux. Lisse. g. *Landolphia myrtifolia*

Présent dans les niveaux 7 et 8.

Familles des Araceae

Description : 1^{er} type *Colocasia*

Eumonades hétéropolaires, disymétriques à asymétrie, petites à moyennes, bréviaxes à équiaxes. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire à irrégulier. – Vue polaire : contour subcirculaire ou elliptique. – Monoanacolpé. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée. – Exine moyenne à crassiexineux, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse ou échinulé. g. *Colocasia esculenta*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Asclepiadaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 4)

Description : 1^{er} sous – famille des Periplocoideae (Periplocaceae) : tétrades

Tétrades le plus souvent tétragonales ou rhomboïdales, grains de pollen séparé hétéropolaire trisymétrique ou dissymétrique, tétrades moyennes à grandes. – Vue méridienne : contour tétraédrique de sphère. – Vue polaire : contour subcirculaire. – Trizonocolporé, la zone souvent ne se trouvant pas dans l'équateur. – Nexine à une couche (et glabre à l'intérieur) ou à deux couches, endonexine dans ce cas avec endosculpture (scabre). – Sexine tectée, crassitectée, calymmée. Tenuiexineux, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Cryptostegia madagascariensis* et *Cryptolepis albicans*

2^{ème} sous-famille des Asclepiadaceae (= Cynanchoideae, Asclepiadaceae) pollinies

- Pollinies à forme d'haricot blanc, sexine à une couche

Pollinies géantes, calymmées, grain de pollen asymétrique, atrème. Nexine à deux couches, endonexine avec endosculptures. Sexine à une couche, tenuiexineux, crassisexineux, lisse. g.

Pycnoneurum junciforme et *Saccostelma hildebrandtii*

- Pollinies à forme de bateau tectée

Pollinies géantes, calymmées, grains de pollen asymétrique, atrèmes. Nexine à deux couches, endonexine avec endosculptures. Crassitectée, tenuiexineux, crassisexineux. Lisse. g.

Nemastelma perrieri

- Pollinies à forme de bateau, sexine à une couche

Pollinies très grandes à géantes, calymmées, grains de pollen asymétriques, atrèmes. Nexine à une couche, sexine à une couche. Tenuisexineux, crassisexineux. Lisse. g. *Cynanchum macranthum* et *Secamone deflexa*

- Pollinies à forme de massue, sexine à une couche

Pollinies géantes, calymmées. Grains de pollen asymétriques, atrème. Nexine et sexine à une couche. Tenuisexineux, crassisexineux. Lisse. g. *Gomphocarpus fructicosus*

- Pollinies à forme spéciale d'*Asclepias*

Pollinies géantes, calymmées. Grains de pollen asymétriques, atrème. Nexine et sexine à une couche. Tenuisexineux, crassisexineux. Lisse. g. *Asclepias curassavica*

- Pollinies à formes d'haricot blanc, tectées

Pollinies très grandes, calymmées, grain de pollen asymétriques, atrèmes. Nexine à deux couches avec endosculptures ; tectée, tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. Tenuisexineux, sexine approximativement égale à la nexine ou crassinexineux. Lisse. g. *Pleurostelma grevei*

Présent dans les niveaux 4 ; 5 ; 7 ; 8 et 9.

Familles des Asteraceae (ANNEXE 4, PLANCHE 4)

Description : 1^{er} type : *Vernonia*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales. – Vue méridienne : contour subcirculaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème. – Trizonocolporé ou -pororé, endotrema plus ou moins circulaire. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée, fenestrée, baculums intratégillaires. – Crassiexineux, crassisexineux. Echinulé, épines supratégillaires, peut être pris pour réticule, à mailles peu nombreuses, curvifurqué. g. *Oliganthes lecomtei*

2^{ème} type : *Aster (Aster mandrarensis)*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales à subobliées.

Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et ptychotème à subcirculaire (rare) et péritrème. – Trizonocolporé, endotrema

allongé suivant l'équateur. – Nexine à une couche, sexine à une couche (seulement le 'tectum' : ectosexine). – Absence des baculums infratégillaires et présence des baculums intratégillaires. – Crassiexineux, épaisseur de l'exine diminuant vers les apertures, crassisexineux. – Subéchinulé à échinulé (épines supratégillaires).

5^{ème} type : *Stoebe cryptophylla*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, sphéroïdales. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème à triangulaire et ptychotème. – Trizonocolporé, endotréma allongé suivant l'équateur ou plus ou moins circulaire. – Nexine à une couche, sexine à une couche. – Absence des baculums infratégillaires et des baculums intratégillaires. – Crassiexineux, crassisexineux. Scabre.

3^{ème} type : *Athanasia*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, grandes, sphéroïdales. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et ptychotème à subcirculaire. – Nexine à une couche, sexine tectée. – Epaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Baculums intratégillaires, pour une partie baculums infratégillaires remarquablement épais et ramibaculé. – Crassiexineux, épaisseur de l'exine diminuant vers l'aperture, crassisexineux. – Subechinulé à échinulé.

g. *Faujasia flexuosa*

4^{ème} type *Brachylaena ramiflora*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales à prolées.

Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et ptychotème. – Trizonocolporé, endotréma allongé suivant l'équateur ou plus ou moins circulaire. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée à épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums, tectum onduleux. – Exine moyenne, épaisseur de l'exine augmentant vers les pôles, sexine approximativement égale à la nexine. Subéchinulé. g. *Brachylaena ramiflora*

8^{ème} type: *Cichorium* (Cichorioideae)

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, équiaxes. – Vue méridienne : contour circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire à sex – à metiangulaire.

Trizonocolpoïdoré. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitinctée, lophée ; tectum semble être baculé, mais il est dans sa structure granulé. Crassiexineux, crassisexineux. – Subéchinulé à échinulé. Epines supratégillaires. g. *Launea bellidifolia* et *Lactuca indica*

Présent dans les niveaux 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Balsaminaceae

Description :

Eumonades bilatérales, moyennes, breviaxes. – Vue méridienne : contour régulière elliptique.

Vue polaire : plus ou moins quadrangulaire avec transition à elliptique. – Tetazonocolporé, brachycolpé. – Exine à deux couches, nexine à une couche, sexine intactée, crassitégillée. – Tenui – exineux ; sexine approximativement égale à la nexine, scabre, reticulée, duplibaculée.

g. *Impatiens venusta*

Présent dans la lame TSM_16_012_ST_MCA (Niveau 5).

Familles des Buxaceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, subprolées à prolées

Vue méridienne : contour elliptique. – Vue polaire : subcirculaire à plus ou moins triangulaire, goniotrème. – Trizonocolporé, endotrema plus ou moins circulaire, clausimarginé. – Nexine à une couche, sexine à deux couches, integillée. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine.

Présent dans les niveaux 2 ; 4 et 5.

Familles des Burseraceae (ANNEXE 4, PLANCHE 7)

Description : Type *Protium*

Eumonades isopolaires à un plan et un axe de symétrie, petites, sphéroïdales à parfois suboblates. – Vue méridienne : contour circulaire à elliptique. – Vue polaire : contour circulaire et péritrème à plus ou moins triangulaire et goniotrème. – Trizonocolporé, des

aspérités sur la membrane des apertures, celles – ci ayant des irréguliers, endotréma allongés suivant l'équateur. – Stratification de la nexine inconnue. – Sexine tégillée, crassitégillée, tégium perforé. – Exine moyenne, crassisexineux. – Nexine plus ou moins brusquement épaisse autour des endotremas, ceux – ci étant crassimarginés. g. *Protium madagascariensis*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Campanulaceae

Description : Type *Sphenoclea*.

Eumonades isopolaires à un axe d'un plan de symétrie, petites, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire à plus ou moins triangulaire et goniotrème. – Tri – ou très rarement aussi tétra – zonocolporoïdes, anchocolpé, aspérités sur la membrane du colpus à bords irrégulier. – Nexine à une couche, sexine téctée, crassitéctée ou épaisseurs du tectum approximativement égale à la hauteur des bacula. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Sphenoclea ceylanica*.

Présent dans les niveaux 1 ; 2 ; 5 ; 7 et 10.

Familles des Capparidaceae

Description : Type *Boscia*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique ou plus ou moins en forme de fuseau. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème à ou plus ou moins triangulaire et pleurotrème ou ptychotrème. Tritrème. – Trizonocolpé, ancholpé. – Nexine à une couche, sexine tectée, tenuitectée. Exine moyenne ou crassisexineux, épaisseur de la sexine diminuant vers les apertures. Lisse. g. *Boscia longifolia*

Familles des Caryophyllaceae

Description : Type *Polycarpon*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et ptychotrème. – Trizonocolpé, p.p ancholpé et p.p aperture à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum.- Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse.

g. *Telephium Imperati*

Présent dans le niveau 7.

Familles des Crassulaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème à ptychotème. – Trizonocolpore, colpus à bords rectilignes et aspérités sur la membrane des apertures. – Nexine à une couche, sexine tectée. – Epaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Exine moyenne, crassisexineux à sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Kalanchoe Humbertii*

Présent dans le niveau 7.

Familles des Cypéraceae (ANNEXE 4, PLANCHE 3)

Description : Type *Mapania*

Pseudomonades hétéropolaires, polysymétriques, petites ou grandes, sphéroïdales à subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire. – Mono-ana-pororé, le porus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine crassitéctée. Exine moyenne ou plus rarement crassisexineux, sexine approximativement égale à la nexine. g. *Cyperus latifolia* et *Kyllingia exigua*

Présent dans les niveaux 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Discoreaceae

Description :

Eumonades hétéropolaires, dissymétriques, petites à moyennes, breviaxes à équiaxes. – Contours elliptiques. – Diclinozonocolpé. – Nexine à une couche, sexine intectée, tenuitégillée. Exine moyenne, crassisexineux. Scabre, strié. g. *Discorea fandra*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Gramineae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades hétéropolaires, polysymétriques ou dissymétriques, moyennes, sphéroïdales à subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour

subcirculaire. – Mono-ana-pororé. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitéctée. tenuisexineux, porus crassimarginé par l'épaisseur de la nexine augmentant plus ou moins brusquement autours des apertures, crassisexineux ou sexine approximativement égale à la nexine. g. *Oryza sativa*, g. *Oryza madagascariensis* et *Saccharum officinarum*

Présent dans tous les niveaux sauf que dans le niveau 6.

Familles des Hamamelidaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, oblées à sphéroïdales. Trizonocolpé, colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine intactée, tenuitégillée. Crassiexineux, crassisexineux. Scabre, réticulé, curvimiré, mailles peu nombreuses. – Seule genre : *Dicoryphe*

Présent dans les niveaux 5 et 9.

Familles des Hydnoraceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades hétéropolaires, dissymétriques, moyennes, breviaxes. – Dicolpé, catatrème (subpolaire) à mono-zonotrème, pour une partie parasyntème, aspérités sur la membrane de l'aperture colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, tenuitégillée. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine à crassisexineux. Lisse. – Une seule espèce : *Hydnora esculenta*.

Présent dans le niveau 7.

Familles des Icacinaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 6)

Description : 2^{ème} type *Grisollea*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétriques, petites à moyennes, suboblées.

Vue méridienne : contours plus ou moins elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins circulaire à plus ou moins triangulaires et goniotrème. – Tripotoré endotréma plus ou moins circulaire, claussimarginé, pore à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine crassitectée. Exine moyenne ou crassiexineux et endotréma crassimarginé, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre ou échinulé. g. *Iodes globulifera*

Présent dans les niveaux 3 et 5.

Familles des Iridaceae

Description : 1^{er} type *Géosiris*

Eumonades hétéropolaires disymétriques, moyennes à grandes, bréviaxes. – Vue méridienne : contour plano – convexe (la partie proximale convexe). – Vue polaire : contour elliptique. Monoanacolpé. – Nexine à une couche, sexine intectée ou tectée, ou crassitégillée. – Exine moyenne et sexine approximativement égale à la nexine ou tenuisexineux et crassiexineux, lisse ou scabre.

2^{ème} type *Aristea*

Eumonades hétéropolaires disymétriques ou asymétriques, moyenne, brévi à équiaxes. Contours elliptiques ou sans indication de la forme et contours irréguliers. – Dianacata – colpé ou – lept ou atrème. – Nexine à une couche, sexine intectée ou intégrillée, épaisseurs du tégillum approximativement égale à la hauteur des bacula. – Crassiexineux ou exine moyenne, crassisexineux à rarement sexine approximativement égale à la nexine. – Scabre ou capité à gémmulé.

Présent dans les niveaux 2 ; 5 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Juncaceae

Description : Tétrades tétraédriques ou décomposées en eumonades, symétrie inconnue, grains de pollens moyens équiaxes. – Contour plus ou moins circulaire, Monocolpé. – Nexine semble manquer, sexine à une couche. Tenuisexineux. Lisse et scabre. g. *Juncus maritimus*

Présent dans le niveau 9.

Familles des Lentibulariaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 5)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie ou tétrades et les grains de pollen hétéropolaires trisymétriques. Grain de pollens petits ou moyens, oblates à suboblates. – Vue méridienne : contour elliptique ou secteur tétraédrique de sphère. – Vue polaire : contour subcirculaire ou plus ou moins triangulaire. – Trizonocolporoïde. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine à crassisexineux. Lisse. g. *Genlisea recurva*

Présent dans les niveaux 2 ; 4 et 5.

Familles des Liliaceae

Description : 3^{ème} type : *Caesia*

Eumonades hétéropolaires, tétra- à trisymétriques ou plus ou moins asymétrique, moyennes, breviaxes. – Vue méridienne : contour plano-convexe. – Vue polaire : contour subcirculaire ou les deux plus ou moins irréguliers. – Trichotomo- ou tétrachotomoanacolpé. – Nexine à une couche, épaisseur de tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums. Tenuisexineux, sexine approximativement égale à la nexine. g. *Caesia subulata*

Présent dans le niveau 3.

Familles des Loranthaceae

Description : Type *Korthalsella*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour circulaire et elliptique à losangique. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et goniotrème. – Trizonocolpé, endotrema plus ou moins circulaire. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Korthalsella opuntia*

Présent dans le niveau 3.

Familles des Malvaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description : 1[°]type *Hibiscus*

Eumonades centrosymétriques très grandes, sphéroïdales. – Contours subcirculaires. Polypantoporé, membrane de l'aperture lisse ou aspérités sur elle. – Nexine à une couche, sexine tegillée. Crassisexineux, épaisseur de l'exine augmentant vers les apertures et exine souvent épaissie au-dessous des épines ; crassisexineux. Echinulé. g. *Malvastrum coromandelianum*

Présent dans les niveaux 4 ; 5 et 7.

Familles des Menyanthaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 6)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, oblées. – Vue méridienne ; contour elliptique ou plus ou moins rectangulaire. – Vue polaire : contour plus

ou moins triangulaire à quadrangulaire et goniotrème. – Tri- à tétra-zonocolporoïde, parasyntème. – Nexine à une couche, sexine crassitectée. – Exine moyenne à tenuisexineux, crassisexineux à sexine approximativement égale à la nexine. Scabre. g. *Nymphoides indica*

Présent dans le niveau 3.

Familles des Mimosoideae

Description : Type *Mimosa*

Octades moyennes à grandes ; contours plus ou moins irréguliers, asymétriques ou bilatéraux Trizonoporés mais peuvent sembler atrèmes, nexine à une couche, sexine à une couche ou tectée, crassi – ou tenuitrectée. – Exine moyenne ou tenuisexineux, crassisexieux ou sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Mimosa suffruticosa* et *Xylia hofmannii*

Présent dans les niveaux 3 ; 4 ; 5 ; 7 et 10.

Familles des Moraceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades centro – symétriques, petites, sphéroïdales, contours subcirculaires, poly – pentoporées. – Dicolpé, catatrème (subpolaire) à mono – zonotrème, pour une partie parasyntème, aspérités sur la membrane de l'aperture colpus à bords irréguliers. – Nexine semble être à une couche, sexine à une couche. Peut-être crassisexineux, plutôt exine moyenne et apertures crassimarginées par la sexine qui augmente assez brusquement autour d'elles. La sexine approximativement égale à la nexine. Lisse ou scabre. g. *Dorstenia cuspidata* et g. *Fucus madagascariensis*

Présent dans les niveaux 2 ; 3 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Myrtaceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, oblées. – Vue méridienne : contour régulière. – Vue polaire : contour triangulaire. – Tricolporé, endotréma est plus souvent allongé suivant l'équateur ; parasyncolpé chez *Fropiera*. – Tecté mais souvent difficile à constater et semble plutôt être intégrillé. Epaisseur du tégulum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Syzygium*

Présent dans le niveau 10.

Familles des Myrothamnaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description :

Tétrades tétraédriques ou rhomboïdales, moyennes, graines de pollen séparés hétéropolaires, trisymétriques, breviaxes. – Trizonocolporoïde, semiaperturé. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitéctée à épaisseur de tectum approximativement la même que la hauteur des baculum. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Scabre. – Seule espèce : *Myrothamnus moschata*

Présent dans les niveaux 5 et 8.

Familles des Nymphaeaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 5)

Description :

Eumonades bilatérales, moyenne, oblées à suboblées. – Vue méridienne : contour avec constriction équatoriale. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire. – Mono – ou diplozonocolpé, synclinocolpé, p.p colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum, p.p tectum légèrement onduleux. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. g.

Nymphaea lotus, N. stellata, N. capensis et Nuphar lutea

Présent dans les niveaux 2 ; 3 et 8.

Familles des Pandanaceae

Description :

Eumonades asymétriques ou subhétéropolaires, subdisymétriques, petites à grandes, équiaxes à longiaxes. – Contour plus ou moins irréguliers. – Mono - (ana ?) poré. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitextée. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Subéchinulé. g. *Pandanus*

Présent dans le niveau 3.

Familles des Passifloraceae

Description : Type *Passiflora*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, grandes, suboblates à prolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire. – Hexazonocolpé, operculée, parasyncolpé et colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche ; sexine intacte, crassitegillée. Exine moyenne, crassisexineux ou sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre et baculé réticulé, curvifuré, simplibaculé. g. *Passiflora incarnata*

Présent dans le niveau 1.

Famille des Fabaceae - Tribu Papilionoïdæ (ANNEXE 4, PLANCHE 3)

Description : Type *Cadia*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, trisymétrique, moyenne, sphéroïdes à prolées. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour subcirculaire et périrème à ptychotème. – Trizonocolporé, endotrema allongé suivant le méridien. – Nexine à une couche ; sexine tectée, crassitextée à épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des bacula. – Exine moyenne, crassisexineux ou sexine approximativement égale à la nexine. Lisse. g. *Cadia ellisiada*

Type *Vigna*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyenne à grandes, suboblates à subprolées. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et goniotème. – Trizonocolporé. – Nexine et sexine à une couche. Exine moyenne, crassisexineux. Lisse, réticulé, murs compacts curvifuré, mailles peu nombreuses. g. *Vigna reticulata*

Présent dans les niveaux 2 ; 3 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Pittosporaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 3)

Description:

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales à subprolées.

Vue méridienne : contour elliptique et circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire ou plus ou moins triangulaire et périrème à ptychotème. – Trizonocolporoïde. – Nexine à une

couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum. Exine moyenne, épaisseur de l'exine diminuant vers les apertures, crassisexineux. Lisse. – Seule genre à Madagascar : *Pittosporum Humbertii*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Plantaginaceae

Description : Type *Plantago major-tanalensis*, porus 4 à 7, sans operculum et sans margo.

Eumonades isopolaires centrosymétrie, petites, sphéroïdales. – Contours circulaires. Tetra – à hepta – (olio–) pentoporé. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum. Tectum onduleux. – Exine moyenne, crassisexineux à sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre. g. *Plantago tanalensis*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Podocarpaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades hétéropolaires, disymétriques, grandes, breviaxes. – Vue méridienne : contour concavo-convexe (partie distale convexe). – Vue polaire : contour plus ou moins elliptique (mais avec des sacs). – Mono – analept. – Nexine à une couche, sexine tectée, tenuitectée, structure alvéolaire de l'endosexine, à sacs à air. Exine moyenne à tenuisexineux, sexine approximativement égale à la nexine (ou crassisexineux dans la partie entre les sacs, sexine épaisse dans la partie des sacs). Lisse à scabre, semble être réticulée. g. *Podocarpus*

Présent dans les niveaux 1 ; 2 ; 3 ; 5 ; 8 ; 9 et 10.

Familles des Podostemonaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 7)

Description :

La famille est euryalyne, en 1952, ERDTMAN indique des monades et dyades, tricolpées, tricolporoïdes, oligoporées et inaperturées. – Eumonades centrosymétriques, petites sphéroïdales aux contours plus ou moins circulaires. – Oligoporé, aspérités sur la membrane des apertures. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculum. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre. g. *Tristicha alternifolia*

Dyades, les dyades à un axe et un plan de symétrie, les grains de pollen isolés hétéropolaires et trisymétriques, les dyades moyennes, à plus rarement subprolées. – Vue méridienne : Contour des dyades losangiques ou avec constriction entre les deux grains de pollen subcirculaires. – Vue polaire : plus ou moins triangulaire et pleurotrème à ptychotème. Trizonocolpé. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée. Tenuisexineux, sexine approximativement égale à la nexine. Scabre à granuleux. g. *Inversodicraca minutiflora*

Présent dans les niveaux 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 et 9.

Familles des Pontederiaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 7)

Description :

Eumonades hétéropolaires, disymétriques, grandes à moyennes, breviaxes. – Vue méridienne : contour convexo-concave, ou convexo-plan. – Vue polaire : contour elliptique – Diclinocolpé. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée. Tenuisexineux, crassisexineux. Lisse, rugulé à insulé. g. *Eichornia crassipes*

Présent dans les niveaux 3 et 7.

Familles des Rafflesiaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 6)

Description :

Tetrades tétraédriques ou rhomboïdales, p.p. aussi tétraédriques ; hétéropolaires, polysymétriques, équiaxes. – Vue méridienne : contour régulière : secteur tétraédrique de la sphère. – Vue polaire : contour subcirculaire à plus ou moins elliptique. – Dizonecolporoïde. Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée, tectum onduleux, calymmé. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à scabre. g. *Cytinus baroni*

Présent dans les niveaux 3 et 5.

Familles des Ranunculaceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie ou centrosymétriques, moyennes et sphéroïdales. – Contours subcirculaires. – Tetragonoloxocolpé ou hexapantocolpé, colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée et épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Subéchinulé. g. *Ranunculus pinnatus ssp. madagascariensis*

Présent dans les niveaux 5 et 8.

Familles des Restionaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 7)

Description :

Eumonades hétéropolaires, polysymétriques, moyennes à grandes, subprolées à prolées. – Contour elliptique à circulaire. – Mono-ana-pororé, asparité sur la membrane de l'aperture. – Nexine à une couche, sexine intectée à tectée, crassitegillé, le tectum peut être pris pour perforé. Exine moyenne ou plus rarement crassiexineux. – Tenuiexineux, sexine approximativement égale à la nexine. g. *Restio madagascariensis*

Présent dans les niveaux 2 ; 5 ; 8 et 10.

Familles des Rhizophoraceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petite et sphéroïdale à prolées. – Vue méridienne : contour régulière elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins circulaire à plus ou moins triangulaire et angulaperture ou ptychotème. – Pollen tricolporé parfois anchocolpé, l'endotréma allongé suivant l'équateur. – Tégillé, intectée, crassistegillé (épaisseur de tégium approximativement la même que la hauteur des bacula). – Sexine semble souvent formée par une couche. – Exine moyenne. – Sexine approximativement égale à la nexine. Lisse.

Présent dans le niveau 7.

Familles des Rosaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description : 1^{er} type : *Rubus*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique à losangique ou rectangulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème à plus ou moins triangulaire à goniotrème ou pleurotrème. – Trizonocolporoïde, p.p. colpus à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitectée à épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baccums. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse (à plus rarement rare) scabre.

2^{ème} type *Pygeum*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales à prolées.

Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème. – Trizonocolporoïde. – Nexine à une couche, sexine intactée, épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des bacculum. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Lisse à/ou scabre, strie et/ou rugule. g. *Prunus amygdalus*

Présent dans les niveaux 1 ; 5 et 8.

Familles des Rutaceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes à petites, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour elliptique à circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire et goniotrème à circulaire et péritrème. – Trizonocolporé. Des aspérités sur la membrane de l'aperture qui a un bord rectiligne ; les endotrémas allongés suivant l'équateur. – Nexine à stratification inconnue, exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. Exine lisse avec des ornements de la sexine différentes. g. *Afraegle paniculata*

Présent dans le niveau 4.

Familles des Sapindaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description : 2^{ème} type : *Allophylus*, grain de pollen avec trois petits pores, pointus-angulaperaturés.

Ce type est limité à *Allophylus cobbe*, une espèce pantropicale extrêmement variable, pour laquelle 20 races ont été décrites seulement de Madagascar. Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, oblées. – Vue méridienne : contour régulièrement elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins triangulaire, anguloaperturé, avec des angles pointus. – Trizonoporé, les pores sont circulaires avec un diamètre de 3 à 4 micromètres, et généralement couverts par le tectum, dans lequel se présente parfois un vestige d'un très court endotrémum colpé. – Nexine à une couche bien développée, 0.5 de large et diminuant autour des pores. – Sexine tégillée, épaisseur du tégillum approximativement égale la même que la

hauteur des baculums à crassitégillée. – Tenuiexineux, sexine approximativement égale à la nexine. g. *Allophyllus cobbe*

Présent dans la lame TSM_16_011_MCA (Niveau 5).

5^{ème} type : *Zanha*, grains de pollen tricolporés, subéchinulés, avec contour en vue polaire circulaire et avec des corpus larges, pliés vers l'intérieur. – Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, subprolées. – Vue méridienne : contour régulièrement elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins circulaire – trilobé. – Trizonocolporé, colpus saillants et pliés vers l'intérieur faiblement crassimarginés, assez long, 2 à 3 micromètres de larges à l'équateur, se terminant vers les pointes, faiblement costés, avec aspérités sur la membrane. – Endotréma plus ou moins circulaire à faiblement elliptiques et allongés suivant l'équateur. Nexine à une couche, sexine tectée, finement perforée, épaisseur du tégium approximativement la même que la hauteur des baculums. – Exine moyenne, épaisseur faiblement augmentant vers les apertures, replis marginaux dans le colpus, sexine approximativement égale à la nexine. – Tectum ouvert d'échinules courtes, obtus et irrégulièrement arrangée. g. *Zanha suaveolens*

6^{ème} type : tricolporé, perforé à réticulé

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, sphéroïdales à subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour circulaire trilobé avec les colpus ouverts, anguloaperture. – Tricolporé, colpus assez long à long, avec les côtés parallèles, convergent vers les bouts, avec des bouts assez obtus, faiblement anchocolpé, avec des granules, sur la membrane fortement pliés vers l'intérieur. – Endotréma généralement circulaire à faiblement allongé suivant le méridien, faiblement avec des costea polaires. – Nexine faiblement épaisseaux parties polaires des endotremas. – Baculums 0,3 micromètre de hauts, tégium finement réticulé, les murus granuleux et tordus. g. *Haplocoelum perrieri*

Type : *Tinopsis*, tricolporés perforé à reticulé.

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, sphéroïdales. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour arrondi triangulaire à circulaire. – trilobé, avec des côtés convexes, angulaperturés, parfois inter-subangulaperturé. – Tricolporé, longueur du colpus variable, aussi chez les grains de pollen, assez long à long, assez étroit, faiblement pliés vers l'intérieur, avec une membrane finement granuleuse. – Endotréma variant d'allongé suivant l'équateur à allongé suivant le méridien, souvent plus ou moins circulaires, 2 à 5 micromètres au long et 2 à 5 micromètres de larges, sans ou avec costea

polaire. – Nexine $\frac{1}{2}$ micromètre d'épaisseur, parfois un peu épaissie vers les endotrémas, – Bacula 0.3 micromètre de hauteur. Tégillum $\frac{1}{2}$ à 1 micromètre d'épaisseur, réticulé. g.
Tinopsis dissitiflora

Présent dans le niveau 5.

Familles des Scheuchzeriaceae

Description :

Eumonades centrosymétriques, petites, sphéroïdales. – Contours plus ou moins circulaires. Attrème. – Nexine à une couche, sexine intactée, crassitégillée. Tenuisexineux, crassisexineux. g. *Triglochin striatum*

Présent dans les niveaux 3 ; 5 et 7.

Familles des Scrophulariaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description : 8^{ème} type : type *Scoparia*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins circulaire et péritrème à ptychotème ou plus ou moins triangulaire et ptychotème. – Trizonocolpé ou –colporoïde, membrane de l'aperture lisse. – Nexine à une couche, sexine tectée, épaisseur du téggillum approximativement la même que la hauteur des baculums. Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine, épaisseur de l'exine diminuant vers les apertures. Lisse.

g. *Limosella aquatica*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Solanaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à grandes, suboblates à perprolées. – Vue méridienne : contour circulaire et elliptique à losangique et pour une partie avec renflement équatorial. – Vue polaire : contour subcirculaire et péritrème ou plus ou moins triangulaire et goniotème à ptychotème. – Trizonocolpé ancholopé, endotrema allongé suivant l'équateur, membrane de l'aperture lisse ou aspérités sur elle ; colpus à bords rectilignes ou irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassitégillé à épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des baculums. – Crassisexineux à sexine

approximativement égale à la nexine, très rarement épaisseur de la sexine diminuant vers les pôles et/ou augmentant plus ou moins brusquement autour des apertures crassimargineux. Lisse. g. *Physalis angulata* et *Cyphomandra betacea*

Présent dans la lame TSM_16_003_MCA (Niveau 1) et TSM_16_011_ST_MCA (Niveau 5).

Familles des Sterculiaceae

Description : Type *Byttneria*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, sphéroïdales à subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour subcirculaire et goniotrème ou ptychotrème. – Trizonocolporé ou – pororé, pour une partie brachycolpé. Endotréma allongé suivant l'équateur ou plus ou moins circulaire, partimarginé ou clausimarginé, aperture operculée et à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine intectée ou téctée, crassitégillée ou épaisseur du tégium approximativement la même que la hauteur des baculums. Exine moyenne et pour une partie épaisseur de l'exine augmentant vers les apertures ou apertures ou endotréma crassimarginés par la nexine augmentant vers les apertures ; sexine approximativement égale à la nexine. Lisse ou scabre. g. *Rulingia madagascariensis* et g. *Keraudrenia integrifolia*

Présent dans les niveaux 7 et 10.

Famille des Trigoniaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 1)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe de symétrie d'ordre 3 ou 4 et un plan de symétrie, moyennes, subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique. – Vue polaire : contour subtriangulaire ou subquadrangulaire et goniotrème. – Grain trizonoporé ; des aspérités sur les membranes des apertures, aperture à bords irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tectée, crassimarginées, sexine approximativement égale à la nexine;sexine et nexine plus ou moins brusquement épaissees autours des apertures. g. *Humbertodendron saboureau*

Présent dans la lame TSM_16_012_MCA (Niveau 5).

Familles des Typhaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description :

Eumonades asymétriques, moyenne, avec contours irréguliers, bréviaxes à longiaxes. Mono – anaporé, porus à bords irréguliers membrane du porus lisse. – Nexine à une couche, sexine intectée, crassitegillée. – Exine moyenne, sexine approximativement égale à la nexine. g.

Typha

Présent dans les niveaux 4 ; 5 et 10.

Familles des Ulmaceae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites, suboblates à sphéroïdales. – Vue méridienne : contour elliptique ou circulaire. – Vue polaire : contour à peu près circulaire

Grain trizonoporé ; endotréma presque circulaire et les pores sont à bords irréguliers : présence des aspérités sur les membranes des apertures. – Nexine à une couche, sexine crassitinctée, exine moyenne, aperture en partie crassimarginées ou épaisseur de l'exine augmentant progressivement vers les apertures. g. *Celtis gomphophylla*

Présent dans la lame TSM_16_008_MCA (Niveau 3).

Familles des Umbellifereae

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, prolées quelques fois subprolées ou perprolées. – Vue méridienne : contour régulier. – Vue polaire : contour subcirculaire goniotrème, pleurotrème ou ptychotrème. – Trizocolporé, l'endoaperture subcirculaire à allongée suivant l'équateur. – Nexine à une couche, sexine tectée, tectum moins épais que la hauteur des baculums qui sont parfois assez fins et, dans quelques cas, digités ; tectum souvent onduleux. – L'épaisseur de la sexine est plus souvent sensiblement égale à celle de la nexine. L'épaisseur de la sexine ou de la nexine peut augmenter vers les pôles et dans d'autre cas l'épaisseur de la nexine peut diminuer vers les pôles. Lisse à scabre.

g. *Heteromorpha coursii*

Présent dans le niveau 10.

Familles des Vacciniaceae et Familles des Ericaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 3)

Ericaceae : *Agauria* et *Philippia*

Description :

Tétrades tétraédriques, moyennes, calymmées ; hétéropolaires, trisymétriques, bréviaxes.

Vue méridienne : contour tétraédrique d'une sphère – Vue polaire : contour subcirculaire.

Trizono (hemi) – colporé. – Nexine à une couche, sexine tectée et approximativement égale à la nexine. – Les colpus semblent être crassimarginées par un épaisissement de la nexine.

Différence : *Vaccinium* épaisseur du tectum approximativement la même que la hauteur des bacula, tenuisexineux. g. *Vaccinium secundiflorum* et le g. *Philippia* (crassitectés et exine moyenne).

Présent dans les niveaux 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 8 et 9.

Familles des Verbenaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 2)

Description : Sous-type 1a : type *Callicarpa*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, moyennes, sphéroïdales à prolées.

Vue méridienne : contour circulaire ou elliptique. – Vue polaire : contour plus ou moins subcirculaire à plus ou moins triangulaire et goniotrème ou ptychotrème. – Trizonocolpé, pour une partie operculée. – Nexine à une couche, intectée et épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculum. Exine moyenne et pour une partie épaisseur de l'exine augmentant vers les pôles ou épaisseur de l'exine diminuant vers les apertures ; crassisexineux. Lisse. g. *Callicarpa candicans*

Présent dans le niveau 5.

Familles des Vitaceae (ANNEXE 4, PLANCHE 7)

Description :

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à moyennes, sphéroïdales à prolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou subcirculaire. – Vue polaire : contour subcirculaire à triangulaire et pleurotrème. – Trizonocolporé, endotréma presque circulaire, colpus à bords rectilignes ou irréguliers. – Nexine à une couche, sexine tégillée – intectée,

épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums. Exine moyenne, crassisexineux à crassisexineux. Lisse ou scabre. g. *Ampelocissus elephanthina*

Présent dans le niveau 3.

Familles des Xyridaceae

Description :

Eumonades hétéropolaires, disymétriques, moyennes à grandes, breviaxes. – Vue méridienne : contour convexo-concave. – Vue polaire : contour elliptique. – Di – subana – pleurocolpé. – Nexine à une couche, sexine intectée et épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums. Tenuisexineux, crassisexineux. Scabre. g. *Xyris*

Présent dans le niveau 3.

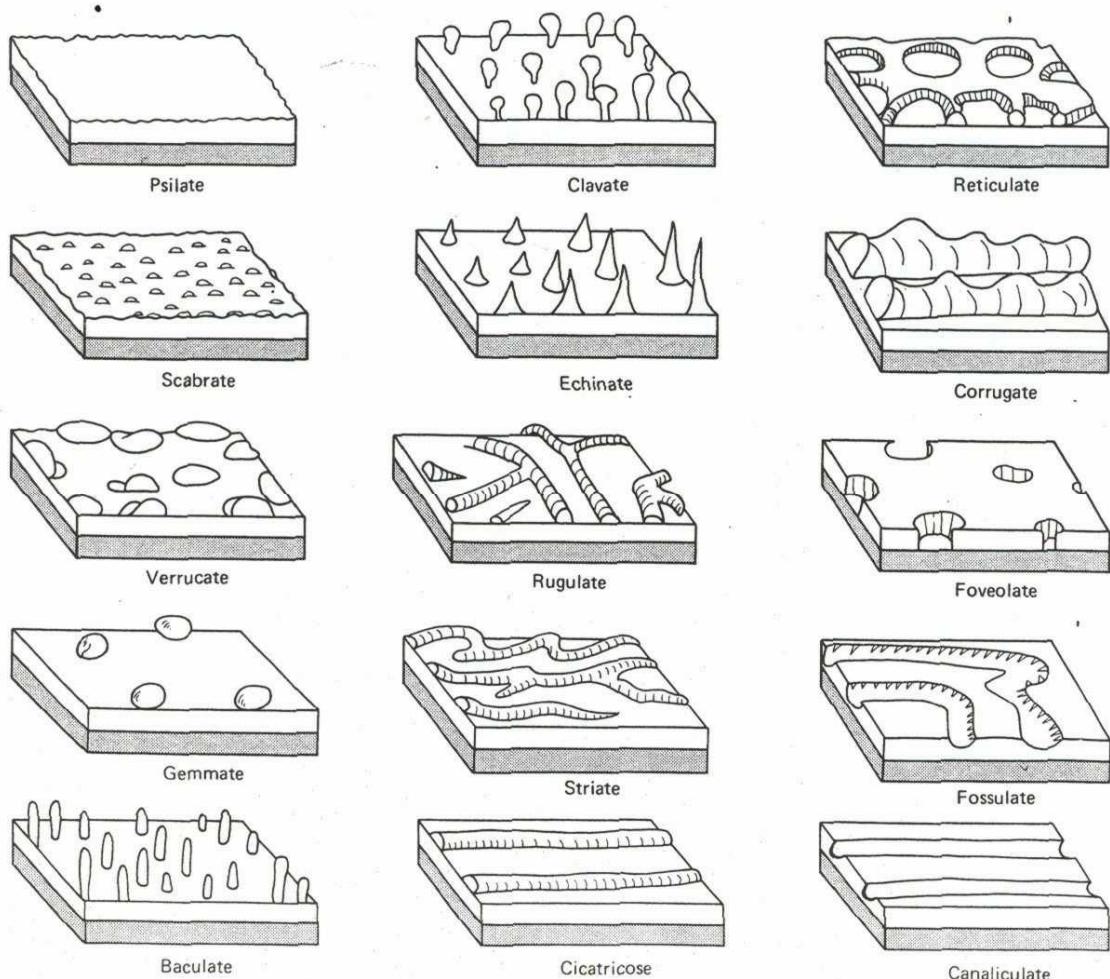
Familles des Zygophyllaceae

Description : Type *Zygophyllum*

Eumonades isopolaires à un axe et un plan de symétrie, petites à très petites, sphéroïdales à subprolées. – Vue méridienne : contour elliptique ou plus ou moins circulaire. – Vue polaire : contour plus ou moins circulaire et péritrème à plus ou moins triangulaire et goniotrème. – Trizonocolporoïde, pour une partie operculée. – Nexine à une couche, intectée et épaisseur du tégillum approximativement la même que la hauteur des baculums. Exine moyenne et pour une partie épaisseur de l'exine augmentant vers les pôles ou épaisseur de l'exine diminuant vers les apertures ; crassisexineux. Lisse. g. *Zygophyllum*

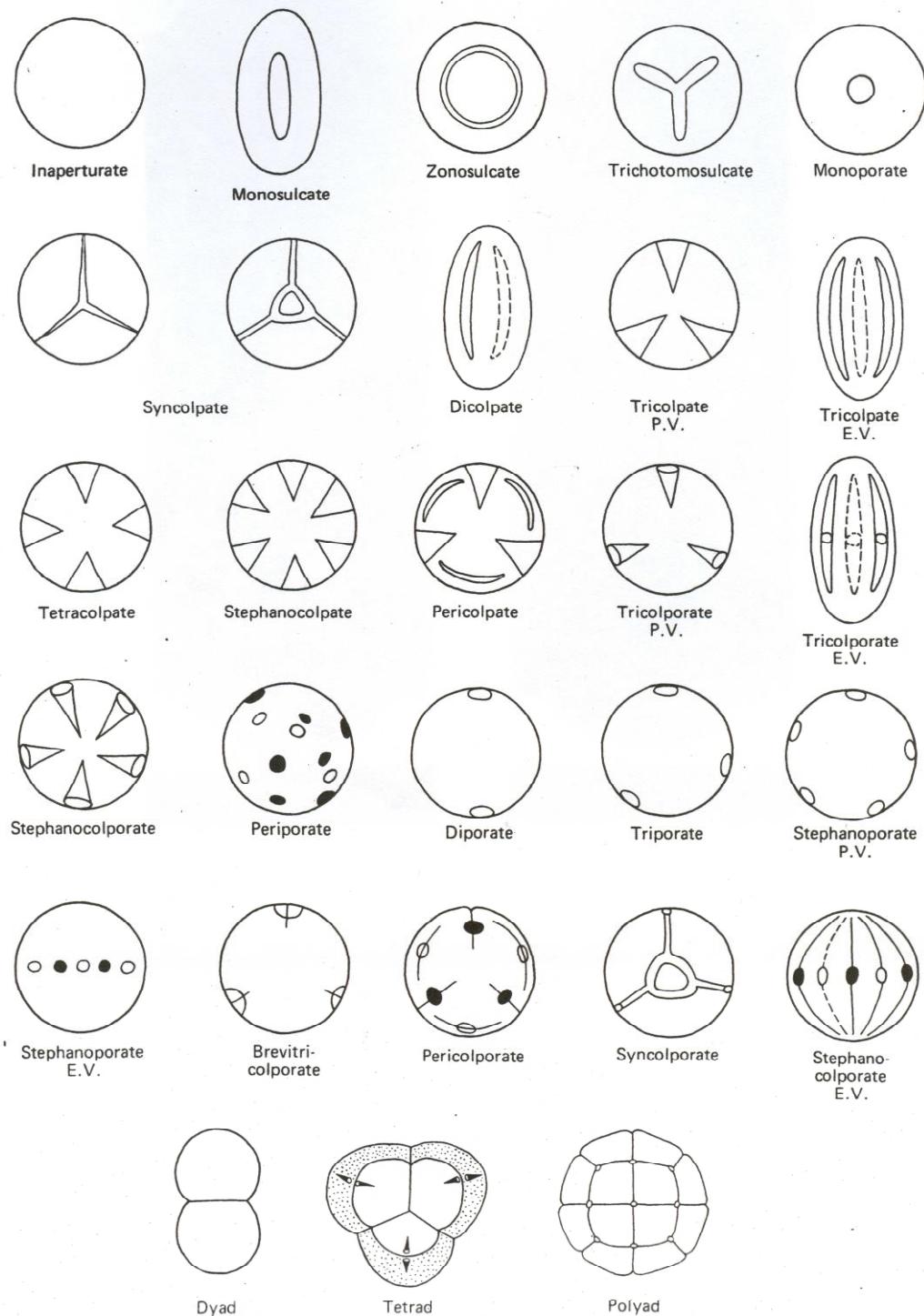
Présent dans les niveaux 8 ; 9 et 10.

ANNEXE 2 : TEXTURES DES SURFACES



A few examples of sculpturing modified after Tschudy & Scott, 1969.

ANNEXE 3 : TYPE DES POLLENS



Principle types of pollen grains and their apertures modified after Tschudy & Scott, 1969.

ANNEXE 4 : PLANCHES

PLANCHE 1 : SPORES & POLLENS (grossissement X400)

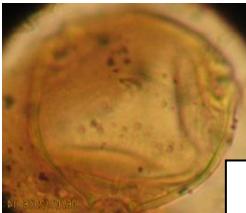
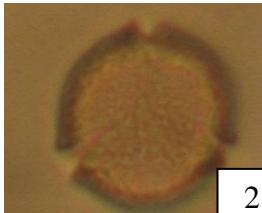
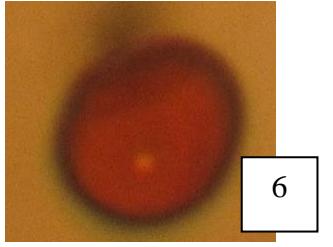
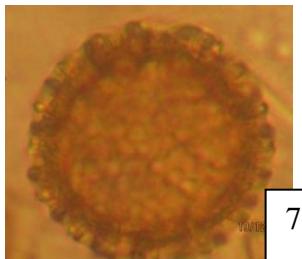
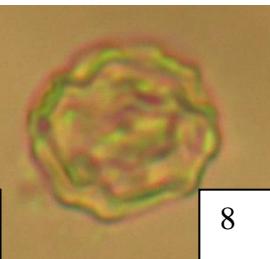
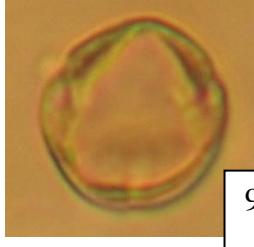
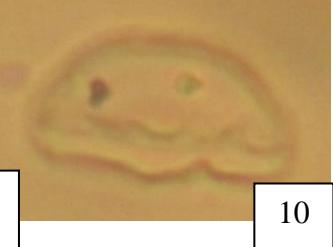
 1  2	<p>1 : g. <i>Humbertodendron saboureau</i> (Trigoniaceae)</p> <p>2 : Vue polaire du g. <i>Haplocoelum perrieri</i> (Sapindaceae)</p>
 3  4	<p>3 : Vue polaire du pôle distal, mise au point plus basse du g. <i>Podocarpus</i> (Podocarpaceae)</p> <p>4 : Vue à travers le grain de pollen du g. <i>Podocarpus</i> (Podocarpaceae)</p>
 5  6	<p>5 : Porus de côté du g. <i>Saccharum officinarum</i> (Gramineae)</p> <p>6 : Porus en face du g. <i>Oryza sativa</i> (Gramineae)</p>
 7  8	<p>7 : g. <i>Malvastrum coromandelianum</i> (Malvaceae)</p> <p>8 : Coupe optique du g. <i>Dorstenia Cuspidata</i> (Moraceae)</p>
 9  10	<p>9 : g. <i>Lyphomandra betacea</i> (Solanaceae)</p> <p>10 : Vue équatoriale sur l'axe le plus long du g. <i>Hydnora esculenta</i> (Hydnoraceae)</p>

PLANCHE 2 (grossissement X400)

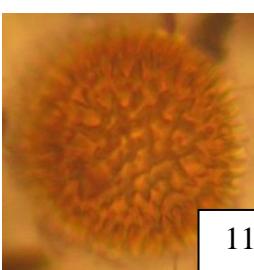
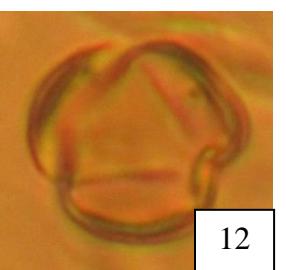
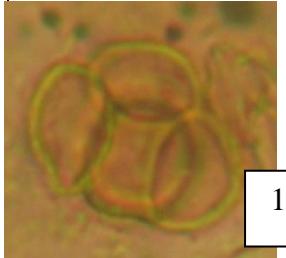
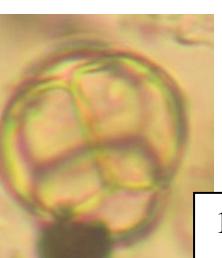
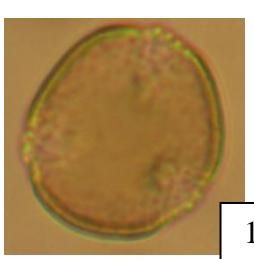
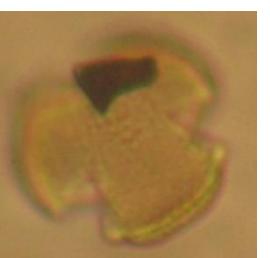
 11  12	<p>11 : Coupe optique du g. <i>Dicoryphe</i> (Hamamelidaceae)</p> <p>12 : Vue polaire (Rosaceae)</p>
 13  15	<p>13 : g. <i>Typha</i> (Typhaceae)</p>
 14  15	<p>14 : Vue méridienne du g. <i>Kalanchoë Humbertii</i> (Crassulaceae)</p> <p>15 : Vue à travers les tétrades du g. <i>Myrothamnus moschata</i> (Myrothamnaceae)</p>
 16  08/01/20	<p>16 : g. <i>Callicarpa candicans</i> (Verbenaceae)</p>
 17 	<p>17 : g. <i>Limosella aquatica</i> (Scrophulariaceae)</p>

PLANCHE 3 (grossissement X400)

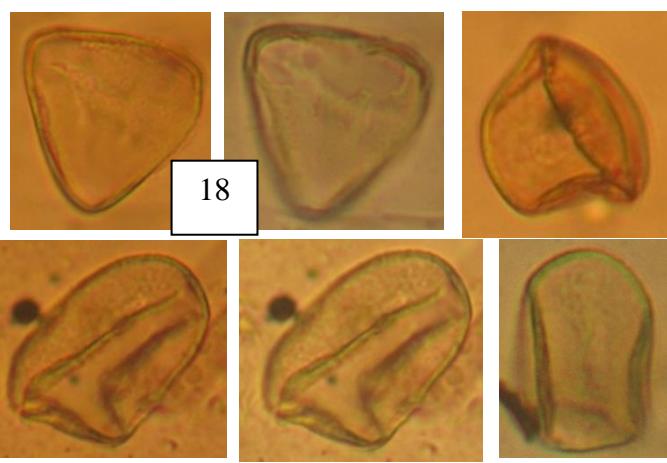
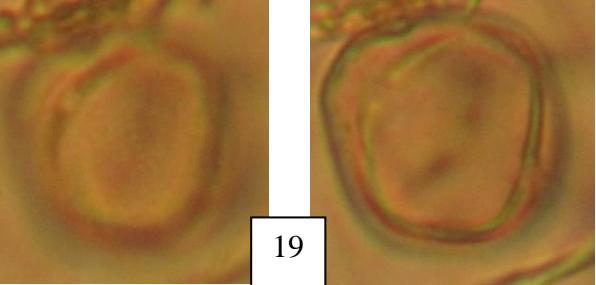
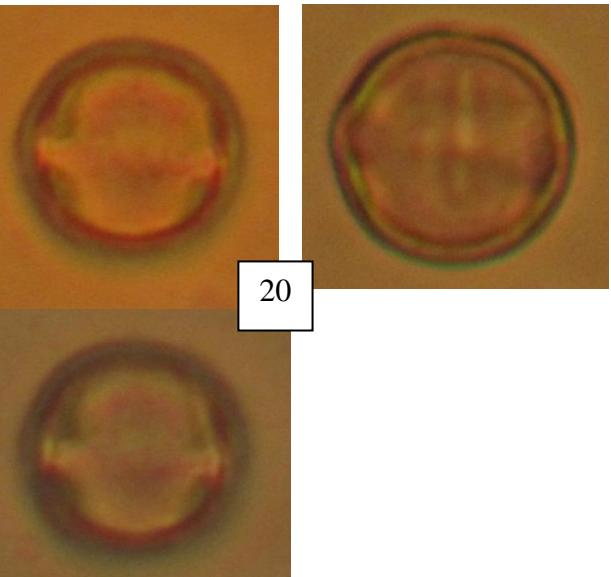
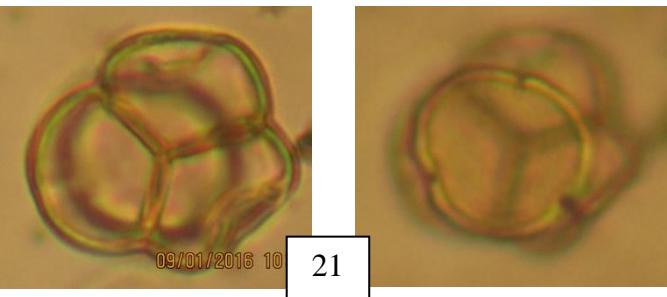
 18	18 : g. <i>Cyperus</i> (Cyperaceae)
 19	19 : g. <i>Pittosporum Humbertii</i> (Pittosporaceae)
 20	20 : g. <i>Dolichos zovuangi</i> (Papilionoideae)
 21	21 : g. <i>Philippia floribunda</i> (Ericaceae)

PLANCHE 4 (grossissement X400)

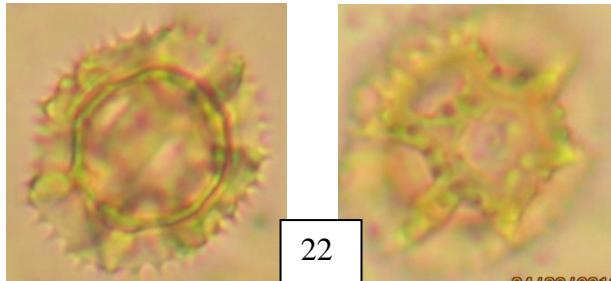
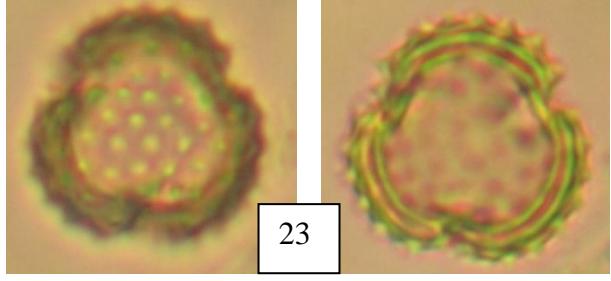
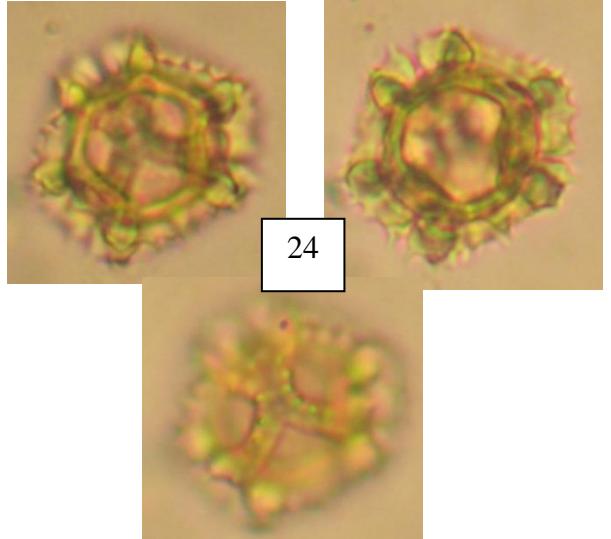
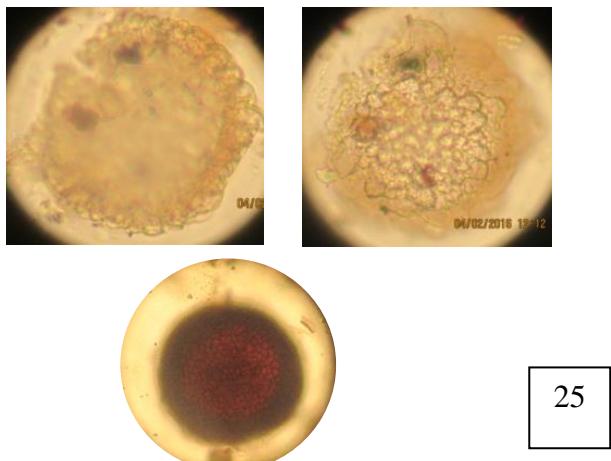
 22	22 : g. <i>Lactuca indica</i> (Asteraceae)
 23	23 : g. <i>Aster</i> (Asteraceae)
 24	24 : g. <i>Lauea bellidifolia</i> (Asteraceae)
 25	25 : Asclepiadaceae

PLANCHE 5 (grossissement X400)

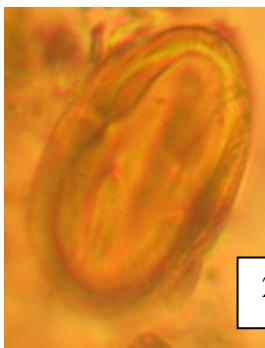
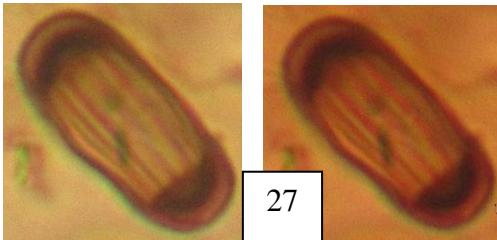
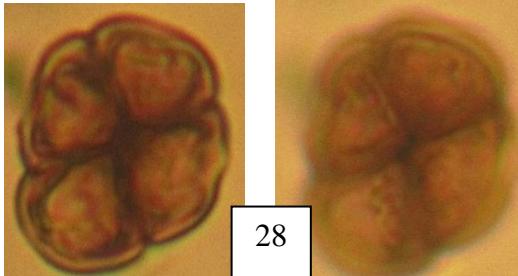
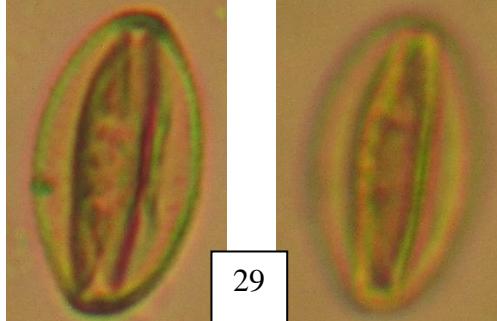
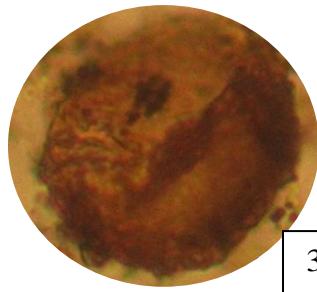
 26	26 : g. <i>Hypoestes floribunda</i> (Acanthaceae)
 27	27 : Ceasalpinioïdeae
 28	28 : g. <i>Genlisea recurva</i> (Lentibulariaceae)
 29	29 : g. <i>Stangeria paradoxa</i> (Cycadaceae)
 30	30 : g. <i>Nuphar lutea</i> (Nymphaeaceae)

PLANCHE 6 (grossissement X400)

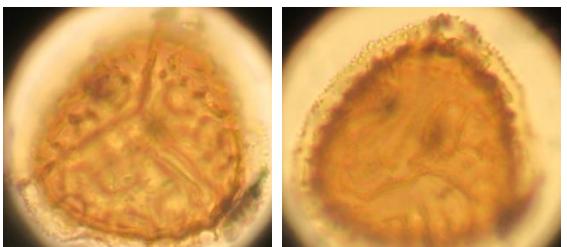
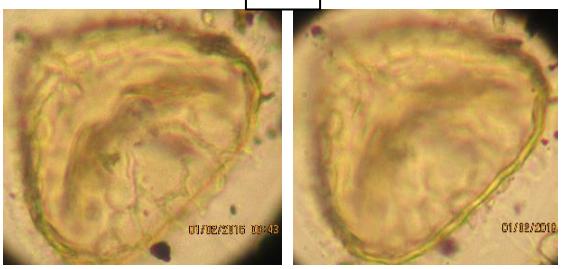
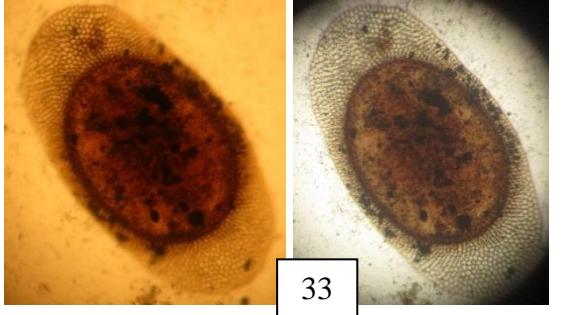
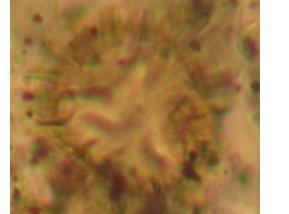
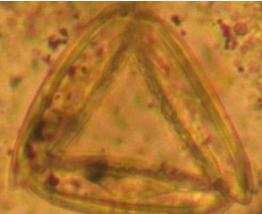
 31	31 : Spores
 32	32 : Rafflesiaceae
 33	33 : Conifères
 34	34 : g. <i>Iodes globulifera</i> (Icacinaceae)
 35	35 : g. <i>Nymphoides indica</i> (Menyanthaceae)

PLANCHE 7 (grossissement X400)

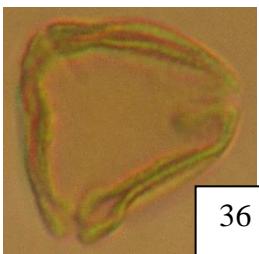
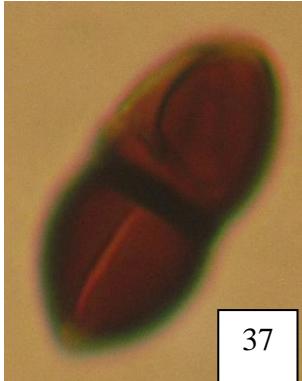
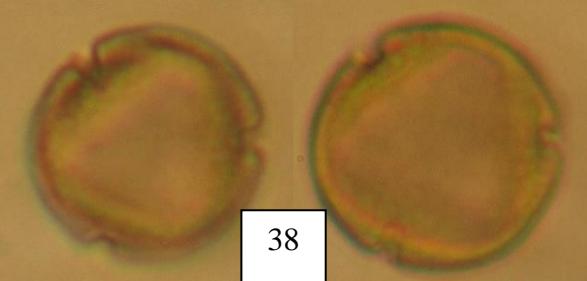
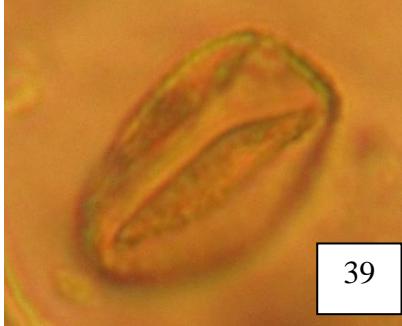
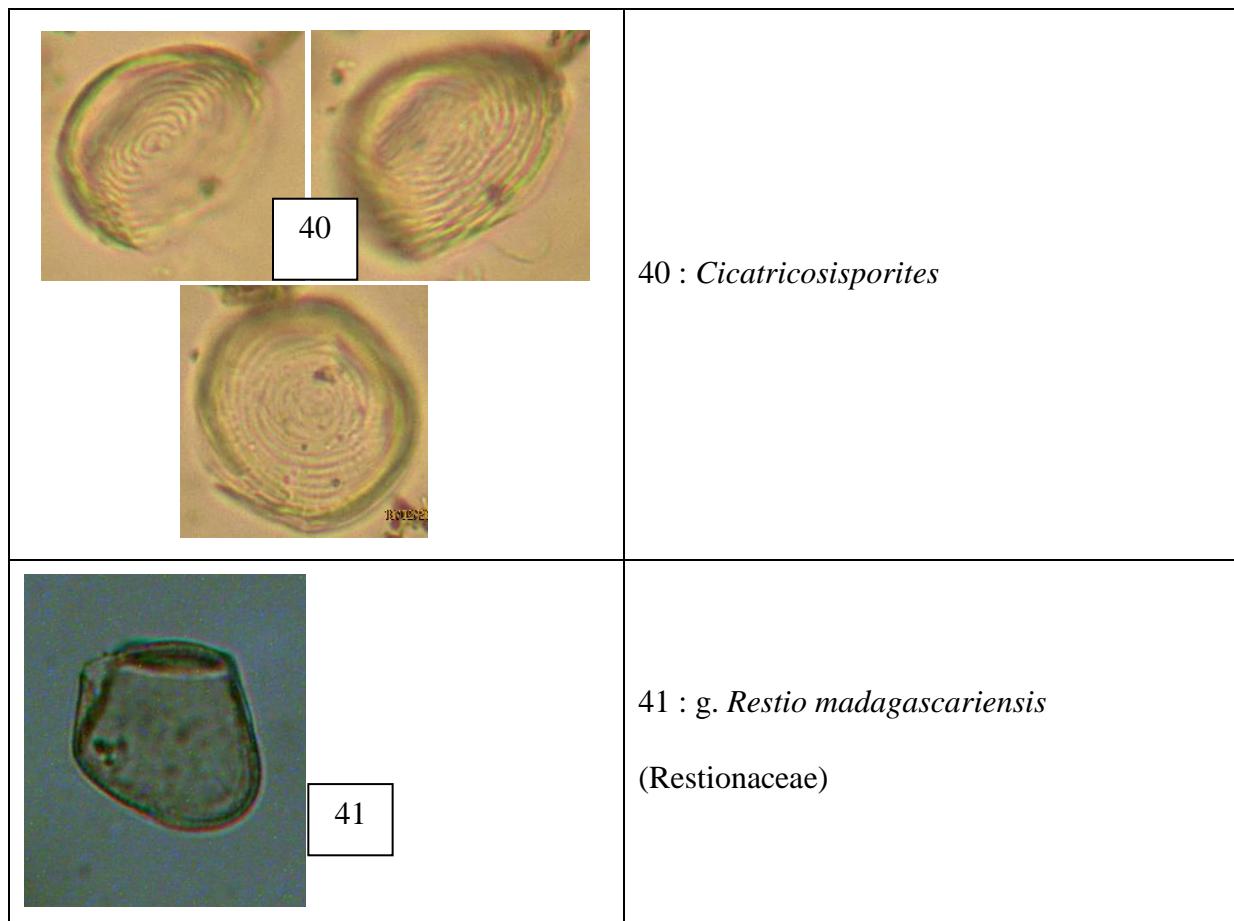
	36 : Vitaceae
	37 : g. <i>Inversodicraca minutiflora</i> (Podostemonaceae)
	38 : g. <i>Protium madagascariensis</i> (Burseraceae)
	39 : g. <i>Eichornia crassipes</i> (Pontederiaceae)

PLANCHE 8 (grossissement X400)



Bois pétrifié

PLANCHE 9 : VERTEBRES

 <p>42</p>	<p>42 : Radius cubitus du g. <i>Hippopotamus</i></p>
 <p>43</p>	<p>43 : Phalange du g. <i>Hippopotamus</i></p>
 <p>44</p>	<p>44 : Vertèbres des Crocodiles</p>

PLANCHE 10

 45	45 : Fragments des ossements
 46	46 : Ossements 12/05/2016 13:59

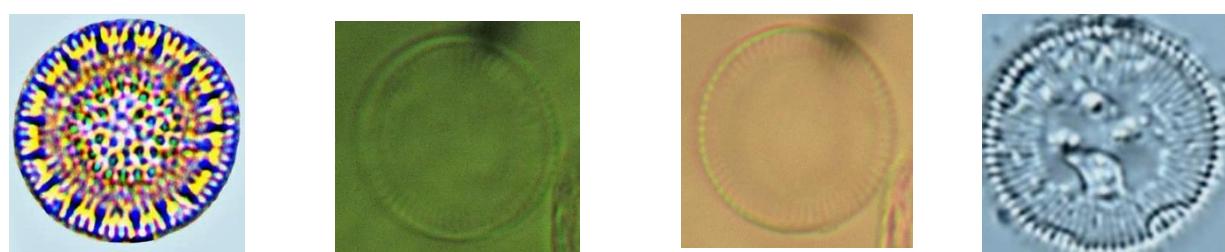
PLANCHE 11 : DIATOMEES (grossissement X400)

Sous classe des Centrophycidée

g. *Melosira*

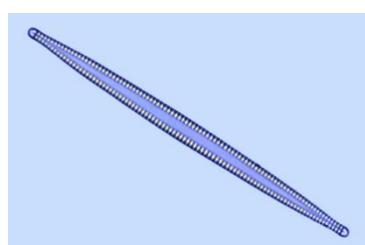


g. *Cyclotella*

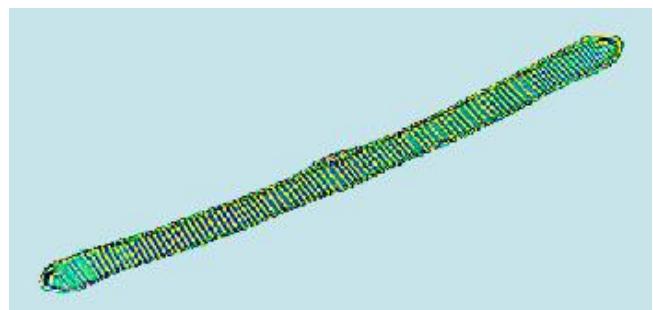


Sous classe des Pennatophycées

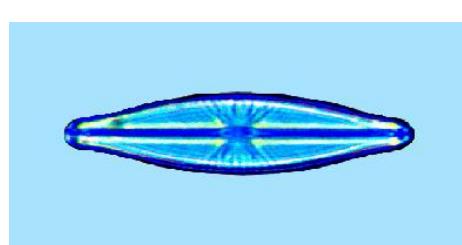
g. *Synedra*



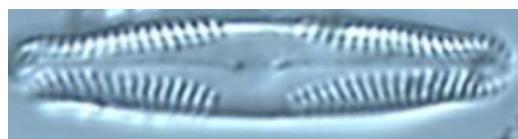
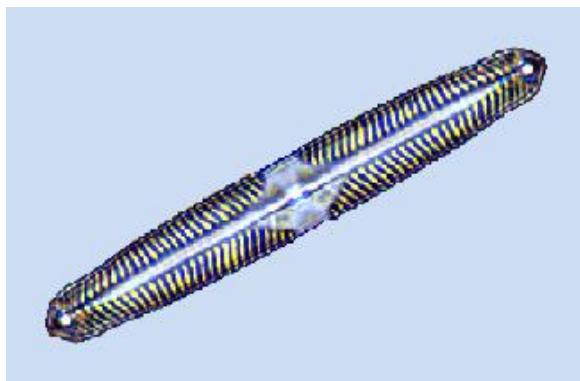
g. *Eunotia*



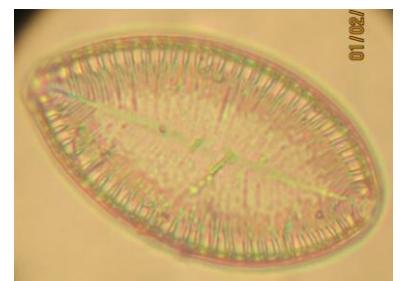
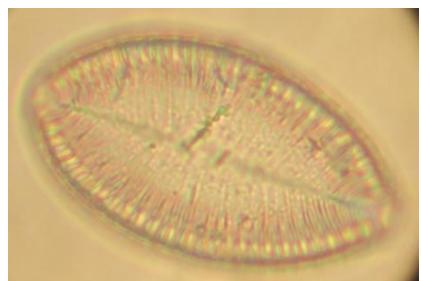
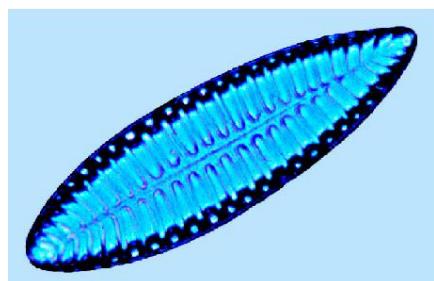
g. *Navicula*



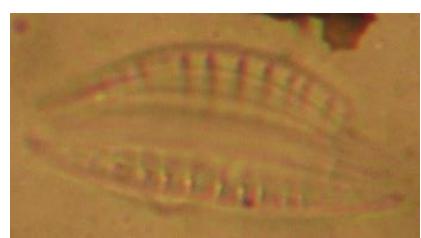
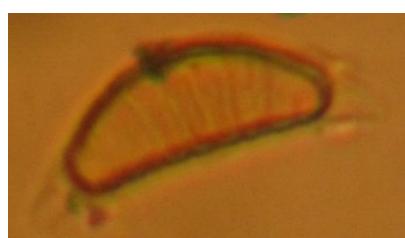
g. *Pinnularia*



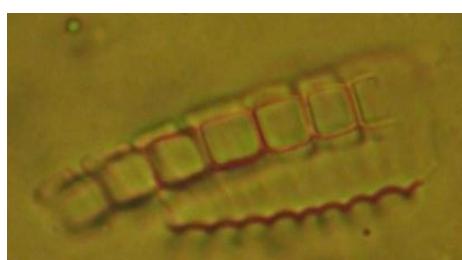
g. *Surirella*



g. *Cymbella*



g. *Diatoma*



g. *Frustula*

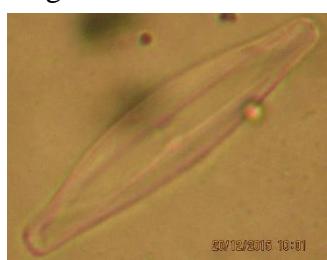


PLANCHE 12 (grossissement X400)

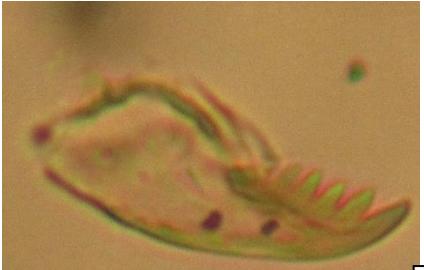
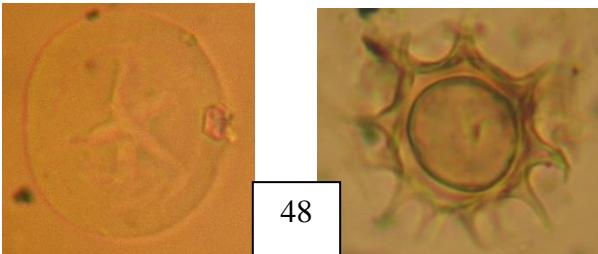
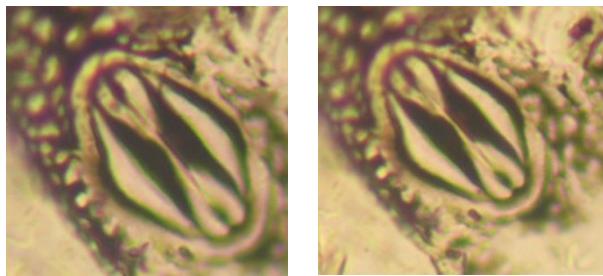
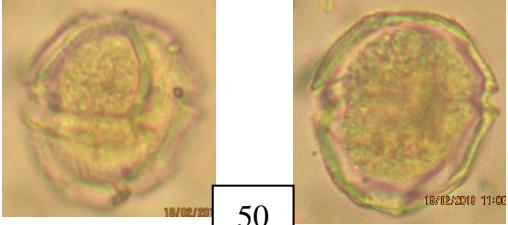
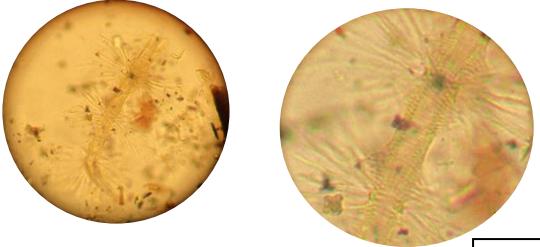
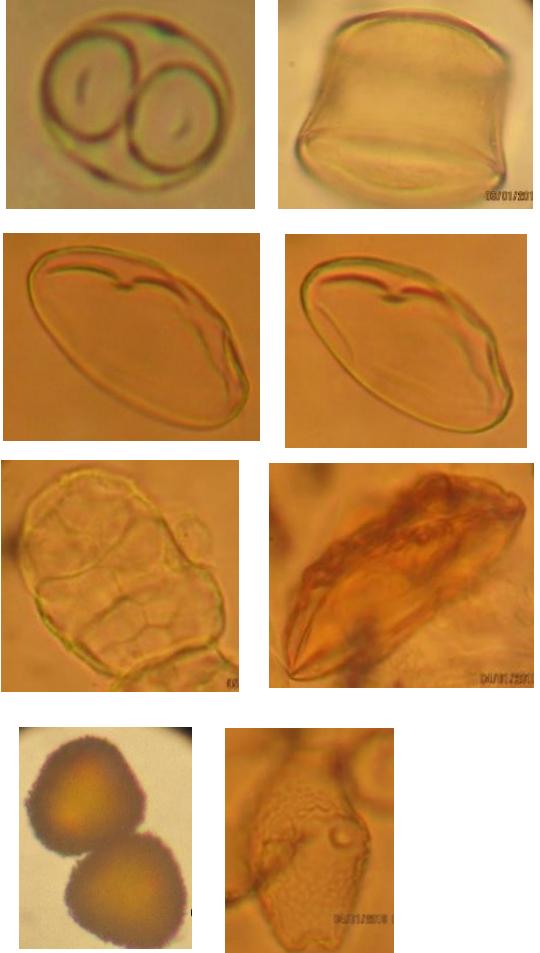
 47	47 : Conocodontes
 48	48 : Acritarches
 49	49 : Microcharbons

PLANCHE 13 (grossissement X400)

 50	50 : Dinoflagellé
 51	51 : <i>Bambusa</i>
	Inconnues

Nom et Prénoms : ANDRIAMBELOMANANA Miora Christelle

Email : miorachrisandria@gmail.com

Téléphone : +261 34 29 684 68

Titre : Etude palynologique et reconstitution paléoenvironnementale du site subfossilifère de Tsaramody

Encadreur : Mr. RAKOTONDRAZAFY Toussaint, Maître de conférences



RESUME

Des investigations paléoenvironnementales ont été menées au site subfossilifère de Tsaramody, Sambaina – Antsirabe (Hautes Terres Centrales de Madagascar) à l'aide d'éléments figurés microscopiques (spores et pollens, diatomées) dans les sédiments échantillonnés (argile, argile sableuse, tourbe et travertin). Quant à la méthodologie, ont été effectués successivement l'échantillonnage moyen à partir de la coupe lithologique, de l'analyse sporopollinique et diatoméenne en vue de la détermination du spectre pollinique et de l'association microalgale aux fins de caractérisation de la végétation et du climat qui se succèdent d'une strate à une autre, la sédimentation témoigne d'un transport hydraulique après l'érosion des collines avoisinantes.

Les taxons terrestres et aquatiques rencontrés sont caractéristiques des zones montagneuses de Madagascar (*Typha*, Ericaceae, Gramineae, Cyperaceae, Nymphaeaceae, Podostemonaceae,...) ; la présence d'Ericaceae marque qu'il y a une période d'assèchement ; le diagramme pollinique vérifie la dominance de végétation herbeuse dans ce site. Le spectre pollinique, depuis 14 400 ans BP à l'Actuel, est caractéristique d'une végétation terrestre herbeuse de montagne (sauf à la base des couches sédimentaires) accompagnée d'une végétation aquatique dont les Cyperaceae et les Diatomées (des tourbières acides), d'un niveau d'eau variant entre 0m (assèchement) et une profondeur à 1m et d'un climat tropical.

Mots – clés : Tsaramody, Hautes – Terres Centrales, Madagascar, palynologie, Diatomées, paléoécologie, paléoenvironnement

ABSTRACT

Palaeoenvironmental investigations were carried out at the subfossiliferous site of Tsaramody Sambaina – Antsirabe (Central Highlands of Madagascar) using microscopic elements (spores and pollens, diatoms) in the sampled sediments (clay, sandy clay, peat and travertine). About methodology, the average sampling from lithological section, sporopollinic and diatomic analysis was carried out for pollen spectra and diatom association determination characterizing vegetation and sedimentation which indicates hydraulic transport after erosion of surrounding hills.

The terrestrial and aquatic taxa encountered are characteristic of grassland of mountainous areas of Madagascar (*Typha*, Ericaceae, Gramineae, Cyperaceae, Nymphaeaceae, Podostemonaceae,...) ; the existence of Ericaceae indicates, there is a period of drainage ; the pollen pattern verifies the dominance of grassy vegetation in this site. Pollen spectra, from 14 400 years BP to Actual, is characteristic of grassland vegetation (except at the base of the sedimentary layers) accompanied by aquatic vegetation including Cyperaceae and Diatoms (acid bogs) ; of a water level varying between 0m (drying) and a depth at 1m ; of a tropical climate.

Key – words : Tsaramody, Central Highlands, Madagascar, palynology, Diatoms, paleoecology, paleoenvironment