

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE: LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA.....	14
CHAPITRE I. LE SECTEUR NORD : LANIRANO	18
I.1. LES CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES DE LA ZONE.....	18
I.2. LES CARACTERES GRANULOMETRIQUES.....	19
CHAPITRE II. L'EMBOUCHURE DE LA LINTA	24
CHAPITRE III. LE SECTEUR DUNAIRE DU SUD	31
III.1. <i>LE TAMBOHO D'ANDOLOBE.....</i>	31
III.2. <i>LE MASSIF DUNAIRE D'AMBOHIBOLA.....</i>	33
DEUXIEME PARTIE: LES AGENTS DU TRANSFERT SEDIMENTAIRE	39
<i>CHAPITRE IV. LES FACTEURS AERODYNAMIQUES.....</i>	41
IV.1. <i>LE FACTEUR EOLIEN.....</i>	41
IV.2. <i>LES FORCES EN ACTION SUR LE LITTORAL MAHAFALY.....</i>	46
<i>CHAPITRE V. LES FACTEURS BIOCLIMATIQUES.....</i>	48
IV.3. <i>LES CONDITIONS CLIMATIQUES.</i>	48
IV.4. <i>LA COUVERTURE VEGETALE</i>	55
TROISIEME PARTIE: LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DUNAIRE.....	59
<i>CHAPITRE V. EVOLUTION LITTORALE AU NIVEAU DE LANIRANO.....</i>	60
<i>CHAPITRE VI. EVOLUTION DU LITTORAL SUD DU DELTA DE LA LINTA</i>	64
VI.1.1. <i>AU NIVEAU DU TAMBOHO D'ANDOLOBE.....</i>	64
VI.1.2. <i>AU NIVEAU D'AMBOHIBOLA ET DE FALIAMPASY</i>	65
PALEOClimats et EVOLUTION PALEOENVIRONNEMENTALE DU SUD-SUD-OUEST.....	68
CONCLUSION.....	71

RESUME

Le delta de la Linta présente des caractéristiques physiques particuliers comme un climat subaride avec une prédominance d'un vent de secteur Sud, favorise la mise en place des formations dunaires.

L'évolution continue des dunes tend à modifier la géomorphologie du littoral. Ces mutations ne sont pas semblables en tout point dans l'espace Mahafaly. Dans la partie septentrionale, un engrissement du littoral s'observe. Par contre, l'érosion marine attaque au fur et à mesure le rivage dans la partie Sud.

Le déplacement des dunes génère des effets néfastes que ce soit sur le plan environnemental qu'économique. Une intensification de l'insécurité alimentaire s'aperçoit depuis quelques décennies. Plusieurs champs de cultures et terrains de pâturages sont ensevelis par les sables de dunes. Aussi, des écosystèmes terrestres et marins sont détruits comme les mangroves, récifs coralliens...

Par ailleurs, l'évolution paléoenvironnementale du delta de la Linta peut être expliquée à partir des séquences climatiques anciennes mais aussi à partir de la présence d'une formation à caractère loessique.

Mots clés : Mahafaly, dunes, géomorphologie, érosion, loess.

ABSTRACT

The Linta delta has particular physical characteristics such as a subarid climate with a predominance of a southerly wind, favoring the establishment of dune formations.

The continual evolution of the dunes tends to modify the geomorphology of the littoral. These mutations are not similar at all points in the Mahafaly space. In the northern part of the country, there is a fattening of the littoral. On the other hand, marine erosion attacks the shore in the south.

The displacement of dunes generates negative effects, both in terms of the environment and the economy. An intensification of food insecurity has been under way for several decades. Several fields of crops and grazing lands are buried by sand dunes. Also, terrestrial and marine ecosystems are destroyed like mangroves, coral reefs ...

Moreover, the palaeoenvironmental evolution of the Linta delta can be explained on the basis of the old climatic sequences but also on the basis of the presence of a loess character's formation

Keywords: Mahafaly, dunes, geomorphology, erosion, loess

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le delta de la Linta selon Battistini R.....	2
Figure 2. Itinéraire des travaux de terrain	8
Figure 3. Classification des grains selon Wentworth (1922)	11
Figure 4. Classification des grains selon Folk (1968).....	11
Figure 5. Les courbes de niveau du Littoral Mahafaly	15
Figure 6. Vue 3D de l'espace Mahafaly.....	17
Figure 7. Anatomie d'une dune barkhane	19
Figure 8. Profil topographique au niveau de Lanirano.....	19
Figure 9. Colonne lithostratigraphique au niveau de Lanirano.	20
Figure 10. Courbe de l'analyse granulométrique de Lanirano	21
Figure 11. Profil de la dynamique fluviale de la Linta.....	24
Figure 12. Courbe de l'analyse granulométrique d'Androka Vao et à l'Embouchure de la Linta.....	26
Figure 13. Courbe de l'analyse granulométrique d'Ambohibola.....	36
Figure 14. Bloc diagramme montrant un paysage dunaire.....	40
Figure 15. Récapitulation de l'action du vent au ras du sol	42
Figure 16. Principales formes sédimentaires en fonction du régime d'un courant unidirectionnel	43
Figure 17. Rose des vents récapitulatifs	45
Figure 18. Le delta de la Linta et ses environs.....	47
Figure 19. Variation des précipitations interannuelles de la Station de l'Aérodrome de Toliara	50
Figure 20. Moyennes pluviométriques pour la Station d'Ampanihy- Ouest	51
Figure 21. Diagramme des précipitations combinées	51
Figure 22. Variation mensuelle des températures maximales, minimales et moyennes de la Station de l'Aérodrome de Toliara.....	53
Figure 23. Diagramme ombrothermique de l'Aérodrome de Toliara	54
Figure 24. Classification des dunes en fonction de la couverture végétale.....	56
Figure 25. Les principales formes dunaires selon la force et action éolienne.....	58
Figure 26. Schéma théorique des séquences climatiques et leurs conséquences sur la géomorphologie..	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Taille des grains avec les séries de tamisage	10
Tableau 2. Tableau des coordonnées géographiques des localités de débris d'œufs d'Aepyornis	16
Tableau 3. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique de Lanirano.....	21
Tableau 4. Les paramètres analytiques de la courbe granulométrique de Lanirano	22
Tableau 5. Paramètres analytiques des courbes d'Androka Vao et de l'Embouchure de la Linta	26
Tableau 6. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique Androka Vao et embouchure de la Linta.....	27
Tableau 7. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique d'Ambohibola.....	35
Tableau 8. Paramètres analytiques de la courbe d'Ambohibola	35
Tableau 9. Données vents selon la Station de l'Aérodrome de Toliara (1990-2000)	43
Tableau 10. Données vents selon la Station de Fort-Dauphin (1990-2000)	43
Tableau 11. Les coordonnées géographiques des stations à considérer.....	48
Tableau 12. Précipitations moyennes pour la Station de l'Aérodrome de Toliara.....	49
Tableau 13. Précipitations moyennes pour la Station Ampanihy Ouest	49
Tableau 14. Normale de température pour la Station de l'Aérodrome de Toliara pour une période de 1961-1990 en °C.....	52
Tableau 15. Tableau des précipitations et températures pour la Station de l'Aérodrome de Toliara	53
Tableau 16. Classification géomorphologique des dunes	56

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1. Un tamisat mesuré sur la balance de précision	9
Photo 2. Une série de tamis posée sur la machine à secousse.....	12
Photo 3. Microscope digital USB.....	13
Photo 4. Débris de coquilles d'œufs d'Aepyornis dans la localité d'Ambohibola	16
Photo 5. Morphologie générale des barkhanes dans le secteur de Lanirano	18
Photo 6. Champ de dune du côté de Lanirano	20
Photo 7. Analyse morphoscopique de l'échantillon de Lanirano.....	22
Photo 8. Formation à caractère löessique ensevelie par des dunes récentes	25
Photo 10. Morphoscopie des grains au niveau d'Androka Vao	28
Photo 11. Morphoscopie des grains au niveau de l'embouchure de la Linta.....	29
Photo 12. Image Landsat 4 de 2001 et Landsat 7 de 2010 de la zone de recherche	29
Photo 13. Limon et argile dans le lit mineur du fleuve Linta	30
Photo 14. Sable au niveau de l'embouchure de Linta	30
Photo 15. Massif dunaire d'Andolobe	31
Photo 16. Le Tamboho d'Andolobe	32
Photo 17. Analyse morphoscopique d'Antsikoroka	32
Photo 18. Morphoscopie à Zoom x 200 de l'échantillon d'Antsikoroka	33
Photo 19. Le massif dunaire d'Ambohibola et ses environs	34
Photo 20. Le massif dunaire d'Ambohibola	34
Photo 21. Formation barkhanoïde et parabolique du Tamboho d'Ambohibola.....	37
Photo 22. Grain émoussé de l'échantillon d'Ambohibola	37
Photo 23. Diaclase dans le grain	38
Photo 24. Photographie aérienne Mission IX n° D-1	61
Photo 25. Image Satellite de Google Earth 2015.....	61
Photo 27. Ensablement du marais salant d'Antsakoa.....	62
Photo 28. Cimetière de gastéropodes marins	63
Photo 29. Ensablement de l'embouchure de l'arroyos de Lanirano.....	63
Photo 30. Ensablement du lagon d'Androka	64
Photo 31. Le lagon d'Androka et le Taoho d'Andolobe	65
Photo 32. Image Landsat de 2003 recouvrant la zone d'Ambohibola et de Faliampasy... ..	66
Photo 33. Image Google Earth 2016 d'Ambohibola et de Faliampasy.....	66
Photo 34. Une dune nebka et un plant de Filao attaquées par la mer.....	67

GLOSSAIRE

Aepyornis sp. : grand Ratite vivant dans le Sud de Madagascar au début du Quaternaire

Dune : accumulation éolienne de sables haute de quelques mètres.

Dynamique : système qui suppose que la matière est animée de force immanente

Géomorphologie climatique : science qui étudie les reliefs terrestres liées au climat

Géomorphologie dynamique : science étudiant les formes et modèles terrestres suite à l'action de l'érosion (éolienne ou fluviatile)

Littoral : milieu d'interface entre terre et mer, appelé souvent domaine côtier.

Quaternaire : Dernière période de l'histoire du globe, juste postérieure au Tertiaire avec lequel elle forme le Cénozoïque (± 2 MA BP.)

Régression marine : retrait de la mer au-delà de ses limites antérieures avec émersion de zones plus ou moins vastes.

Transgression marine : avancée de la mer au-delà de ses limites antérieures avec submersion des zones plus ou moins vastes des parties basses des continents.

Tamboho : Appellation locale des massifs dunaires.

LISTE DES ABREVIATIONS

BD	Base de Données
B.P	Before Present
DEM	Digital Elevation Model
DGM	Direction Générale de la Météorologie Malagasy
GPS:	Global Positioning System
FTM	Foibe Taosaritanin'i Madagasikara
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer
SIG	Système d'information Géographique
IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
WWF	World Wildlife Fund for nature

INTRODUCTION

Le Quaternaire a été le théâtre de nombreuses modifications paléoenvironnementales. Les premiers dépôts sédimentaires malgaches (dépôts Karroo) se sont mis en place essentiellement à partir du Carbonifère (Permo-Trias) et au post-Karroo jusqu'à l'Actuel. Le Karroo est généralement continental alors que les dépôts post-Karroo présentent un faciès marin. Ce n'est qu'à partir du Pliocène que réapparaissent les dépôts continentaux.

La terminologie du Quaternaire malgache (Battistini R., 1964) se différencie des autres pays par la présence de fossiles d'*Aepyornis* qui lui a donné son nom d'« *Aepyornien* » en absence d'une corrélation précise avec le Quaternaire européen ou africain. L'*Aepyornien* se rencontre dans le Sud-Ouest et l'Extrême Sud de Madagascar.

Trois transgressions marines à périodes plus humides marquent le Quaternaire : la transgression tatsimienne, transgression karimbolienne et la transgression flandrienne. Les séquences de dépôts sédimentaires ont été qualifiées à partir de ces maximums transgressifs.

Par définition les dunes éoliennes sont le produit d'accumulation de particules fines, généralement du sable, transportées par le vent. L'incessant transport de ces particules par le vent provoque leur déplacement continual d'où la dénomination de « dune vivante » (Battistini, 1964)

Aussi, ce travail est la suite logique d'une étude réalisée en niveau Master I. Mais cette fois, le delta de la Linta est l'objet principal de ce mémoire. L'objectif principal de ce travail est de mettre en exergue l'évolution géomorphologique des formations dunaires en utilisant une approche cyclostratigraphique qui se base sur l'extension lithologique à partir des paramètres quantifiables. Les résultats serviront à l'analyse des variations des faciès sédimentaires au niveau du delta de la Linta.

Le delta de la Linta se situe sur une vaste plaine littorale entre les latitudes $24^{\circ}32'40''$ et $25^{\circ}05'26''$ Sud et les longitudes $44^{\circ}00'00''$ et $44^{\circ}30'00''$ Est. Il se situe dans la partie méridionale de Madagascar à 250 km de Toliara. Son accès se fait par la RN10 reliant Andranovory à Tsihombe. Sur le plan administratif, cette zone fait partie intégrante de la Commune Rurale d'Androka, du District d'Ampanihy Ouest et de la Région Atsimo Andrefana (Monographie de la Région Atsimo Andrefana, 2013). Le delta de la Linta forme en réalité une large plaine côtière limitée à l'Est par l'escarpement du plateau Karstique Mahafaly, au Sud par le massif dunaire de Bemananteza et d'Ambohibola, au Nord par le Cap d'Andriamanao et à l'Ouest par la Baie de Langarano et de Nosy Vorona. (figure 1)

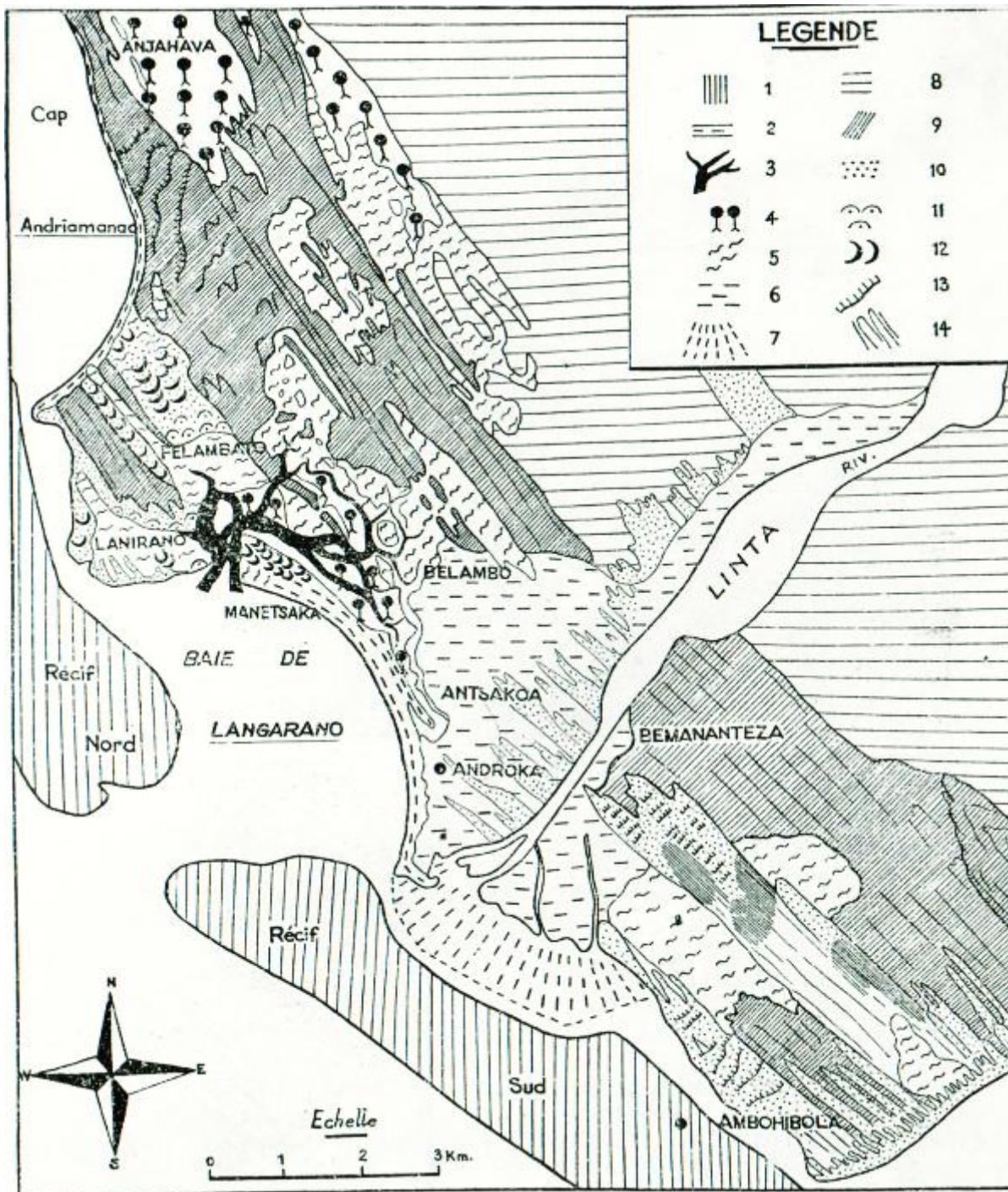


Figure 1 Le delta de la Linta selon Battistini R.

- 1 : Plature corallienne.
- 2 : Cordon littoral flandrien.
- 3 : Réseau des arroyos du Lanirano.
- 4 : Forêt de palétuviers.
- 5 : Sira-sira.
- 6 : Alluvions sablo-argileuses du delta.
- 7 : Estran sablo-argileux en face des bouches de la Linta.
- 8 : Dune karimboliennes grésifiée.
- 9 : Dune flandrienne fixée par le bush.
- 10 : Dunes vivantes.
- 11 : Nebkas.
- 12 : Barkhanes.
- 13 : Dunes transversales en vagues.
- 14 : Dunes paraboliques et en chaînes longitudinales.

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE

1. Contexte et concepts du sujet

Le climat mondial ne cesse d'évoluer depuis la formation de la terre. Ce mouvement des masses d'eaux entraîne une grande influence sur les productivités organiques mais aussi sur la distribution et transfert sédimentaire du milieu continental vers le milieu marin. (Bilal, Hardenbol, & Peter , 2007).

Sous l'action du vent, des masses importantes de sable sec peuvent être déplacées contribuant ainsi à la formation de dunes littorales. Les volumes transportés dépendent, en plus des caractéristiques du sédiment et de la vitesse du vent, de nombreux paramètres dont l'humidité de l'air, la teneur en eau du sable, l'ensoleillement, la surface de plage exposée au vent, la couverture végétale, la teneur en sel du sol. (Mignot, 1986)

Les impacts de la mobilité des dunes dans la partie méridionale de Madagascar, sont très importants que ce soit sur le plan environnemental que sur le plan économique. A cela s'ajoute les conditions naturelles très rudes qui favorisent l'aridité du milieu (Karimoune & Ozer). La combinaison des différents paramètres favorise une généralisation de l'insécurité alimentaire et de la difficulté de l'accès en eau potable. (Rahariaona Raharison, 1997; Andrianaivo & Ramasiarinoro, 2013; Rarivoarison, 2013). Par contre, les écosystèmes dunaires renferment une grande richesse en termes de biodiversité par exemple : *Oplurus quadrimaculatus*, (lézard de dune) typique de la zone. (Blanc , 1977)

Le déplacement des écosystèmes dunaires engendre un ensablement des champs de cultures rendant ainsi difficile ou impossible même la pratique agricole (Ranaivoarisoa, 2010). Avec le réchauffement climatique actuel, des études ont prouvé une démultiplication des séquences de sécheresse sur six à huit ans dont les répercussions sont importantes sur les ressources en eaux. (Rahariaona Raharison, 1997). Selon les propos de Derlin Zinsou E., Président du Conseil de la Francophonie en 1995 : « Pour le XXI^e Siècle, la sécheresse, que ses causes peuvent être naturelles ou anthropiques, constituera le phénomène climatique dont l'impact sur les processus écologiques fondamentaux, sur la productivité biologique, sur la santé et la vie des populations. Plusieurs centaines de millions de personnes sont ou vont être confrontés dans les prochaines années à la sécheresse et à la désertification ».

Cette situation se rencontre également dans d'autres pays, comme exemple, on peut citer la célèbre dune du Pilat dans la Région Aquitaine (France), la partie Sud du Sahel au Maroc (Boujdour), en Espagne (Donana), en Algérie (El Melha), etc. Le devenir de ces écosystèmes dunaires varie en fonction de la situation économique des pays et aussi de la priorisation en

termes d'aménagement. Généralement, dans les pays développés, l'aménagement fragilise les dunes vulnérables qui tendent à disparaître du fait de l'accroissement urbain et l'augmentation du taux d'urbanisation dans les zones côtières et marins (IUCN, 2012). Par contre, pour les pays en voie de développement, les dunes constituent des menaces et des risques majeurs du fait de l'absence de techniques de valorisation ou de l'insuffisance d'aménagement et de protection.

2. *Choix et intérêts du sujet de recherche*

Inspiré par nos acquis antérieurs concernant la géomorphologie dynamique et voulant faire une spécialisation en milieu littoral et marin, nous avons effectué un stage d'imprégnation au sein de WWF-Madagascar dans le but de renforcer les connaissances théoriques, d'élargir les savoirs en termes de systèmes de protection du littoral. Ce stage a permis de constater de visu les réalités sur le terrain dans les zones très enclavées. La passion de la nature nous a incité à entreprendre une étude sur les écosystèmes dunaires. La durée du stage était très limitée mais a permis de faire une reconnaissance du terrain de recherches.

Par ailleurs, une formation universitaire au sein de la Faculté des Sciences, dans la Mention : Bassins Sédimentaires, Evolution, Conservation (BEC), et le parcours intitulé : Patrimoine Scientifique Aménagement et Expertise des Ecosystèmes (PSAEECO), l'intégration dans la spécialité : Dynamique et Expertise des Environnements Limnique, Littoral et du Plateau Continental (DELL) a permis de mieux comprendre le milieu étudié. Cette formation académique offre plusieurs savoirs essentiels en terrain sédimentaire comme l'étude des processus sédimentaires, la sédimentologie, la stratigraphie et aussi la géorisque.

L'insuffisance des données récentes publiées (Battistini R., 1964 ; Sourdat M. ,1977 ; Salomon J.N. 1987 ; Ranaivoarisoa F., 2010 ; Rarivoarison H., 2013) sur cette région Sud de Madagascar et cela malgré le fait que la zone est scientifiquement intéressante, a actuellement suscité l'attention de nouvelles recherches en préparation dont ce mémoire.

3. *Problématique de la recherche*

Depuis l'Holocène, des formations caractéristiques ont été édifiées avec des architectures différentes des temps anciens (Veyret, 2001).

Actuellement, l'environnement terrestre se dégrade de façon exponentielle. Le changement global de l'état de la planète s'observe surtout à travers le climat. Les effets du changement climatique s'amplifient de plus en plus suite aux activités humaines. L'utilisation des combustibles fossiles et le non-respect de l'environnement, pollution et toutes autres formes de mutations constituent les principaux facteurs du changement climatique accéléré.

Sur une échelle régionale ou locale, l'impact de ce grand fléau se fait de plus en plus sentir comme le cas du dynamique des écosystèmes dans le temps et dans l'espace. L'érosion se renforce à travers sa vitesse et la taille des sédiments à transporter.

Sur le littoral Mahafaly, à partir de la mise en place des formations dunaires, de l'Holocène, jusqu'à l'Actuel, ces complexes dunaires ont présenté une évolution considérable. De plus, suite à l'anthropisation du milieu, l'espace occupé par les formations végétales diminue progressivement. Les enjeux et problématiques se tournent ainsi sur le devenir de l'espace Mahafaly face au contexte des dunes vives. Les réflexions se portent sur le concept des formations superficielles qui occupent l'ensemble du littoral Mahafaly :

« Dans quelle mesure les formations superficielles anciennes et actuelles peuvent-elles démontrer les variations spatio-temporelles du milieu naturel dans le Sud-Sud-Ouest de Madagascar ? »

Cette étude vise à démontrer l'évolution et les changements qui existent dans le milieu à travers les formations superficielles du Quaternaire. Ces objectifs poussent à faire une vérification des hypothèses suivantes :

- Les études sédimentologiques et stratigraphiques permettent de caractériser l'origine des sédiments.
- La compréhension de l'évolution spatio-temporelle du littoral Mahafaly peut se démontrer à partir des formations superficielles.
- L'utilisation de la télédétection est efficace pour dégager les changements du milieu.

Ainsi, Cette recherche se divisera en trois grandes parties, tout d'abord, la première partie évoquera les caractéristiques des formations superficielles selon leur morphologie, la granularité et la typologie. Ensuite seconde partie déterminera les facteurs du milieu favorisant le transfert sédimentaire. Enfin cette recherche développera les indices permettant de prouver les mutations remarquables au niveau du littoral Mahafaly.

DEMARCHE ET OUTILS DE RECHERCHE

a- *La documentation*

Dans le cadre de la réalisation de cette recherche, la constitution de base de données s'avère indispensable. Un inventaire bibliographique a été réalisé auprès de plusieurs centres de documentation et bibliothèques. Par ailleurs, force est de noter que les documents concernant l'extrême Sud-Ouest reste limité, ce qui a constitué l'une des contraintes persistantes lors de cette recherche. De plus, certains documents ont été inaccessibles du fait qu'ils sont sous format microfiche ou inexistant à Madagascar ou leur état s'est détérioré du fait de leur ancienneté (Vers 1926-1949). Quelques ouvrages ont pu être consultés au sein des établissements suivants :

- Le Centre de Documentation et d'Information de la Mention Géographie
- La Cartothèque de la Mention Géographie
- La Bibliothèque de l'Université d'Antananarivo
- Le Centre d'Information et Documentation Scientifique et Technique (CIDST) à Tsimbazaza
- La bibliothèque du Service Géologique de Madagascar située à Ampandrinomby
- Le Centre de Documentation de l'Institut Halieutique et Sciences Marines à Tuléar
- Centre National de Données Océnographiques à Tuléar
- Le Centre de Documentation du Laboratoire de Paléontologie et de Biostratigraphie au sein de la Mention Bassins Sédimentaires, Evolution, Conservation.

b- *Conception des modèles cartographiques*

Dans le cadre de la conception des outils cartographiques, l'utilisation des outils et traitement de données à l'aide du SIG a été très utile. Essentiellement, des images satellites Google Earth qui datent de 1989 à 2016 ont été téléchargés pour visualiser les changements palpables dans l'espace Mahafaly. Pour les modélisations numériques, des données ASTER DEM de résolution de 30 m et de SRTM de résolution de 90 m ont été traitées pour comprendre l'ensemble de l'espace. Les bases de données BD 500 et BD 100 fournis par la FTM ont été utilisées pour les différentes cartes thématiques. Ces données GRID permettent de concevoir des cartographies automatiques mais aussi de confectionner des modèles 3D pour une vision numérique des formes du terrain.

Cette recherche a également employé la télédétection¹. Son utilisation a été facilité par l'aide auprès de la Mention Information Géographique et Aménagement du Territoire à l'Ecole

¹ Télédétection : selon Selon la commission interministérielle de la terminologie de la télédétection aérospatiale en 1988, la télédétection est un ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distances, sans contact matériel avec ceux-ci.

Supérieur Polytechnique de Vontovorona. Ce mode de traitement consiste à superposer des images satellites Landsat 7, Landsat 4 et 5 de différentes dates afin de dégager l'évolution du milieu. Il permet aussi de savoir à distance les éléments figurées dans l'espace Mahafaly. Notamment, la télédétection a été très utile pour savoir les différentes mutations dans cette zone de recherche.

Les systèmes de gestion de base de données utilisées dans cette recherche sont l'Arc GIS 10.2.2, le logiciel Surfer 12, le logiciel Strater 3 et IDRISI Selva pour la télédétection. Les traitements statistiques ont été faite à partir des logiciels SPSS Statistics 20 et de R i386.3.3.2

c- *Les travaux de terrain.*

Les travaux de terrain ont été faits afin de constater de visu le phénomène dune vivante mais aussi pour valider les hypothèses établies. Plusieurs tâches ont été réalisées et organisées pour des raisons pratiques. Une série de questions a été posée aux responsables communaux et quelques habitants afin de comprendre le mécanisme et les impacts de la dynamique des dunes. (Annexe 1)

Les prélèvements d'échantillons de sables respectent des codages. Une technique d'inventaire au niveau de Parc de l'Isalo qui considère les désignations géologiques des sites de prélèvement a été utilisée dans le cadre de cette recherche pour une bonne gestion des données de terrains (Randrianaly, Di Cencio, Rajaonarivo, & Raharimahefa, 2016). Cette technique consiste à entrer dans une fiche technique (Annexe 2) les données permanentes sur terrain concernant chaque lieu de prélèvement et y adjoindre un codage et une numérotation. Sur terrain, l'observation des formations dunaires a permis de faire une reconstitution du paléoenvironnement mais aussi de voir l'évolution des sables suivant la direction des vents. Cela consiste à mesurer sa hauteur, prendre des échantillons, indiquer son état actuel. Par ailleurs, force est de noter qu'il s'avérait difficile de trouver des coupes naturelles dans cette zone malgré les parcours entrepris. De plus, l'étendue spatiale de la zone n'a pas permis de l'explorer en totalité, à cela s'ajoute les conditions climatiques du milieu très aride et une difficulté dans la circulation à travers les sables de dunes. Afin de bien montrer les étapes sur terrain, une carte de l'itinéraire des travaux a été élaborée. (figure 2)

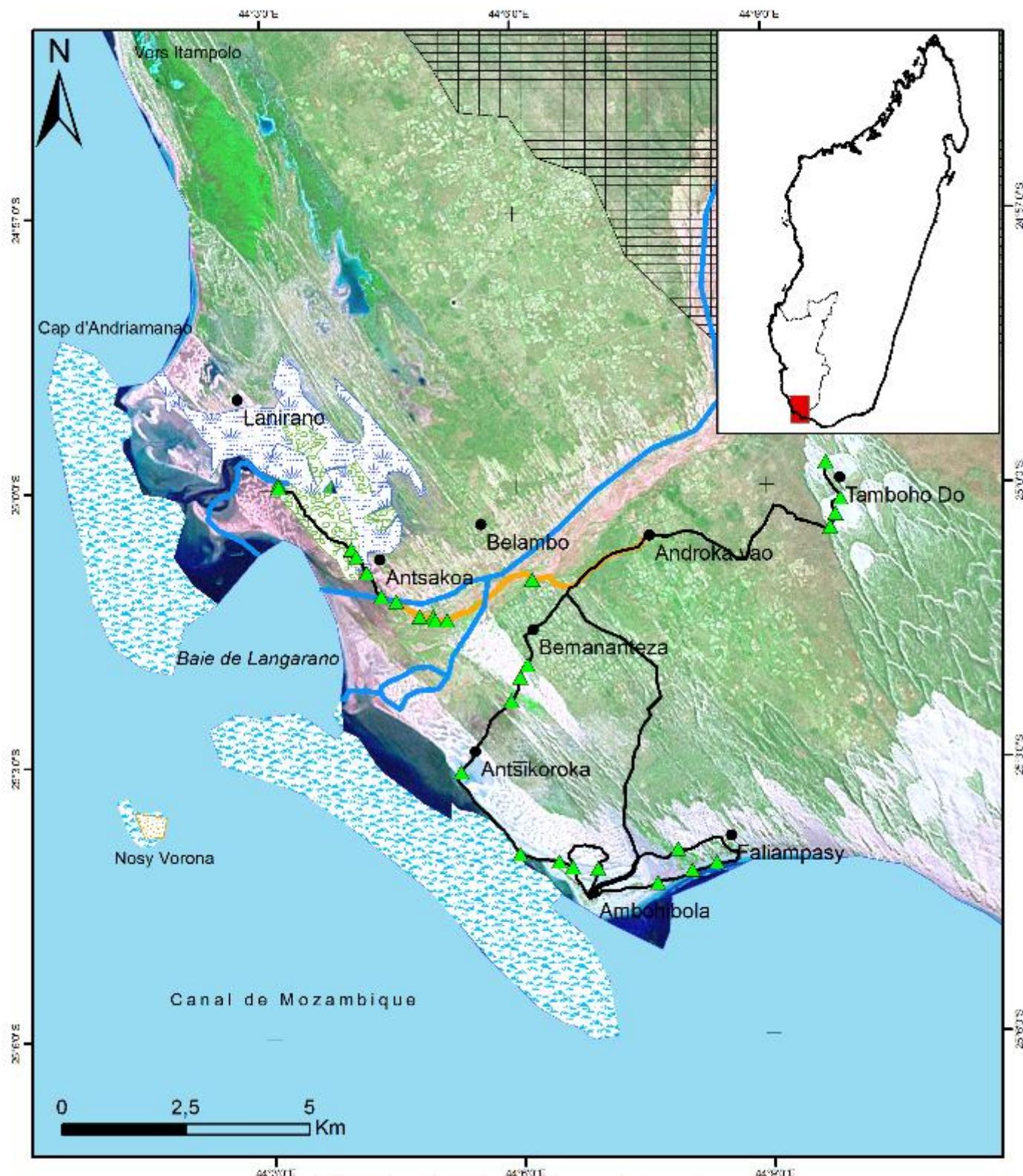


Figure 2. Itinéraire des travaux de terrain

Légende

- ▲ Point de prélèvement d'échantillon
- Plateau Mahafaly
- Mangroves
- Marais salant
- Récif
- Cours d'eau
- à pieds
- en charette
- Localité

Conféctionnée par RAKOTONDRAMASY A.H.

Source: BD 100 FTM

Projection Laborde Madagascar

Décembre 2016

d- Les travaux de laboratoire

- **La granulométrie**

Par définition, la granulométrie est une étude de la répartition de la dimension des éléments d'une roche détritique. Les échantillons utilisés sont des sables.

Ils ont consisté à faire des analyses granulométriques et sédimentologiques. Les études granulométriques ont été réalisées auprès du laboratoire de Géologie, de la Faculté des Sciences, à l'Université d'Antananarivo. Pour ce laboratoire, seule la fraction grossière peut être analysée à partir d'un tamisage sec mais les particules très fines nécessitent une analyse par densimétrie. L'objectif est de connaître la taille des particules de sables issues des prélèvements réalisées sur terrain et de les comparer avec les études déjà entamées sur la zone afin de connaître l'évolution des dunes. (Migniot, 1986).

Un protocole de traitement des sédiments a été suivi durant cette étude en laboratoire.
(Annexe 3)



Photo 1 : Un tamisat mesuré sur la balance de précision

Cliché de l'Auteur (2016)

Tableau 1. Taille des grains avec les séries de tamisage

Série de tamis	Ouverture de tamis (en mm)
1 ^{ère} série	>5
	5
	2
	1,60
	1,25
	1
	0,800
2 ^{ème} série	0,630
	0,500
	0,400
	0,315
	0,250
	0,200
3 ^{ème} série	0,160
	0,125
	0,100
	0,080
	0,075
	0,063
	<0,063

Source : Auteur (2016)

Toutefois, les échantillons de tailles grossières ont pu être analysés par tamisage mais les fractions fines ont été analysées par morphoscopie seulement.

Les résultats peuvent être interprétés sous deux formes. Soit à l'aide d'un tableau qui montre les tailles des grains en fonction du pourcentage cumulé du refus de tamis, soit à partir d'un graphique représentant la taille de grains. Cela nécessite l'utilisation d'un papier semilogarithmique fourni par le LNTPB afin de faciliter la lecture et la catégorisation des grains de sable. A cela s'ajoute l'emploi d'une méthode de classification utilisée par Wentworth (1922) dans la classification des grains (figure 3) et aussi de la classification de Folk (1968) (figure 4) en termes de bilan sédimentaire.

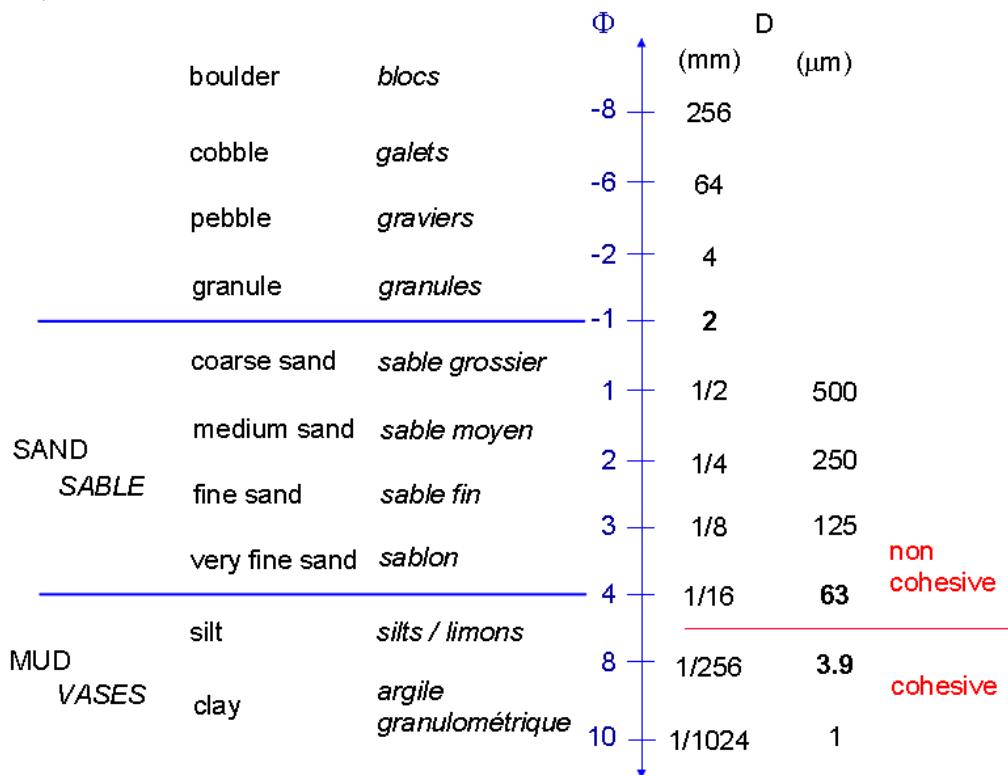


Figure 3. Classification des grains selon Wentworth (1922) (Syvitski, 2001)

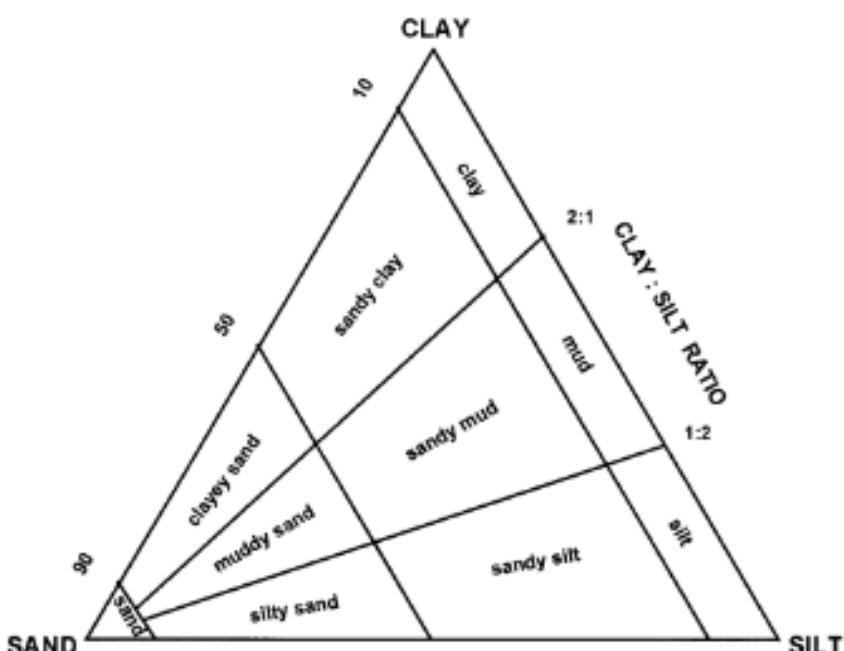


Figure 4. Classification des grains selon Folk (1968)



Photo 2. Une série de tamis posée sur la machine à secousse

Cliché de l'Auteur (2016)

- *La morphoscopie*

L'analyse morphoscopique permet de caractériser la morphoscopie des grains de sable et connaitre la composition minéralogique. Elle nécessite l'emploi d'un microscope USB capable d'agrandir en image de haute résolution les grains de sable. Cette étude est très intéressante du fait que cela permet de savoir l'origine des sédiments et de comprendre leur évolution.

Parts of Microscope



Photo 3. Microscope digital USB

Source : Manuel du Microscope Digital USB

Les différentes étapes de la recherche décrites ont ainsi permis de faire une description et une analyse précise des formations dunaires du delta du fleuve de la Linta.

PREMIERE PARTIE
LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

Généralités

Le littoral Mahafaly est une vaste plaine littorale qui forme au niveau d'Androka, le delta de la Linta. (figure 5) L'altitude moyenne sur le littoral est de 5 m.

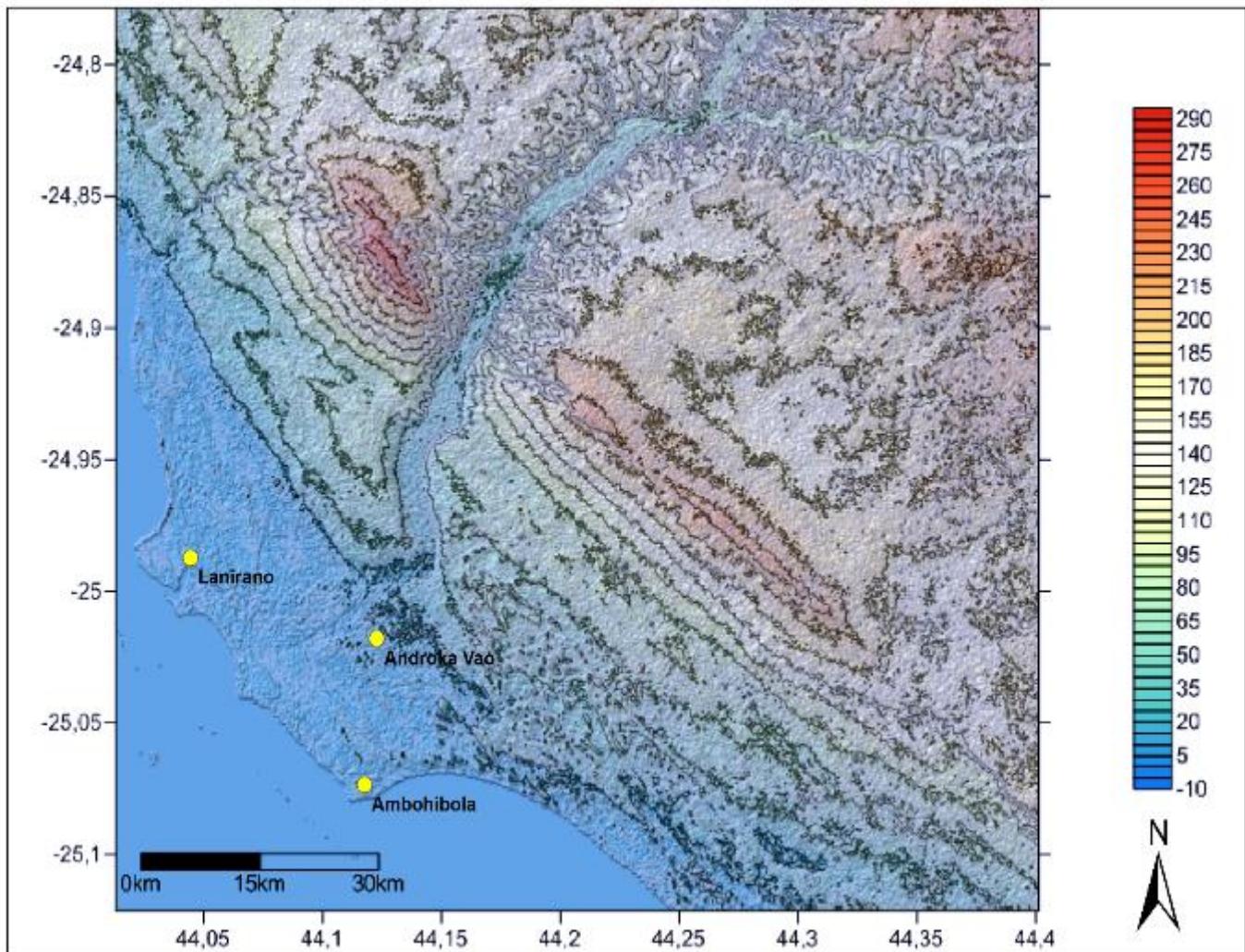


Figure 5. Les courbes de niveau du Littoral Mahafaly

Traitée sous Surfer 12 par l'Auteur

Ce milieu fait partie de l'Embere (Annexe 4) qu'a qualifié Battistini (1964) dans sa thèse. Du point de vue structurale, l'ensemble repose sur des grès calcaires. Ainsi, de nombreuses néoformations sont venues recouvrir ce substratum durant le Quaternaire. Les épisodes de recouvrement sont bien marqués suite aux différentes transgressions marines dont Battistini avait déterminé la datation. Plusieurs corrélations sont les fruits des recherches menées par de nombreux chercheurs à travers le pays comme Rossi G. dans l'Extrême Nord (1975), Salomon J.N. (1987) dans le Sud-Ouest au niveau de Toliara. Ces auteurs se rejoignent sur la stratigraphie du Quaternaire malgache dans la mise en place des grands bassins sédimentaires et l'originalité de l'*Aepyornien*. Il est à signaler que les formations auxquelles

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

cette recherche se réfère, comprennent des accumulations de sables Actuel et Sub-Actuel c'est-à-dire du Flandrien. Alors, les formations superficielles remarquables de cette zone sont les dunes récentes et actuelles de l'Extrême Sud-Sud-Ouest de Madagascar au niveau du delta de la Linta. Afin de déterminer la datation de ces formations, cette recherche s'aligne sur la découverte des débris d'œufs d'Aepyornis dans les formations dunaires que Battistini a aussi évoquées dans sa recherche. Lors des travaux de terrain, ces débris d'œufs ont été découvert du côté d'Ambohibola et de Tamboho Do. (tableau 2)

Tableau 2. Tableau des coordonnées géographiques des localités de débris d'œufs d'Aepyornis.

Localité	Altitude (m)	Coordonnées Lat./Long		Coordonnées UTM	
		Latitude	Longitude	X	Y
Ambohibola	10,9	S 25°04'118"	E 044°06'422"	164965	115292
Tamboho Do	58	S 24°59'627"	E044°09'495"	170396	122297



Photo 4. Débris de coquilles d'œufs d'Aepyornis dans la localité d'Ambohibola

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

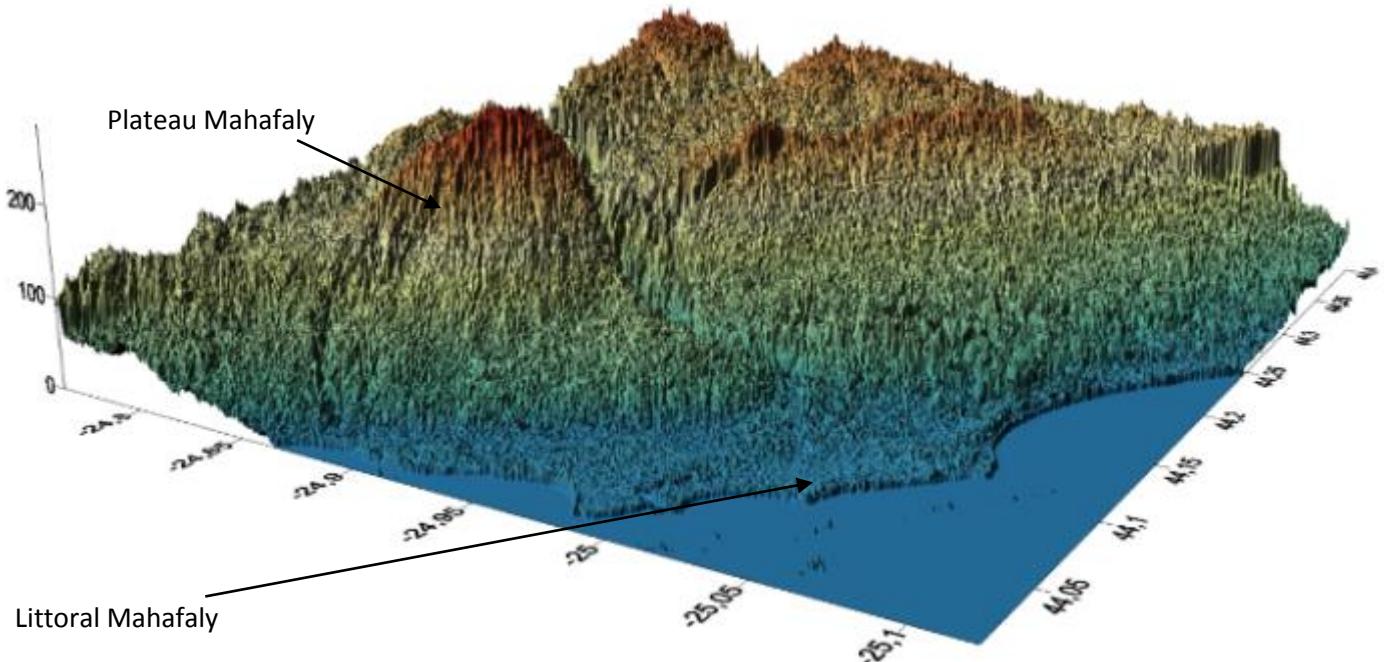


Figure 6. Vue 3D de l'espace Mahafaly

Traitée sous Surfer 12 par l'Auteur

La vue 3D (figure 6) montre clairement la situation générale de cette zone de recherche par rapport à l'ensemble du paysage mahafaly.

CHAPITRE I. LE SECTEUR NORD : LANIRANO

I.1. LES CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES DE LA ZONE

Le secteur Nord de la Linta est un sous-espace très particulier. Le paysage se présente en une platitude généralisée mais parsemée de collines dunaires dont la hauteur moyenne est de 10 m. Elles ont une forme de barkhane simple et s'allonge sur une direction SO-NO.

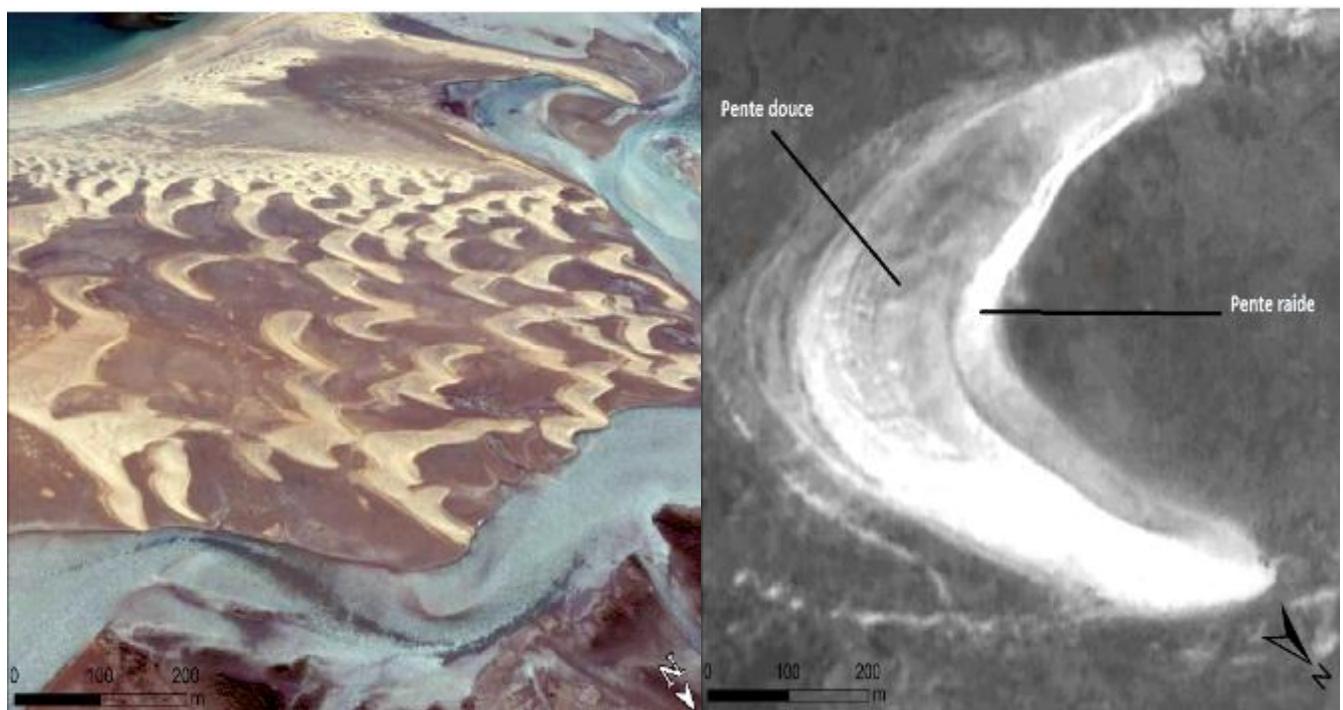


Photo 5. Morphologie générale des barkhanes dans le secteur de Lanirano

Source : Image Google Earth 2016 – Modifiée par l'auteur

La première image montre l'aperçu général de l'ensemble des formations dunaires dans la zone de Lanirano. Elles sont constituées de barkhanes qui sont des dunes mobiles. La seconde image montre la configuration d'une vue plus détaillée de la formation. L'anatomie d'une barkhane est composée : d'une pente douce, d'une pente raide, d'une crête, et de deux têtes. Des ripples et des rides sont essentiellement observables dans les zones interdunaires mais aussi sur les flancs doux des dunes.

En somme, les dunes dans la zone de Lanirano occupent une superficie considérable et reste très active sur le littoral mahafaly. La hauteur des dunes ne montre aucune variation remarquable qui marquerait le paysage. (figure 7)

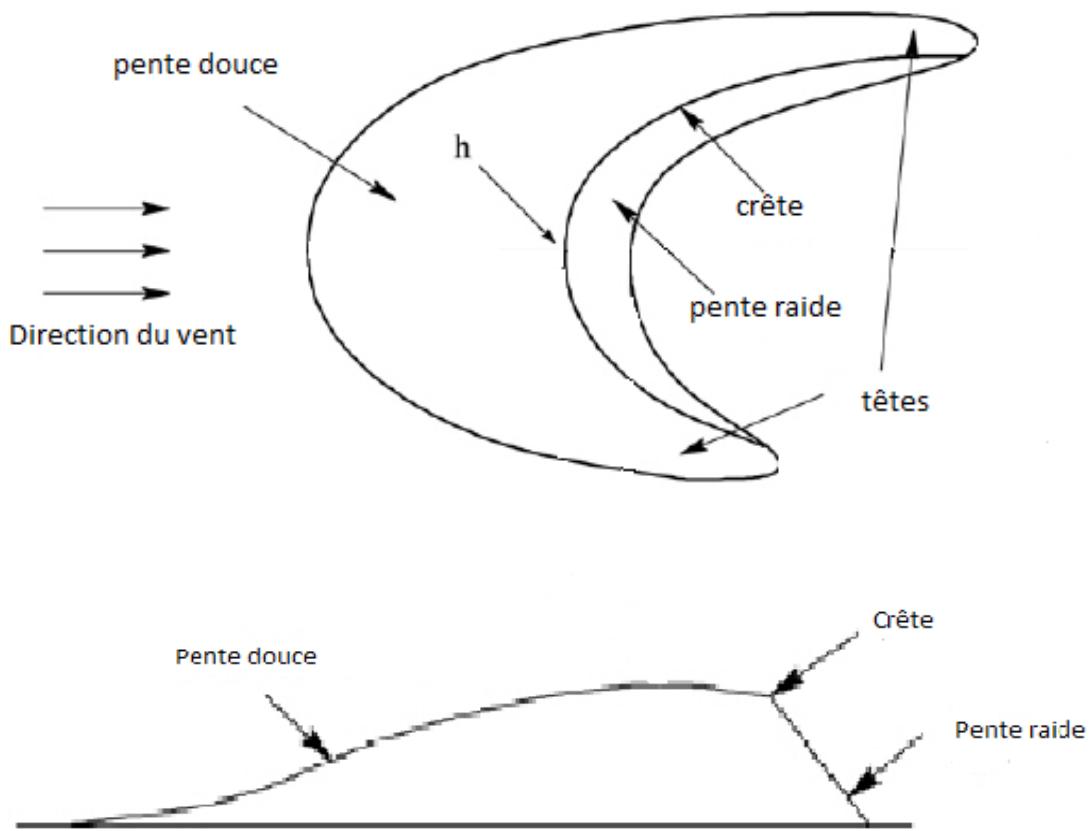


Figure 7. Anatomie d'une dune barkhane

Source : Barry, 2007 ; modifiée par l'auteur

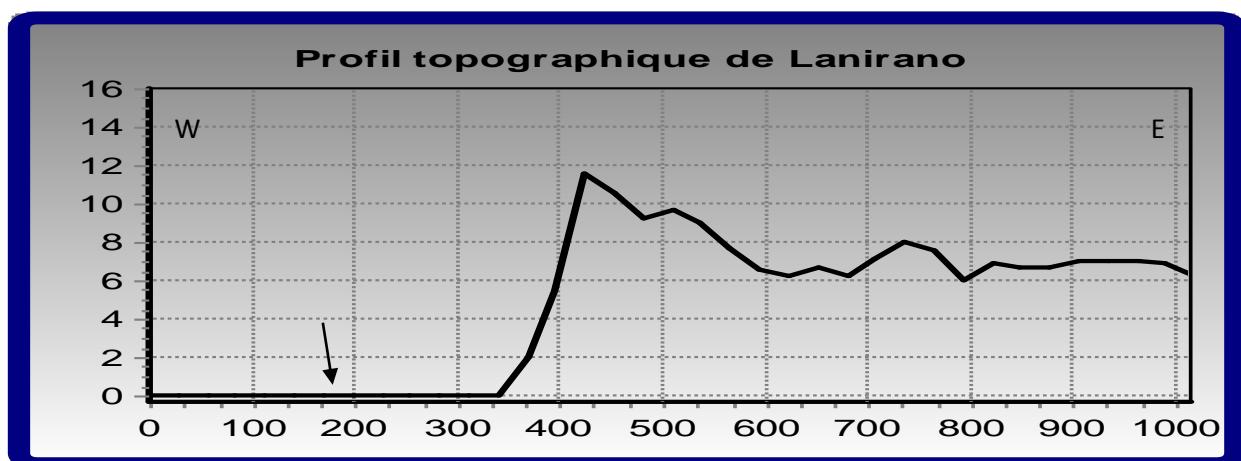


Figure 8. Profil topographique au niveau de Lanirano

Traité par l'auteur sous ArcGIS 10.2

I.2. LES CARACTERES GRANULOMETRIQUES

L'analyse granulométrique a permis de dégager la taille des grains. Pour Lanirano, les sédiments sont très fins, ce qui rendait difficile leur traitement.

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

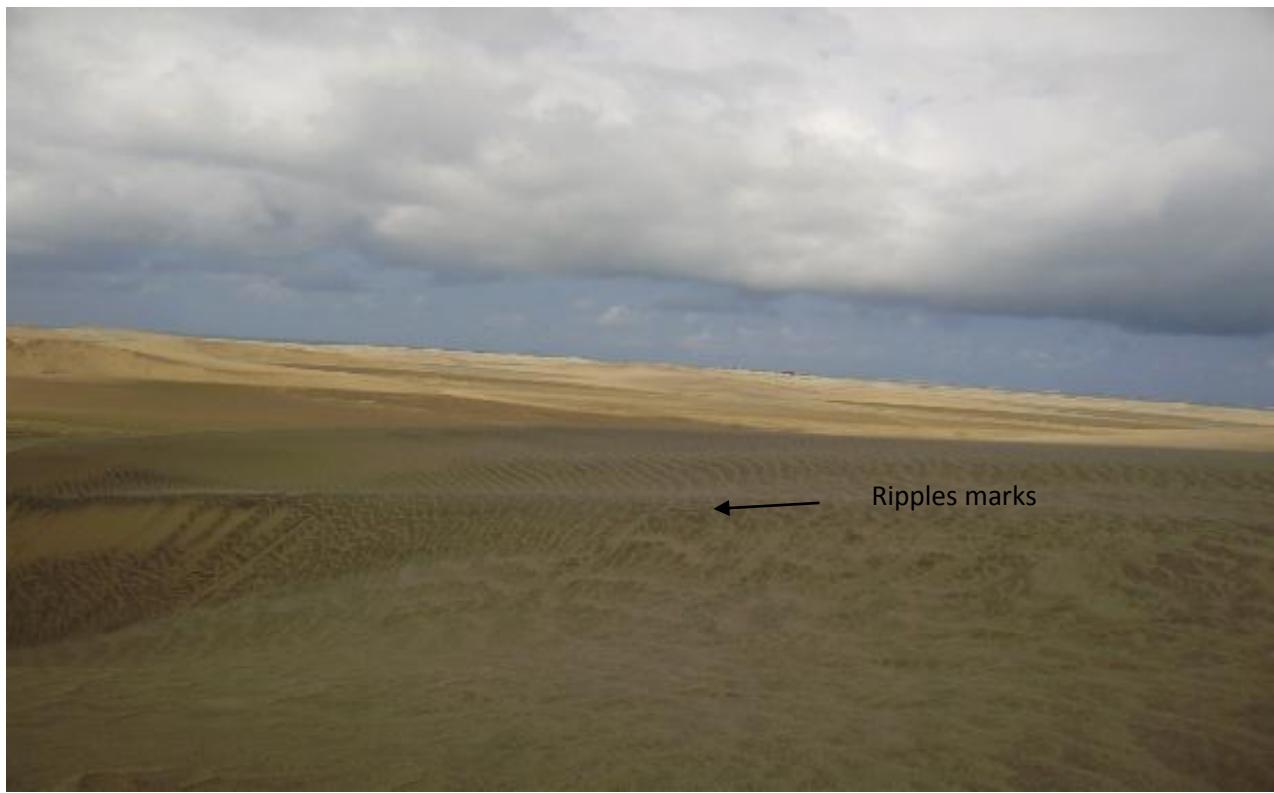


Photo 6. Champ de dune du côté de Lanirano

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)

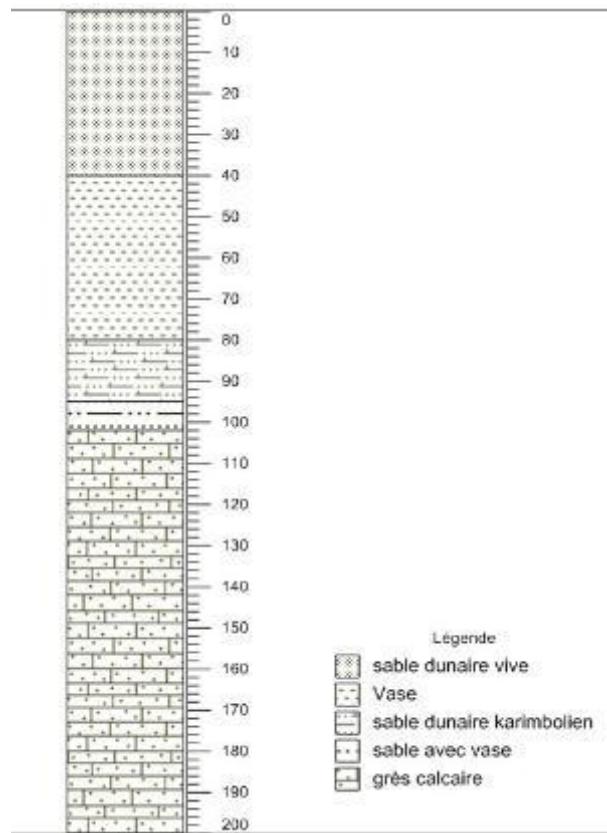


Figure 9. Colonne lithostratigraphique au niveau de Lanirano.

Confectionnée à partir de Stater 3.

Tableau 3. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique de Lanirano

Ouverture du tamis	% du tamisat cumulé
2	98,34
1,6	98,34
1,25	98,34
1	98,34
0,800	97,74
0,630	97,64
0,500	97,34
0,400	96,44
0,315	96,24
0,250	81,24
0,200	71,24
0,160	60,64
0,125	40,94
0,100	8,34
0,080	1,64
0,075	0,14
0,063	0,12

Source : Auteur (2016)

Il est bien de noter qu'une tolérance de 2 % est acceptable dans le cumul du tamisat suite à une rétention de quelques grains dans le tamis ou par perte inopinée.

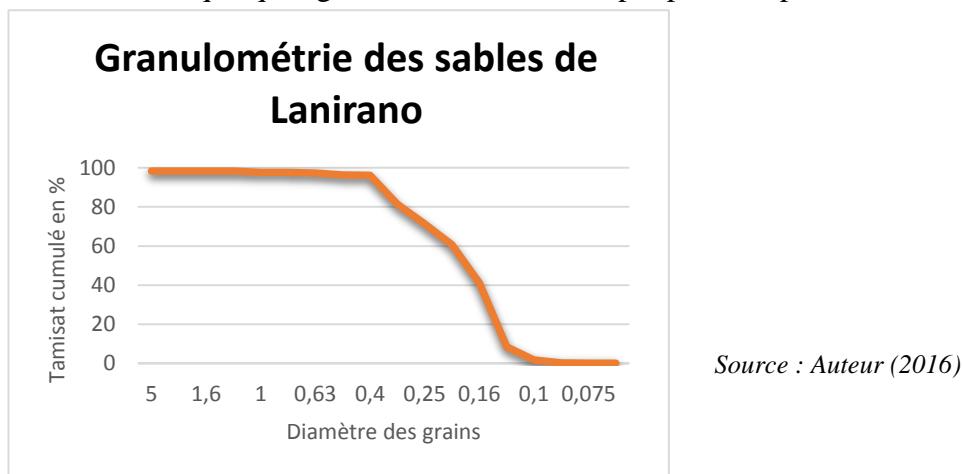


Figure 10. Courbe de l'analyse granulométrique de Lanirano

Cette courbe montre la taille des grains dans l'échantillon pris au niveau de Lanirano. Elle permet de classifier les grains selon leur taille. Suite à l'utilisation d'un papier semi-logarithmique (Annexe 5), les sables de Lanirano sont composés de sables grossiers à sables fins. Selon la classification de Wentworth (1922), il s'agit de sables moyens et sables fins. La courbe des fréquences simples de l'échantillon de Lanirano est unimodal, c'est un échantillon homogène. Alors, 75 % des dimensions de grains dans l'échantillon mesure 1,5 mm.

Tableau 4. Les paramètres analytiques de la courbe granulométrique de Lanirano

Paramètres statistiques	Taille de grains (mm)
Médiane = Q50	1,15
Q 75	1,5
Q 25	0,55

I.3. LES CARACTERES MORPHOSCOPIQUES DES GRAINS

A partir de la taille de ces grains, il peut être déduit l'origine fluviatile des sables dans cette partie de Lanirano. Mais en analysant la photo 7, les grains présentent des surfaces émuoussées très avancées. Parfois, ils sont arrondis. La surface des grains est dépolie et de forme ronde. Généralement, la couleur dominante est mat. Cela est dû au choc fait par le transport aérodynamique. L'action répétée du vent provoque le dépolissage des grains.

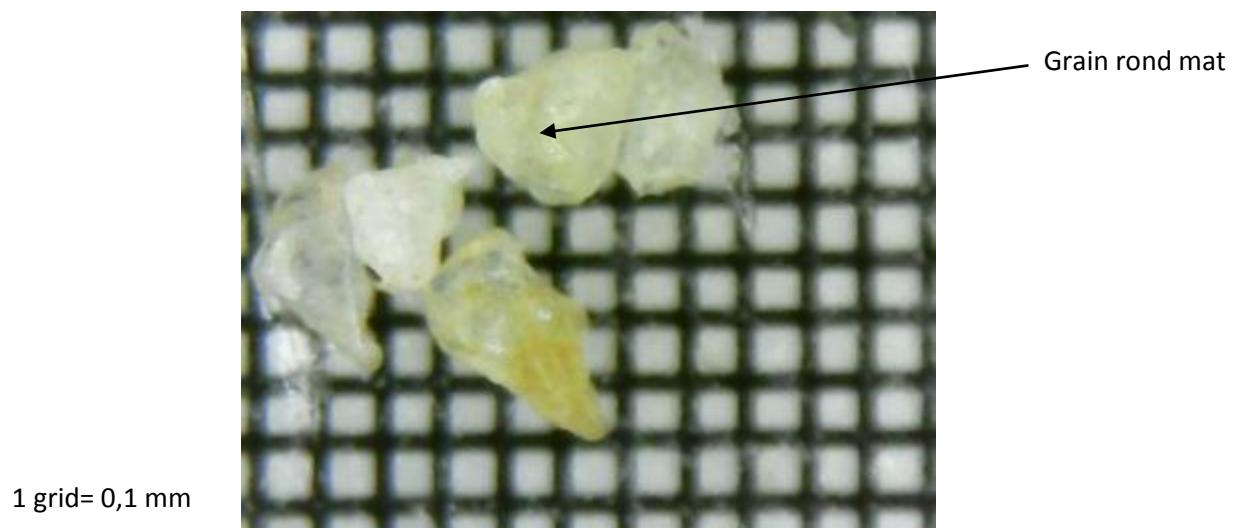


Photo 7. Analyse morphoscopique de l'échantillon de Lanirano *Cliché de l'Auteur (2016)*

A comparer avec les études de Battistini (1964), les résultats sont identiques. En effet, il évoque que les sables de dune de la rive droite de la Linta sont constitués de sables transportés par le fleuve dont le lit est très large. Malheureusement, cet auteur n'a pas fait des analyses granulométriques au niveau de cette partie mais a tout simplement fait des déductions et hypothèses d'ensemble. La figure 9 met en relief la stratification lithologique dans cette partie. Il est tout à fait remarquable que l'ensemble repose sur de grès calcaire. Une variation lithostratigraphique s'observe du fait de la sédimentation fluviatile et éolienne. La succession de dépôts se fait horizontalement.

Cette recherche a pu vérifier l'évolution spatiale des sédiments. L'ensemble est compartimenté par de petits massifs dunaires flandriens. Toutefois, dans la morphologie de détail, des ripples marks sont observés sur les flancs doux des dunes qui traduisent l'évolution continue des particules par la force éolienne. Leur direction est identique à celle du vent. Un marais de Mangroves régulièrement inondé se trouve à proximité de ce champ dunaire. Il est relié par la mer grâce à des chenaux ou arroyos. C'est une large tanne vive qui est occupé par les sols salées. Elle est formée par des roches évaporites constituée d'Halite (NaCl) en majeure partie.

CHAPITRE II. L'EMBOUCHURE DE LA LINTA

L'embouchure de la Linta est caractérisée par une accumulation massive de bancs de sables sur les deux rives. Sa capacité de chargement est très intense et les accumulations constituent des bourrelets d'une hauteur de 3 à 4 m environ. Les alluvions rendent difficile l'écoulement du fleuve. Ainsi, la Linta est obligée de se frayer des passages entre les bancs de sable en formant des bras et méandres. À travers cette situation, l'embouchure de la Linta peut être classifiée comme un delta digité. Force est de noter que le régime hydrographique de la Linta dépend essentiellement des précipitations et crues en amont du bassin, c'est-à-dire au niveau d'Ejeda. Pourtant, les crues exceptionnelles lors des cyclones et tempêtes restent les principaux agents édificateurs du delta.

Concernant la dynamique fluviale, les crues façonnent les lits du cours d'eau. Parfois, lors des crues très abondantes, la rivière peut monter et dépasser les bourrelets de berges situés dans le lit majeur. Ces berges étant formées en partie par des sables fins sont faciles à éroder. La configuration topographique du fleuve comprend un lit mineur dont les sables sont de tailles grossières. Ceci est prouvé à partir d'échantillon pris au niveau d'Androka Vao. Ensuite ce lit mineur est limité dans sa partie septentrionale par des dunes à sables fins qui s'accumulent suite aux apports continentaux et éoliens. Dans sa partie méridionale, une ancienne terrasse alluviale limite le cours d'eau. Ayant effectué des analyses comparées, il s'agit de sédiments à caractère loessique c'est-à-dire une accumulation de sédiments mixtes à la fois fluviale et éolien. (Photo 8). Fluviale parce qu'il y a une concentration en limons et argiles très importantes et aussi on observe quelques grains de quartz dans la formation. Elle est caractérisée également par une origine éolienne du fait qu'il existe certaines particules allochtones suite à la présence de quelques matières organiques très fines. La nature continentale des dépôts est confirmée par des coquilles de gastéropodes terrestres. Cette formation est fortement lessivée surtout les calcaires. (figure 11)

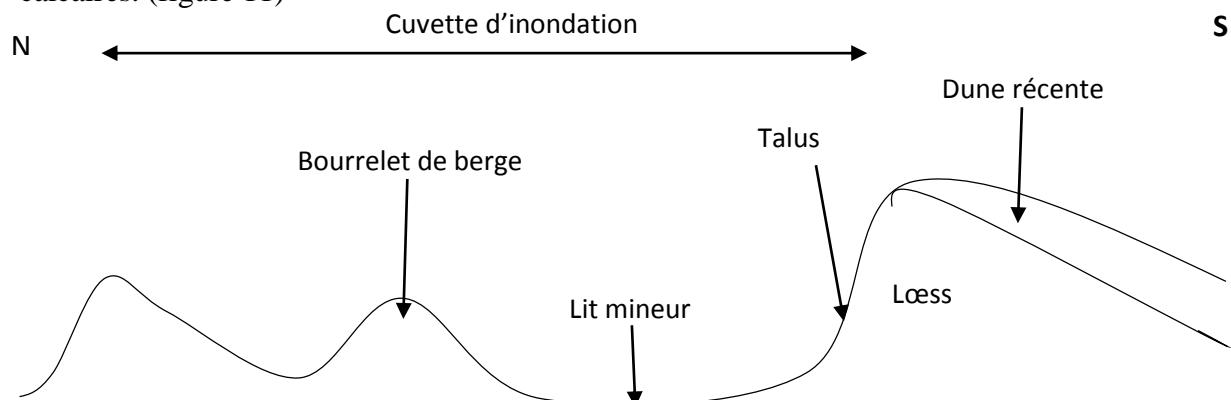


Figure 11. Profil de la dynamique fluviale de la Linta

Source : Auteur (2016)

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA



Photo 8. Formation à caractère lœssique ensevelie par des dunes récentes

Cliché de l'Auteur (2016)

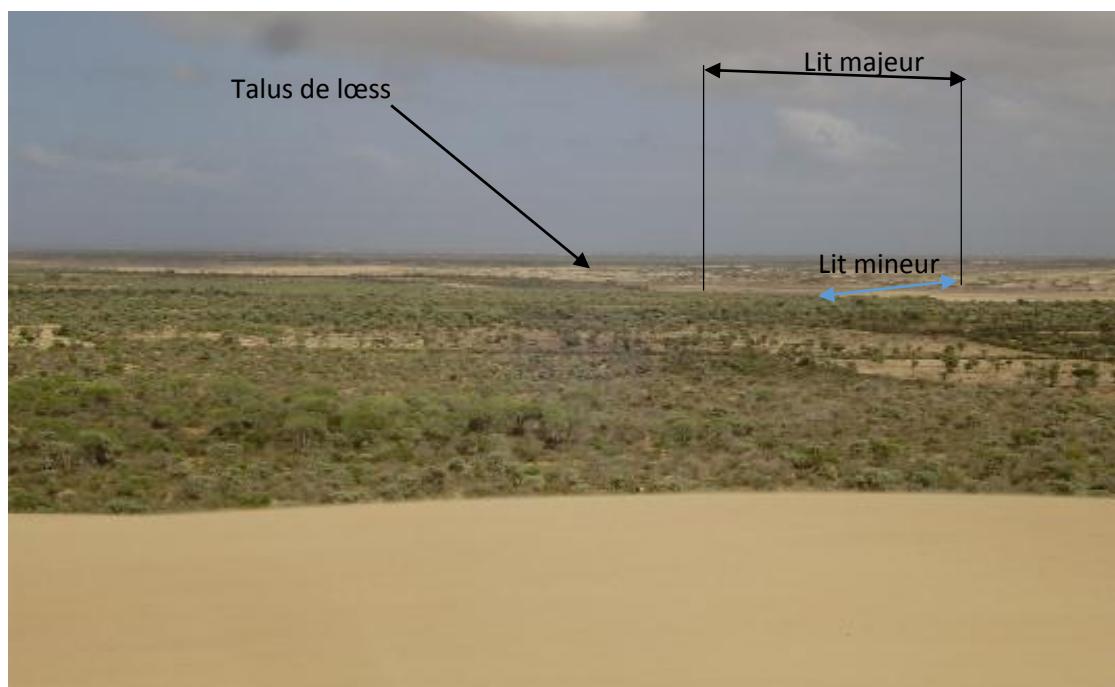


Photo 9. Vue panoramique sur l'embouchure de la Linta

Cliché de l'Auteur (2016)

Pour comprendre le fonctionnement de la Linta, il s'avérait importante de faire une analyse granulométrique de quelques échantillons dans le lit mineur (figure 12) du fleuve à des lieux différents.

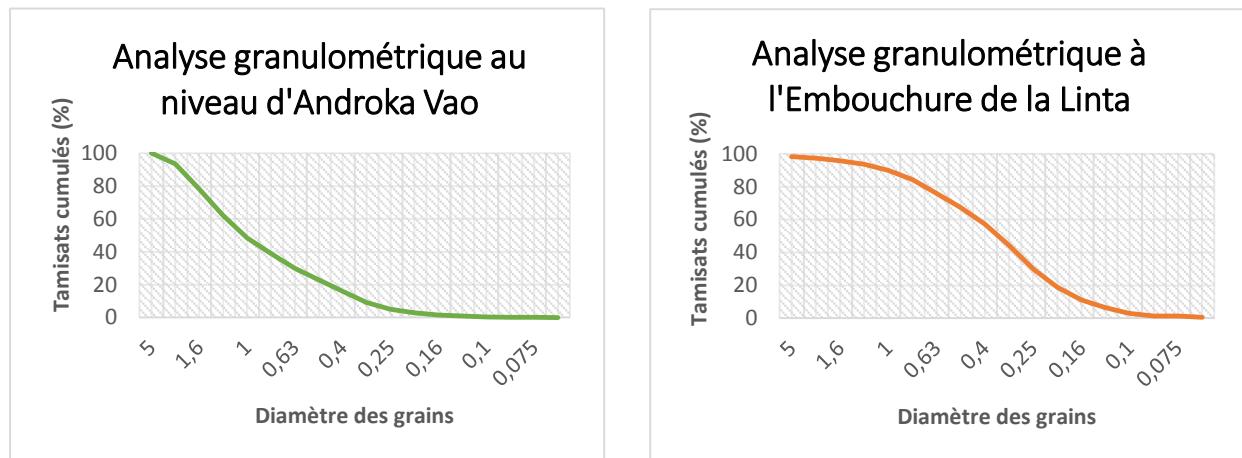


Figure 12. Courbes de l'analyse granulométrique d'Androka Vao et à l'Embouchure de la Linta

Source : Auteur (2016)

Tableau 5. Paramètres analytiques des courbes d'Androka Vao et de l'Embouchure de la Linta

Androka Vao	
Paramètres statistiques	Taille de grains (mm)
Médiane = Q50	1,1
Q 75	1,5
Q 25	0,55

Embouchure Linta	
Paramètres statistiques	Taille de grains (mm)
Médiane = Q50	0,35
Q 75	0,55
Q 25	0,25

Tableau 6. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique Androka Vao et de l'embouchure

Androka Vao		Embouchure Linta	
Ouverture du tamis	% du tamisat cumulé	Ouverture du tamis	% du tamisat cumulé
5	100	5	98,35
2	93,45	2	97,35
1,6	78,15	1,6	95,85
1,25	62,15	1,25	93,7
1	48,4	1	89,9
0,800	38,95	0,800	84,4
0,630	29,95	0,630	76
0,500	23	0,500	67,4
0,400	16	0,400	57,2
0,315	9,2	0,315	44,4
0,250	5	0,250	29,9
0,200	2,8	0,200	18,8
0,160	1,6	0,160	11
0,125	0,9	0,125	6,4
0,100	0,4	0,100	2,9
0,080	0,2	0,080	1,4
0,075	0,1	0,075	1,3
0,063	0,05	0,063	0,6

Les résultats de l'analyse granulométrique des deux échantillons (figure 12 et tableau 5) montrent clairement des différences du point de vue de la taille des grains (tableau 6). Pour les deux échantillons, il est constaté que ce sont des échantillons homogènes c'est-à-dire que la courbe des fréquences simples est unimodale. Dans l'analyse des détails, ces deux échantillons sont différents. La taille des grains au niveau d'Androka Vao est encore plus grossière par rapport à ce qui est au niveau de l'embouchure. A Androka Vao, la majorité est composée de sables grossiers à sables fins. 75 % de l'échantillon sont formés par des grains à plus de 1,5 mm. Selon la classification de Wentworth (1922), la taille des particules les caractérise à de granules à sables grossiers.

Par contre, celui pris aux environs de l'embouchure de la Linta présente des grains de sables plus ou moins fins. 75% de l'échantillon sont formés de grains à 0,55 mm de diamètre. Selon la classification de Wentworth (1922), il est catégorisé dans sables moyens à sables fins (Annexe 6). En regardant le diagramme de texture des sédiments selon Folk (1968), il est classé dans les fractions sableuses et fines.

Selon la recherche de JUNG.J. (1977) sur la pétrographie des roches sédimentaires, l'origine de ces sédiments correspond bien à des roches détritiques. Il parle des particules ayant une taille entre 2 mm à 0,2 mm à des sables dont la consolidation forme des grès.

- ***La morphoscopie des grains***

D'après la photo 10, les grains présentent des formes émoussées luisantes c'est-à-dire qu'ils ont des angles émoussés, parfois arrondis mais les sommets et arêtes sont encore visibles. La surface des grains est luisante. On peut en conclure que ces sédiments ont subi un effet de transport et charriage hydrodynamique.

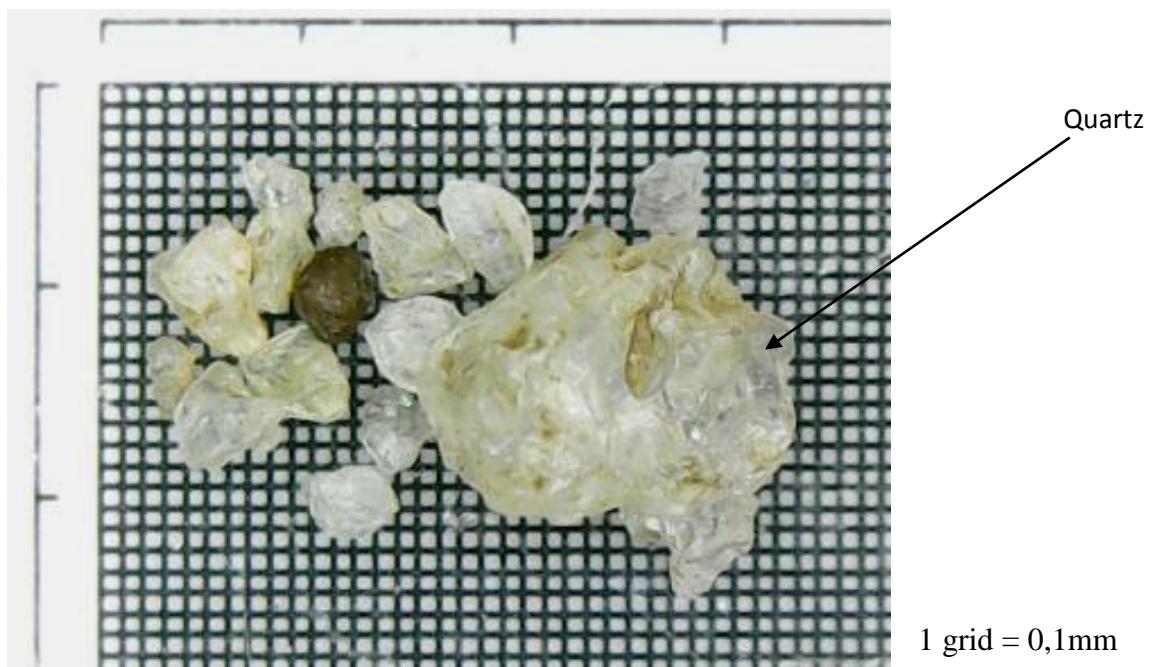


Photo 10. Morphoscopie des grains au niveau d'Androka Vao

Cliché de l'Auteur (2016)

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

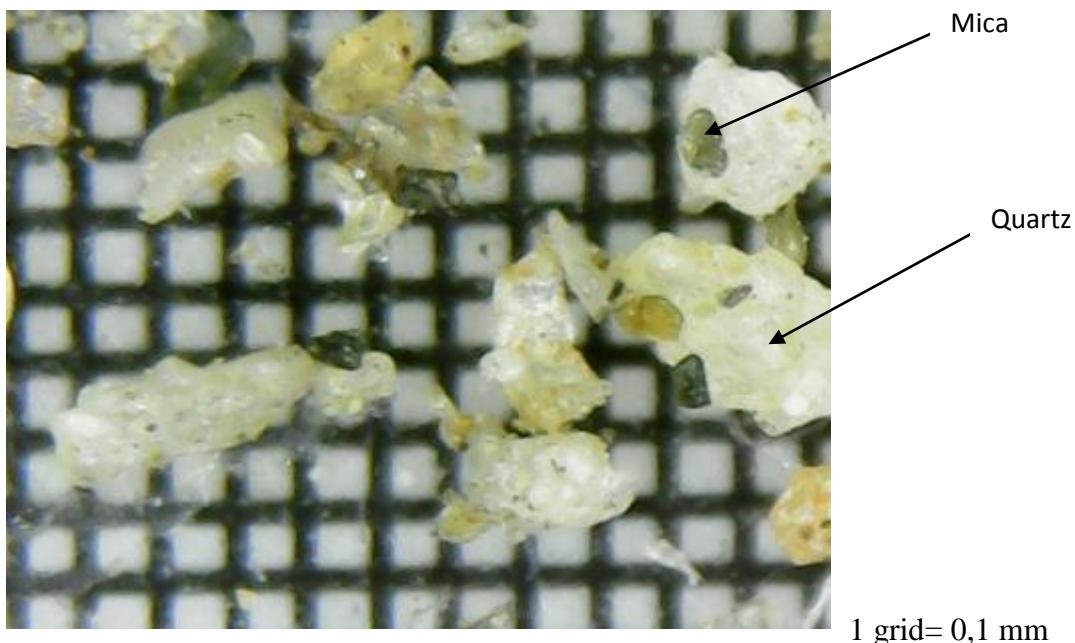


Photo 11. Morphoscopie des grains au niveau de l'embouchure de la Linta

Cliché de l'Auteur (2016)

Par ailleurs, l'analyse microscopique des sédiments au niveau de l'embouchure de la Linta appuie les résultats de l'analyse granulométrique effectuée. En effet, La taille des grains est très fine. Par conséquent, le transport fluvial modélise les grains à être émoussés et aussi luisants. Les deux échantillons ont les mêmes caractéristiques microscopiques.

Par ailleurs, pour mieux comprendre l'évolution géomorphologique (photo 12) du delta de la Linta, l'utilisation des images satellites est indispensable.

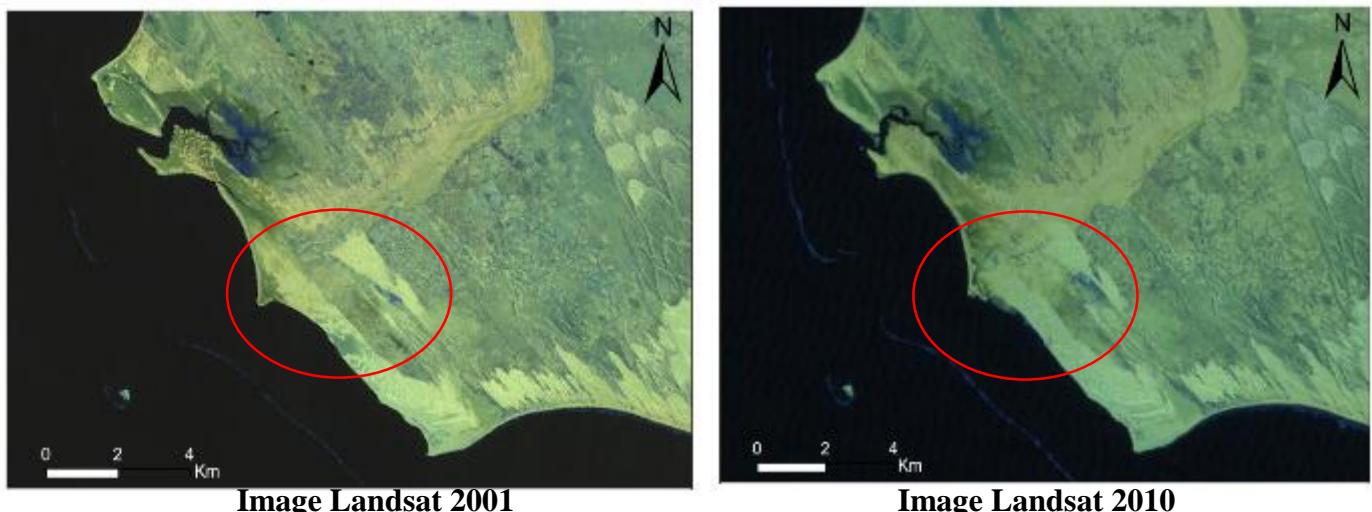


Photo 12. Image Landsat 4 de 2001 et Landsat 7 de 2010 de la zone de recherche

Source : Image Landsat 7 modifiée par l'auteur (2016)

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

La comparaison des deux images satellites, au niveau de l'embouchure de la Linta, montre une accumulation de sable charriée par la Linta et observable dans le lit mineur. Aussi, la superficie du delta a augmenté et le nombre des bras du cours d'eau se multiplient de plus en plus. La géomorphologie de l'embouchure a connu une mutation indiquée par le taux d'accumulation et la progression des sables dunaires venant du Sud. L'apport détritique silico-clastique prédomine la sédimentation au niveau de cette embouchure.



Photo 13. Limons et argiles dans le lit mineur du fleuve Linta Cliché de l'Auteur (2016)



Photo 14. Sables au niveau de l'embouchure de la Linta Cliché de l'Auteur (2016)

CHAPITRE III. LE SECTEUR DUNAIRE DU SUD

Le secteur dunaire du Sud comprend essentiellement trois grands massifs dunaires qui ont des morphologies très dominantes dans le paysage. Il convient de les étudier dans les détails selon leur granulométrie, leur texture et physiographie d'ensemble.

III.1. LE TAMBOHO D'ANDOLOBE

Le Tamboho d'Andolobe est un massif dunaire localisé dans le Fokontany d'Antsikoroka au Sud et très proche de l'embouchure de la Linta. Ce système dunaire a une hauteur moyenne de 5 m. La vue offerte par satellite montre son extension longitudinale formée par un regroupement successif de dunes étoilées ou digitées de direction Nord-Sud (photo 15). Il est parallèle à la plage. Sur le plan géomorphologique, il peut être considéré comme un énorme cordon littoral qui s'allonge sur une distance de 5 km. Il est formé par la succession de dunes transversales.



Photo 15. Massif dunaire d'Andolobe

Source : Google Earth 2016, modifiée par l'auteur

Il est important de préciser que les sables dunaires dans le Tamboho d'Andolobe (photos 15 et 16) sont extrêmement fins. Malheureusement, il était difficile de faire l'analyse granulométrique avec les moyens disponibles. L'analyse morphoscopique seulement fut exécutée afin d'avoir un aperçu sur la composition minéralogique et la forme des grains. La taille générale peut être déduite mais cela ne représente pas l'ensemble.



Photo 16. Le Tamboho d'Andolobe

Cliché de l'Auteur (2016)

- **Analyse morphoscopique**

La photo 17 présente la taille des particules qui sont très fines. Cela évoque une hétérogénéité des composantes de l'échantillon. La taille des grains est inférieure à $0,1\mu\text{m}$.

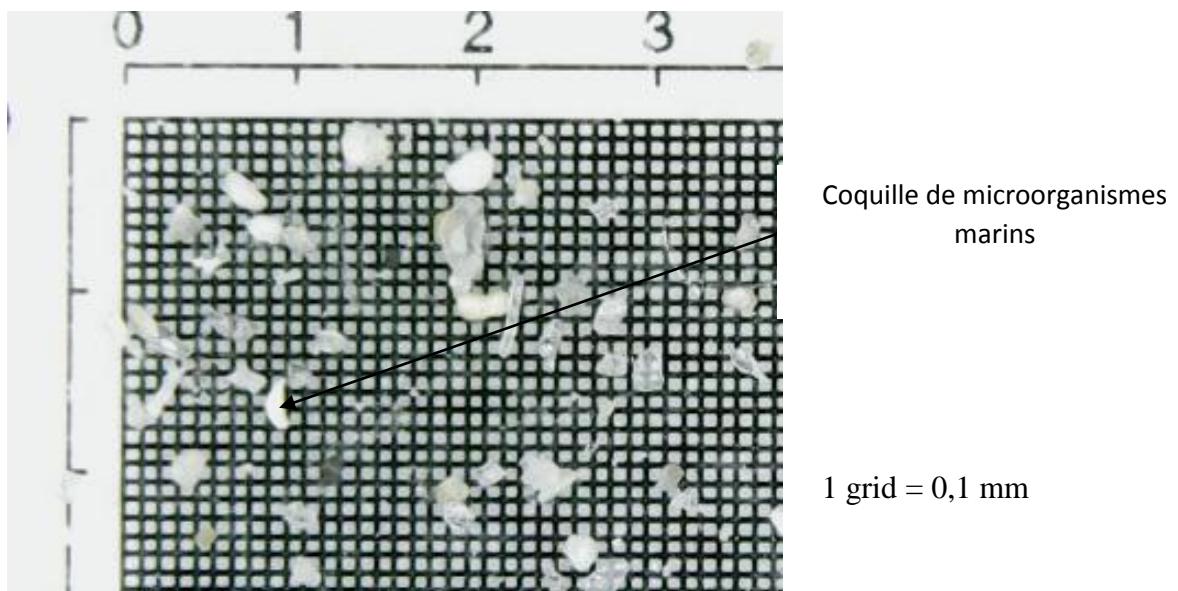
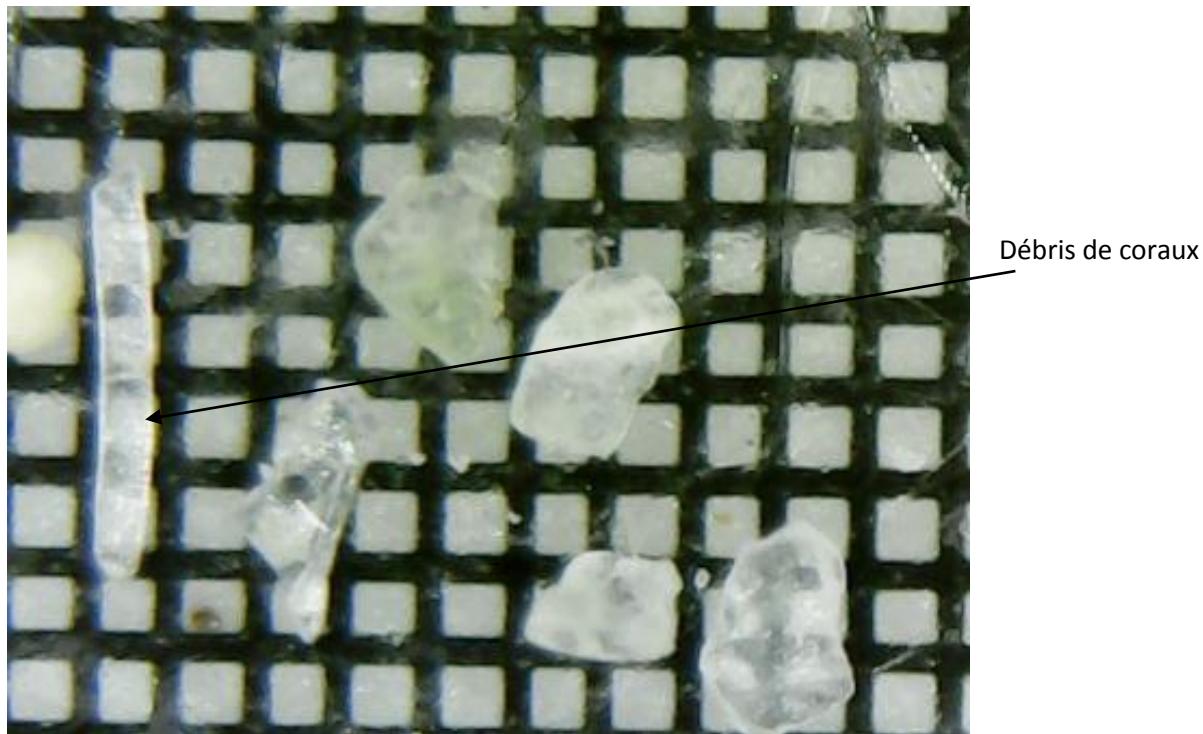


Photo 17. Analyse morphoscopique d'Antsikoroka

Cliché de l'Auteur (2016)



1 grid = 0,1 mm

Photo 18. Morphoscopie à Zoom x 200 de l'échantillon d'Antsikoroka

Cliché de l'Auteur (2016)

En zoomant à x 200, une analyse détaillée des grains a permis de montrer qu'ils sont très émoussés et tendent à être arrondis. La surface des grains est polie et on peut remarquer des impacts de chocs et de griffures. La couleur des grains est mate. Par ailleurs, plusieurs débris de microorganismes sont renfermés dans l'échantillon d'Andolobe. Ces organismes sont en majorité d'origine marine. Il s'agit de débris de coraux comme les éponges et aussi quelques squelettes de mammifères marins.

III.2. LE MASSIF DUNAIRE D'AMBOHIBOLA

Parmi les spectaculaires paysages dunaires du littoral Mahafaly figure le grand massif dunaire d'Ambohibola. Il s'agit d'une dune flandrienne. Des débris de coquilles d'œufs d'*Aepyornis* ont été découverts dans cette zone. Cela définit sa période de mise en place durant le Quaternaire. Le massif dunaire prend une forme barkhanoïde, mais aussi quelques formes paraboliques. (photo 19). La hauteur moyenne du Tamboho d'Ambohibola est aux environs de 15 m (photo 20).

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA

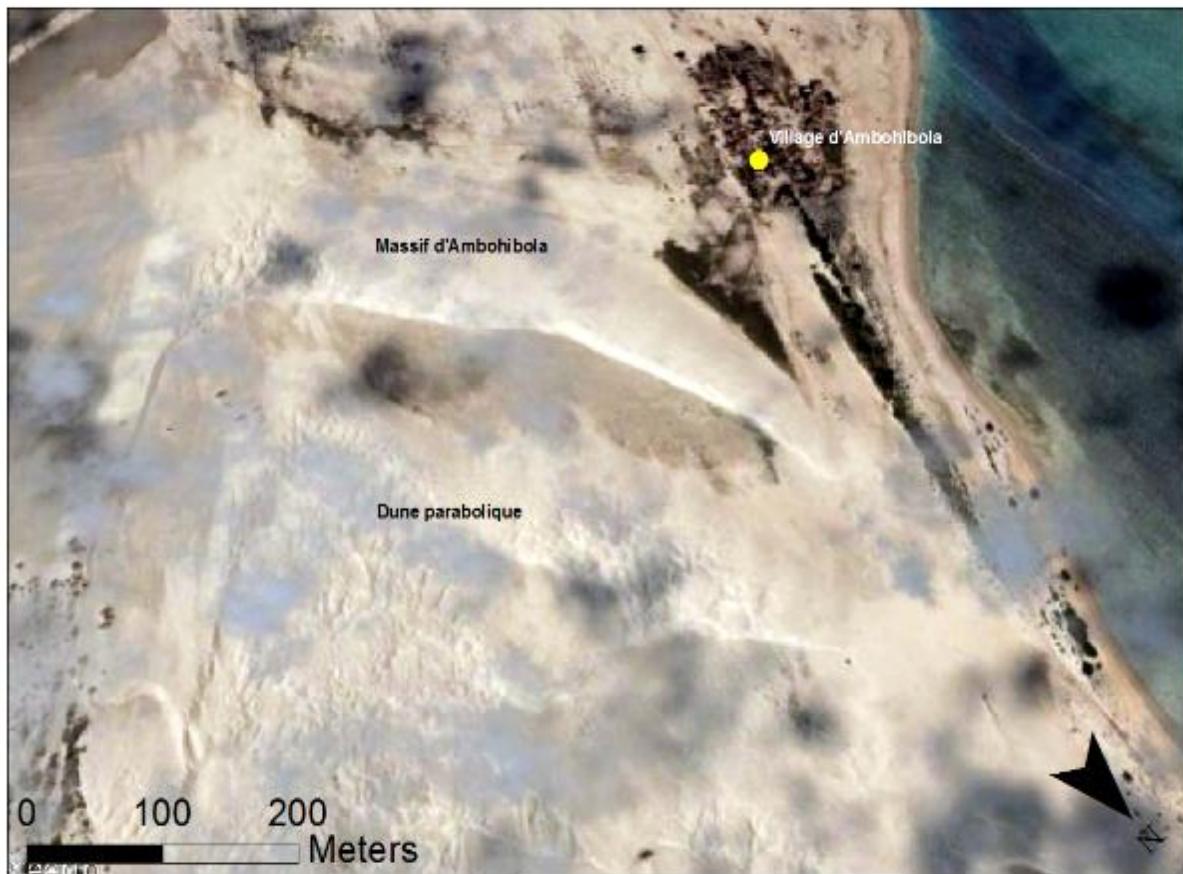


Photo 19. Le massif dunaire d'Ambohibola et ses environs

Source : Google Earth 2016, modifiée par l'auteur



Photo 20. Le massif dunaire d'Ambohibola

Cliché de l'Auteur (2016)

a- La granulométrie

L'échantillon a été pris au niveau du pied du Tamboho d'Ambohibola dans sa pente douce qui est exposée au vent. L'analyse granulométrique a dégagé le résultat suivant

Tableau 7. Tableau des résultats de l'analyse granulométrique d'Ambohibola

Ambohibola	
Ouverture du tamis	% du tamisat cumulé
5	99,45
2	99,15
1,6	96,45
1,25	84,85
1	61,85
0,800	46,25
0,630	42,15
0,500	40,95
0,400	39,85
0,315	38,75
0,250	37,15
0,200	34,6
0,160	29,3
0,125	18,9
0,100	4,1
0,080	0,6
0,075	0,5
0,063	0,1

Tableau 8. Paramètres analytiques de la courbe d'Ambohibola

Ambohibola	
Paramètres statistiques	Taille de grains (mm)
Médiane = Q50	0,9
Q 75	1,19
Q 25	0,15

Analyse granulométrique de l'échantillon d'Ambohibola



Figure 13. Courbe de l'analyse granulométrique d'Ambohibola Source : Auteur (2016)

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon d'Ambohibola (figure 13) montre que la taille des grains varie de sables un peu grossiers à sables très fins. Selon la classification de Wentworth, il s'agit de sables moyens et de sables fins car les particules en moyenne ont une taille de 0,9 mm. Selon la classification de Folk, les grains de sable sont constitués de sables fins. L'allure de la courbe présente une particularité par sa structure en palier étaged signifiant l'abondance des grains de tailles moyennes entre 1 à 0,2 mm. (Annexe 7). D'après les études pétrographiques menées par JUNG sur des roches sédimentaires, ce résultat signifie que l'échantillon est formé de sables et leur consolidation favorise la formation de grès.

b- La morphoscopie

Pour l'échantillon d'Ambohibola, la forme des grains est similaire à celle d'Antsikoroka comme étant très émoussée et arrondie. Par ailleurs, le degré d'érosion des grains est très poussé et rapide. Il est à noter que les particules présentent des diaclases remarquables. (photos 22 et 23)

LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA



Photo 21. Formation barkhanoïde et parabolique du Tamboho d'Ambohibola

Cliché de l'Auteur (2016)

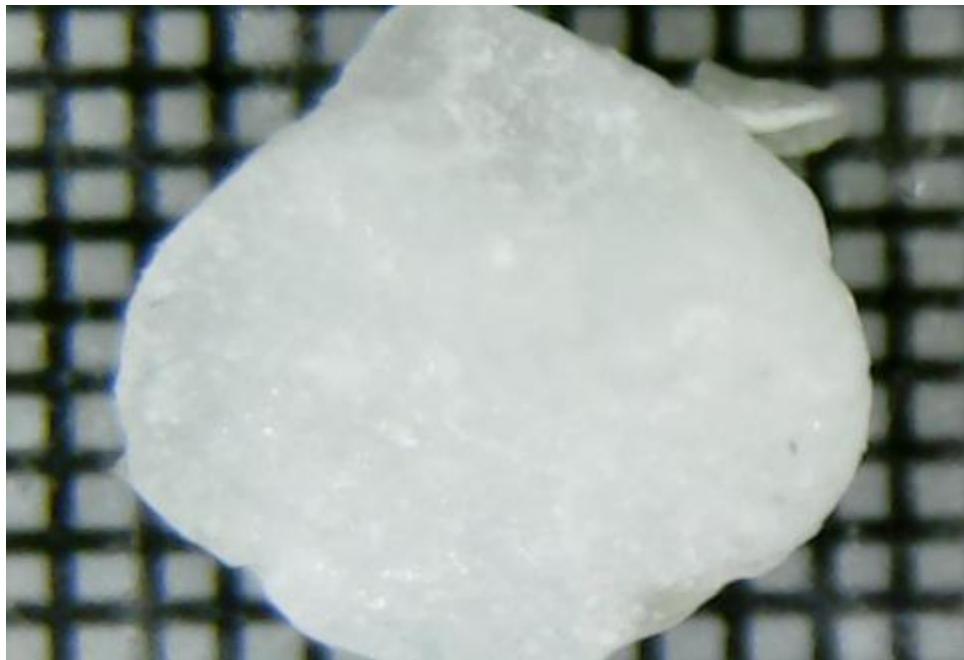


Photo 22. Grain émoussé de l'échantillon d'Ambohibola *Cliché de l'Auteur (2016)*

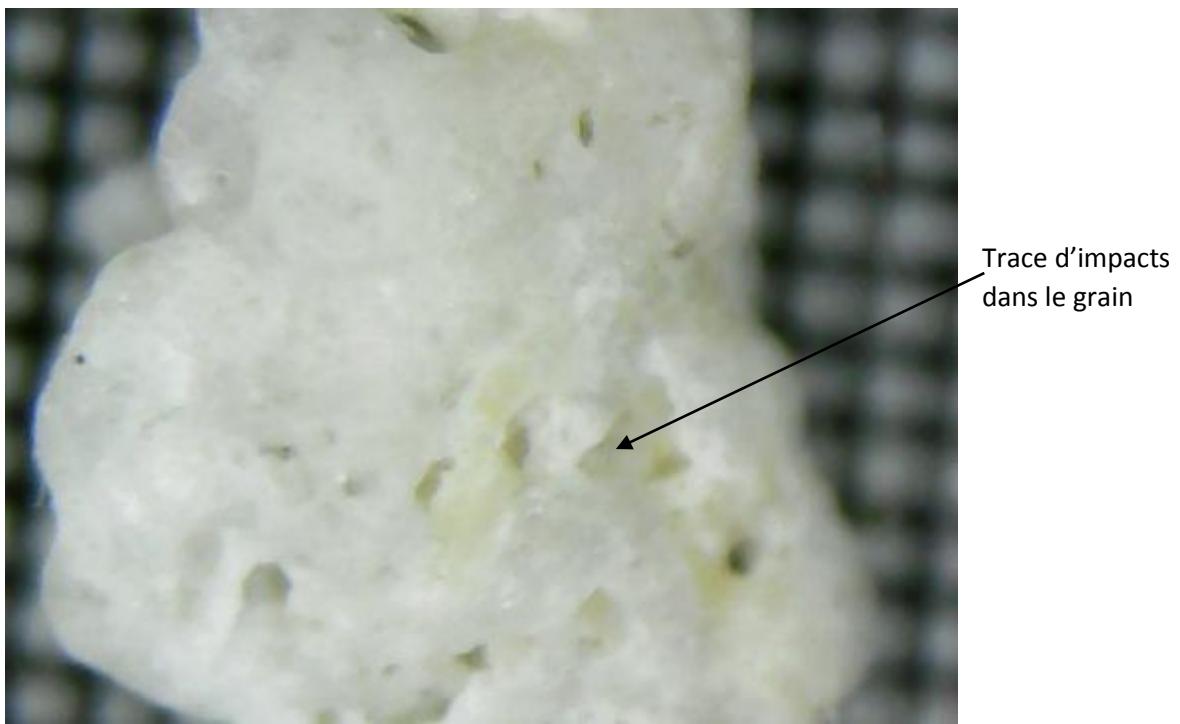


Photo 23. Diaclase dans le grain

Cliché de l'Auteur (2016)

Généralement, la composition minéralogique de l'échantillon comprend en majorité de grains de quartz associés à des matières organiques. Les débris de micro-organismes marins sont plus importants dans cette zone du fait de la proximité de la mer et l'action intense du vent.

En conclusion, les sédiments au niveau de Lanirano sont composés par des sables d'origine fluviatile venant de la Linta. Ils sont véhiculés par le vent et déposés dans cette zone en constituant des dunes de barkhane. Au niveau de la Linta, les sédiments subissent l'effet de l'hydrodynamique. Un système de grano-classement s'observe dans le mode de dépôt des grains. La taille des grains de sables diminue au fur et à mesure qu'ils sont transportés vers la mer. Dans la partie Sud de la Linta, l'origine marine des sédiments est identifiée. La taille des grains reste très fine. De nombreux débris de microorganismes marins sont retrouvés dans les sédiments.

Les analyses en détail des dunes permettent de comprendre l'origine des sédiments, les paysages formés. La mise en mouvement des particules est conditionnée par des paramètres spécifiques. Mais quels sont alors les agents de la dynamique sédimentaire ?

DEUXIEME PARTIE

LES AGENTS DU TRANSFERT SEDIMENTAIRE

Généralités

D'après l'IUCN, les dunes sont des écosystèmes terrestres localisés dans l'interface marin et continental. Elles sont des accumulations sédimentaires sableuses dont l'origine est spécifiquement éolienne (IUCN, 2012). Les systèmes dunaires font partie des mouvements géologiques externes ou géodynamique externe parce qu'elles ne sont pas statiques mais meubles et mobiles (figure 14). Une dune est une sorte de crête de sable déposée par le vent. (Brian & Stephen, 1999)

Par rapport aux déserts, les dunes sont presque identiques sauf que les superficies occupées les différencient. (Derrau, 1988). Le moteur essentiel du déplacement des écosystèmes dunaires est le vent. Sa capacité de transport de sédiments dépend de certains paramètres comme sa vitesse, le débit solide transporté par le vent. (Mignot, 1986; Brian & Stephen, 1999). En soufflant, le vent exerce sur les plages une action érosive. (Miossec , 1998).

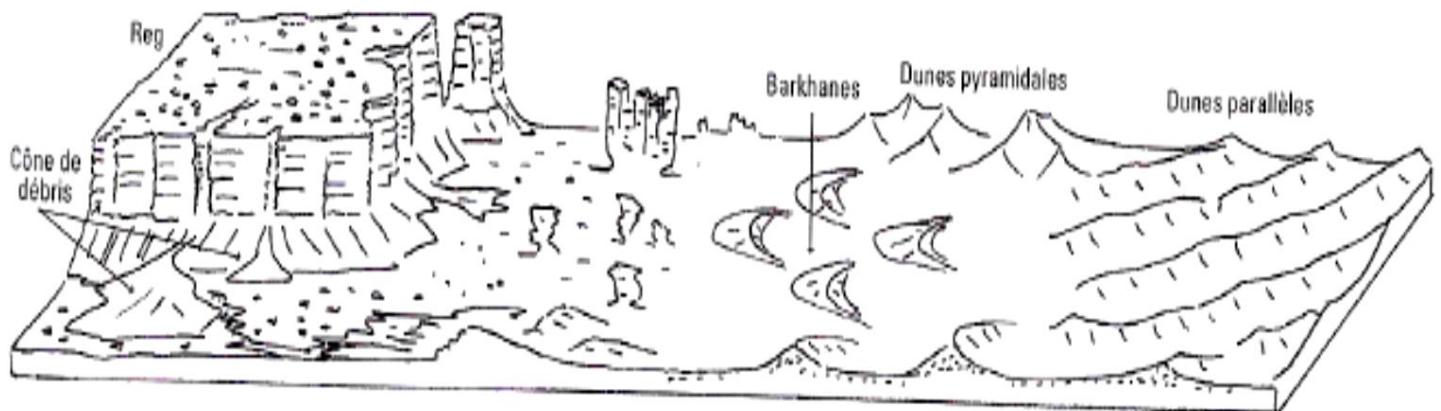


Figure 14. Bloc diagramme montrant un paysage dunaire (AMAT *et al.*, 1996)

CHAPITRE IV. LES FACTEURS AERODYNAMIQUES

Le transfert sédimentaire est expliqué par l'existence de plusieurs facteurs intervenant de manière inégale sur la zone de recherches

IV.1. LE FACTEUR EOLIEN

Le premier paramètre permettant le déplacement des particules est le vent. Il contribue dans la mise en mouvement, le transport et le dépôt des sédiments. Notamment pour le littoral Mahafaly, le vent est un élément essentiel à analyser dans le cadre d'une étude des formations dunaires. De plus les dunes sont le résultat de l'érosion éolienne. La modélisation numérique des transports éoliens a été étudiée par le physicien Bagnold R.A. (1937). La mise en mouvement des particules peut être calculée par la formule :

$$u^*_c = A \sqrt{\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)} g D$$

Avec les paramètres :

- " u^*_c " = Vitesse de frottement critique (en m/s)
- "A" = 0,1
- " ρ_s " = Masse volumique des grains 2 600 kg/m³
- " ρ " = Masse volumique de l'air 1,292 kg/m³
- "g" = 9,81 m/s²
- "D" = Diamètre des grains en mètre.

Pratiquement, on peut prendre pour du sable :

$$U^*_c = 14,3 \sqrt{D} \text{ Si "D" diamètre des sables en m}$$

Le débit solide par unité de largeur s'exprime par la formule :

$$q = \frac{C\rho}{g} \sqrt{D} D_r U^{*3}$$

- "C" Constante de BAGNOLD = 1,5 pour sable uniforme à 2,8 sable très dispersé
- " D_r " Diamètre de référence 0,25 mm
- " U^* " Définie précédemment (vitesse de frottement correspondant au régime de transport)

D'une façon plus pratique, le débit éolien par kg/m/ heure est calculé par la formule :

$$q = 854 \sqrt{\frac{D}{0,25}} U^{*3} \quad \text{Avec D en mm et } U^{*3} \text{ en m/s}$$

Ces formules mettent en valeur la force du vent dont dépend le transport. Il y a une grande relation entre la force du vent et la taille des particules. La capacité de transport par le vent est en fonction du diamètre des grains.

Des conditions sont requises pour entraîner les particules. En effet, il faut que la vitesse du vent soit à 25 km/h en moyenne et se situe à 30 cm au-dessus du sol, le diamètre des grains d'environ <0,1mm (figure 16). Mais pour une bonne efficacité, la vitesse du vent devrait être à 20 km/h ou 6 m/s. C'est la notion de vent efficace. (Ouillon, 2011 ; Jasper, Parteli, Timothy, & Karam, 2012).

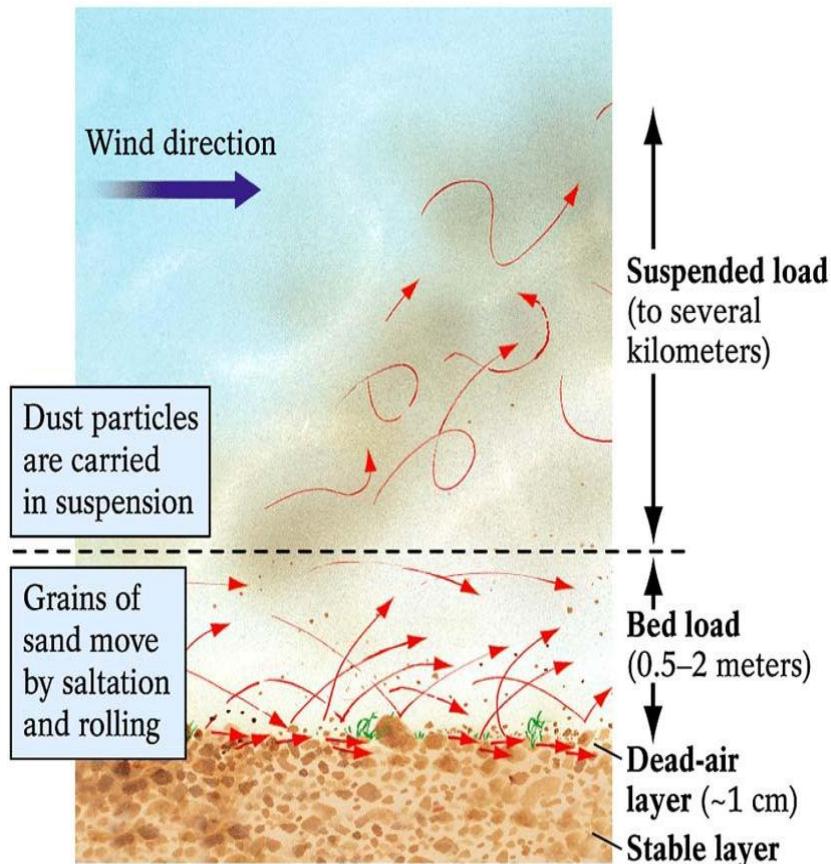


Figure 15. Récapitulation de l'action du vent au ras du sol (Ouillon, 2011)

Par ailleurs, il faut considérer le courant appelé laminaire qui se situe au ras du sol pour comprendre le mécanisme de déplacement des sédiments (figure 15). Les vents en altitude n'ont pas d'influence majeur sur ce processus sauf pour les modèles de grande hauteur. Un vent de force 4 sur l'échelle de Beaufort qui a une vitesse de 21 m/s a la capacité de faire déplacer un sable de 10 kg par mètre linéaire et par heure. (Miossec , 1998)

LES AGENTS DU TRANSFERT SEDIMENTAIRE

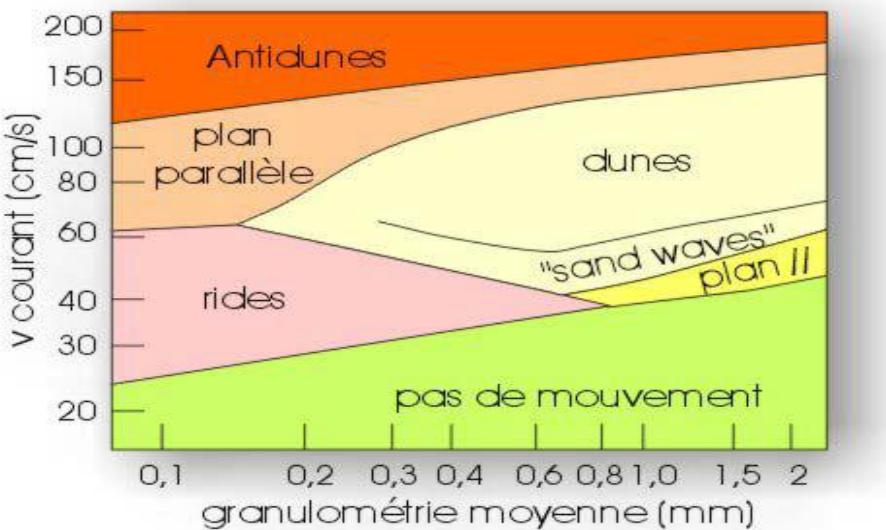


Figure 16. Principales formes sédimentaires en fonction du régime d'un courant unidirectionnel
 (Soulsby, 1997; Chamley, 2000; Ouillon, 2011)

Pourtant, les données vents obtenues auprès de la Direction de la Météorologie Malagasy sont des données d'altitude. De ce fait, il s'avère difficile de faire une étude détaillée des actions éoliennes au niveau des dunes dans le littoral mahafaly. Toutefois, l'action éolienne reste considérable pour le Sud-Sud-Ouest dans l'édification des dunes.

Tableau 9. Données vents selon la Station de l'Aérodrome de Toliara (1990-2000)

Toliara	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vitesse moyenne	12	12	12	12	11	11	12	13	14	13	13	13
Direction	SE/E	E/S	SE/S	SE/S	E/S	SE/S	E/S	SE/S	SE/S	SE/S	S	S
Direction (°)	169	119	112	148	86	86	83	112	83	86	104	104

Source : DGM

Tableau 10. Données vents selon la Station de Fort-Dauphin (1990-2000) Source : DGM

Fort-Dauphin	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vitesse Moyenne	21	22	17	16	14	14	16	19	21	12	19	19
Direction	E	NE	NE/E	NE/E	NE/E	NE/E	NE/E	NE	NE	E	E	NE
Direction (°)	119	151	144	112	126	162	94	104	126	155	126	108

LES AGENTS DU TRANSFERT SEDIMENTAIRE

Le vent reste un paramètre (tableau 9 et 10) climatique très important qui influe sur le climat du Sud de Madagascar. L'anticyclone permanent de l'Océan Indien y apporte une masse d'air humide et tiède qui prend deux directions bien distinctes : soit par la traversée du grand Sud de l'île et subit l'effet de continentalité et l'effet de Foehn. Soit par un contour vers le plateau continental Extrême Sud et change de direction allant de Secteur Est vers Secteur Sud. Force est de signaler que le fait de contourner l'ensemble grand Sud au niveau du Cap Sainte Marie, l'Alizé se prolonge le long du Canal de Mozambique. Cette situation est en étroite relation avec les courants marins qui forment le courant de Madagascar, ayant une allure de courant froid (Donque G., 1975; Battistini, 1996)

Les tableaux 9 et 10 montrent les informations concernant le vent dans le Grand Sud de Madagascar. La Station de Fort-Dauphin est exposée directement face à l'Océan Indien, dans la partie orientale de l'île, tandis que la Station de Tuléar se trouve sur le Canal de Mozambique. En comparant la distance parcourue par le vent. En situation de Janvier, pour Fort-Dauphin, il est impératif d'en déduire que le vent a une forte vitesse dans la zone orientale par opposition à celle de la partie occidentale. Cette situation montre bien l'influence de l'orographie, la vitesse du vent est de 21 m/s tandis que à Toliara c'est seulement à 12 m/s. Les directions que prennent le vent est fonction du courant marin dominant.

Si le courant dans le Canal de Mozambique venant du Nord est important, le vent prend la direction SE/E au niveau de Tuléar. Par contre, si les courants qui s'échappent du courant équatorial et contournant le Sud de Madagascar est renforcé par les courants mobiles du Sud, le vent de secteur Sud s'intensifie. Des fois, il est possible de remarquer un changement de direction du vent à tout moment. Il influe localement le climat du Sud-Ouest. Ainsi, le vent génère un microclimat typique du Sud-Ouest malgache.

Rose des vents

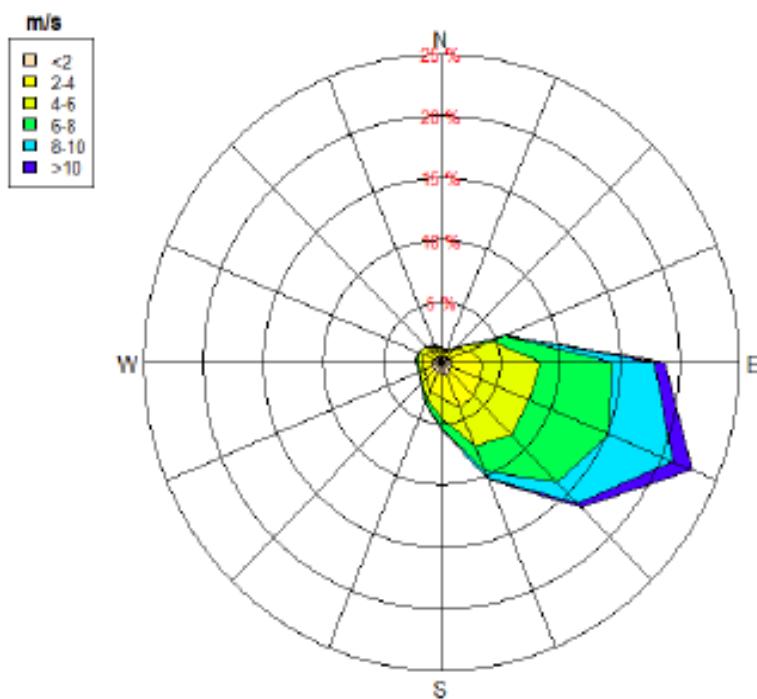


Figure 17. Rose des vents récapitulatifs Source : DGM et Rarivoarison (2013)

A partir de ce rose de vent, presque 10% des vents soufflent à 6 à 8 m/s avec une direction de Sud-Est. L'atlas climatologique émanant du DGM montre la situation de Janvier à Décembre au niveau de Tuléar à propos des vents influant la localité. (Annexe 8 et 9)

IV.2. LES FORCES EN ACTION SUR LE LITTORAL MAHAFALY

La houle et les vagues qui influent le littoral sont en étroite relation avec le vent. Concrètement, le vent modifie les formes et forces de la houle qui, à l'approche du littoral, génère des forces caractéristiques sur sa géomorphologie. D'après les observations faites sur les images satellites de Google Earth, la houle suit la direction du vent en mer. Près du littoral, elle subit des déformations du fait de la présence des récifs frangeants.

Pour le littoral Mahafaly, la photo satellite montre bien la subdivision des forces qui entrent en action. Dans le Sud, du côté de Faliampasy, les vagues attaquent le littoral d'une direction Sud-Nord. Sa force est amplifiée par le vent de secteur Sud (Tsioka Atsimo).

Au niveau d'Ambohibola, la dérive littorale venant du Sud prend une direction parallèle à la plage. Elle passe par un chenal situé entre la côte et le récif. Cela se prolonge vers l'embouchure de la Linta. (Battistini, 1964). De l'autre côté du récif barrière, les vagues prennent une direction perpendiculaire à la plage. La direction de la houle est influencée par la présence du récif frangeant Sud d'Androka. Ce récif s'étire sur 11 km de long entre la partie centrale et la pointe d'Ambohibola. L'effet de la réflexion influe la houle c'est-à-dire que le récif est considéré comme un obstacle et l'onde d'incidence est réfléchie et repart vers le large avec un angle presque semblable à l'angle d'incidence. Cela diminue l'action des vagues sur le littoral car l'énergie dissipée par la houle dégénère au fur et à mesure qu'elle s'approche du rivage. Cette situation favorise la présence du Tamboho d'Andolobe qui est à l'abri de l'action des vagues.

Au niveau de l'embouchure de la Linta, il existe une coupure (Vavarano=bouche de mer) (Battistini, 1964) entre les récifs. La houle venant du Sud contourne le récif et se propage vers le delta de la Linta. Elle subit le phénomène de diffraction. Cette force influe alors le transfert sédimentaire. Une flèche littorale se forme près de l'embouchure du fleuve.

Par ailleurs, dans la partie Nord du littoral Mahafaly, la houle subit une réfraction parce qu'elle change de direction progressive et prend une direction Sud-Nord. Elle tend peu à peu à être parallèle au récif et aussi à la côte. Dans le lagon de Lanirano, la dérive littorale poursuit sa direction vers le Nord. Il est possible de constater un développement de flèche littorale du fait de l'action de la houle en mer et du vent dans la partie terrestre. La Figure 18 émet la situation générale au niveau du delta.

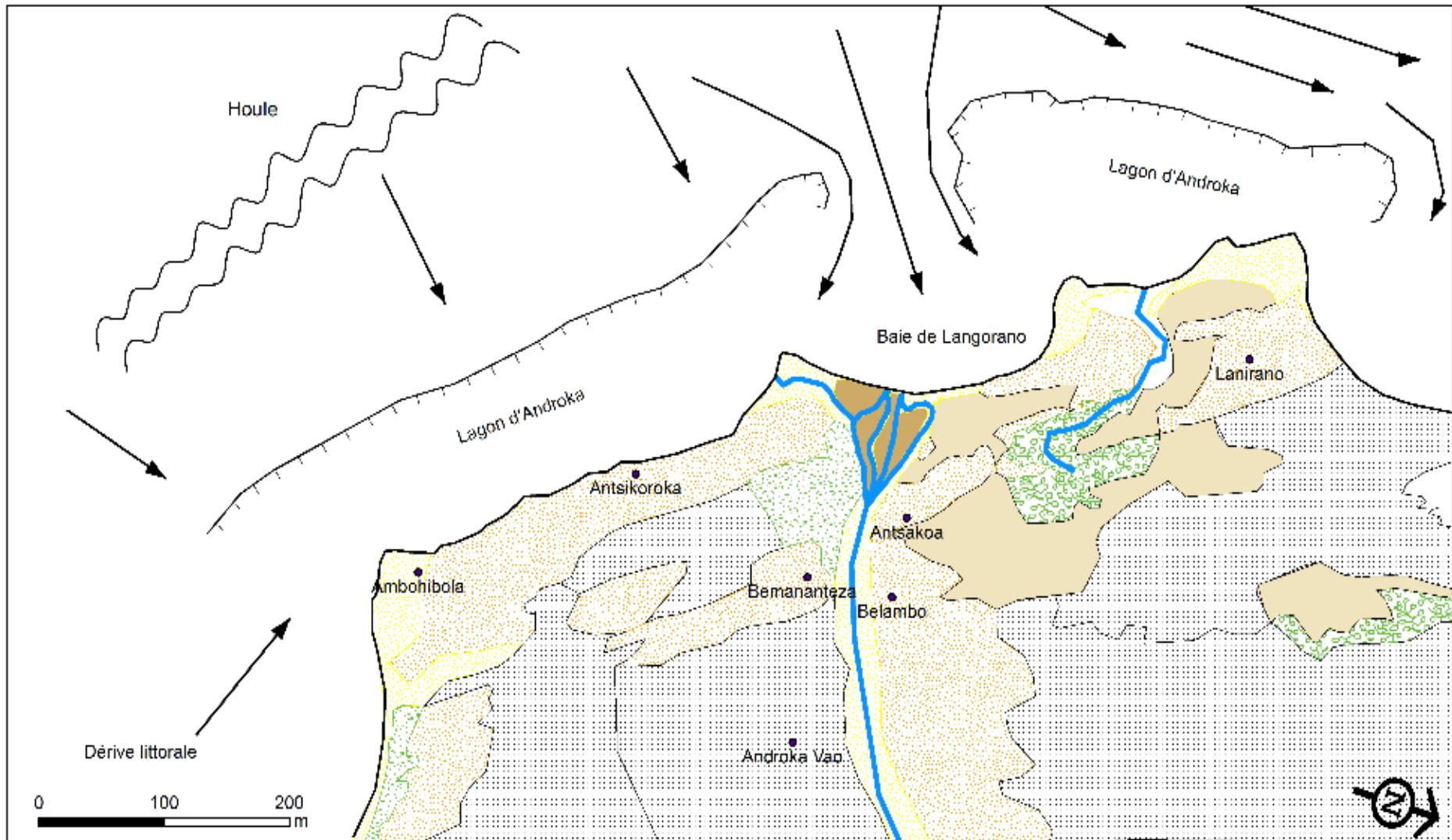


Figure 18 Le delta de la Linta et ses environs

Légende

→ Houle et vagues	Mangroves	Sables
— Récif barrière	Marais salants	• Localité
— Cours d'eau	Dune	champ de culture
■ Formations végétales	■ Vases	

Confectionnée par RAKOTONDRAMASY A.H.

Source Google Earth 2016

Projection Laborde

Décembre 2016

CHAPITRE V. LES FACTEURS BIOCLIMATIQUES

V.1. LES CONDITIONS CLIMATIQUES.

L'un des paramètres favorisant l'édification des formations dunaires dans le Sud-Sud-Ouest de Madagascar est le climat. Sous l'influence du vent, un microclimat typique de cet espace apparaît. Pourtant, les données fournies par l'ancienne station météorologique d'Androka présentent des lacunes qui les rendent inexploitables. A cela s'ajoute l'absence d'une station météorologique opérationnelle actuellement dans la zone. Toutefois, cette zone mérite une analyse climatologique dans les détails du fait de l'ampleur des relations qui subsistent entre le climat et la géomorphologie. Aussi, cette recherche n'a pu faire qu'une analyse climatique de l'ensemble du pays Mahafaly. Elle considère deux stations à savoir Aérodrome Toliara et Ampanihy Ouest. Ces deux stations peuvent seulement montrer la situation générale.

Tableau 11. Les coordonnées géographiques des stations à considérer

STATION	Latitude	Longitude	X	Y	Altitude en m.
Aérodrome de Toliara	S 23°23'	E 43°44'	301642	123579	8
Ampanihy Ouest	S 24°41'	E 44°44'	159190	227298	220

Il existe de nombreuses lacunes dans les données de ces stations (tableau 11) météorologiques. Pour la station de l'Aérodrome de Toliara, les données sont complètes allant de 1955 à 1995 pour la pluviométrie. Par contre celle d'Ampanihy Ouest, les lacunes sont observées pour l'année 1964, 1970 et 1971 et aussi pour les années de 1977 à 1984 sur une période de 61 ans c'est-à-dire de 1929 à 1990.

Par ailleurs, pour les données de température, elles restent moindres mais s'étalent sur une période entre 1961 à 1990 pour la station de l'Aérodrome de Toliara et pour la station de Taolagnaro d'une période récente de 2011 à 2014.

V.1.1. Des précipitations aléatoires.

La frange côtière Mahafaly a des précipitations très aléatoires dans le temps et dans l'espace. Pour les trois stations considérées pour cette étude, la variation interannuelle des moyennes de précipitations (tableau 12) est presque faible. Les précipitations qui tombent en moyenne restent autour des 400 mm et 600 mm. Il est bien de remarquer que dans le Sud, les précipitations occultes non mesurables sont importantes et se voient sous forme de rosées. (Donque G. , 1975)

Tableau 12. Précipitations moyennes pour la Station de l'Aérodrome de Toliara

Période	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne interannuelle
1955-1995	89,7	86,4	32,7	15,6	14,1	12,8	5,9	5,1	6,5	10,7	20,9	86,6	386,8

Source : DGM

Tableau 13. Précipitations moyennes pour la Station Ampanihy Ouest

Période	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne interannuelle
1929-1959	130,3	88,0	62,3	32,3	15,1	15,8	7,4	7,6	17,0	15,6	57,6	119,5	568,6
1960-1990	155,7	61,5	58,8	14,0	16,8	10,3	4,9	3,7	3,9	25,3	36,2	63,5	454,6

Source : DGM

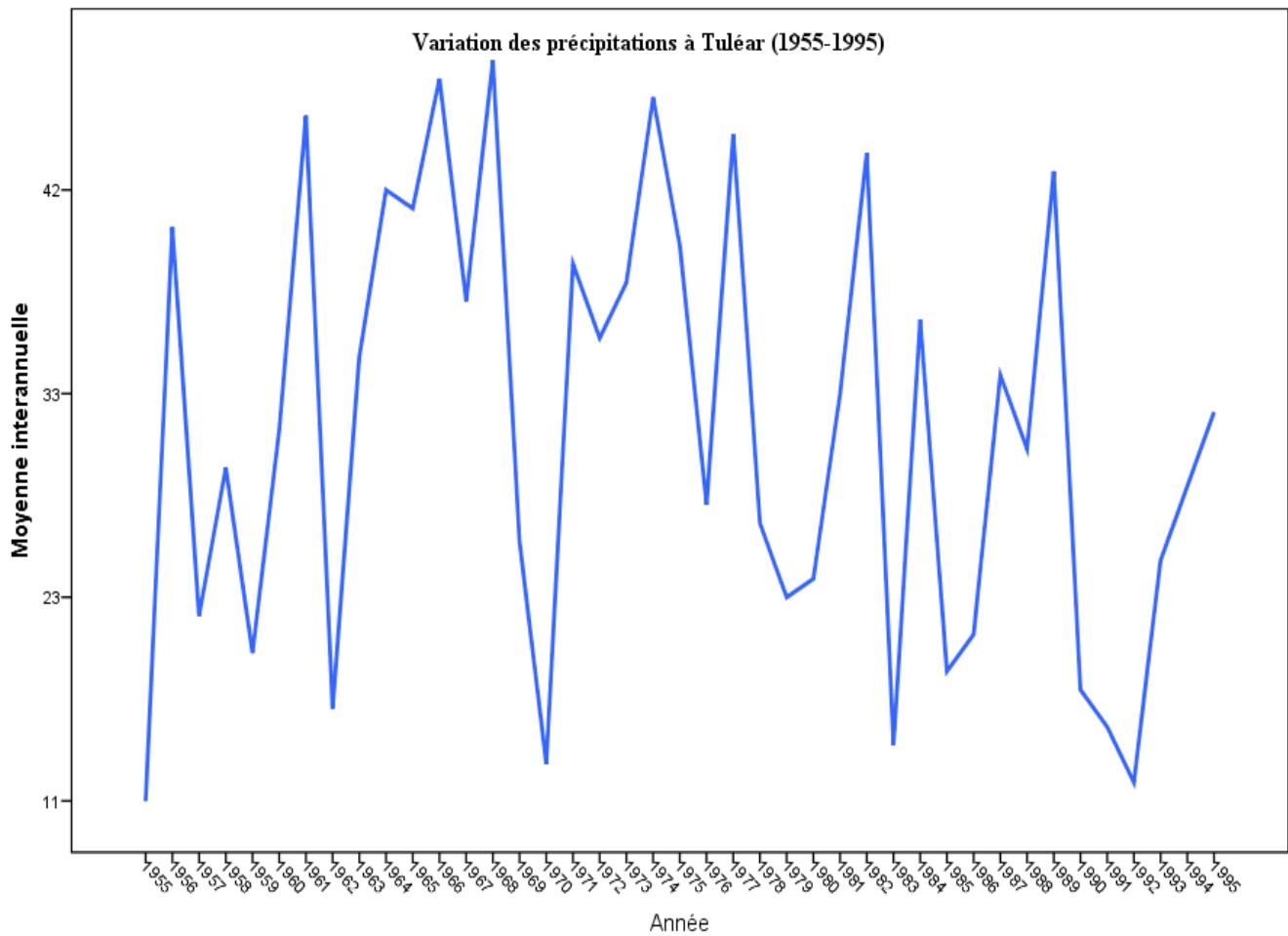


Figure 19. Variation des précipitations interannuelles de la Station de l'Aérodrome de Toliara

La figure 19 évoque la variation des précipitations entre 1955-1995. Elle présente une grande fluctuation au niveau de la quantité des pluies qui sont tombées durant cette période. Mais en moyenne, elle ne dépasse pas les 60 mm. Cela reflète la position géographique de Tuléar sur le littoral. Les précipitations sont influencées considérablement par la mer.

Selon la fréquence interannuelle sur une période de 60 ans, l'allure du diagramme des précipitations montre une régularité qui signifie qu'une même quantité de précipitations est tombée sur la période de 1929-1990 pour la Station d'Ampanihy-Ouest. (Cf. Tableau 13 et Figure 20)

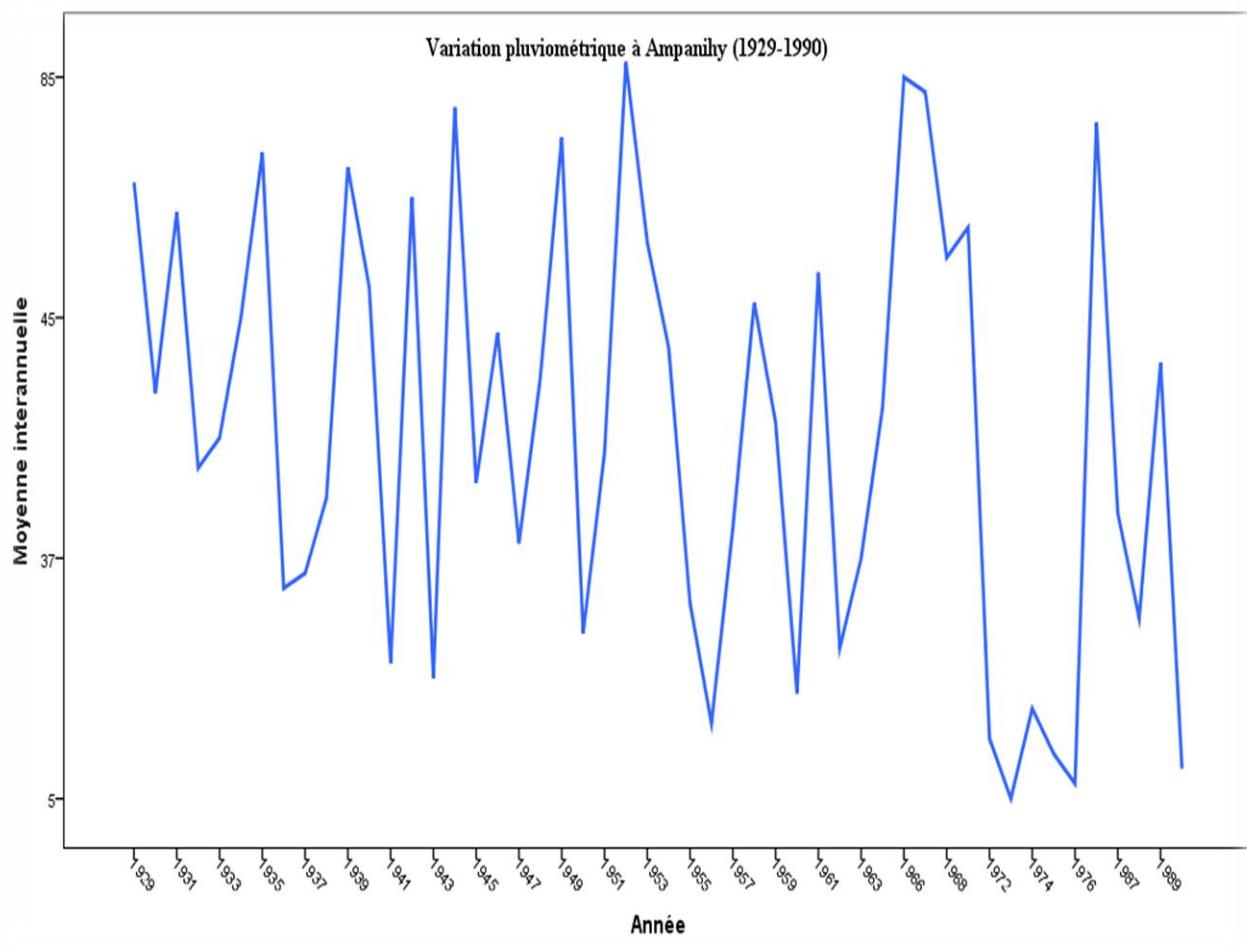


Figure 20. Moyennes pluviométriques pour la Station d'Ampanihy- Ouest

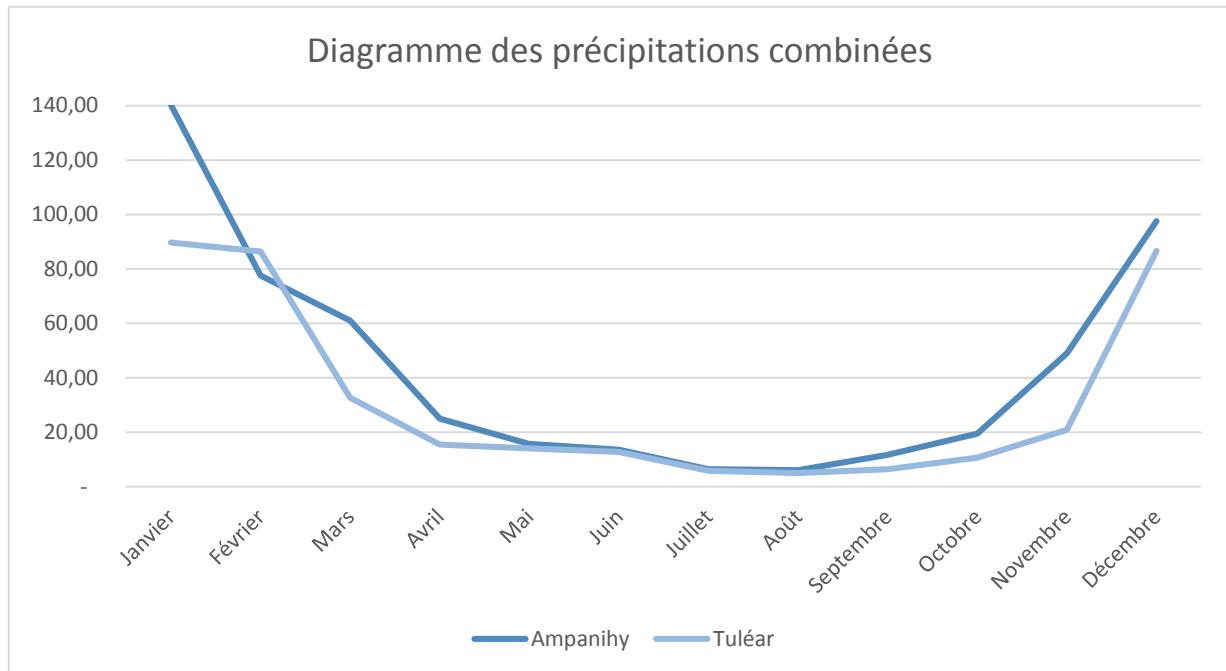


Figure 21. Diagramme des précipitations combinées

La figure 21 évoque une comparaison entre les hauteurs de précipitations tombées entre Ampanihy-Ouest et Toliara. Les mois pluvieux et secs pour les deux stations sont identiques mais les hauteurs les différencient. Par exemple, la saison pluvieuse se situe entre les mois de Décembre et Février dont le maximum de précipitations à 143 mm pour Ampanihy et pour la Station de l'Aérodrome de Toliara, le maxima est de 89,7 mm et qui se présente pour tous les deux au mois de Janvier. Par ailleurs, la saison sèche s'étalant sur une durée de 9 mois se rencontre du mois de Mars au mois de Novembre. La longue période sèche et une courte période humide caractérise les deux Stations d'après le diagramme.

V.1.2. Des températures homogènes

Une homogénéité thermique se constate dans l'Extrême Sud. Les variations restent faibles. Pour la station de l'Aérodrome de Toliara, un seul minimum se présente en juillet et un seul maximum en début d'année. Confronté avec l'étude que Donque G. a fait en 1972, cela coïncide effectivement. Une amplitude thermique de 7°C est enregistrée durant une année. Toliara se trouve sur une zone proche du littoral. L'amplitude annuelle est plus grande en arrière-pays.

Tableau 14. Normale de température pour la Station de l'Aérodrome de Toliara pour une période de 1961-1990 en °C

Source : DGM

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T n	22,9	22,9	21,9	19,9	16,9	14,8	14,4	14,8	16,2	18,5	20,3	22,1
T Mx	32,2	32,3	32	30,6	28,6	26,9	26,8	27,7	28,5	29,3	30,3	31,3
T Moyen	27,6	27,6	26,9	25,3	22,8	20,9	20,6	21,2	22,4	23,9	25,3	26,7

Les courbes de variation mensuelle des températures (figure 22) montrent qu'il n'y a pas de grande variation thermique au niveau de Toliara et presque la température est presque constante de l'ordre de 25°C à 28°C en moyenne.

Un diagramme ombrothermique respectant la formule de Gaussen $P = 2T$ a été confectionnée afin de bien comprendre le climat du Sud-Ouest de Madagascar.

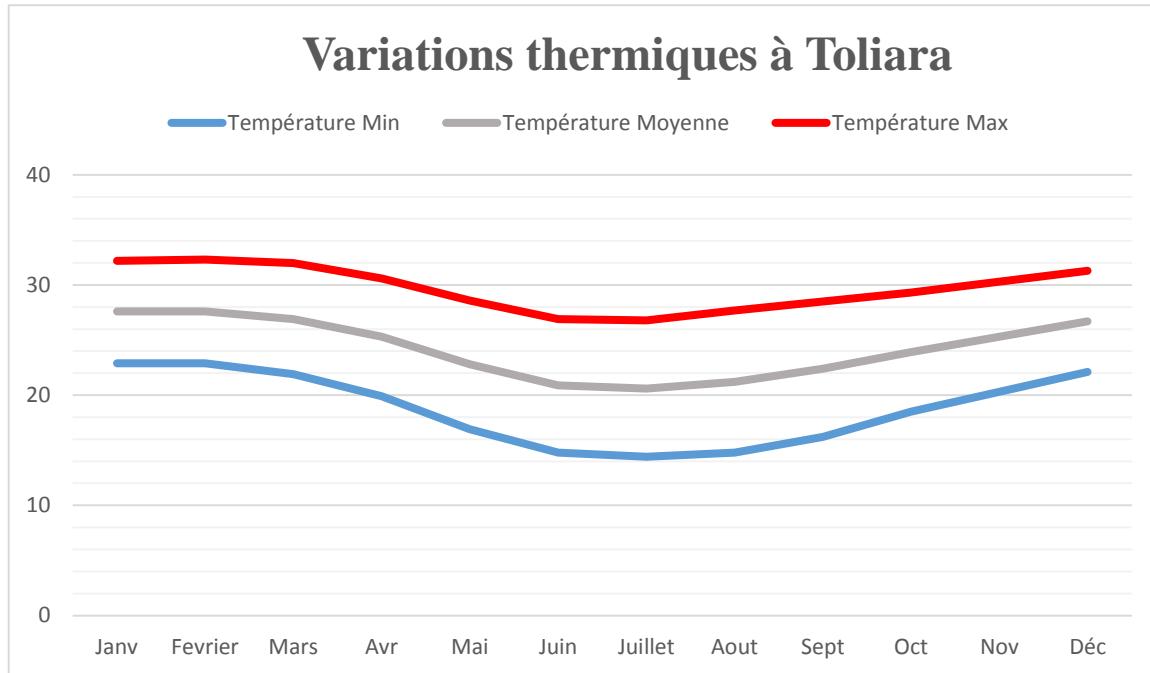


Figure 22. Variation mensuelle des températures maximales, minimales et moyennes de la Station de l'Aérodrome de Toliara

Tableau 15. Tableau des précipitations et températures pour la Station de l'Aérodrome de Toliara

Toliara : 1955-1995

	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin
Pp°	6	5	6	11	21	87	90	86	33	16	14	13
T°C	21	21	22	24	25	27	28	28	27	25	23	21

Source : DGM

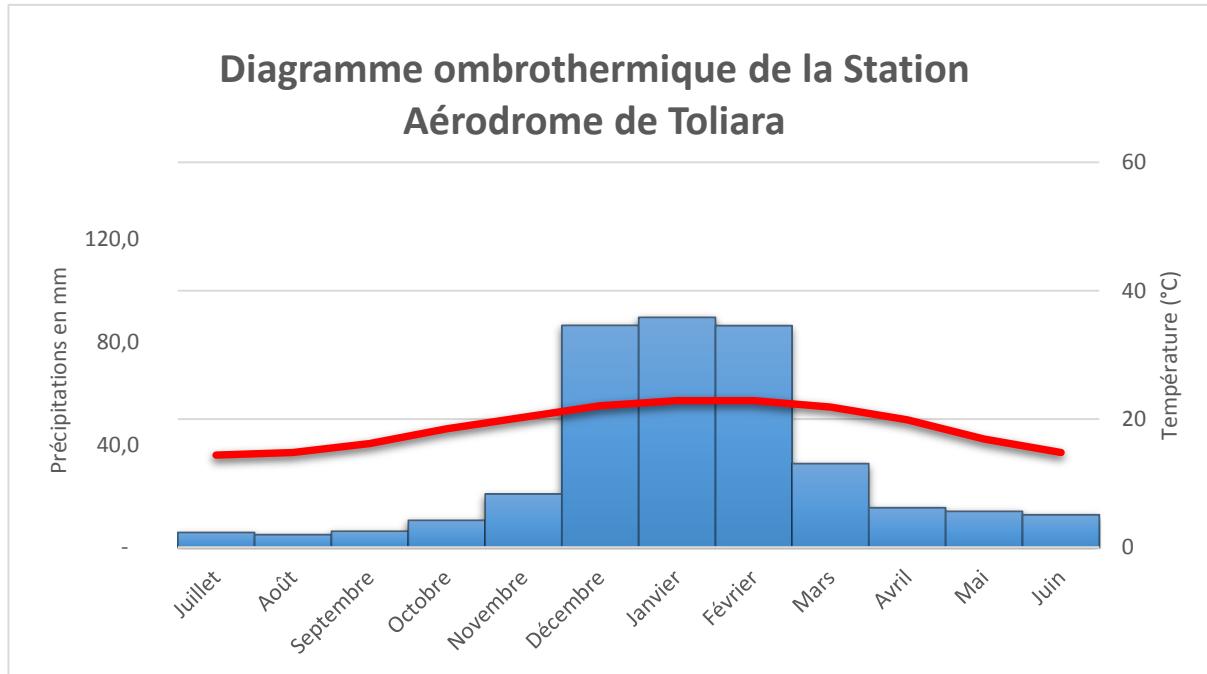


Figure 23. Diagramme ombrothermique de l'Aérodrome de Toliara

Le diagramme ombrothermique de la station de l'Aérodrome de Toliara (figure 23) montre que les précipitations sont fonction de la température. Elle suit la formule de Gausson $P = 2T$. En l'analysant, elle met en exergue la distribution de la pluie au niveau de Toliara en une année. En Décembre, c'est le solstice d'été austral. Ce qui traduit l'augmentation de la pluviométrie et aussi de la température puisque l'angle d'incidence des rayons solaires est perpendiculaire au Tropique du Capricorne. Sachant que Tuléar se trouve sur la latitude $23^{\circ}27'$ en question. Ainsi, la variation des paramètres du climat est en fonction de la marche apparente du soleil. Toutefois, l'influence de la mer se reflète au niveau de la quantité de pluie qui tombe à Tuléar. Cette situation varie du littoral vers l'intérieur de la terre. (Donque G., 1975)

V.2. LA COUVERTURE VEGETALE

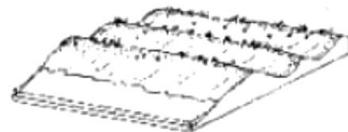
La couverture végétale est un paramètre du processus physique qui conditionne aussi la mise en place des formations dunaires. L'absence de la végétation favorise le transport sédimentaire. Par ailleurs, elle permet d'établir aussi l'indice de rugosité du sol. La colonisation des dunes limite le déplacement des particules et protège contre l'érosion éolienne. Suite à des conditions climatiques rudes et arides du milieu, les formations végétales s'y adaptent et se développent spécialement. Généralement, d'après Battistini (1964), la végétation naturelle qui prédomine dans cette zone est le bush dense à *Euphorbia iaro* et *alluaudia*, recouvrant de vastes étendues. Les territoires occupés sont le pays tatsimo (Massif de l'Iforiana), dans l'Androy oriental et dans le pays karimbola (entre la cuvette de Beloha et le grand talus littoral) et le long du littoral Mahafaly. La dégradation de cette formation met en place une savane arbustive clairsemé avec un tapis herbacé à *Aerva javanica* (volotsy), *Panicum voeltzkowii* (ahidaly) et *Cynodon dactylon* (kidresy). Enfin, suite à un défrichement accéléré, une steppe arbustive à *Psiadia altissima* (jira) couvre les étendues dont on remarque une disparition d'horizon humifère.

Par ailleurs, pour cette zone de recherche, la localité de l'embouchure de la Linta est recouverte par une végétation exotique c'est-à-dire composée d'une formation xérophile spécialement constituée par des Euphorbiaceae (famata) et des Didiereaceae (fantsilotra). Mais aussi, une composition floristique qui se développe particulièrement sur les formations dunaires sont remarquables comme les *Acacia angustifolia* (kassi), les *Opuntia stricta* (raketa mena), les *Tamarindus indica* (tamarinier), les *Agave* (Sisal) et surtout les plantes fixatrices des dunes à savoir *Ipomea pescaprae* (lalande), *Leptadenia madagascariensis* (taritarika). (Rarivoarison, 2013)

Force est de constater que suite à l'évolution des dunes actuelles, quelques formations végétales ont été ensevelies par les sables par exemple *Casuarina equisetifolia* (filao) et *Poupartia caffra* (sakoa). (Sourdat M. , 1972; Morat, 1973)

L'UICN a évoqué une classification des dunes selon la densité des couvertures végétales. La figure 24 montre bien que si la superficie occupée par les formations végétales atteint les 90 à 100 %, le type de dune est un cordon littoral linéaire et parallèle. Ce cas de figure explique alors la morphologie des formations dunaires dans le delta de la Linta comme au niveau d'Antsikoroka, une prédominance de dune étoilée parfois paraboliques est constatée du fait que le taux de recouvrement est de 0 à 20 %. La géomorphologie des dunes peut être bien expliquée à partir de la surface occupée par la formation végétale. Le tableau 16 récapitule cette relation et déduit les formes dégagées.

Fa: 90-100 % de recouvrement végétal.
Cordons de dunes littorales linéaires parallèles



Fb: 75-90 % de recouvrement végétal.
Amorces de cuvettes de déflation dispersées.
Accumulation éolienne dominante sur la crête du front côtier.



Fc: 45-74 % de recouvrement végétal.
Dunes à fort bossellement et topographie concave.
Accumulation éolienne dominante dans les versants perpendiculaires à la plage.



Fd: 20-45% de recouvrement végétal.
Petites dunes liées à des cuvettes de déflation. Éboulements dans les versants de plage des fronts côtiers.



Fe: 0-20% de recouvrement végétal.
Dunes paraboliques et cuvettes de déflation transversales.



Figure 24. Classification des dunes en fonction de la couverture végétale (IUCN, 2012)

Tableau 16. Classification géomorphologique des dunes (IUCN, 2012)

A) DUNES D'ACCUMULATION**I.- NON CONTRÔLÉES PAR LE RELIEF**

- 1.- Formes tabulaires – **dunes tabulaires** [= sand sheets] (M)
 - a.- contrôlées par la colonisation végétale – **buttes d'accumulation**: (M)
 - **monticules coniques** [= conical mounds] (vents persistants)
 - **langues de sable** [= shadow dunes] (vents persistants)
 - **monticules boisés** [= coppice dunes] (vents persistants)
- 2.- Formes longitudinales
 - b.- non contrôlées par la colonisation végétale : - **dunes longitudinales** (vents intenses avec une direction dominante) (D et H*)
 - **dunes de projection** [= lee-projection dunes] (flux intenses unidirectionnels sur le versant/côté au vent) (M)
 - c.- indifférentes:
 - **dunes linguiformes** (vents intenses avec une direction dominante) (D et H*)
 - **dunes alvéolées** (vents intenses avec une direction dominante) (D et H*)
- 3.- Formes transversales
 - **cordons dunaires** [= foredunes]
 - irréguliers (vents prédominants et autres : végétation irrégulière) (H)
 - symétriques (vents prédominants modérés, végétation uniforme) (H)
 - **dunes transversales** (vents prédominants) (D* et H)
- 4.- Formes mixtes - **barkhanes et champs dunaires barkhanoides** (vents prédominants) (D* et H)

II.- CONTRÔLÉES PAR LE RELIEF

- 1.- Formes tabulaires
 - **dunes «grimpantes»** [= climbing dunes]
 - angles bas (<35°) (D et H*)
 - angle haut (>35°) (D et H*)
 - **dunes perchées** [= cliff-top dunes] (M* et D)
 - **dunes en aval/descendantes** [=falling dunes] (M* et D)
- 2.- Formes transversales
 - **dunes enveloppantes** [= wrap-around dunes] (d* et M)
 - **dunes écho** (d* et M)
- 3.- Formes mixtes
 - **dunes en parabole** (vents intenses unidirectionnels, partiellement contrôlées par la végétation) (H)
 - **dunes barkhanoides** (vents intenses unidirectionnels) (H)

ÉCHELLE DE TAILLES

- d = décimétrique
 M = métrique
 D = décamétrique
 H = hectométrique
 K = kilométrique

* predominant

B) DUNES MIXTES (Avec érosion et accumulation)**I.- NON CONTRÔLÉES PAR LE RELIEF**

- 1.- Formes simples – **surface de déflation** [= deflation bassins] (vents intenses) (H*)
 - **cuvettes de déflation, caoudeyres** [= blowouts] (un ou plusieurs vents intenses)
 - semi-circulaires ou elliptiques (M et D*)
 - allongées (D et H*)
- 2.- Formes mixtes
 - **parabolique ou dunes en forme de U** (vents intenses unidirectionnels, partiellement contrôlées par végétation) (H)

C) DUNES A EROSION DOMINANTE**I.- NON CONTRÔLÉES PAR LE RELIEF**

- 1.- Formes simples
 - **caoudeyre** (un ou plusieurs vents intenses)
 - **buttes résiduelles**
 - **pinacles pyramidaux** [= knobs] (houlles et/ou vents) (M)
 - **prismes longitudinaux** (vents) (D et H)

En conclusion, la formation d'une dune est en fonction de la vitesse du vent d'une constante de 6 m/s, prédominance d'un climat aride ayant une température moyenne de 27°C. Le rôle joué par la végétation est aussi primordial dans le piégeage des sédiments (figures 24 et 25). Ainsi, les modèles du paysage varient dans l'espace et dans le temps. Les formations dunaires constituent de bons exemples en termes de géomorphologie dynamique mais surtout de géomorphologie climatique.

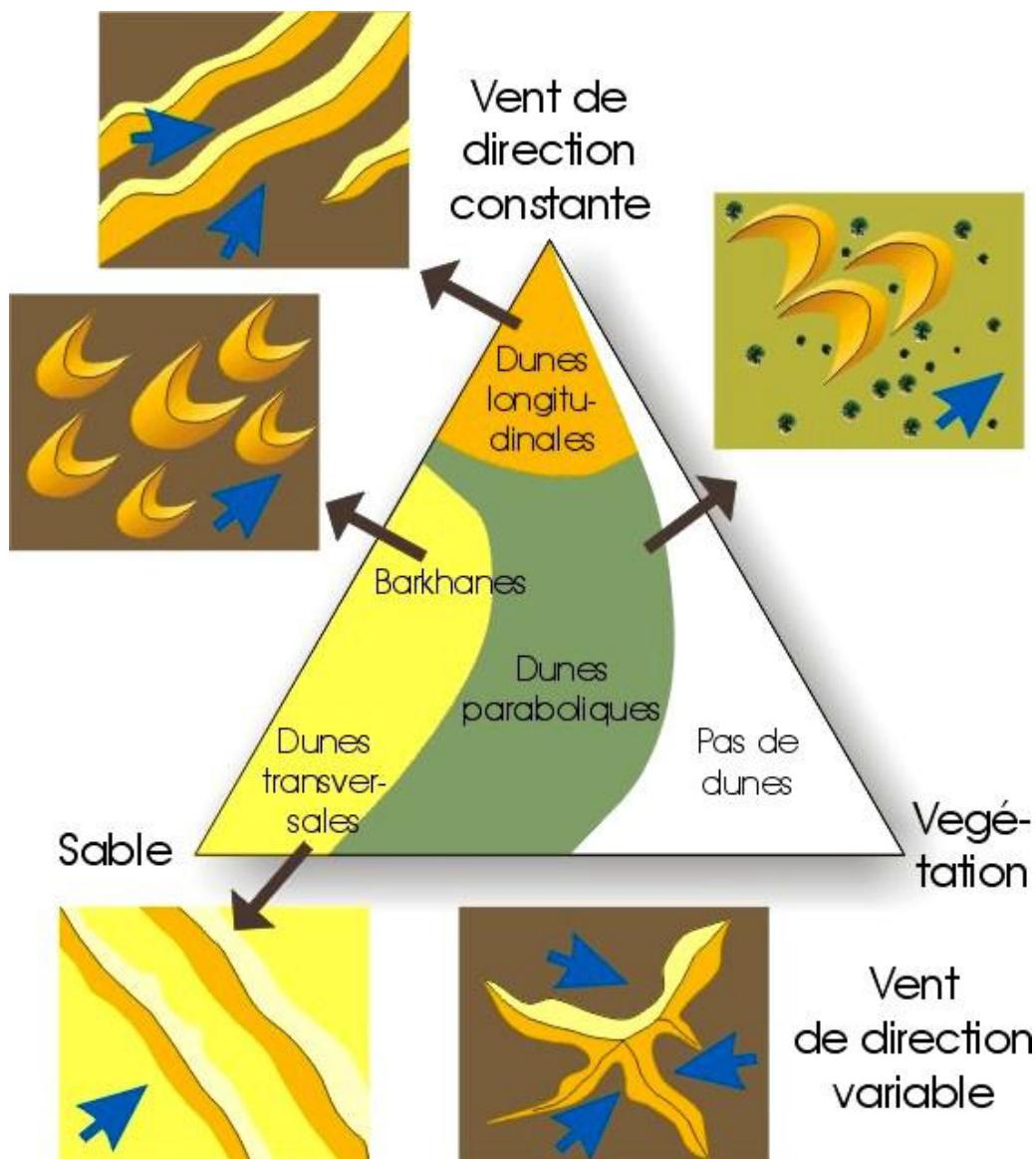


Figure 25. Les principales formes dunaires selon la force et action éolienne (Ouillon, 2011)

Les processus physiques génèrent la mise en mouvement des particules. Du point de vue zonale, ils provoquent le déplacement des formations dunaires. Quelles sont donc les conséquences engendrées par cette mobilité ?

TROISIEME PARTIE

LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE

DUNAIRE

Le transfert sédimentaire génère des mutations au niveau du littoral Mahafaly. La géomorphologie littorale est très affectée par la dynamique des dunes mais surtout l'évolution du tracé de rivage. Le rivage est un indicateur important dans le cycle de l'érosion marine comme les cas de démaigrissement ou engrangissement littoral.

Dans l'espace Mahafaly, d'après les observations faites sur le terrain, l'évolution du littoral n'est pas semblable à tout point.

CHAPITRE VI. EVOLUTION LITTORALE AU NIVEAU DE LANIRANO

Suite à l'observation et analyse des photographies aériennes et images satellites de cette zone, il a été permis de comparer le milieu littoral de Lanirano. Battistini, dans son ouvrage, utilisa une photographie aérienne verticale prise par le Service Géographique de Madagascar de la Mission IX n° D-1. Dans cette photo aérienne, une accumulation sableuse se forme juste au Nord de l'arroyos de Lanirano. Elle tend à être une flèche littorale. Elle a été générée par l'action de la dérive littorale qui a subi une diffraction proche de l'embouchure de la Linta. Comparée avec l'image satellite de Google Earth datant de 2015, cette flèche littorale a disparu et une autre formation se développe dans la partie méridionale de l'arroyos de Lanirano.

Par ailleurs, il est possible de constater l'action de distribution sédimentaire de la dérive littorale. Le bilan sédimentaire déduit un engrangissement littoral du fait de l'action érosive du vent. Force est de noter aussi que la zone de mangroves à Lanirano et à Antsakoa est progressivement attaquée par les dunes. Les dunes en déplacement de direction Sud-Nord assèche le marais d'Antsakoa (photos 24 et 25) et se développe au fur et à mesure jusqu'à Lanirano. L'envahissement par les sables de dunes détruit l'écosystème de mangroves et les autres organismes qui en dépendent tels que quelques gastéropodes et crustacés. Par ailleurs, l'embouchure de l'arroyos de Lanirano est bouchée par la suite des déplacements dunaires. Ce phénomène environnemental risque de faire disparaître un écosystème très important pour le littoral mahafaly.



**Photo 24. Photographie aérienne Mission IX n° D-1
(Battistini, 1964)**



Photo 25. Image Satellite de Google Earth 2015



Photo 24. Ensablement de la forêt de mangroves dans la zone de Lanirano

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)



Photo 25. Ensablement du marais salant d'Antsakoa

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)



Photo 26. Cimetière de gastéropodes marins

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)



Photo 27. Ensemblement de l'embouchure de l'arroyo de Lanirano

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)

CHAPITRE VII. EVOLUTION DU LITTORAL SUD DU DELTA DE LA LINTA

Cette partie regroupe le secteur de Tamboho d'Andolobe, d'Ambohibola, de Faliampasy. Du fait du déplacement des sables dunaires, quelques problèmes environnementaux ont été recensés dans cette zone.

VII.1.1. AU NIVEAU DU TAMBOHO D'ANDOLOBE

Par manque de formations végétales qui retiennent les dunes, le renversement des sables dans le chenal se situant entre le récif frangeant d'Androka et la plage prend de l'ampleur. Le vent dominant de secteur Sud favorise ce phénomène. D'après les observations sur terrain et suite aux analyses effectuées au laboratoire, la granulométrique fine des sables dans le lagon et au niveau des dunes issues du Tamboho d'Andolobe restent identiques. Alors, l'ensablement (photo 28) du lagon d'Androka traduit la destruction des récifs qui est l'habitat de nombreux écosystèmes marins. Une forte diminution de la population marine se généralise ces dernières décennies. Par ailleurs, les pressions anthropiques sur les ressources naturelles marines intensifient cette dépopulation.



Photo 28. Ensablement du lagon d'Androka

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)



Photo 29. Le lagon d'Androka et le Tamboho d'Andolobe

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)

VII.1.2. AU NIVEAU D'AMBOHIBOLA ET DE FALIAMPASY

A part le déplacement des dunes qui intervient dans les mutations environnementales, cette zone du Sud est confrontée à l'érosion marine très active. Depuis quelques années, l'érosion marine attaque la côte du Sud en modifiant le trait de côte. Le problème de démaigrissement littoral se manifeste alors. Les vagues, fortifiées par le vent de secteur Sud, érodent au fur et à mesure la partie au Sud du Village d'Ambohibola et de la zone de Faliampasy. En comparant des images satellites (photo 30 et 31) de dates différentes, il est possible de bien déterminer l'évolution de la géomorphologie littorale.



Photo 30. Image Landsat de 2003 recouvrant
Faliampasy



Photo 31. Image Google Earth 2016 de la zone d'Ambohibola et de
d'Ambohibola et de Faliampasy

En comparant les deux images satellites, le trait de côte dans cette zone a largement été modifié. La première image montre une avancée de terre vers la mer. Ainsi, une période d'engraissement littoral a été bien marquée. Pourtant en 2016, l'embryon de la flèche littoriale a complètement disparu et la côte prend une forme plus ou moins arrondie. Au niveau de Faliampasy, pour les deux images, l'érosion marine a été active entre ces deux dates. L'allure générale du trait de côte n'a pas changé. Toutefois sur terrain, l'indicateur qui peut prouver que depuis quelques années, l'érosion marine reste importante, du moins pour cette partie, c'est que des pieds d'arbre de l'ancienne forêt de *Casuarina equisetifolia* (filao) sont submergés par la mer. Quelques nebkas sont aussi touchées. Sur ce, l'influence du changement climatique durant ces dernières décennies augmentent les risques pour le littoral Mahafaly.



Photo 32. Une dune nebka et un plant de Filao attaqués par la mer

Cliché de l'Auteur (Octobre 2016)

PALÉOCLIMATS ET ÉVOLUTION PALÉOENVIRONNEMENTALE DU SUD-SUD-OUEST

En faisant une corrélation avec les recherches menées (Battistini, 1964 ; Besairie, 1973 ; Rossi, 1975 ; Salomon, 1987) en termes de géomorphologie et géologie de Madagascar, les variations eustatiques ont façonné le paysage du Sud-Ouest en relation avec les séquences climatiques.

Les oscillations climatiques du Quaternaire mettent en exergue plusieurs séquences paléoclimatiques antérieures au Flandrien. Pour mieux caractériser l'ensemble du Grand-Sud malgache, par manque de correlation avec le Quaternaire européen et africain, le Quaternaire malgache dans l'Extrême Sud a été appelé l'Aepyornien (Battistini, 1964).

Le Quaternaire comporte trois transgressions marines majeures (Battistini R, 1964 ; Bourgeat F., 1974 ; Ratsimbazafy C., 1974 ; Rossi G. 1975 ; Sourdat M. 1977) (Cf. Annexe 10) :

1. Transgression Tatsimienne : Maximum du niveau eustatique (vers $2,20 \pm 0,30$ MA). Caractérisée par une période de pluvial et de displuvial. J.N. Salomon (1987) la décrit comme le *pluvial-tatsimien* à la fin du Pléistocène. Dans le Sud, elle a mis en place un dépôt de grès de coquilliers calcaires dont l'altitude ne dépasse pas les 4 m. Cette transgression a vu la formation d'importants calcaires dont l'altération a donné un plateau karstique (plateau Mahafaly). C'est le Quaternaire ancien de Salomon J.N. (1987) ;
2. Transgression Karimbolienne : la remontée des eaux marines en plusieurs étapes a généré la formation de trois séquences : Karimbolienne I, Karimbolienne II et Karimbolienne III. Leur âge est attribué au Pléistocène moyen et Pléistocène supérieur (vers 150 000 à 35 000 ans BP). C'est ainsi qu'ont été mise en place des formations superficielles telles les cordons littoraux et les dunes karimboliennes du Sud. C'est la transgression du Quaternaire moyen ;
3. Transgression Flandrienne : La dernière élévation connue du niveau marin date de l'Holocène soit vers 10 000 BP. Elle regroupe le Flandrien, le Subactuel et l'Actuel. C'est à partir de cette période que s'observe une rapide évolution du climat : du pluvial vers l'aridification ou désertification. Toutefois, les variations eustatiques restent peu importantes. C'est lors de cette transgression que se sont édifiées les dunes flandriennes, dunes non grésifiées mouvantes.

Par ailleurs, les variations eustatiques sont en relation avec des phases climatiques de pluvial et displuvial. (figure 26). Les périodes de transgression coïncident avec un pluvial. La grésification et la rubéfaction ont été observées dans l'Extrême Sud.

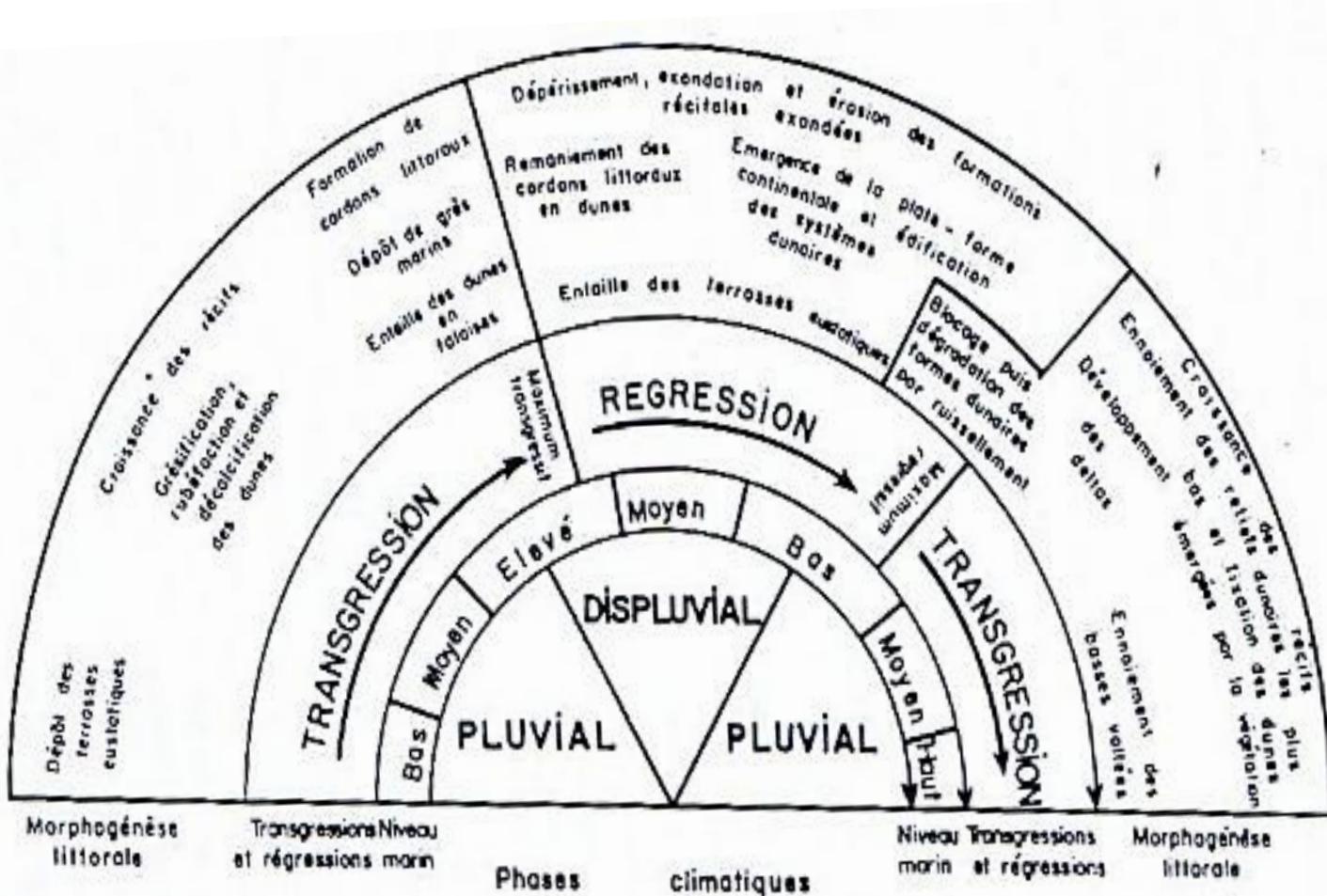


Figure 26. Schéma théorique des séquences climatiques et leurs conséquences sur la géomorphologie (Salomon J.N., 1987)

Les périodes subarides de trois régressions ont favorisé la mise en place des dunes littorales dans cette partie de l'île. Actuellement, le climat s'assèche rapidement. Cette situation est expliquée par l'action intense de l'érosion éolienne. Continuellement, l'aridification du milieu est importante et l'espace conquis par les formations dunaires augmente de plus en plus. Les actions mécaniques de météorisation engendrent les modélisations du paysage actuel. (Salomon, 1987). Les activités anthropiques renforcent cette situation par la déforestation.

Par rapport à ces auteurs, le paysage du Sud-Ouest étudié dans le delta de la Linta peut apporter quelques conclusions paléoenvironnementales de plus.

1- Formation à caractère löessique

Elle forme la bordure du lit majeur de la Linta dans sa partie occidentale. Il s'agit d'une formation peu consolidée de couleur jaunâtre à brunâtre. La taille des grains est très fine. La formation est composée en majorité de grains de quartz qui sont cimentés par des colloïdes d'argiles et de limons. La présence de la fraction colloïdale marque un apport fluviatile très important. Ce qui suppose que leur période de dépôt a eu lieu lors d'une séquence pluviale. Par ailleurs, des éléments carbonatés sont identifiés dans cette formation. Ceci marque alors une séquence de dépôt marin relatif à une période de transgression marine. Ces calcaires ont subi un fort lessivage. Une datation absolue de ces formations pourrait apporter des éclairages nouveaux sur les paléoclimats du Sud-Ouest mais également sur l'évolution paléoenvironnementale déjà décrite antérieurement.

2- Les formations dunaires du delta de la Linta

La période de mise en place de ces formations est de l'époque Flandrienne selon la datation faite par Battistini (1964). Ceci coïncide à une transgression marine de séquence pluviale. Toutefois, l'évolution continue de ces formations dunaires depuis l'Actuel et le Subactuel marque un assèchement climatique pouvant être mis en relation avec les variations climatiques actuelles au niveau du globe. Ainsi, l'action de l'érosion éolienne prend de plus en plus d'ampleur avec ces conditions qui jouent en sa faveur.

Les datations faites par Battistini sont des datations relatives. L'utilisation des méthodes de datation récentes comme l'OSL (Optimum Stimulated Luminescens) permettra de connaître les datations absolues de la mise en place de ces formations qui singularisent le delta de la Linta et permettra d'avancer dans la connaissance du Quaternaire malgache et associées par une analyse géochimique des sédiments.

CONCLUSION

De nouvelles unités morphostructurales ont été mises en place durant le Quaternaire (Aepyornien) de Madagascar. Les formations dunaires recouvrent l'ensemble du littoral Mahafaly (partie Sud) du fait des différentes variations eustatiques depuis le Tertiaire.

Les caractéristiques granulométriques des grains de sable (entre 0,1mm à 0,2 µm) dans les formations dunaires facilitent leur transport par le vent. L'évolution géomorphologique du littoral du Sud-Sud-Ouest de Madagascar est en relation directe avec les conditions climatiques du fait de l'accroissement de la désertification entraînant la diminution de la cohésion des particules.

Le littoral Mahafaly subit fortement l'influence des vents de direction S0-NO, des houles et des vagues perpendiculaires à la côte.

Ainsi, sur le plan économique, le déplacement des dunes littorales cause d'importants impacts : diminution des zones cultivables, ensablement des lagons, Et ce qui aggrave le phénomène, la destruction par la population des formations végétales fixatrices des dunes.

Par ailleurs, les écosystèmes dunaires présentent un intérêt environnemental primordial car les dunes abritent une grande biodiversité végétale (bush) et animale comme le lézard de dune.

Avec l'émergence de l'écotourisme et du tourisme actuel, des investissements dans le cadre du développement durable, pourraient contribuer à la valorisation des dunes de la région Mahafaly.

Suite à l'absence de prise de responsabilité et de décision des autorités compétentes, le milieu fait actuellement face à un problème environnemental très alarmant : la désertification. Le milieu se fragilise peu à peu, les ressources en eau se raréfient, la capacité d'adaptation de la population diminue de manière considérable. Il serait dommage que ces dunes disparaissent étant donné que ce sont des formations à fort potentiel touristique et économique de la région.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALBOUY, Y. et al., 1997, *Géophysiques des sols et des formations superficielles*, Colloque GEOFCAN, Bondy, 199 p.
2. AMAT, J.-P. et al., 1996, *Elements de géographie physique*, Cedex, Paris.
3. ANDRIANAIVO, L. et al., 2013, *Outils d'aide à la décision dans la gestion durable des sols*, Géotechnologie et géosciences, 10 p.
4. ANDRIANARISOA et al., 2010, *Avancement des dunes dans une région semi-aride de Madagascar*, DERAD, p.3.
5. BARBAULT, R., 1997, *Biodiversité, les fondamentaux*, Hachette, 259 p.
6. BARRY, A., 2007, *Dune dynamics at DS'07*, SIAM NEWS, p.3.
7. BATTISTIN, R. , 1996, *Paléogéographie et variété des milieux naturels à Madagascar et dans les îles voisines: quelques données de base pour l'étude biogéographique de la "Région Malgache"*, Biogéographie de Madagascar,p 1-17.
8. BATTISTINI, R., 1958, *Structure et géomorphologie du littoral karimbola de l'Extrême Sud de Madagascar*, Tome II, Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar, p.35.
9. BATTISTINI, R., 1959, *Les divisions du Plio-Quaternaire du Sud de Madagascar*, Vol. 248, Compte-rendu des séances de l'Académie des Sciences, Paris, p.25.
10. BATTISTINI, R., 1964, *Etude géomorphologique de l'Extrême Sud de Madagascar*, Vol. II, Cujas, Paris, 601 p.
11. BERNARD, J. et al., 1994, *Le temps en géologie, science de la terre*, Hachette, Paris, 157 p.
12. BERTHOIS L. et al., 1964, *Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar*, Extrait du cahier océanographique, 7, ORSTOM, p . 41.
13. BESAIRIE , H., 1948, *L'Extrême Sud et le Sud-Sud-Est*, Recherches géologiques à Madagascar, 1.
14. BESAIRIE, H., 1973, *Précis de géologie malgache*, Annales géologiques de Madagascar, Fascicule N° XXXVI, Antananarivo, 140 p.

15. BGRM/RP, & Région Aquitaine, 2010, *Mise en place du suivi de l'évolution récente de la grande dune du Pilat*. Rapport final, 32 p.
16. BILAL , U. et al., 2007, *Chronology of Fluctuating Sea Levels since the Triassic*, SCIENCE, 235, 12 p. Consulté en Septembre 2016, sur www.sciencemag.org
17. BLANC , P., 1977, *Reptiles sauriens Iguanidae*. FAUNE DE MADAGASCAR, p.195 .
18. BOURGEAT, F. et al., *Retouches sur la chronologie du Quaternaire continental de Madagascar, Conséquences sur la pédogenèse*, Vol. 8, ORSTOM., p.554-561.
19. BRIAN, J. et al., 1999, *The dynamic earth, an introduction to physical geology*, American Museum National History of Environment, 250 p.
20. BURNEY, D. A. et al., 2004, *A chronology for late prehistoric Madagascar*, Journal of Human Evolution (47), 25-63, Récupéré sur www.elsevier.com/locate/jhevol, Novembre 2016.
21. CAMPY, M., & MACAIRE, J., 2005, *Géologie de surface* (éd. 2è), DUNOD, Liège, 440 p.
22. CHAMLEY, H., 2000, *Bases de sédimentologie*, DUNOD, 178 p.
23. CHAPERON, P. et al., 1993, *Fleuves et rivières de Madagascar*. Cédérom, Paris, 874 p.
24. CHARTES, P. et al., 2006, *Elements de géologie*. DUNOD, .
25. CHERNICOFF, F., 1996, *Essentials of geology*. Boston.
26. COJAN, I., & RENARD, M. ,1999, *Sédimentologie*. DUNOD, Paris.
27. COJAN, I., & RENARD, M., 2013, *Sédimentologie*, DUNOD, Paris.
28. COQUE, R., 1977, *Géomorphologie*, Armand Colin, Paris, .
29. COQUE, R, 1998, *Géomorphologie*, Armand Colin, Paris.
30. DERRUAU, M., 1988, *Précis de géomorphologie* (éd. 7è), MASSON, Paris, p. 533.
31. DONQUE, G., 1973, *Les conditions générales du climat à Madagascar*, Madagascar Revue de Géographie, 1-93.
32. DONQUE, G., 1975, *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar*, NIAG, Antananarivo, 260 p.
33. DZAODIMBY, S., 2013, *Analyse de la dynamique dunaire dans la zone littorale de Marolinta, Extrême Sud de Madagascar. Gestion des risques et catastrophes*. Université

d'Antananarivo, Mémoire de DEA, Département Science de la Terre, Faculté des Sciences, 117 p.

34. GARY, N., 1998, *Sedimentology and stratigraphy*. Blackwell science, 335 p.
35. GIRET, A., 2009, *Le Quaternaire: Climats et environnements, Biologie, Ecologie, Agronomie*, L'Harmattan, Paris.
36. GOODMAN, S., 2008, *Paysages naturel et biodiversité de Madagascar*, WWF, Paris.
37. GUILCHER, A., 1965, *La géomorphologie de l'extrême Sud de Madagascar*, Annales de géographie, 74, pp. 491-495.
38. GUILCHER, A., 1965, *La géomorphologie de l'extrême Sud de Madagascar*, d'après René Battistini. (A. d. Géographie) *Persée*, 74(404), 491-495. Récupéré sur http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_00034010_1965_num_74_404_18363, Novembre 2016.
39. HERVIEU, J., 1958, *Les Sables Roux Du Sud De Madagascar*. ORSTOM, 233-243.
40. HERVIEU, J., 1969, *Contribution à l'étude du milieu fluvio-marin sur la côte occidentale de Madagascar* (éd. Collection de référence). ORSTOM., p.11-66.
41. JASPER, F. K. *et al.*, 2012, *The physics of wind-blown sand and dust*, Rep. Prog. Phys., 1-119.
42. JUNG, J., 1977, *Précis de pétrographie, Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives*, Masson, Paris, 66-99.
43. KARIMOUNE, S., OZER, A., *L'apport de la télédétection à l'étude des modèles éoliens du Niger méridional*, Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone, 33-54.
44. LAURENT, E. *et al.*, 2007, *Geologie, Maxi fiches*. DUNOD.
45. LE BOURDIEC, F., 1978, *Hommes et paysages du riz à Madagascar, Etude de géographie humaine*, FTM, Antananarivo, p. 648.
46. MC GEARY CARLSON, P., 2001, *Physical geology*. Mc Graw Hill.
47. MIGNIOT, C., 1986, *Manuel sur l'hydrodynamisme sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral* (éd. 51078). SOGREAH -L.C.H.F. Récupéré sur www.cetmef.equipement.gouv.fr/publications/catalogue/pdf/ER_PM_88-01.pdf, Novembre 2016, 159 p.

48. MIHAJATSANGA, B., 2012, *Identification et analyse des activités génératrices de revenu (AGR), Cas des cinq communes pilotes dans la zone d'intervention du projet SLM circonscrites à l'intérieur du plateau Mahafaly et Karimbola*, Université d'Antananarivo, Mémoire d'ingénieur agronome, option agriculture, ESS Agro, 35 p.
49. MIOSSEC , A., 1998, *Les littoraux entre nature et aménagement* (éd. 2e), SEDES, Nantes, 191 p.
50. MORAT, P., 1973, *Les savanes du Sud-Ouest de Madagascar*, (Centre IRD) ORSTOM, Montpellier.
51. MORET, L., 1947, *Précis de géologie*, Ed. Librairie de l'académie de Médecine, Masson et Cie, Paris VIe.
52. OTTMANN, F., 1965, *Introduction à la géologie marine et littorale*, MASSON et Cie, Paris VIe.
53. OUILLON, S., 2011, *Dynamique sédimentaire*, IRD, Toulouse.
54. PARFENOFF, A. *et al.*, 1970, *Les minéraux en grains, méthodes d'étude et détermination*, MASSON et Cie, Paris
55. PEGUY, P., 1970, *Précis de Climatologie*, MASSON, Paris.
56. PERRIER DE LA BATHIE, H., 1936, *Biogéographie des plantes de Madagascar, Première partie: Formes de végétation*. Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 1-31.
57. PETIT, M., 1990, *Géographie physique tropicale, approche aux études du milieu*, Karthala et Acct.
58. RABESANDRATANA, R. *et al.*, *La fourré des dunes de sable blanc dans les environs de Tuléar (Sud-Ouest Malgache)*, pp. 1-14.
59. RAHARIJAONA RAHARISON, L. J., 1997, *Effets et conséquences sur le régime des aquifères des anomalies climatiques dans l'extrême sud de Madagascar: cas du bassin endoréique d'Ambovombe*, SECHERESSE, 8(2), 129-137.
60. RAHARISON, F., 2009, *L'étude de la pêche maritime traditionnelle dans la région d'Itampolo*, Université de Toliara, Département de Géographie et Histoire, Faculté des lettres et sciences humaines, 108 p .

61. RAKOTOMALALA, J., 2010, *Modélisation hydrogéologique du bassin versant de la Menarandra avec le logiciel Rock Works 15*, Université d'Antananarivo, Mémoire d'ingénieur des mines, ESPA., p.87.
62. RANAIVOARISOA , F., 2010, *Contribution à l'étude des luttes contre l'érosion éolienne et aménagement du terroir villageois dans la commune rurale d'Androka, District d'Ampanihy Ouest*, Université d'Antananarivo, Mémoire d'ingénieur agronome, option agriculture, ESS Agro, p. 52.
63. RANDRIANALY, H. N. *et al.*, 2016, *A Proposed Geoheritage Inventory System: Case Study of Isalo National Park*, Journal of Geoscience and Environment Protection, 4, 10. Récupéré sur <http://www.scirp.org/journal/gep>
64. RARIVOARISON, H., 2013, *Les dunes actives de la zone littorale d'Androka, Extrême Sud de Madagascar: Analyse géomorphologique, étude sédimentologique et mise à la disposition des outils d'aide à la décision pour lutter contre l'érosion éolienne*, Université d'Antananarivo, Mémoire de DEA, Département Science de la Terre, Faculté des Sciences, p.116.
65. RECHENMAN, J., *Gravimétrie de Madagascar, interprétation et relations avec la géologie, Géophysique* (Vol. 10), ORSTOM, Paris.
66. SALOMON, J., 1987, *Le Sud-Ouest de Madagascar: Etude de géographie physique* (Tome 1 et 2), Université d'Aix-en-Provence.
67. SKIDMORE, E., & WILLIAMS, J., *Modified EPIC wind erosion model*. Texas, 3 p..
68. SOULSBY, R., 1997, *Dynamics of marine sands*, Thomas Telford publications, p.249.
69. SOURDAT, M., 1972, *Schéma de réflexion sur la dégradation des paysages naturels dans le Sud-Ouest de Madagascar*, La Conservation de la Nature et de ses Ressources à Madagascar : Conférence Internationale), Antananarivo, pp. 128-131.
70. SOURDAT, M., 1977, *Le Sud-Ouest de Madagascar, Morphogenèse et pédogenèse*, Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, p.292.
71. SOURDAT, M., & GENSE, C., 1971, *Les sables roux de la région de tuléar, observations stratigraphiques analyses par diffraction aux rayons X*, ORSTOM, pp. 99-104.
72. SOURDAT, M., & MAHE, J., 1978, *Sur l'extinction des Vertébrés subfossiles et l'aridification du climat dans le Sud-Ouest de Madagascar*, ORSTOM, pp. 295-309.

73. SYVITSKI, J., 2001, *Supply and flux of sediment along hydrological pathways: research for 21st century*, ELSEVIER, 1-11.
74. TASTET, J.-P., 2011, *Les dunes côtières d'Aquitaine*, Hourtin, Bordeaux.
75. UICN., 2012, *Conservation des dunes côtières, restauration et gestion durable en Méditerranée occidentale*. UN, p.126.
76. VATAN, A., 1967, *Manuel de sédimentologie*, Ed. TECHNIP, Cedex Paris 15, .
77. VEYRET, Y., 2001, *Géoenvironnement*, CAMPUS Armand Colin, Paris.

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Questionnaires

ANNEXE 2 : Fiche de prélèvement d'échantillon

ANNEXE 3 : Liste des matériels pour les analyses granulométriques

ANNEXE 4 : Le complexe Aepyornien du Sud Mahafaly

ANNEXE 5 : Résultat de l'analyse granulométrique de Lanirano

ANNEXE 6 : Résultat de l'analyse granulométrique au niveau de l'embouchure de la Linta

ANNEXE 7 : Résultat de l'analyse granulométrique d'Ambohibola

ANNEXE 8 : Situation de Janvier à Juin de la direction et force du vent au niveau de Toliara

ANNEXE 9 : Situation de Juillet à Décembre de la direction et force du vent au niveau de Toliara

ANNEXE 10 : Essai de corrélation du Quaternaire à Madagascar

ANNEXE 1. QUESTIONNAIRES

**ENQUETES AUPRES DES MENAGES CONCERNANT LES DUNES DU
SUD-SUD-OUEST de MADAGASCAR**

N° d'échantillon : Date :

Fokontany : Village:.....

Commune :

I- A PROPOS DU MENAGE

▪ Taille de ménage :

II- SOURCES DE REVENU

AGRICULTURE

Culture	Période	Superficie terrain de culture	Rendements	Gestion du Stock		Recette sur la vente	Durée période de suffisance
				Vendu	Stocker		
Manioc							
Mais							
Patate							
Ampemba							
Lojy							
Mahalay							
Voanemba							
Haricot							
Trehaky							
Citrouille							
Voazavo							
Autre 1							
Autre 2							
Autre 3							

ELEVAGE

Animaux	Nombre	Lieu de pâturage	Distance Lieu de pâturage	Nombre vendu et consommé	Prix de vente
Bœuf					
Chèvre					
Mouton					
Dindon					
Volaille					

PECHE

- Quand allez-vous pêcher ? où ? Durée de pêche ?
- Que faites-vous des produits halieutiques ?
- Si vous les vendez, quel pourcentage des produits ?

CHARBON ET BOIS DE CHAUFFE

- Quelles espèces d'arbres transformez- vous en bois de chauffe ou charbon ?
- Vendez-vous ces produits ou à usage domestique seulement ?
- Où vendez-vous ces produits ?
- Combien coûte un sac de charbon ? Le kilo de bois de chauffe ?

AUTRES ACTIVITES

1- Avez-vous d'autres sources de revenus ? 2- Si oui, lequel ?

3- Durant combien de temps l'avez-vous exercé ? 4- En moyenne, combien y gagnez-vous ?

III- LES DUNES ET SES MOUVEMENTS**A- Le climat**

- Combien de saison par rapport à la période de culture existe-t-il ? 2- Pouvez-vous indiquer la direction du vent ?
- Pouvez-vous donner la fréquence d'intensité du vent ?
- Sur combien de mois dure cette intensité ? jours ? heures ?
- A quel moment de la journée, le vent souffle fort ?

B- Les mouvements dunaires

1- En quelle période, les dunes se déplacent considérablement ? 2- Ou sont les endroits ensevelis ?

- Plage
- Champ de culture
- Terrain de pâturage
- Village
- Forêt
- Autre

2- Ou peut-on constater considérablement l'avancé des dunes ?

- Plage
- Champ de culture
- Terrain de pâturage
- Village
- Forêt
- Autre

3- Depuis quand avez-vous observé le déplacement des dunes ?

4- D'après vos connaissances, où se sont formées les dunes ? 6- Quelles sont les causes du déplacement des dunes ?

Causes	OUI	NON
Cours d'eau		
Déforestation		
Action du vent		
Sècheresse		
Agriculture et élevage		
Cyclone		
Autres		

IV- LES CONSEQUENCES DU DEPLACEMENT DES DUNES

Questions pour les responsables administratifs : (Commune et Fokontany)

Sur le plan SOCIAL

1- Quels sont les impacts générés par les mouvements dunaires ?

Conséquences	OUI	NON
Ensevelissement des habitations		
Ensablement des champs de cultures		
Obstruction des puits		
Insécurité alimentaire		
Autres		

Sur le plan ECONOMIQUE

1- AGRICULTURE

EFFETS	OUI	NON
Changement de champs de cultures		
Diminution de la surface cultivable		
Dégénération du sol		
Diminution des rendements		
Destruction des terrains de cultures		
AUTRES		

2- ELEVAGE

EFFETS	OUI	NON
Diminution du terrain de pâturage		
Diminution des aliments pour les bétails		
Diminution du nombre de cheptel		
Autres		

C- Sur le plan ENVIRONNEMENTAL

EFFETS	OUI	NON
Diminution de la superficie des forêts		
Diminution du nombre d'espèces		
Variation des saisons		
Accessibilité à l'eau		
Sécheresse		

V- STRATEGIE LOCALE FACE AU DEPLACEMENT DES DUNES

- 1- Quelles techniques et moyens avez-vous déjà mis en œuvre pour lutter contre l'avancement des dunes ?

Lieu	Techniques/ Moyens
Rivage	
Champs de culture	
Terrain de pâturage	
Habitation	
Autres	

ANNEXE 2. FICHE D'INVENTAIRE DES PRELEVEMENTS

Fiche d'inventaire des prélèvements		
		
<u>Localité:</u>	Date :	<u>Coordonnées Géographiques</u>
	Code:	
Paramètre de la formation dunaire		
Hauteur		
Largeur		
Extension longitudinale		
Sinuosité		
Longueur flanc raide		
Longueur flanc doux		
Longueur moyenne flanc raide		
Longueur moyenne flanc doux		
Angle du flanc raide		
Angle du flanc doux		
Exposition		
Distance interdunaire		
Couleur sable		
Situation actuelle		
Formations végétales		
<u>Etudiant:</u>		<u>Référence:</u>

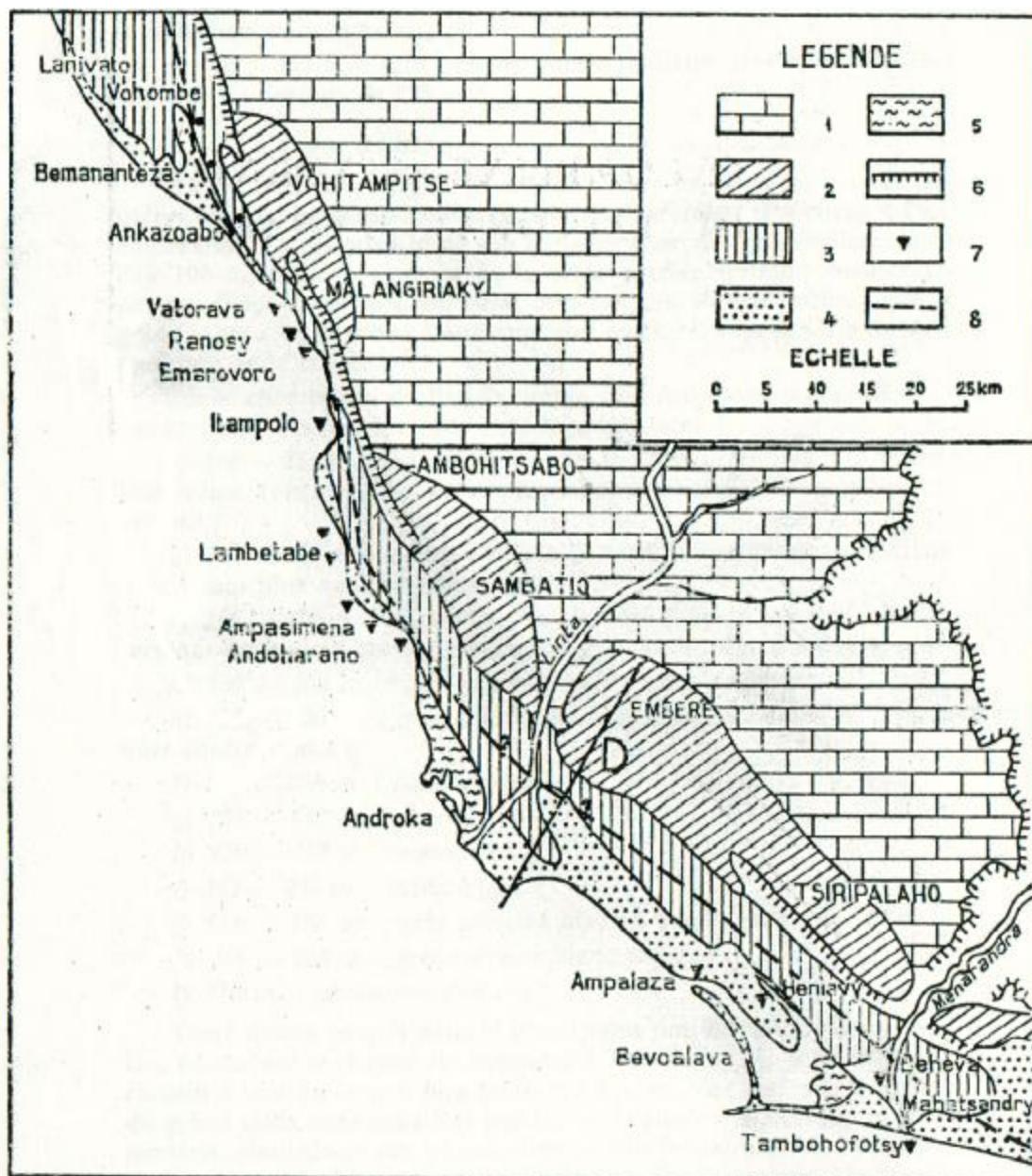
ANNEXE 3. LISTE DES MATERIELS POUR LES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

- Tamis à maille carré de type AFNOR qui sont composés de 18 tamis réparties en 3 séries.
- Une machine à secousse pour le tamisage
- Une balance électrique de précision

Le mode opératoire se fait comme suit :

- Peser 100 gr d'échantillon
- Verser l'échantillon dans le tamis
- Monter l'ensemble sur la machine à secousse
- Le tamisage dure en moyenne entre 10 à 15 mn pour chaque série de tamis.
- Peser le refus ou le tamisat obtenu.
- Incrire les valeurs obtenues dans le tableau de recensement
- Calculer les effectifs cumulés
- Construire l'histogramme des effectifs cumulés sur le papier semilogarithmique

ANNEXE 4.

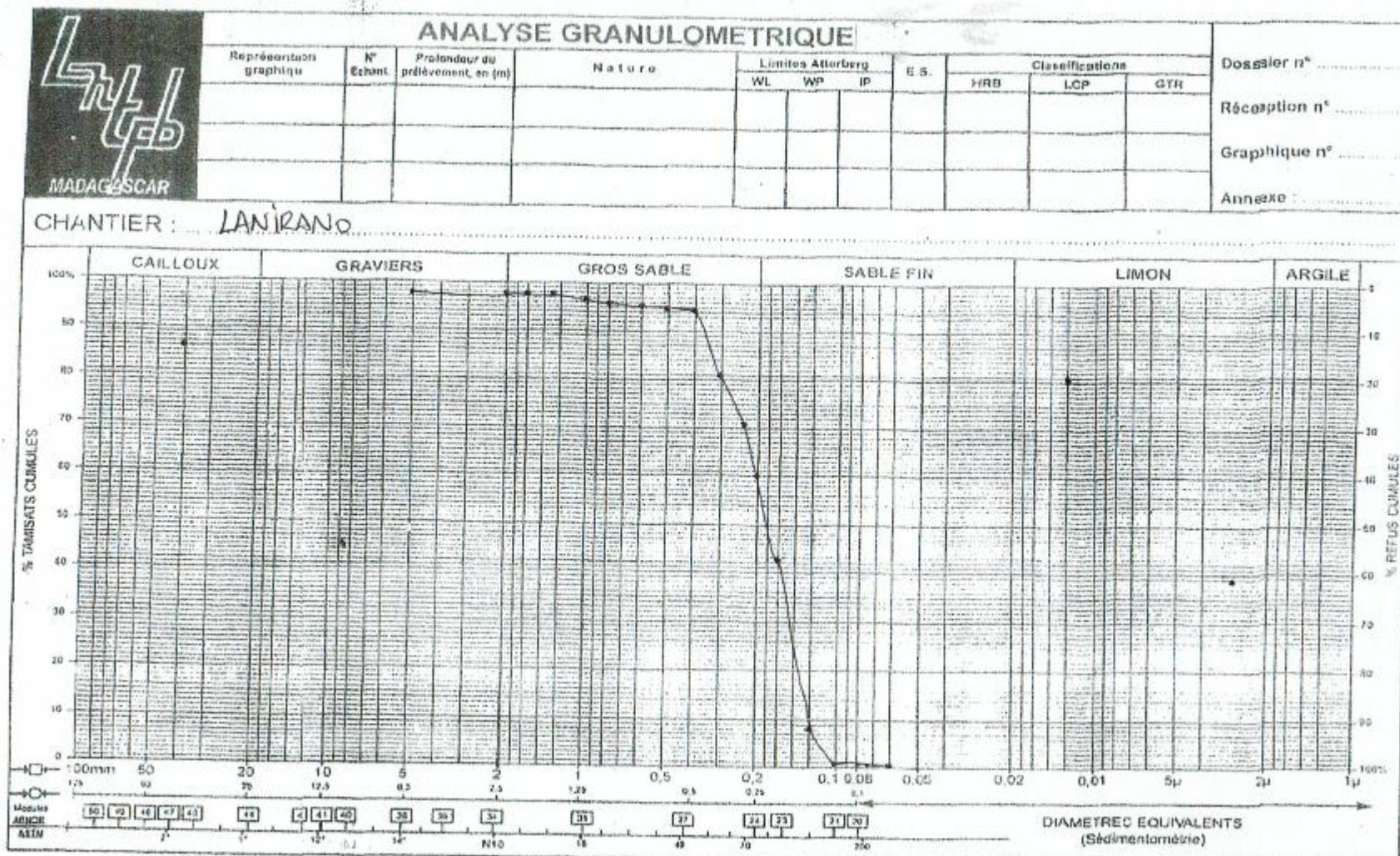
**Le complexe aepyornien du Sud Mahafaly.**

- 1 : Plateau calcaire mahafaly.
- 2 : «Grande Dune» (Aepyornien ancien).
- 3 : Dune karimboliennes grésifiée.
- 4 : Dune flandrienne.
- 5 : Sols salés.
- 6 : Grand talus dominant la plaine côtière et cuesta dans le Tertiaire marin.
- 7 : Karimboliens marin.
- 8 : Tracé de la ligne de rivage karimboliennes.

ANNEXE 4. CARTE DES DUNES SELON BATTISTINI R.

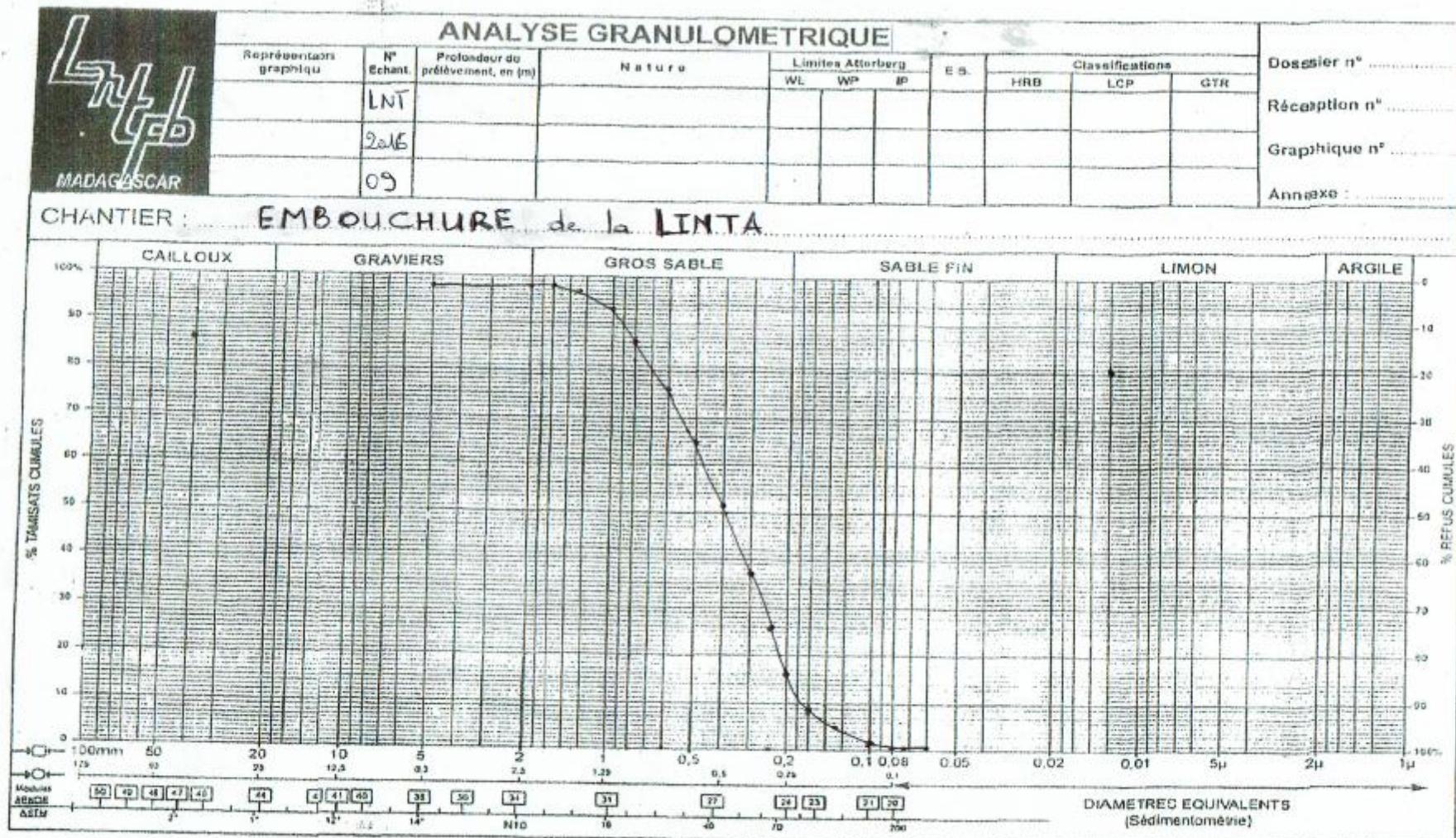
Annexes

ANNEXE 5. RESULTAT DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE LANIRANO



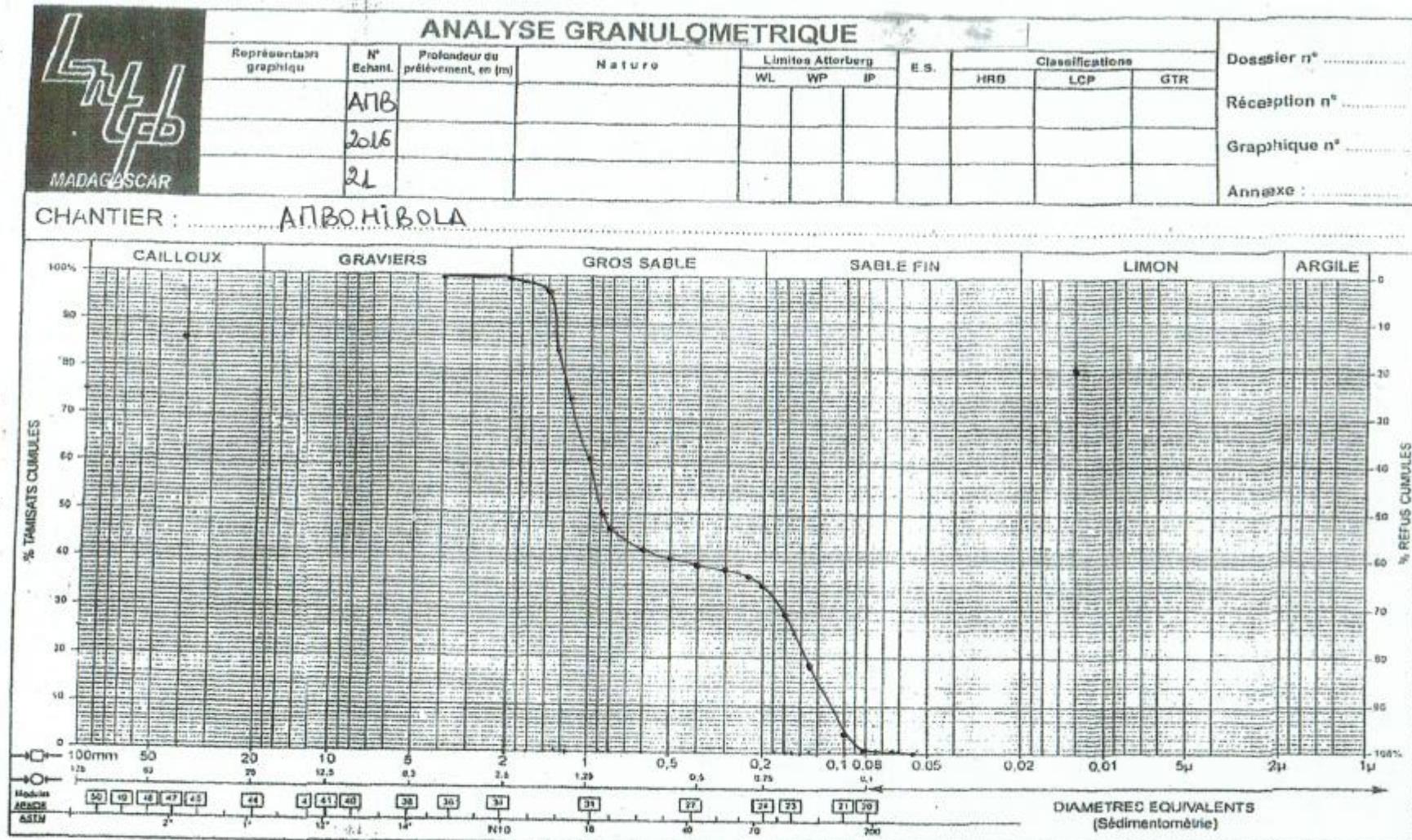
Annexes

ANNEXE 6. RESULTAT DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DE L'EMBOUCHURE DE LA LINTA



Annexes

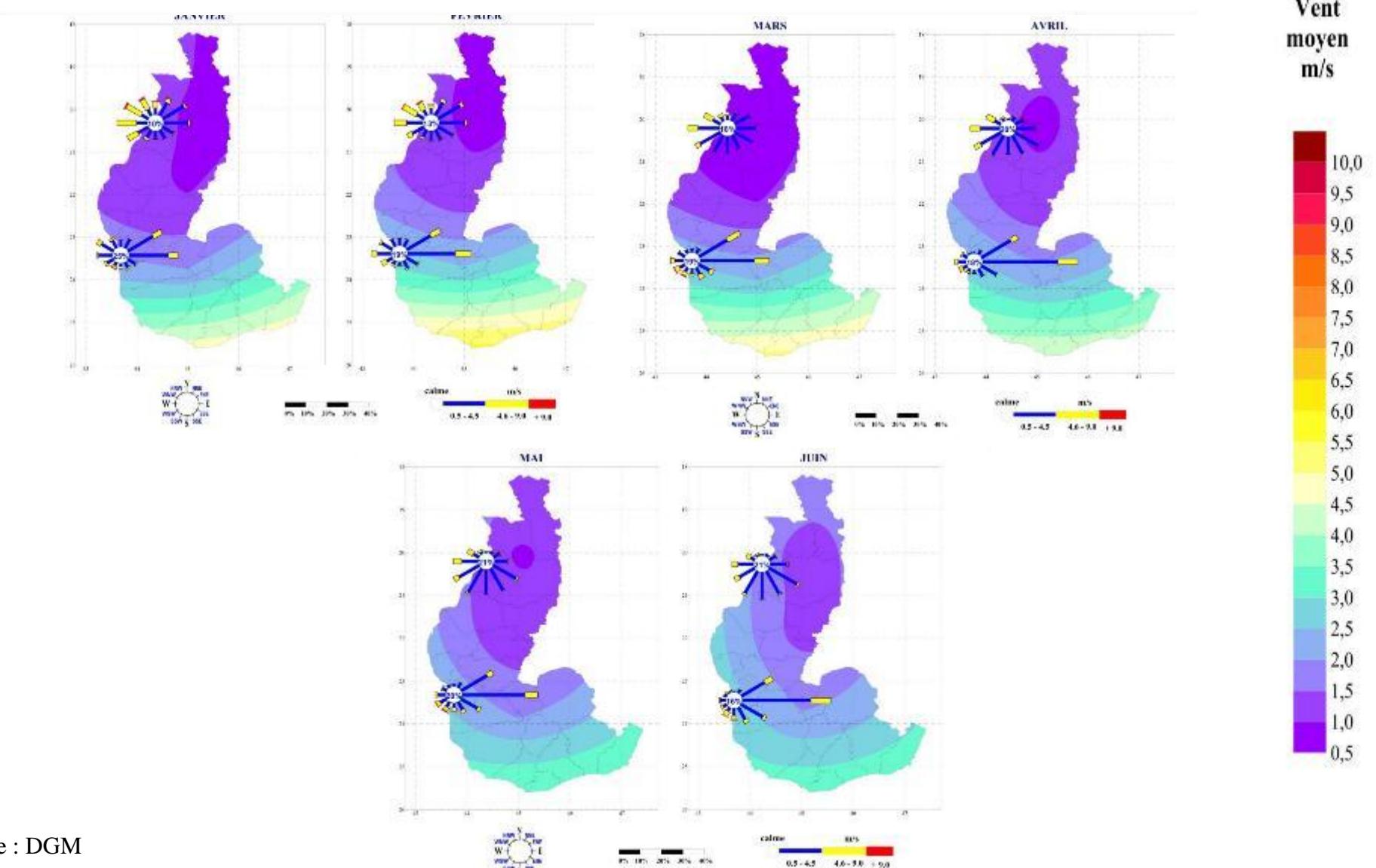
ANNEXE 7. RESULTAT DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE D'AMBOHIBOLA



ANNEXE 8.

TOLIARA

MOYENNES MENSUELLES DE VENTS ET ROSE DES VENTS

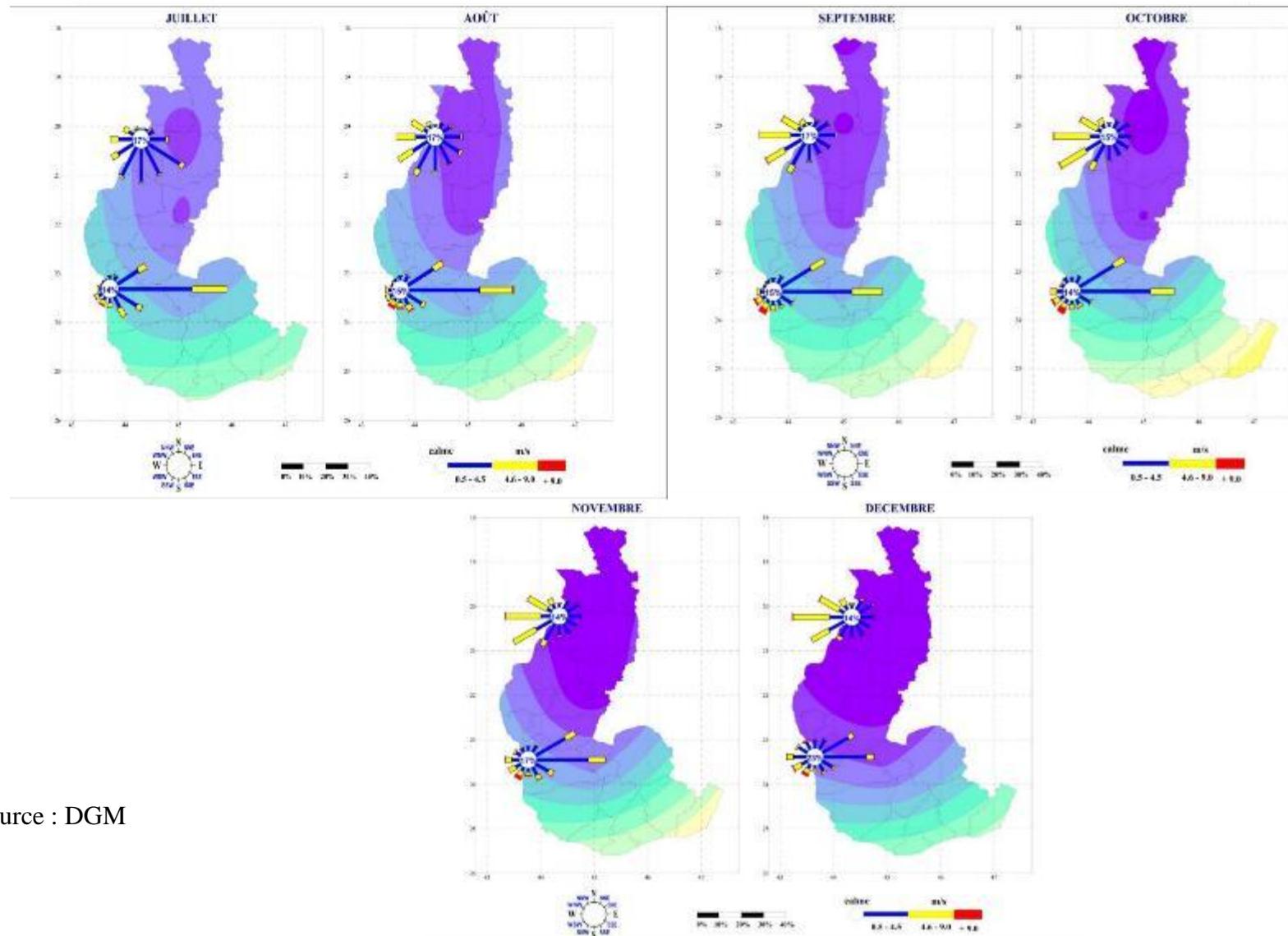
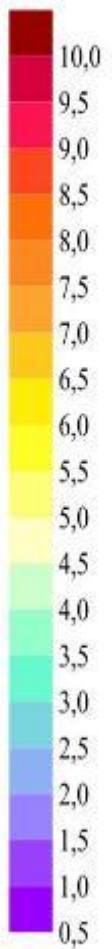


Source : DGM

ANNEXE 9.

TOLIARA
MOYENNES MENSUELLES DE VENTS ET ROSE DES VENTS

Vent
moyen
m/s



Source : DGM

ANNEXES

ANNEXE 10. TABLEAU DE CORRELATION DU QUATERNAIRE A MADAASCAR

INFERIEUR	AGES ABSOLUS (Océan Indien)	TERMINOLOGIE MADAGASCAR	SEQUENCES CLIMATIQUES (Pluviaux...Displuviaux)	NIVEAUX MARINS	PHENOMENES MORPHO - PEDOGENETIQUES (Principalement régional)	REPÈRES UNIVERSELLES (Correspondance hypothétique)		
						AFRIQUE DE L'EST	EUROPE	
PLEISTOCENE	2,20 ± 0,30 MA Nord-Madagascar (Rossi, 1980) 400 000 ± 100 000 Nord-Madagascar (Rossi, 1980) 240 000 + 70 000 - 40 000 Sun'Sand Beach, Kenya (Battistini, 1977) 150 000 Seychelles, Glorieuses (Veeh, 1966; Battistini 1977) 120 000 (Battistini, Stoddart, Lebeyre, Thomson et Walton) 100 000 à 80 000 (Battistini - Montagioni) 40 000 35 000 32 Limite des datations au C14 30 000 (Stoddart-Temple-Bish.) 20 000 ± 1000 (Nicholini) 18 000 12 000 - II 000 10 000 8 900 (Battistini) 6 700 fin Lavanono (Battist.) 3 800 (Bourgeat) 3 700 (Battistini) 2 250 (Battistini) 1 090 (Verin) 980 (Battistini) 0 BP	Chamière plio - cepporienne	DISPLUVIAL Sub - aride	Grande régression fini - pliocène (Pré - tertiaire)	- Achèvement de la grande surface fint-pliocène. - Epandages et glaciis de grande ampleur et remblaiement des compartiments côtiers. - Fin de la grande régression (niveau -100m atteint sous le delta du Fléhenana). Existence probable d'un Haut et Bas Fléhenana. - Niveau de 110-115m de la Tsiribihina.	INTERPLUVIAL	DONAU	
		TATSIMIEN (Battistini)	PLUVIAL Maximum transgressif + 3 à - 4 m au Cap Site Marie (Battistini)		- Dépôt de la haute nappe de la Sakoa (Vogt) et de la vieille terrasse du Mangoky - Poulongues d'Anteretrofasy (Rossi). - Formation de sols et d'allérites. Karstification active. - Incision des réseaux (jusqu'aux seuilles actuelles ?) Gorges du Bevaraha et du Fléhenana.			
					KAGUERIEN	INTERSTADE		
					INTERPLUVIAL	GÜNZ		
		ANTSIRANIEN (Rossi)	DISPLUVIAL Très sec	Maximum régressif	- Formation de vastes glaciis suivie de cuirassements (?) et encroûtements. Niveau de 30-40m de la Tsiribihina (Benevol). - Emergence de la plate-forme continentale et édification de la Grande dune rouge ou Q1 (Sourdat) Extrême Sud et S.W.	KAMASIEN	INTERSTADE	
		NOVONIEN (Rossi)	PLUVIAL Très humide (Premoramangien-Bourgeat Ambovombien)	Maximum transgressif + 10m (Rossi) - 20 à - 30m (Montagioni-Battistini)	- Abattement des versants. Dépôt de stane-lines. - Reconquête par la forêt ; formation de sols et allérites. - Karstification. - Reprise d'incision des talwegs.	KANJERIEN Niveau Upper Mombassa II	INTERSTADE	
PLEISTOCENE SUPERIEUR	150 000 KARIMBOLIEN I (Battistini)	Phase humide	Haut niveau de stagnation + 2 à + 4 m	- Couvert forestier, formation de sols ferrallitiques anciens ; rubéfaction des dunes et de la haute terrasse. - Niveau karimbolien de 3m et édification de cordons littoraux. - Creusement et déblayage intense des canyons (Fléhenana, Mandro). - Actions morpho-pédogénétiques faibles.	Phase humide	INTERSTADE		
PLEISTOCENE	KARIMBOLIEN II (Battistini)	Oscillation humide Oscillation sèche	Haut niveau transgressif + 2 à 6 m ?	- Actions morpho-pédogénétiques faibles. - Encroûtements.	Oscillation humide	INTERSTADE		
HOLOCENE	KARIMBOLIEN III (Battistini)	Oscillation humide	Haut niveau de stagnation - 20 ± 5 m	- Actions morpho-pédogénétiques faibles. - Incision des vallées.	GAMBLIEN I Thompson, Dodson 70 000 BP	INTERSTADE		
HOLOCENE	IRODIEN (ROSSI)	PLUVIAL humide (Lavanono - Battistini) (Post-Sombainien-Bourgeat)	Maximum transgressif - 10cm	- Encroûtements et formation de carapaces. Epandages grossiers et glaciis d'érosion. Remise à nu de certains calcaires. - Édification de la Petite dune (Battistini) ou Q2.1. (Sourdat).	35 000 (Gimmi 1985) GAMBLIEN II 25 000 - 30 000 BP	INTERSTADE		
HOLOCENE	FLANDRIEN	PLUVIAL (Post-Vavatenien - Bourgeat)	- 20m	- Extension des savanes (Nicholini) ; formation de glaciis. - Édification de la dune grise (Rossi) ou Q2.2 (Sourdat). - Rajouissement des plateaux. Erosion notable des récifs.	INTERPLUVIAL WÜRM II	INTERSTADE		
HOLOCENE	SUB - ACTUEL ET ACTUEL	ARIDIFICATION	Régession post-flandrienne Baie des Galions Niveau + 0,5m itampolo Niveau très légèrement inférieur au 0	- Culottage des sira-sira. - Mise en place de la dune flandrienne. - EROSION ANTHROPIQUE GENERALISEE. - Déboisement - REBUSES D'EROSION (Lavaka, sifaka, stane-lines "anthropiques") - affouillement dans les basses vallées (Narivavy, Isarivaha), assèchement des nappes.	NAKURIEN RECHAUFFEMENT	POST GLACIAIRE		

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	i
RESUME	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	vi
GLOSSAIRE	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE	3
1. CONTEXTE ET CONCEPTS DU SUJET	3
2. CHOIX ET INTERETS DU SUJET DE RECHERCHE	4
3. PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE	4
DEMARCHE ET OUTILS DE RECHERCHE	6
a- <i>La documentation</i>	6
b- <i>Conception des modèles cartographiques</i>	6
c- <i>Les travaux de terrain</i>	7
d- <i>Les travaux de laboratoire</i>	9
- <i>La granulométrie</i>	9
- <i>La morphoscopie</i>	12
PREMIERE PARTIE: LE COMPLEXE DUNAIRE DU DELTA DE LA LINTA	14
CHAPITRE I. LE SECTEUR NORD : LANIRANO	18
I.1. LES CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES DE LA ZONE	18
I.2. LES CARACTERES GRANULOMETRIQUES	19
CHAPITRE II. L'EMBOUCHURE DE LA LINTA	24
CHAPITRE III. LE SECTEUR DUNAIRE DU SUD	31
III.1. LE TAMBOHO D'ANDOLOBE	31
- Analyse morphoscopique	32
III.2. LE MASSIF DUNAIRE D'AMBOHIBOLA	33
a- <i>La granulométrie</i>	35
b- <i>La morphoscopie</i>	36

DEUXIEME PARTIE: LES MOTEURS DU TRANSFERT SEDIMENTAIRE	39
Généralités.....	40
<i>CHAPITRE IV. LES FACTEURS AERODYNAMIQUES</i>	41
<i>IV.1. LE FACTEUR EOLIEN</i>	41
<i>IV.2. LES FORCES EN ACTION SUR LE LITTORAL MAHAFALY</i>	46
<i>CHAPITRE V. LES FACTEURS BIOCLIMATIQUES</i>	48
<i>V.1. LES CONDITIONS CLIMATIQUES</i>	48
V.1.1. Des précipitations aléatoires.....	49
V.1.2. Des températures homogènes.....	52
<i>V.2. LA COUVERTURE VEGETALE</i>	55
 TROISIEME PARTIE: LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DUNAIRE.....	59
<i>CHAPITRE VI. EVOLUTION LITTORALE AU NIVEAU DE LANIRANO</i>	60
<i>CHAPITRE VII. EVOLUTION DU LITTORAL SUD DU DELTA DE LA LINTA</i>	64
VII.1.1. AU NIVEAU DU TAMBOHO D' ANDOLOBE.....	64
VII.1.2. AU NIVEAU D' AMBOHIBOLA ET DE FALIAMPASY.....	65
PALEOCLIMATS ET EVOLUTION PALEOENVIRONNEMENTALE DU SUD-SUD-OUEST.....	68
BIBLIOGRAPHIE.....	72
LISTE DES ANNEXES.....	78
TABLE DES MATIERES.....	94

Auteur : RAKOTONDRAMASY Andriamahery Henri

E-mail : *henri.rakotondramasy@live.fr*

Encadreur : Reine RAZAFIMAHEFA RASOANIMANANA,

Maître de Conférences

Nombre de pages : 95 ; **Nombre de figures :** 26

Nombre de tableaux : 16 ; **Nombre de photographies :** 34



Titre : « Recherches géomorphologiques sur les formations dunaires du delta de la Linta, dans le Sud-Sud-Ouest de Madagascar »

RESUME

Le delta de la Linta présente des caractéristiques physiques particuliers comme un climat subaride avec une prédominance d'un vent de secteur Sud, favorise la mise en place des formations dunaires. L'évolution continue des dunes tend à modifier la géomorphologie du littoral. Ces mutations ne sont pas semblables en tout point dans l'espace Mahafaly. Dans la partie septentrionale, un engrangissement du littoral s'observe. Par contre, l'érosion marine attaque au fur et à mesure le rivage dans la partie Sud.

Le déplacement des dunes génère des effets néfastes que ce soit sur le plan environnemental qu'économique. Une intensification de l'insécurité alimentaire s'aperçoit depuis quelques décennies. Plusieurs champs de cultures et terrains de pâturages sont ensevelis par les sables de dunes. Aussi, des écosystèmes terrestres et marins sont détruits comme les mangroves, récifs coralliens... Par ailleurs, l'évolution paléoenvironnementale du delta de la Linta peut être expliquée à partir des séquences climatiques anciennes mais aussi à partir de la présence d'une formation à caractère loessique.

Mots clés : Mahafaly, dunes, géomorphologie, érosion, loess.

ABSTRACT

The Linta delta has particular physical characteristics such as a subarid climate with a predominance of a southerly wind, favoring the establishment of dune formations. The continual evolution of the dunes tends to modify the geomorphology of the littoral. These mutations are not similar at all points in the Mahafaly space. In the northern part of the country, there is a fattening of the littoral. On the other hand, marine erosion attacks the shore in the south.

The displacement of dunes generates negative effects, both in terms of the environment and the economy. An intensification of food insecurity has been under way for several decades. Several fields of crops and grazing lands are buried by sand dunes. Also, terrestrial and marine ecosystems are destroyed like mangroves, coral reefs ... Moreover, the palaeoenvironmental evolution of the Linta delta can be explained on the basis of the old climatic sequences but also on the basis of the presence of a loess character's formation.

Keywords: Mahafaly, dunes, geomorphology, erosion, loess