

MORPHOLOGIE ET FORMATIONS QUATERNAIRES DU LITTORAL OCCIDENTAL DE MADAGASCAR ENTRE MAINTIRANO ET LE CAP SAINT-ANDRE

par R. BATTISTINI, A. GUILCHER, et A. M. MAREC

Le secteur littoral qui fait l'objet de ce travail s'allonge sur environ 220 km entre la plaine de la Sambao, à l'enracinement méridional du Cap Saint-André, et l'embouchure de la rivière Demoka au Sud de Maintirano (fig. 1). L'étude sur le terrain a été effectuée par deux d'entre nous, A. Guilcher et R. Battistini, en septembre 1967. Les analyses granulométriques et les calcimétries des échantillons ont été faites à l'Institut de Géographie de Paris par A. M. Marec et la morphoscopie par F. Saur et A. M. Marec. R. Battistini a coordonné l'ensemble du travail, effectué la rédaction, et dessiné les figures.

Le travail que nous présentons est le résultat d'une rapide reconnaissance de ce vaste secteur dont le Quaternaire littoral est encore mal connu. La région du Cap Saint-André est en effet une sorte de Far-West malgache dont l'accès n'est possible par la route que pendant quelques mois par an, à la fin de la saison sèche. D'autre part, la mer ne peut être atteinte qu'en de très rares endroits, à cause de la présence tout le long de cette côte de vastes mangroves pratiquement infranchissables : une étude complète de cette côte ne serait possible qu'en pirogue, et cela était irréalisable dans le peu de temps dont nous disposions. Aussi l'examen du terrain s'est-il limité à trois sous-secteurs (voir la figure n° 2) : celui de Besalampy au Nord, celui de Tambohorano, enfin celui de Maintirano. Le choix de ces trois sous-secteurs a été déterminé par le fait qu'ils étaient plus facilement accessibles que d'autres, et aussi par l'impression

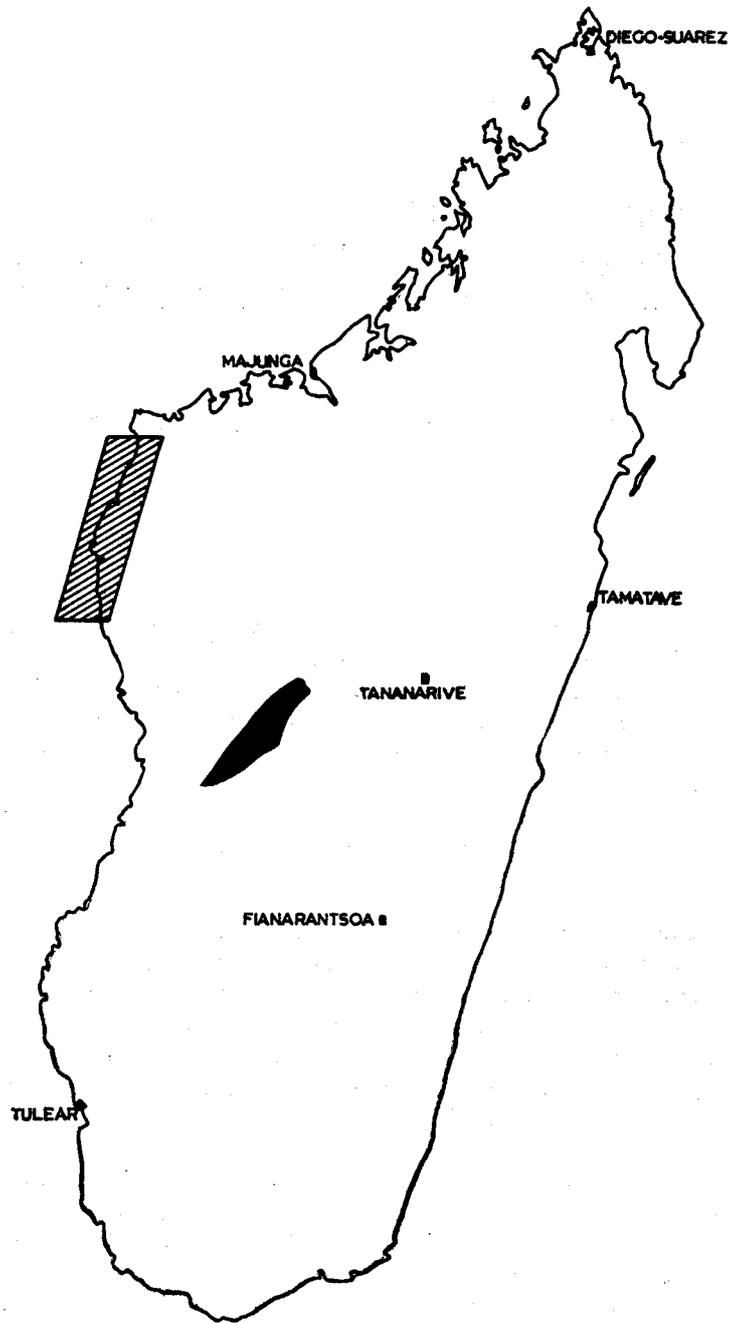


FIG. 1 : Croquis général de localisation.

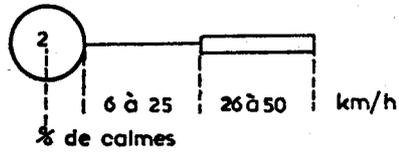
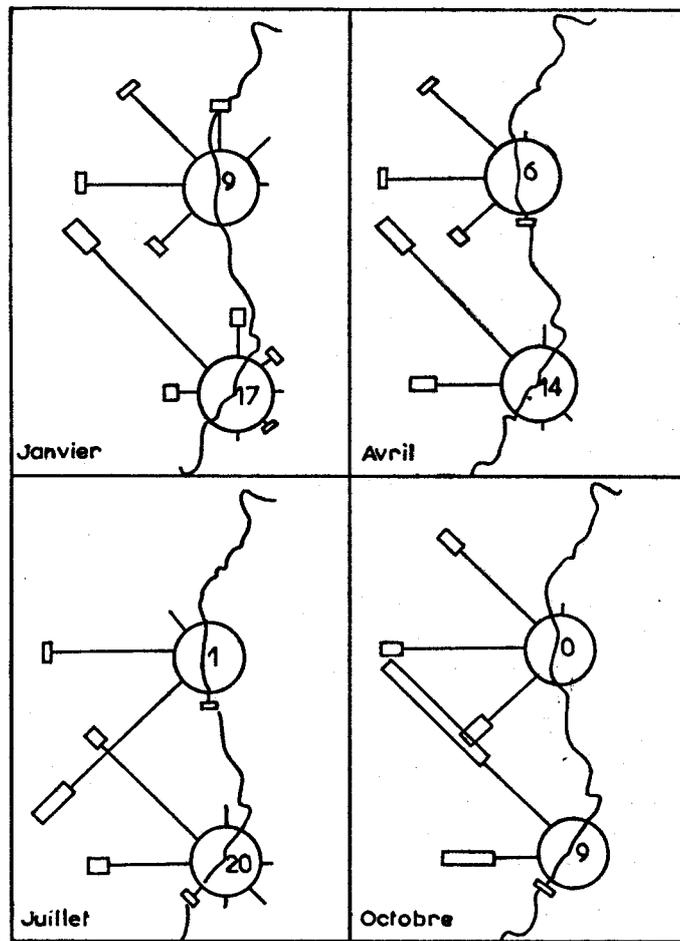
préliminaire, retirée d'un examen sur photos aériennes, d'une richesse des formes et des dépôts au moins aussi grande qu'ailleurs. Les quelques pages que J. Hervieu consacre, dans sa thèse (1966), à ce secteur littoral, nous ont aussi guidé dans ce choix.

I. — GENERALITES

La côte de la région du Cap Saint-André et au Sud du Cap jusqu'à Maintirano et même Morondava, est certainement l'une des plus monotones et inhospitalières de Madagascar. C'est une côte basse, avec d'interminables flèches sableuses en arrière desquelles s'étendent de vastes mangroves. L'arrière pays n'est guère plus attrayant, avec son relief monotone de plateaux ou de petites collines de quelques dizaines de mètres de hauteur, résultant généralement de la dissection de la surface fini-tertiaire et de ses formations corrélatives, couvert de brousse ou d'une maigre savane piquetée de palmiers satrana. Dans les rares endroits où ces reliefs arrivent jusqu'à la mer, c'est dans les sables argileux et les grès ferrugineux continentaux pliocènes, recouvrant les calcaires marins miocènes, qu'est entaillée la falaise : ainsi dans l'Andranovaky, près de Besalampy, où la falaise vive atteint une cinquantaine de mètres de hauteur. De telles falaises vives ne se rencontrent qu'en un seul autre endroit, au Cap Mandatsokora, à 20 km au Nord de Maintirano.

Comme les côtes méridionales et Sud-Ouest de Madagascar, la côte Ouest est battue toute l'année par les houles puissantes nées plus au Sud dans le lit des grands vents d'Ouest, et renforcées dans cette partie du Canal de Mozambique par les vents dominants des secteurs Sud-Ouest à Nord-Ouest (voir la figure 3). Ces grandes houles exercent leur action jusqu'au Cap Saint-André, mais, au-delà, la côte Nord-Ouest de Madagascar, jusqu'au Cap d'Ambre, est dans une position d'abri, et connaît un régime tout à fait différent, beaucoup plus calme. Dans l'ensemble du secteur qui nous intéresse, il existe une puissante dérive littorale vers le Nord. A certaines époques (au Karimbolien, et lors de l'arrivée de la transgression flandrienne), la ligne de rivage, ainsi que nous le montreront les reconstitutions, a été très irrégulière, avec de profondes baies. Mais actuellement nous avons sous les yeux un tracé très peu indenté, qui s'explique par la rapidité des phénomènes de régularisation du littoral, durant les 5000 dernières années, sous l'action puissante des vagues et de la dérive littorale. C'est là une différence fondamentale avec la côte Nord-Ouest, qui a encore gardé ses profondes baies et où la régularisation du littoral ne fait que commencer.





La longueur des segments de flèches comptée à partir du cercle est proportionnelle à la fréquence
 1 mm = 2%

FIG. 3 : Rose des vents au sol à 10 h. 30 TU à Maintrano et Morondava.



Un autre facteur favorable à la régularisation du littoral est l'importance des apports des fleuves aboutissant à la mer dans le secteur considéré, ou plus au Sud : Sambao et Manambaho, et d'autres plus courts comme la Maningoza, la Bemarivo, la Ranobe, la Manomba, entre Maintirano et le Cap Saint-André ; au Sud de Maintirano la Manambolo, la Tsiribihina, la Morondava et le Mangoky. Alors que dans l'extrême Sud de Madagascar, et même jusqu'au Mangoky, les eaux littorales sont en général pures, à partir du Mangoky en allant vers le Nord, les argiles prennent une importance croissante dans la sédimentation littorale, du fait des apports considérables des grands fleuves. A l'exception de rares secteurs, les eaux littorales, même en fin de saison sèche, sont d'une extrême turbidité : cela explique, avec un fort marnage de l'ordre de 4 mètres (marées semi-diurnes), le grand développement de la mangrove. La sédimentation des argiles ne se limite pas aux mangroves en arrière des cordons littoraux sableux, mais intéresse aussi les bas estrans du côté battu des cordons (les vagues déferlant à marée basse sont d'un jaune-rougeâtre soutenu), et de vastes portions de la plate-forme continentale.

Là est sans doute la principale raison de l'absence, à partir du Mangoky, de récifs coralliens de type frangeant, alors que ces récifs ont un si beau développement plus au Sud le long du littoral mikea dans la région de Tuléar, et sur la côte mahafaly (BATTISTINI, 1959, 1960, 1964). Il existe par contre en mer de beaux récifs isolés avec ou sans caye détritique, sur un plateau continental très développé en largeur (le secteur du Cap Saint-André est celui où le plateau continental atteint à Madagascar sa plus grande largeur, soit 60 à 90 km). Au Sud du secteur étudié, ce sont les îles Barren au Sud et en face de Maintirano (BATTISTINI 1964), et plus au Nord les îlots du banc Philomel, le banc Pracel et l'île de Chesterfield.

Pour comprendre l'évolution des sols, il est utile de présenter quelques données relatives à la pluviosité. Dans l'ensemble du secteur considéré la moyenne pluviométrique annuelle est inférieure à 1.400 mm. La pluviosité décroît vers le Sud et à Maintirano elle est d'environ un mètre. Il existe une saison sèche longue (7 mois), et très marquée ; les chiffres de pluviosité suivants, relatifs à Morondava, située plus au Sud, mais ayant un climat comparable, en donnent une idée : janvier 247,5 mm ; février 221,4 mm ; mars 117,9 mm ; avril 14,6 mm ; mai 7,5 mm ; juin 6,6 mm ; juillet 1,3 mm ; août 1,6 mm ; septembre 7,3 mm ; octobre 10,9 mm ; novembre 17,6 mm ; décembre 124,3 mm.

Le marnage est important, de l'ordre de 4 mètres.

II. — TRAVAUX ANTERIEURS RELATIFS AU QUATERNAIRE MARIN

Dans l'extrême Sud de Madagascar, l'un de nous (R. BATTISTINI) a établi (1959 et 1964) l'existence de trois grands ensembles dunaires :

a) La Grande Dune (Aepyornien ancien) constituée par des grès calcaires jaunes ou blanchâtres, à morphologie dunaire très atténuée, et tapissée par d'épais sols rouges sableux de décalcification (sables roux).

b) La Petite Dune, à morphologie dunaire encore bien conservée et à altération pédologique beaucoup moins poussée : sables rosés, jaunes, gris.

c) Les Dunes récentes, non grésifiées (sols éoliens peu ou pas évolués).

La base marine de la Grande Dune (maximum marin tatsimien) est visible sous cette dernière au Cap Sainte-Marie et au Cap Andrahomana, ainsi qu'en quelques autres endroits : il s'agit de grès coquilliers de couleur saumon ou rosée, très durs et recristallisés, montant jusqu'à quatre mètres d'altitude.

A la Petite Dune, correspondent de très nombreux dépôts de plage, grès coquilliers à ciment calcaire, montant jusqu'à trois mètres d'altitude (maximum marin karimbolien).

Deux âges absolus effectués par la méthode du C14 dans les dépôts « pluviaux » qui recouvrent la dalle marine karimbolienne à Lavanono (BATTISTINI 1966), ont prouvé que le Karimbolien ne correspondait pas au dernier interstade du Würm, mais était beaucoup plus ancien, et vraisemblablement inter Riss-Würm.

Dans une étude récente (1968) M. SOURDAT a montré que l'ensemble dunaire karimbolien de la région de Tuléar se subdivisait en deux séries inégalement pédogénétisées, la plus ancienne notée Q 21, étant par endroits chevauchée par la plus récente Q 22. Cette subdivision en deux de l'ensemble dunaire karimbolien nous semble applicable aussi à certains secteurs de l'extrême Sud, en particulier dans le Mahandrovato.

J. HERVIEU, dans sa thèse, fait l'inventaire des affleurements du Quaternaire marin ancien le long de la côte occidentale de Madagascar, en particulier dans le secteur qui nous intéresse. Les lieux où il signale la présence de grès ou grès calcaires marins ou dunaires quaternaires sont les suivants, entre le delta de la Tsiribihina et le Cap Saint-André (voir la figure 2) :

1) près du village de Manombo, à l'embouchure de la Demoka, au Sud de Maintirano : grès siliceux stratifiés à débris coquilliers ;

2) près du village d'Ambozotany, à environ 3 km au Nord de Maintirano : grès dunaire type « Tambohorano » ;

3) sur la rive sud de l'embouchure de la rivière Manomba : grès à stratification entrecroisée, façonnés en une plate-forme à vasques, et, à proximité, érodés en un « karts à colonnes » enfoui sous un sable jaune-rouge dunaire. Ici aussi ces grès présentent le faciès « Tambohorano » ;

4) dans l'estuaire de la Manambaho, un peu en aval du village d'Ankatrafay : grès coquilliers conglomératiques et mal cimentés, à graviers de quartz, de calcaire éocène et de grès ferrugineux, à faible pendage vers l'Ouest, et montant à un mètre au-dessus du niveau des plus hautes mers ;

5) en amont d'Ankatrafay, grès grossiers à stratification horizontale ou entrecroisée (faciès « Tambohorano »), à débris coquilliers jusqu'à plus de 2 ou 3 mètres, avec cheminées de dissolution sous sable dunaire rouge clair ;

6) affleurements de Tambohorano : grès calcaires coquilliers ;

7) près du village d'Ambvombe, au Nord de l'embouchure de la Sambao : grès de plage affleurant dans la zone intertidale.

Ces grès et grès calcaires quaternaires sont très différents d'aspect des calcaires marins miocènes, et ne peuvent se confondre avec ces derniers. Il s'agit de grès-calcaires jaunâtres, à fins débris coquilliers, à stratification subhorizontale ou entrecroisée, alors que le Miocène est représenté par des marnes et des calcaires ou grès-calcaires blancs à grain très fin à *Cyphus arenarius*, *Lepidocyclines* et *Echinides*. Le Miocène marin est connu dans le Nord-Ouest à Nosy-Makamby, au Cap Tanjona et dans la baie de Baly. Dans notre secteur, il affleure à Besalampy et à Maintirano. On connaît les mêmes faciès du Miocène marin dans l'extrême Sud, en particulier à l'extrémité du Cap Sainte-Marie où il est recouvert en discordance par la série marine et dunaire tatsimienne. La mise en place du Miocène marin a été suivie d'une importante régression au Pliocène, avec mise en place d'une série continentale souvent épaisse de 50 mètres ou davantage, à dominante sablo-argileuse, avec fréquemment concrétionnement du fer en grès ferrugineux : l'affleurement, le plus souvent, du Miocène marin sous cette série continentale, achève de la distinguer nettement des grès calcaires plus récents qui nous intéressent.

III. — LE QUATERNAIRE LITTORAL DE LA REGION DE BESALAMPY

La plaine littorale de la basse-Sambao et de la Maningoza est une vaste étendue marécageuse, pénétrant à une trentaine de kilomètres à l'intérieur des terres, alors qu'au Nord et au Sud le relief de plateaux peu élevés dans le Miocène marin et le Pliocène continental, recouverts de sables roux (carapace sableuse), arrive jusqu'à la mer, donnant de hautes falaises. Entre les marécages sur alluvions et la mer, s'étend une zone de 4 à 6 km de largeur à multiples cordons littoraux parallèles récents environnés par la mangrove (voir la figure 4).

La grande falaise vive de l'Andranovaky

Au Sud du village de Marofotra, le Miocène calcaire surmonté par les sables argileux pliocènes est attaqué par la mer en une grande falaise d'une cinquantaine de mètres de hauteur. Le Pliocène contient des niveaux de grès ferrugineux très durs qui s'éboulent sur l'estran en gros blocs d'aspect scoriacé. Le calcaire miocène est affecté de lapillis modérément déchiquetés, avec des mares à fond plat et à bords en encorbellement, mais sans individualisation d'une plate-forme à vasques. La falaise a été suivie sur 5 kilomètres environ vers le Sud, sans que soient trouvés des témoins de formations quaternaires anciennes accolées. Le contact entre le calcaire miocène et son recouvrement pliocène est irrégulier, suggérant l'existence d'une karstification prépliocène avec fossilisation sous le Pliocène continental.

La flèche karimbolienne de Marofotra

Cette flèche s'appuie au promontoire de l'Andranovaky, dans les formations miocènes et pliocènes, et se développe du côté interne au Nord du lac Ambaro, à 1,5 km environ à l'Est du village de Marofotra, au lieu dit Anjoly. Longue d'un kilomètre, avec une largeur moyenne d'une centaine de mètres, elle a un sommet plat à environ 4 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers, et est entièrement recouverte par une végétation de grands arbres sauf à l'enracinement. Elle est entièrement constituée par des grès-calcaires, attaqués par endroits en falaises de 3 à 4 mètres de hauteur. Il s'agit d'un grès-calcaire jaune, à grain fin à moyen en lits alternés (échantillons 20 et 24). L'étude calcimétrique a donné une teneur en calcaire de 64 %.

A la base, ce grès est une plage marine ancienne à galets de calcaire miocène et de grès ferrugineux pliocènes de 8 à 10 cm de grande dimension. Plus haut dans les coupes, le grès est plus fin,

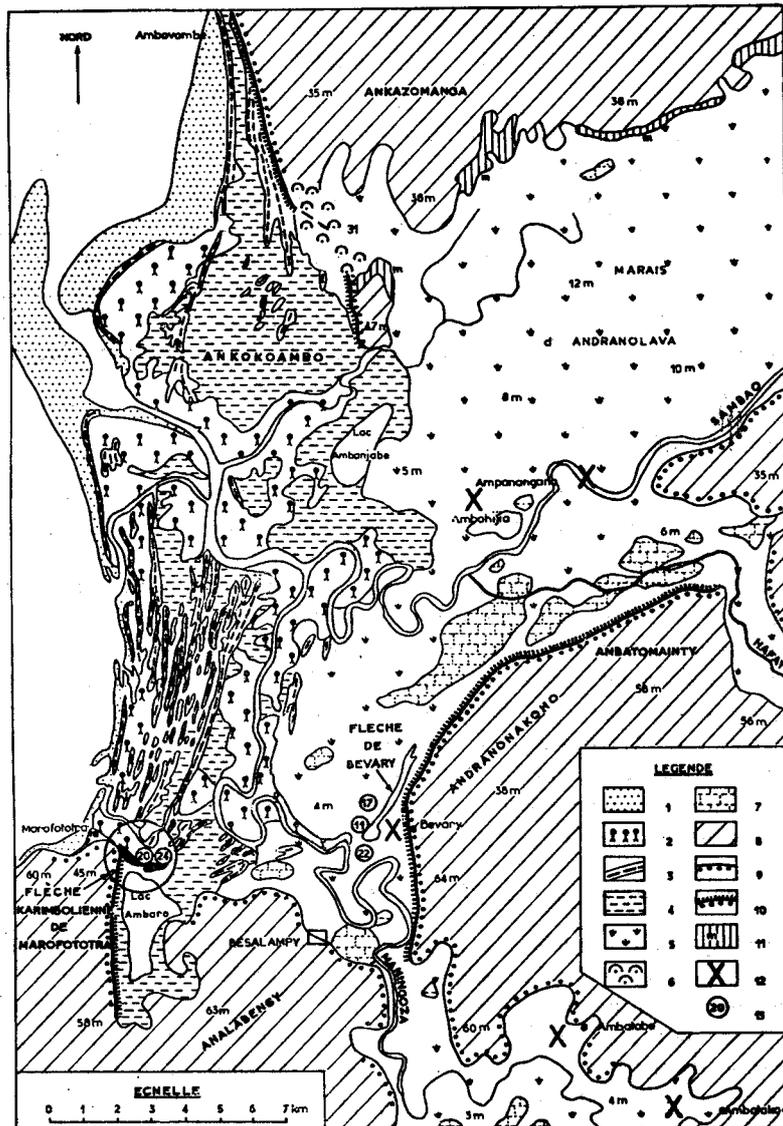


FIG. 4 : Croquis morphologique d'ensemble de la région littorale de Besalampy (basse Samba).

- 1) Bas estran sablo-vaseux — 2) Mangrove — 3) Principaux cordons littoraux sableux — 4) Haut estran vaseux ou sablo-vaseux sans palétuviers — 5) Zones marécageuses — 6) Dunes — 7) Rizières — 8) Collines et lambeaux de plateau de l'intérieur avec « carapace sableuse » — 9) Ligne de rivage karimbolienne — 10) Ligne de rivage karimbolienne avec falaise morte bien conservée — 11) Miocène marin — 12) Points particuliers (dont sondages) cités par J. Hervieu (thèse) — 13) Point de prélèvement (avec numéro de l'échantillon).

mais avec quelques galets par endroits jusqu'à 2 mètres ou 2,5 mètres de hauteur. On peut se demander en beaucoup d'endroits si la partie supérieure n'est pas dunaire (grès calcaire sableux coquillier fin et bien classé). En fait, il est probable qu'il s'agit sur toute la hauteur d'un sable de plage, car les stratifications entrecroisées sont rares ; quand il y en a, elles sont dans la partie inférieure riche en galets et qui est sûrement marine. Les strates de la partie supérieure sont très bien marquées et à peu près horizontales. L'ensemble de la formation est lapiazée, avec des pipes verticales ayant jusqu'à 40 cm de diamètre, allant jusqu'aux lits à galets de la base. Il y a dans ces pipes des revêtements internes de calcite, mais peu développés. La formation superficielle d'altération est un sable gris foncé à jaune foncé en profondeur.

L'accumulation de Bevary

A l'Ouest et au Nord de Bevary s'allonge une accumulation en forme de flèche littorale, qui dépasse le niveau général des marais de 4 à 5 mètres. Sa longueur est de 3 kilomètres et sa largeur moyenne de 150 mètres avec un renflement au Sud. A un premier examen sur photographies aériennes, cette accumulation semble appartenir à la même génération que de nombreux autres éléments tronçonnés résiduels de flèches littorales situées au Nord-Ouest de Besalampy. La masse de l'accumulation est constituée par un sable fin assez bien trié, mais incluant quelques grains de quartz plus gros allant de l'émoussé au non usé. Sous le sable affleurent à l'extrémité sud, au niveau des marais, des gros rochers d'un grès blanc siliceux très dur à petits galets de quartz bien roulés (calcimétrie du grès : 0 % de calcaire), très probablement préquaternaire (grès continental du Crétacé moyen ?).

Les sondages dans la plaine de la Sambao et de la Maningoza (voir localisation sur la figure 4).

Plusieurs sondages ont été effectués à travers le remblaiement alluvial de la plaine de la Sambao et de la Maningoza (HERVIEU, 1968) :

a) sondage de Bevary (1959) : des couches à huîtres ont été rencontrées sous les alluvions à 2 mètres environ au-dessus du niveau des plus hautes mers actuelles.

b) sondage à l'Ouest d'Ankaboka et d'Ambatobe : débris coquilliers récents, à une profondeur indéterminée.

En outre, au lieu dit Ambohijia, au centre de la plaine de la Sambao, J. HERVIEU signale l'existence de coussinets d'huîtres, à plus

de 2 ou 3 mètres d'altitude, sur des calcaires miocènes fins. Dans le Nord de la plaine il existe, en plus des dépôts d'huîtres, des sables de plage non consolidés, à faune abondante de lamellibranches actuels.

Essai de reconstitution de l'évolution quaternaire

Le grand talus qui domine la flèche de Marofototra et le lac Ambaro est une section de la falaise fossile karimbolienne. Il est possible que l'accumulation de Bevary soit de la même époque, mais qu'il n'y ait pas eu grésification dans un matériel moins calcaire à l'origine (sables fluviaux de la Maningoza remaniés sur une faible distance ?). Quelle que soit l'interprétation et l'âge que l'on donne à cette accumulation, le talus bien net qui domine Bevary, et dont la route longe le pied sur une quinzaine de kilomètres, est certainement une autre section de la falaise karimbolienne.

La transgression flandrienne a occupé une nouvelle fois la plus grande partie de la dépression, et c'est à une époque très récente que s'est effectué le comblement alluvial et la régularisation du rentrant par un grand nombre de cordons littoraux sableux.

IV. — LE QUATERNAIRE LITTORAL DE LA REGION DE TAMBOHORANO

La côte de la région de Tambohorano est une côte basse, bordée de mangroves, et nulle part il n'existe de hautes falaises vives dans les terrains tertiaires semblables à celles décrites près de Besalamy. Le paysage de collines dans des terrains préquaternaires, voilés sous des sables roux (carapace sableuse de la carte géologique au 1/100.000^e) ne se retrouve qu'à quelques kilomètres à l'intérieur des terres, généralement une dizaine dans le secteur qui nous intéresse. Entre ces collines de l'intérieur, hautes de 30 à 50 mètres, et la mer, s'étend un complexe quaternaire qui se divise en deux parties :

- 1) un système de vieux cordons en partie grésifiés, d'âge karimbolien ;
- 2) les cordons, les mangroves et les épandages fluviaux flandriens.

Le système de cordons karimboliens

Ce système a un très beau développement autour de Tambohorano. Il est constitué par une quinzaine de cordons littoraux anciens particulièrement bien conservés, séparés par autant de sillons maré-

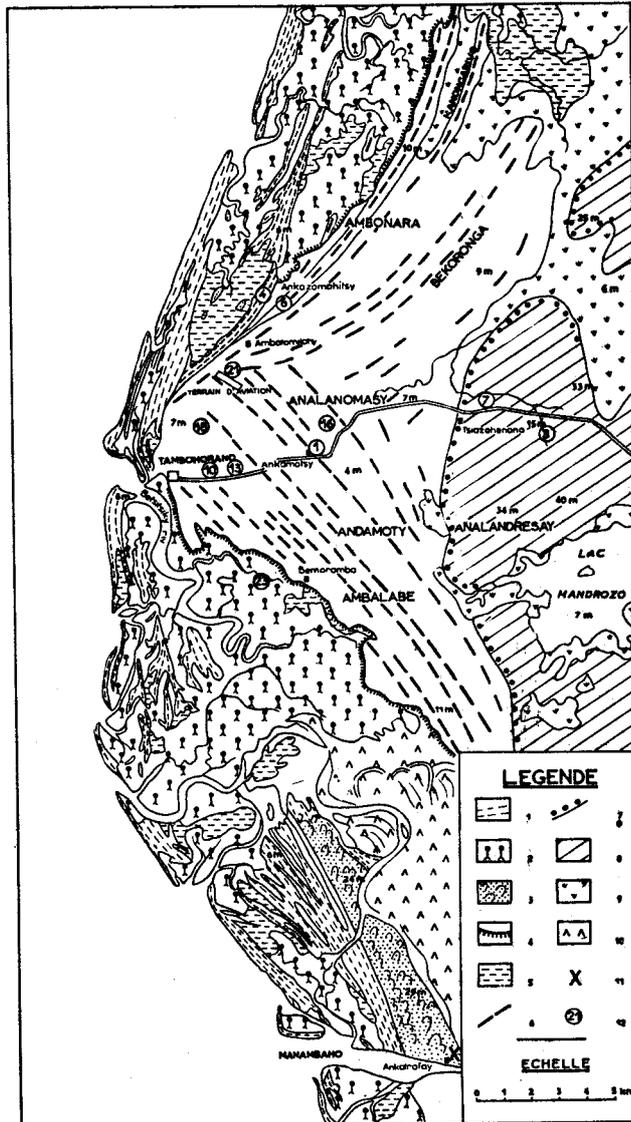


FIG. 5 : Croquis morphologique de la région littorale de Tambohorano.

1) Cordons sableux flandriens — 2) Mangrove — 3) Dunes — 4) Falaise flandrienne dans le Karimbolien — 5) Haut estran vaseux ou sablo-vaseux sans palétuviers — 6) Cordons karimbollens — 7) Ligne de rivage karimbollienne — 8) Collines de l'intérieur, avec «carapace sableuse» — 9) Zones marécageuses — 10) Epan. dages sablo-limoneux fluviatiles — 11) Grès coquilliers d'Ankatrafay d'après J. Hervieu, thèse — 12) Point de prélèvement (avec numéro de l'échantillon).

cageux, l'ensemble étant disposé en un V dont la pointe est située un peu au Nord de Tambohorano, et qui s'appuie aux collines de l'intérieur. Les cordons de la partie méridionale du V s'allongent du Sud-Est au Nord-Ouest, ceux de la partie septentrionale du Sud-Ouest au Nord-Est. Cette disposition apparaît particulièrement bien sur les photographies aériennes du Service Géographique du fait que les cordons sont soulignés par une végétation forestière, qui leur donne une teinte foncée, tandis que les sillons intermédiaires marécageux ont une teinte plus claire (savane à satrana). Chaque unité a une longueur variable, car un ensemble d'un kilomètre de largeur peut se décomposer localement en cordons élémentaires de plus petite taille, de 100 à 200 mètres de largeur. Les cordons boisés culminent entre 8 et 11 mètres, tandis que l'on trouve dans les sillons intermédiaires des côtes d'altitude comprises entre 3 et 8 mètres.

Dans la partie nord, la carte géologique au 1/100.000^e qualifie ce système de cordons anciens de « calcaire oolithique gréseux de Tambohorano, d'âge miocène ». De fait, dans cette partie, certains des cordons anciens sont grésifiés dans la masse, par exemple le cordon qui domine du côté sud-ouest le terrain d'aviation. Il s'agit d'un grès-calcaire jaune clair lapiazé, marin à la base (stratifications horizontales avec petites coquilles marines), et dunaire au sommet (stratification entrecroisée très nette, mais seulement par endroits). L'échantillon n° 21, prélevé près du terrain d'aviation, a donné à la calcimétrie 75 % de calcaire. Les coupes présentent les mêmes aspects qu'à Marofototra, et, comme dans cette dernière localité, les grès-calcaires sont lapiazés.

Un itinéraire à pied depuis Tambohorano jusqu'à un point situé au Sud du terrain d'aviation, fait traverser cinq de ces cordons, séparés par autant de dépressions. Dans la plupart des cas, seuls émergent des chicots lapiazés de grès-calcaires. Dans d'autres cas, des coupes sont visibles sur 2 mètres de hauteur, montrant les mêmes stratifications que près du terrain d'aviation.

D'autres cordons grésifiés existent dans la partie du système située au Sud de Tambohorano. La piste de Tambohorano à Andranovao en traverse quelques-uns, montrant des chicots lapiazés au ras du sol, ou une croûte calcaire, semblable à celle qui carapaçonne le Karimbolien dans l'extrême Sud de Madagascar. Un échantillon de croûte calcaire prélevé à Ankamotsy (échantillon 1) donne 94 % de calcaire.

Divers itinéraires, en particulier la piste principale menant à Tambohorano, montrent que s'il existe des cordons grésifiés dans la masse, d'autres ne le sont pas, en particulier ceux qui se trouvent en position plus interne par rapport à l'ensemble du système, par exem-



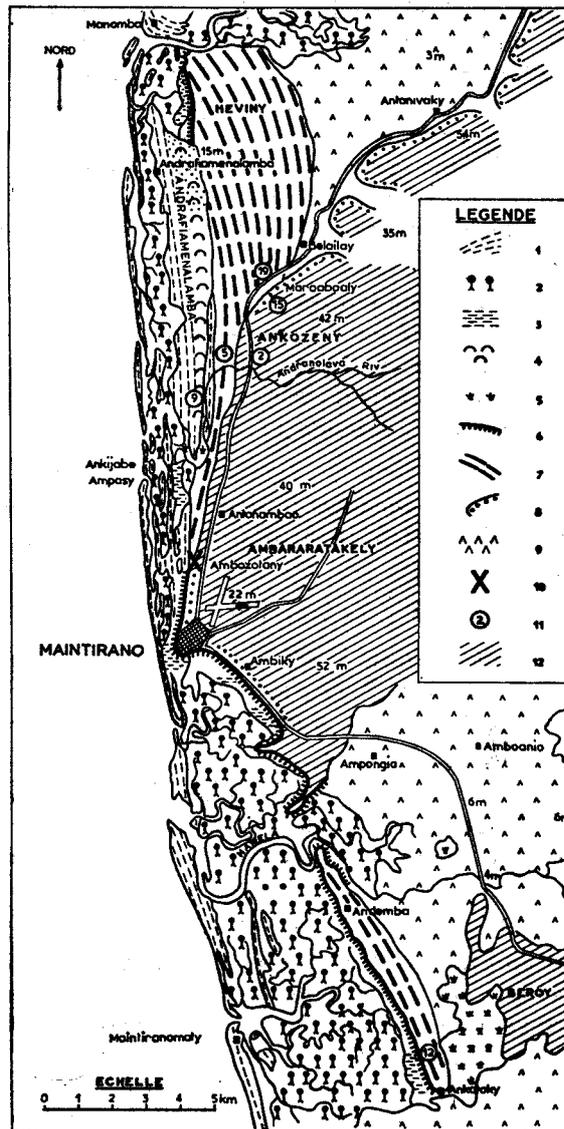


FIG. 6 : Croquis morphologique de la région littorale de Maintirano entre la Demoka et la Manomba.

- 1) Cordons littoraux sableux flandriens — 2 Mangrove — 3) Haut estran vaseux ou sablo-vaseux sans palétuviers — 4) Dunes — 5) Zones marécageuses — 6) falaise flandrienne — 7) Cordons karimbeliens — 8) Ligne de rivage karimbo-lienne — 9) Remplissage alluvial sablo-limoneux flandrien — 10 Grès d'Ambozotany (d'après J. Hervieu, thèse) — 11) Point de prélèvement (avec numéro de l'échantillon) — 12) Collines et lambeaux de plateau de l'intérieur avec «carapace sableuse».



ple près du village d'Ankarandoha : il y a là d'épais cordons seulement sableux, de couleur ocre à jaune foncé, jaune clair, et même blanc (échantillons n° 13 et n° 16). De toute évidence, ces tronçons de cordons appartiennent au même système. On peut penser que la grésification ou l'absence de grésification ont dépendu de la richesse originelle des différents cordons en matériel calcaire. Les conditions locales expliquent aussi les différences de couleur des sables : ce fait est bien connu depuis les travaux de SOURDAT sur le matériel karimbolien des environs de Tuléar.

Le prélèvement 6 a été fait sur le plus extrême des cordons karimboliens de la partie Nord du V, près d'Ankazomahitsy. Il s'agit d'un sable ocre bien trié (voir la figure n° 7). L'analyse morphoscopique a donné les résultats suivants (F. SAUR) :

| | |
|-------------------------|------|
| émoussés luisants | 96 % |
| non usés | 4 % |

Si l'on distingue les émoussés luisants, les émoussés plus ou moins picotés, les ronds-mats et les non usés, les résultats sont les suivants (A.M. MAREC) :

EL : 43 % ; EP : 35 % ; RM : 1 % ; NU : 21 %.

Le sédiment est constitué à 100 % par des grains de quartz jaune-ocre (pellicule ferrugineuse). Il s'agit d'une formation de plage ancienne, avec probablement un remaniement éolien partiel.

Le fond des sillons porte des sols de marais. Une excavation de 1,50 mètre à un kilomètre au Nord-Est de Tambohorano permet de retrouver, sous ce sol épais de 20 cm, le sable ocre, qui existe donc aussi au moins par endroits dans les creux entre les cordons (échantillon n° 18).

L'ensemble du complexe karimbolien a été entaillé du côté externe par la transgression flandrienne, en une petite falaise de 4 à 8 mètres de hauteur, qui domine les mangroves (voir la figure n° 5). Dans un « arroyo » de ces mangroves, à l'Ouest-Nord-Ouest du village de Bemoramba, affleure un grès coquillier que nous considérons comme du Karimbolien marin probable (échantillon n° 23). Il s'agit d'un grès de couleur grise, à grains de quartz de cassure brillante, beaucoup plus dur que les grès-calcaires jaunes des cordons précédemment décrits. La calcimétrie a donné 50 % de calcaire, ce pourcentage étant dû essentiellement aux débris coquilliers calcaires, les parties intermédiaires étant presque purement siliceuses.

Le tracé de la falaise morte karimbolienne peut être reconstitué assez aisément dans ce secteur, (voir la figure n° 5). Le lac Mandrozo doit son origine au barrage des cordons anciens karimboliens, d'autant

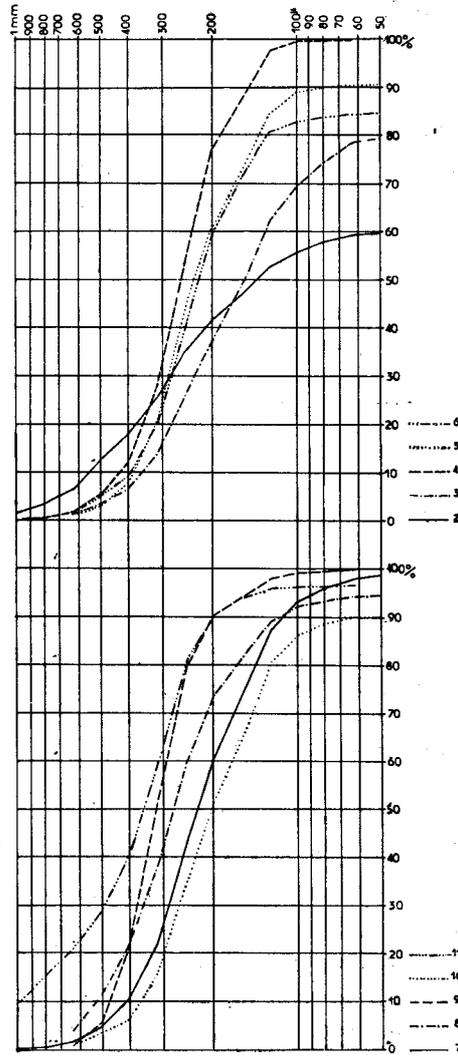


FIG. 7 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons n° 2 à 11.

moins facilement tronçonnés par les rivières qu'ils sont en partie grésifiés : sa formation serait identique à celle du lac Tsimanampetsotsa, sur la plaine côtière mahafaly. La seule rivière de ce secteur, la Kingalahy, ne traverse pas le système des cordons anciens mais le contourne par le Nord. Le lac Mandrozo a lui-même son exutoire de ce côté, étant tributaire de la Kingalahy.

Les formes de colmatage flandriennes et actuelles

De part et d'autre de l'avancée en pointe du complexe karimbolien, les phénomènes de colmatage flandriens se sont largement développés au Nord et au Sud, comprenant des cordons sableux et des mangroves sur une largeur atteignant 10 km.

Une coupe à la hauteur d'Ankazomahitsy, au Nord de Tambohorano, fait traverser les éléments suivants :

1) Le plus externe des cordons karimboliens, constitué de sable ocre (prélèvement 6 déjà étudié).

2) Une petite falaise de 3 à 4 mètres de hauteur entaillée dans le cordon ancien, et déjà plus ou moins oblitérée, que nous interprétons comme marquant la ligne de rivage maximale flandrienne.

3) Une étroite dépression herbeuse piquetée de satsana.

4) Un cordon sableux large de 300 mètres dominant d'environ 2 mètres la dépression précédente, et couvert par une forêt sèche dense. Il s'agit d'un vieux cordon flandrien, de sable siliceux très blanc sous un sol humifère noir épais d'une dizaine de centimètres. Ce sable est bien trié (voir la figure n° 7). L'analyse morphoscopique donne les résultats suivants (F. SAUR) :

EL : 83 % ; RM : 11 % ; NU : 6 %

En tenant compte des EP (A.M. MAREC) :

EL : 52 % ; EP : 28 % ; RM : 6 % ; NU : 14 %.

5) Une frange étroite de mangrove interne (largeur 10 à 15 m).

6) Une vaste étendue de sols salés nus, sur une largeur d'environ 2 km, dominée par des fragments tronçonnés de cordons sableux.

7) Sur une largeur de 400 m, une nouvelle série de crêtes de plages sableuses à boisement plus lâche.

8) A nouveau une mangrove.

9) Le cordon externe sableux, sans végétation.

Selon d'autres transversales, la coupe peut être encore plus compliquée, du fait d'un plus grand nombre de cordons, souvent avec de la mangrove dans les sillons intermédiaires.

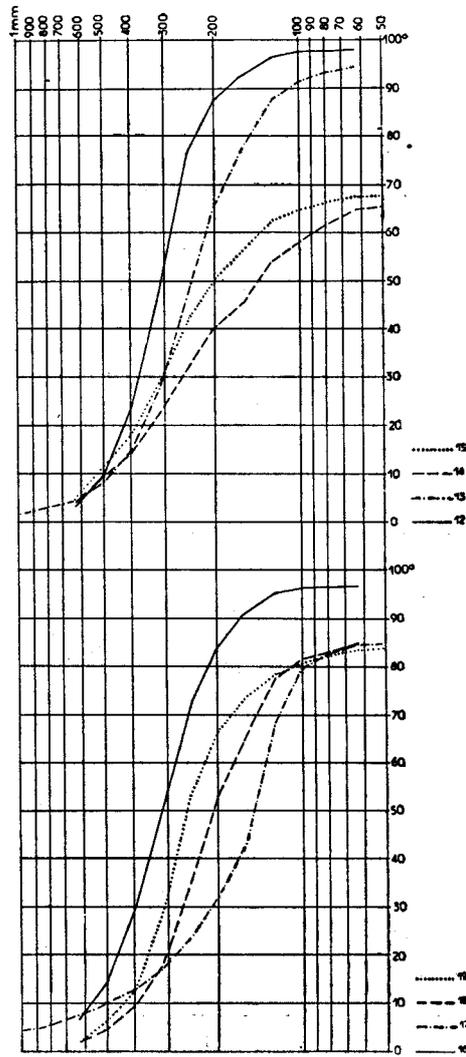


FIG. 8 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons n° 12 à 19.

Au Sud de Tambohorano, la mangrove connaît un particulièrement beau développement, sur une largeur proche de 10 km (Betsitsiky). La mangrove peut venir jusqu'au pied de la petite falaise flandrienne entaillant les vieux cordons karimboliens, mais souvent il existe ici aussi une zone de vase nue dans les parties hautes de l'estran, et une étroite frange interne de palétuviers juste au pied de la falaise.

Le secteur encore plus au Sud fait partie du delta de la Manambaho. La partie interne du delta est dominée par des tronçons de cordons karimboliens. En position plus externe, un magnifique ensemble en éventail, constitué par environ une centaine de crêtes de plages flandriennes, a été remanié en dunes paraboliques vives progressant vers le Nord-Nord-Est. Un des bras divaguant, actuellement non fonctionnel, de la Manambaho, a entaillé en une petite falaise cet ensemble sableux flandrien, et largement étalé ses alluvions par-dessus les sols salés de mangrove. En avant de la mangrove, on retrouve ici le système des cordons les plus externes.

L'existence d'une zone de vase nue dans la partie interne de la zonation des mangroves semble habituelle dans l'Ouest de Madagascar. Cela s'explique le mieux par l'existence d'une saison sèche très marquée. Dans le golfe de Papouasie, où il n'y a pas de saison sèche, la mangrove croît en continuité avec la végétation continentale, avec seulement une zonation des espèces du bas en haut de l'estran. Dans les régions à saison sèche marquée, par contre, la dessiccation des parties supérieures de l'estran en morte eau accroît la teneur en sel au point que la mangrove ne peut y vivre. Il est fréquent dans l'Ouest malgache de retrouver une frange étroite de mangrove dans la partie tout à fait interne de l'estran : cela s'explique le mieux par des arrivées d'eau douce depuis le continent, qui atténuent localement la salinité du haut estran.

Un autre problème est posé par le début d'évolution pédologique fréquemment observé dans les cordons récents les plus internes, généralement couverts par une végétation arbustive dense. Tous ces cordons se sont-ils formés durant les derniers 5000 ou 6000 ans (la transgression flandrienne n'atteint un niveau proche du niveau actuel que vers cette époque) ? Ou bien les plus anciens de ces cordons datent-ils du dernier interstade Würm (aux environs de 30 000 ans), au cours duquel se produisit une transgression jusqu'à un niveau voisin du niveau actuel, antérieurement à la dernière grande régression correspondant au Würm III ? Pour l'instant, nous considérons comme flandriens l'ensemble des cordons sableux plus récents que le Karimbolien, mais il existe probablement là une direction de recherches, à mener en collaboration avec des pédologues.

Le problème de l'existence d'un vieux système dunaire tatsimien

A l'Est de la ligne de rivage karimbolienne, le figuré de la carte géologique intitulé « carapace sableuse » correspond dans la topographie à une région de collines et d'éléments de plateaux culminant entre une trentaine de mètres, et, à la bifurcation de la route de Maintirano, 114 mètres. Dans les bas-fonds, les sols sableux blancs ou gris, plus ou moins hydromorphes, sont fréquents (échantillon n° 7). Sur les hauteurs, sommets de collines ou lambeaux de plateaux, on trouve des sables roux correspondant à la « carapace sableuse » proprement dite.

Habituellement, dans l'Ouest, le biseau de sédiments continentaux pliocènes est recouvert presque uniformément par une telle couverture de sables roux (« carapace sableuse » ou « carapace argilo-sableuse »). Mais il s'agit d'un matériel très hétérométrique, incluant de gros grains de quartz anguleux, et même souvent de petits galets.

Le long de la piste de Tambohorano à la bifurcation de Maintirano, le matériel de la « carapace sableuse » nous est apparu souvent extrêmement différent des formations habituelles d'altération du biseau continental pliocène, que d'ailleurs la carte géologique n'indique pas en affleurement selon cette transversale. Il s'agit souvent, tout au moins là où ont été effectués les prélèvements (3, 8 et 14), d'un sable roux fin homométrique, très comparable d'aspect aux sables roux dunaire tatsimiens de la région de Morondava ou de l'extrême Sud de Madagascar. L'analyse morphoscopique a donné les résultats suivants pour l'échantillon n° 3 (F. SAUR) : EL : 88 % ; RM : 8 % ; NU : 4 %. En comptant les émoussés picotés (A. MAREC) : EL : 32 % ; EP : 53 % ; RM : 3 % ; NU : 12 %. Pour l'échantillon n° 14 prélevé près de la bifurcation de la route de Maintirano (F. SAUR) : EL : 81 % ; RM : 2 % ; NU : 17 %. En comptant les émoussés picotés (A.M. MAREC) : EL : 46 % ; EP : 36 % ; RM : 1 % ; NU : 17 %.

L'examen sur le terrain, et les analyses granulométriques et morphoscopiques, suggèrent l'hypothèse de l'existence d'une vaste nappe de sables éoliens très anciens rubéfiés, pouvant intéresser une bande de 20 km de largeur en arrière de la falaise morte karimbolienne. Ces sables sont beaucoup plus rouges que les sables karimboliens, qui atteignent seulement l'ocre beaucoup plus clair. Sans doute une partie des sables roux de cette zone correspond-elle à l'altération des formations pré-quaternaires sous-jacentes, et non cartographiées, mais nous pensons qu'il demeure par dessus, et au moins par endroits, des témoins d'une couverture dunaire ancienne très rubéfiée qu'il conviendrait de rattacher au Tatsimien, et qui aurait été mise en place antérieurement au complexe des cordons karimboliens. La ligne de

rivage tatsimienne serait à situer quelque part en avant de la ligne de rivage karimboliennne. L'absence en affleurement du Tatsimien marin, contrairement à l'extrême Sud, semble générale sur la côte Ouest, et s'expliquerait par une tendance à la subsidence de l'ensemble de ce secteur littoral.

Essai de reconstitution de l'évolution quaternaire

L'identification de vieux sédiments attribuables à la dune tatsimienne rubéfiée pose le problème de la localisation de cette ancienne ligne de rivage. Malheureusement il n'existe aucun élément permettant sa reconstitution, la tendance locale à la subsidence ayant probablement porté au-dessous de zéro les sédiments marins de cette époque ; seuls des sondages dans la zone littorale permettraient peut-être de les retrouver en profondeur, et de résoudre le problème.

Le développement important des cordons karimboliens s'explique par la situation du complexe de Tambohorano, immédiatement au Nord de l'embouchure de la Manambaho, d'où provient la majorité du matériel. Cette situation explique aussi la rapidité des phénomènes de colmatage flandriens.

La falaise fossile karimboliennne est bien identifiable dans l'ensemble du secteur, sous la forme d'un escarpement de 15 à 25 mètres de hauteur (voir la figure 5). Sans doute a-t-elle reculé en faisant disparaître la falaise fossile tatsimienne, dont le tracé devait être situé en avant (cela sous réserves de recherches plus poussées, en particulier par sondages).

La falaise flandriennne, taillée dans le matériel karimbolien, est bien nette dans le secteur considéré. Il n'en est plus de même plus au Sud, dans la partie septentrionale de la Manambaho : le tracé de la ligne de rivage flandriennne ne peut être indiqué là que de manière approximative.

V. — LE QUATENAIRE LITTORAL DE LA REGION DE MAINTIRANO

Au Sud du delta de la Manambaho le plateau pliocène arrive jusqu'à la mer au cap Mandatsakora où existent des falaises vives hautes de 15 à 25 mètres. Au-delà, et au Sud de la Manomba, la côte redevient basse et bordée de mangroves. Le plateau pliocène est toutefois peu éloigné de la mer, et la ville de Maintirano est construite sur une avancée de ce plateau à 20 mètres d'altitude. Au Sud de Maintirano, la zone de la mangrove atteint à nouveau une largeur de 4 à 5 kilomètres.

Les coupes dans le rebord du petit plateau qui porte Maintirano montrent, sous le Pliocène, les calcaires blancs miocènes, en particulier au Sud de la ville. Le Pliocène affleure aussi sur l'estran en face de Maintirano, sous la forme de rochers et de gros blocs libres ferrugineux à aspect de bowal scoriacé.

Les cordons karimboliens

Un premier groupe de cordons anciens boisés s'est développé entre la rivière Andranolava et, au Nord, les mangroves de l'embouchure de la Manomba : c'est l'Heviny, ensemble massif long de 3 kilomètres (voir la figure 6). L'examen sur photographies aériennes permet de distinguer une quinzaine d'unités élémentaires en saillie culminant entre 8 et 17 mètres, séparées par autant de sillons eux aussi en général boisés.

Dans la partie Sud, où nous avons examiné ce complexe, il s'agit de sables ocres à gris foncé, mais on ne voit nulle part de traces de grésification. Au Nord, cet ensemble est entaillé en une falaise qui domine les mangroves de la basse Manomba : en cet endroit J. HERVIEU a décrit des grès à stratification entrecroisée de type « Tambohorano », érodés en un « karst à colonnes » enfoui sous un sable jaune-rouge dunaire. S'il n'existe pas de grésification dans la partie que nous avons vue, il en existe donc ailleurs, et sans doute en particulier en profondeur, l'observation en étant impossible faute de coupes.

Des prélèvements ont été faits à l'Ouest de Maroaboaly (19), et au Nord de la rivière Andranolava (5). Il s'agit de sables bien triés, à 100 % de quartz davantage jaunis par une pellicule ferrugineuse dans le cas de 5. L'analyse morphoscopique de l'échantillon n° 5 a donné les résultats suivants (F. SAUR) : EL : 86 % ; NU : 14 %. En tenant compte des émoussés picotés (A.M. MAREC) : EL : 50 % ; EP : 33 % ; RM : 3 % ; NU : 14 %.

Nous rattachons au même ensemble le grand cordon qui, au Sud de Maintirano et de l'embouchure de la Namela, s'allonge du Nord au Sud sur 8 km jusqu'à Ankatoky, avec une largeur à peu près constante de 600 mètres. Ce grand cordon est constitué par des sables ocres à gris foncé, et non par la « carapace sableuse » comme l'indique la carte géologique. Presqu'entièrement couvert par une forêt sèche dense, il est entaillé du côté occidental en une petite falaise de 4 à 5 mètres de hauteur qui domine la mangrove. Cette falaise a été suivie sur 8 km d'Ankatoky à la Namela, mais aucun affleurement de grès n'a été trouvé. L'échantillon n° 12 prélevé à 800 mètres au Nord d'Ankatoky est un sable fin jaune foncé bien trié. L'analyse morphoscopique a donné les résultats suivants (F. SAUR) : EL : 93 % ; NU :

| Taille des mailles en m.m. | N° des échant. | Complexe karimbolien de Tambohorano | | | | | karimbolien de Maintirano | | | cordon de Bevary | cordon de Bevary | dune fiandrienne Ankazomahity | dune fiandrienne Andranalava |
|----------------------------------|-------------------|--|------|------|------|------|------------------------------|------|------|---------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | 6 | 10 | 13 | 16 | 18 | 5 | 12 | 19 | 11 | 17 | 4 | 9 |
| 1.60 | | X | X | 0,7 | X | X | X | X | X | 3,3 | X | X | X |
| 1.25 | | X | X | X | X | X | X | X | X | 2,8 | 3,5 | X | X |
| 1 | | X | X | 0,6 | X | X | X | X | X | 3,4 | X | 0,4 | X |
| 0,80 | | X | X | X | X | X | X | X | X | 6,1 | 2,1 | 0,3 | X |
| 0,63 | | 1,9 | 1,1 | 2,9 | 6,4 | 1,8 | 1,3 | 3,1 | 1,8 | 5,7 | 1,9 | 1,2 | 0,6 |
| 0,500 | | 3,2 | 2,2 | 4 | 8,2 | 2,6 | 2 | 6,2 | 4,4 | 7,8 | 2,6 | 3,7 | 5 |
| 0,400 | | 4,4 | 3,3 | 6,3 | 14,7 | 4,8 | 4,6 | 13,8 | 6,5 | 11,6 | 2,9 | 6,6 | 15,7 |
| 0,315 | | 10,9 | 9,5 | 12,5 | 21 | 8,8 | 13,2 | 26,3 | 16,8 | 19,2 | 4,3 | 15,9 | 31,6 |
| 0,250 | | 20,6 | 18,4 | 20,2 | 21,6 | 17,2 | 23,7 | 27 | 24 | 21,7 | 6,7 | 26,8 | 28,3 |
| 0,200 | | 19,2 | 16,6 | 18,3 | 11,7 | 18,1 | 16,9 | 11 | 12,8 | 9 | 8,3 | 22,2 | 11,1 |
| 0,160 | | 10,2 | 13,3 | 11,4 | 7,2 | 12 | 11 | 5,4 | 7,1 | 3,5 | 10,7 | 9,1 | 3,6 |
| 0,125 | | 10,3 | 16,4 | 10,4 | 4,3 | 12 | 12,7 | 3,7 | 5,2 | 2 | 25,2 | 11,6 | 4 |
| 0,100 | | 2,3 | 3,8 | 3,8 | 1,2 | 4,1 | 4,4 | 1,1 | 2,3 | 0,3 | 11,4 | 1,6 | 1,3 |
| 0,080 | | 1 | 2,5 | 1,7 | 0,3 | 1,7 | 1 | 0,2 | 1,4 | 0,2 | 3,3 | 0,4 | 0,5 |
| 0,063 | | 0,7 | 1,2 | 1,4 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 0,1 | 1,2 | 0,1 | 1,7 | 0,1 | 0,1 |
| 0,050 | | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | X |
| % total | | 85 | 90,6 | 95 | 97 | 84 | 90,9 | 96 | 83,8 | 97 | 84,9 | 100 | 100 |

Tableau N° 1 Analyses granulométriques . Chiffres en % du poids total. Ligne inférieure : % de la fraction sableuse > 0,050 mm par rapport au poids total.

| Taille des mailles en m.m. | N° des échantillons | Sables roux (dune tatsimienne ?) | | | | |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|------|-------------------------|------|
| | | Région de Tambohorano | | | Région de Maintirano | |
| | | 3 | 8 | 14 | 2 | 15 |
| 1,00 | | | | | 1,5 | |
| 0,60 | | | | | 2 | |
| 0,63 | | 1,3 | 3,9 | 4 | 3,2 | 4,6 |
| 0,500 | | 2,5 | 7,3 | 5,4 | 6,3 | 6,8 |
| 0,400 | | 3,1 | 10,8 | 4,9 | 5 | 6,6 |
| 0,315 | | 7,2 | 16,7 | 8 | 7,7 | 11,3 |
| 0,250 | | 12,2 | 21 | 10,2 | 9,4 | 12,7 |
| 0,200 | | 11,4 | 13,8 | 7,9 | 6,7 | 8,7 |
| 0,160 | | 10,2 | 7,8 | 5,2 | 4,5 | 5,5 |
| 0,125 | | 14,3 | 7,8 | 6,5 | 6,5 | 6,3 |
| 0,100 | | 7,2 | 3,2 | 4 | 3 | 2,4 |
| 0,080 | | 5 | 1,5 | 3,6 | 2,1 | 1,5 |
| 0,063 | | 4,2 | 0,9 | 3,2 | 1,5 | 1,3 |
| 0,050 | | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 |
| % total | | 79,4 | 94,9 | 65,2 | 59,5 | 67,9 |

Tableau N° 2. Analyses granulométriques de vieux sables roux.
Chiffres en % du poids total. Ligne inférieure : % de la fraction
sableuse > 0,050 mm par rapport au poids total



| N° de l'échantillon | % Émoussés luisants | % Émoussés picotés | % Ronds-mats | % Non usés |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|------------|
| 2 A | 79 | | | 21 |
| | 42 | 36 | 1 | 21 |
| 3 | 88 | | 8 | 4 |
| | 32 | 53 | 3 | 12 |
| 4 | 83 | | 11 | 6 |
| | 52 | 28 | 6 | 14 |
| 5 | 86 | | | 14 |
| | 50 | 33 | 3 | 14 |
| 6 | 96 | | | 4 |
| | 43 | 35 | 1 | 21 |
| 12 | 93 | | | 7 |
| | 78 | 16 | | 6 |
| 14 | 81 | | 2 | 17 |
| | 46 | 36 | 1 | 17 |

Tableau N° 3 Analyses morphoscopiques

A : compte non tenu des émoussés picotés (F. Saur)

B : compte tenu des émoussés picotés (A.M. Marec)

7 %. En tenant compte des émoussés picotés (A.M. MAREC) : EL : 78 % ; EP : 16 % ; NU : 6 %.

Au Karimbolien seraient à rattacher les grès dunaires de type « Tambohorano » signalés par J. HERVIEU à Ambozotany, village situé à environ 3 km au Nord de Maintirano, et probablement aussi les grès siliceux stratifiés à débris coquilliers, qui affleurent près du village de Manombo, à l'embouchure de la Demoka.

Les formes de colmatage récentes

Une coupe a été faite à travers les formations sublittorales, en suivant le ruisseau Andranolava (à 7 km au Nord de Maintirano), qui

traverse ces dernières à la manière d'un « courant » des Landes de Gascogne. De l'intérieur vers l'extérieur, sont traversés :

- 1) Le cordon karimbolien (prélèvement de l'échantillon n° 5).
- 2) Les cordons flamandriens les plus anciens.
- 3) Un loc'h, sur lequel retombe, du côté occidental, la dune vive.
- 4) La dune vive, haute de 10 à 12 mètres, formée d'un beau sable doré retombant par une pente d'équilibre sur le loc'h, et le comblant au Nord. Elle porte quelques buissons et des satrana, qui donnent lieu à de petites nebkas. L'échantillon n° 9 est constitué par un sable fin bien trié (voir la figure 7 et le tableau 1).
- 5) Une dépression sableuse portant beaucoup de végétation herbacée continue dans les parties basses, et des buissons. Les parties les plus basses, plates, atteignent le niveau de la nappe.
- 6) Des alignements sableux d'altitude intermédiaire entre 4 et 5 (crêtes de plages remaniées en dunes), parallèles à la direction de la côte, portant une végétation clairsemée.
- 7) Une dépression portant des roseaux et des palétuviers, entaillant 6 en lobes (sans doute par méandres d'anciens marigots).
- 8) D'autres cordons parallèles à la côte, également entaillés par des lobes.
- 9) Une mangrove avec marigots pré-littoraux.
- 10) La plage et des dunes vives remaniant les crêtes de plages du cordon externe.

L'observation montre que les crêtes qui, en apparence sur le terrain, sont purement dunaires, appartiennent en réalité à des cordons littoraux à remaniement dunaire seulement superficiel. Elles sont en effet parallèles à la côte. Sans doute les cordons karimboliens ont-ils évolué de la même manière, les remaniements par le vent expliquant des culminations parfois assez élevées, mais sans que soit vraiment oblitérée la disposition en cordons parallèles à la direction du littoral.

Au Nord de la coupe de l'Andranolava, le remaniement par le vent des cordons flamandriens les plus internes a entraîné la formation d'un champ de dunes assez vaste qui recouvre l'ouest de l'Henivy, cachant la petite falaise flamandrienne qui entaille le matériel karimbolien. Cette petite falaise n'émerge de ce recouvrement que plus au Nord, où elle domine les mangroves de la basse Manomba.

Un type de disposition en relais de cordons sableux les plus externes, fréquent sur la côte Ouest, est bien représenté dans ce secteur

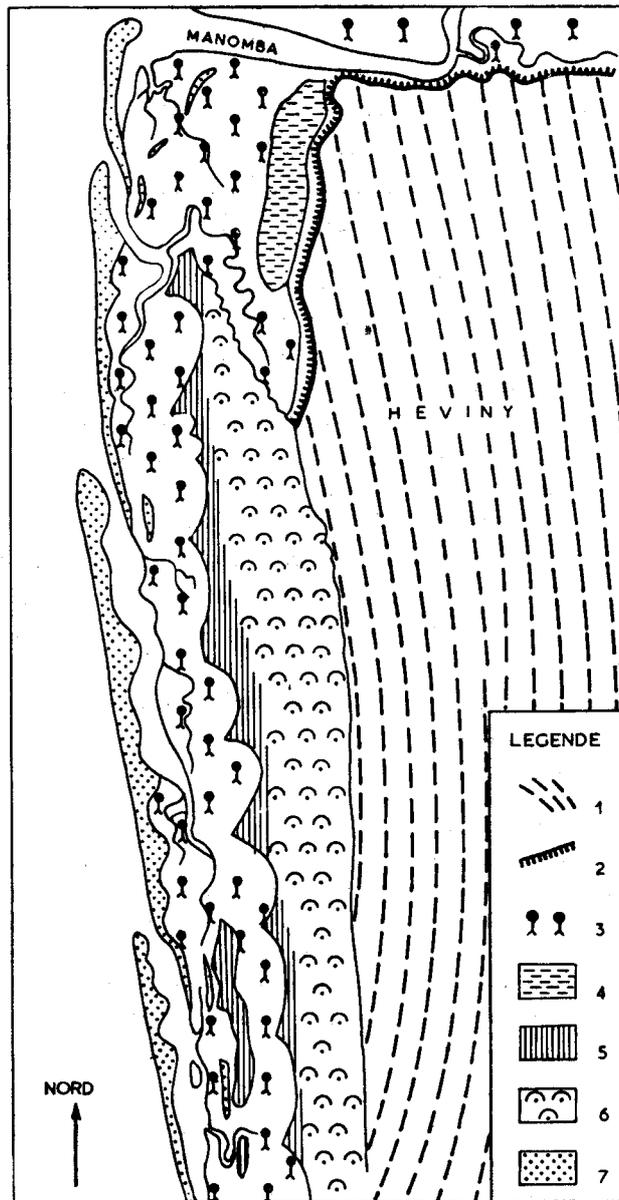


FIG. 9 : Le système de cordons sableux externes en relais entre Maintirano et la Manomba.

1) Ensemble karimbolien de l'Heviny — 2) Falaise flamandienne dans les sables karimboliens — 3) Mangrove — 4) Haut estran vaseux ou sablo-vaseux sans palétuviers — 5) Anciens éléments de cordons flamandiers à crêtes de plage multiples — 6) Dunes — 7) Cordons sableux externes flamandiers en relais.

situé entre Maintirano et la Manomba (fig. 9). En fonction de la dérive littorale vers le Nord, les cordons externes se relaient tous les 3 à 5 km, le cordon qui prend le relais vers le Nord étant légèrement décalé vers la terre par rapport au précédent. Les mangroves se développent à l'abri de ce système externe de cordons, et trouvent leur exutoire à chacun de ces relais. Le bord externe de ces cordons, du côté de la mangrove, a un tracé sinueux caractéristique, ce même tracé se retrouvant, encore plus net, dans le bord externe du système de cordons flamandien partiellement remanié en dunes, qui s'étend plus à l'intérieur : c'est là le résultat de l'érosion de cordons par les méandres des chenaux de la mangrove.

Dans certains secteurs, le cordon externe recule en recouvrant la mangrove. Un exemple de cette évolution est observable à 2 km au Nord de Maintirano : à cet endroit, le cordon externe, aminci jusqu'à ne plus être constitué que par la crête de plage actuelle, recouvre la forêt de palétuviers du côté interne, à la manière d'un rouleau compresseur ; du côté externe, les palétuviers morts reparaisent sur la plage, dans le battant des vagues, ainsi que les vases de mangroves qui affleurent sur l'estran à basse mer.

Au Sud de Maintirano, la disposition est plus simple qu'au Nord, avec une vaste mangrove d'un seul tenant, large de 3 à 5 km, protégée par un cordon sableux externe. A l'intérieur de la mangrove, on trouve ici et là des témoins tronçonnés de cordons sableux flamandien qui dépassent de 2 ou 3 mètres. Comme à Tambohorano, une zone interne de vase nue existe, entre les peuplements de palétuviers le long des arroyos et la falaise flamandienne qui entaille le grand cordon karimbolien d'Ankatoky à Andemba, avec aussi une frange interne étroite de palétuviers au pied de la falaise.

Les traces d'un vieil ensemble dunaire tatsimien.

Au Nord de l'Andranovolo, la route de Maintirano à Besalampy suit sensiblement le pied de la falaise morte karimbolienne. Cette falaise fossile entaille entre l'Andranolava et Antanivaky, et sur une hauteur de 20 à 40 mètres, un matériel sableux rubéfié découpé en collines et en lambeaux de plateaux, figuré sur la carte géologique sous le libellé de «carapace sableuse», sans que soient indiqués les terrains sous-jacents. A certains endroits les sables roux que l'on peut recueillir à l'Est de la route sont hétérométriques et dérivent probablement du matériel sablo-argileux continental pliocène. Mais souvent aussi, et sur de grandes étendues, il s'agit d'un sable fin bien trié, d'apparence dunaire, et très différent des précédents. Deux prélèvements ont été effectués, l'un près du village de Maroaboly (15).

l'autre immédiatement au Nord de l'Andranolava (2). La même formation sableuse se continue d'ailleurs au Sud de l'Andranolava.

Les deux échantillons sont constitués par un sable fin bien trié, à petits grains de quartz recouverts par une patine d'oxyde de fer. L'analyse morphoscopique de l'échantillon n° 2 a donné les résultats suivants (F. Saur) : EL : 79 % ; NU 21 %. En tenant compte des émoussés picotés (A.M. Marec) : EL 42 % ; EP 36 % ; RM 1 % ; NU 21 %. La morphoscopie n'a été effectuée que sur les 50 % de grains de quartz les moins patinés.

Il semble bien qu'ici, comme à Tambohorano, de vastes secteurs, cartographiés sous le libellé de «carapace sableuse», appartiennent à de vieux ensembles dunaires rubéfiés, prékarimboliens, et devant être rattachés au Tatsimien. De nouvelles recherches sont nécessaires pour en définir exactement l'extension.

Essai de reconstitution de l'évolution quaternaire.

Ici, comme dans le secteur de Tambohorano, rien ne peut être dit concernant le tracé d'une éventuelle ligne de rivage tatsimienne.

La ligne de rivage karimbolienne dessine deux grands golfes de part et d'autre de l'avancée en pointe de l'éperon de Maintirano. Au Nord, le golfe de la Manomba, dont le fond est souligné, particulièrement entre Maroboaly et Antanivaky, par une belle falaise morte, a été régularisé ensuite par la construction du complexe de cordons de l'Heviny. Au Sud, un golfe encore plus important existait dans l'axe de la Namela et de la Demoka, mais ici aussi avec des phénomènes de régularisation dont témoigne le grand cordon d'Ankatoky.

La transgression flandrienne n'a retrouvé la ligne de rivage karimbolienne que dans un court secteur de part et d'autre de Maintirano. A Maintirano, la falaise limitant le plateau qui porte la ville peut être interprétée comme étant la falaise morte karimbolienne seulement retouchée par la transgression flandrienne : il y avait donc ici coïncidence des deux lignes de rivage. Ailleurs, la falaise flandrienne a entaillé généralement le matériel sableux des vieux cordons karimboliens, son tracé étant par endroits voilé sous un recouvrement dunaire récent, comme dans le Sud de l'Heviny.

CONCLUSION

Les dépôts marins de la plus vieille des transgressions pleistocènes connues à Madagascar, la transgression tatsimienne, ne viennent pas en affleurement dans les secteurs du littoral qui ont été examinés, ou tout au moins, on n'en a pas encore trouvé de témoins. L'existence d'une subsidence de la zone côtière Sud-Ouest (P.L. Cliquet 1957) et Ouest jusqu'au Cap Saint-André est un fait connu. Cette zone est en effet affectée de grandes failles de direction Bongo-Lava, à regard occidental (failles de Tuléar, de Befandriana, du revers du Bemahara, du Cap Saint-André, pour ne citer que les principales), qui ont continué au moins partiellement à jouer au Quaternaire. Le sondage d'Andavadoaka au Sud de Morombe a mis en évidence cette subsidence de la zone côtière, jusqu'au Quaternaire ancien inclus (un beau Quaternaire marin ancien, dont une partie au moins est à rattacher au Tatsimien, a été traversé par la sonde jusqu'à — 250 mètres). L'absence en affleurements littoraux du Tatsimien marin ne doit donc pas surprendre, mais au contraire va dans le sens des premières hypothèses émises relatives à l'évolution de cette côte (Battistini 1959, 1960, 1963, 1964).

L'existence de vastes témoins de la dune tatsimienne rubéfiée apparaît par contre comme de plus en plus certaine entre Morondava et le Cap Saint-André. Il nous a été donné d'en identifier un bel exemple au Sud de Mangily, à 10 km au Nord-Est de Morondava, en compagnie du pédologue J. Kilian (observation non publiée, Novembre 1969) : la vieille dune rubéfiée recouvre en cet endroit, en larges ondulations aplaties hautes de 5 à 6 mètres, la surface du glaciais pliocène lui aussi rubéfié, mais à matériel sableux très hétérométrique d'aspect fondamentalement différent. Dans les secteurs de Tambohorano et de Maintirano, la granulométrie permet d'identifier d'autres lambeaux de cette vieille dune, qui a dû ici, comme dans l'extrême Sud de Madagascar, recouvrir de grandes étendues. Il reste à en déterminer, par de nouveaux travaux, l'extension exacte.

Une régression importante a succédé à la transgression tatsimienne, et c'est d'ailleurs sans doute au cours de cette régression qu'a été mise en place, comme dans l'extrême Sud, une grande partie de la vieille dune. De cette régression date aussi le creusement des grandes vallées au moins dans la zone littorale qui nous intéresse.

Le creusement des basses vallées au cours de la phase régressive permet de comprendre le tracé très irrégulier de la ligne de rivage karimbolienne. La transgression karimbolienne a trouvé en effet, dans un premier temps, un relief différencié dont elle a

ennoyé les parties basses, d'où l'existence de grands golfes comme celui de la basse Demoka. Rapidement, les phénomènes de régularisation ont joué, avec construction d'un vaste système de cordons littoraux dont divers éléments ont été examinés dans la présente étude. Il serait intéressant, naturellement, par des sondages, d'avoir une idée de l'épaisseur de ce remblaiement karimbolien, et en même temps de l'importance du creusement des vallées antérieurement à la transgression.

Une nouvelle phase de creusement des basses vallées, avec tronçonnement des anciens cordons karimboliens, correspond à la régression pré-flandrienne. La remontée du niveau marin lors de la transgression flandrienne a été extrêmement rapide, et un niveau proche du niveau actuel n'était atteint que depuis environ 5.000 ans. Dans le secteur étudié, aucune preuve n'a été relevée de stationnements récents au dessus du niveau marin actuel (mais ces preuves sont généralement fournies par des platères coralliennes au-dessus du niveau actuel de croissance du corail, ou par des encoches fossiles dans des falaises calcaires, tous éléments absents ou peu fréquents dans notre secteur). La ligne de rivage flandrienne, souvent marquée par de petites falaises entaillant les vieux cordons karimboliens, a un tracé plus irrégulier que la ligne de rivage actuelle. Mais rapidement, les phénomènes de régularisation littorale ont conduit à la côte peu indentée d'aujourd'hui par développement des cordons sableux, sédimentation sablo-argileuse dans les vastes mangroves qu'ils abritent, enfin par épandage d'alluvions fluviales dans les zones deltaïques, souvent par dessus les argiles des mangroves.

A l'exception de très rares secteurs, où existent des falaises dans le Pliocène continental et accessoirement dans les calcaires marins miocènes, la côte Ouest de Madagascar entre Maintirano et le Cap Saint-André apparaît comme un bel exemple de côte basse sableuse à vastes mangroves, où l'évolution rapide des formes de colmatage littoral s'explique par l'importance des apports fluviaux, ainsi que par l'action de fortes houles capables d'engendrer une puissante dérive littorale.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI R. — *Définition du Tatsimien dans le Quaternaire littoral de l'Extrême Sud de Madagascar*. C.R. somm. Soc. Géol. de France, n° 2, séance du 16-2-1969.
- BATTISTINI R. — *Les divisions du Plioquaternaire du Sud de Madagascar*. C.R. Séances Académie des Sciences, T. 248, pp. 992-993, 16-2-1959.
- BATTISTINI R. — *Observations sur les récifs coralliens du Sud-Ouest de Madagascar*. Bull. Soc. Géol. de France, 1959, 7^e série, tome 1, pp. 341-346, 2 fig.
- BATTISTINI R. — *Quelques aspects de la morphologie du littoral mikea (côte Sud-Ouest de Madagascar)*. Bull. d'Info. du C.O.E.C., XII^e année, n° 8, septembre-octobre 1960, 19 fig.
- BATTISTINI R. — *Le bourrèlet littoral quaternaire (Aepyornien) de l'Extrême Sud de Madagascar*. C.R. Semaine Géologique 1963, Imprimerie Nationale, Tananarive, pp. 23-31, 9 fig.
- BATTISTINI R. — *Le Quaternaire littoral de Madagascar*. Proceedings of the Fourth Pan Indian Sciences Congress, Section F, Oceanography, Geography and Geophysics, Karachi, 1960, pp. 57-61.
- BATTISTINI R. — *Les données actuelles sur le Quaternaire marin et dunaire de Madagascar*. Bull. de la Section de Géographie du Comité des Travaux historiques et scientifiques, Tome LXXV, 1962, Paris, Imprimerie Nationale, 1963, pp. 117-131, 3 fig.
- BATTISTINI R. — *Une reconnaissance aérienne des Iles Barren*. Madagascar, Revue de Géographie, n° 5, juillet-décembre 1964, pp. 105-115, 4 fig., 6 photos.
- BATTISTINI R. — *L'Extrême Sud de Madagascar*. Thèse principale de Doctorat, Editions Cujas, 636 pages, 180 fig., 121 photos, 1964.
- BATTISTINI R. — *Le Quaternaire littoral de l'Extrême Nord de Madagascar*. Bull. de l'Association française pour l'étude du Quaternaire, Tome II, 1965, pp. 133-144, 4 fig., 2 photos.
- BATTISTINI R. — *Un essai de datation par la méthode du radio-carbone du Luvonien (dépôts du dernier « pluvial » de l'Extrême Sud de Madagascar)*. C.R. somm. Soc. Géol. de France, 1966, fasc. 8, séance du 7 novembre 1966, p. 281.
- SOURDAT M. — *Les formations sableuses de la région de Tuléar*. Public. ronéot. du Centre ORSTOM de Tananarive, 1968, 39 p., 1 carte.
- CLIQUET P.L. — *Tectonique profonde du Sud du Bassin de Morondava*. C.R. de la Conférence de Géologie de Tananarive, Serv. géol., 1957, vol. II, pp. 375-397.
- HERVIEU J. — *Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Les facteurs de la sédimentation continentale. Les produits de l'érosion — les sols alluviaux — Sur le versant occidental de Madagascar*. Thèse de Doctorat d'Etat, Public. ORSTOM, Paris, 1966, 465 p.
- HERVIEU J. — *Contribution à l'étude du milieu fluvio-marin sur la côte occidentale de Madagascar*. Madagascar, Revue de Géographie, n° 8, janvier-juillet 1966, pp. 11-66, 10 fig.
- TORTOCHAUX F., KOENIG R. — *Etude géologique des feuilles Bekodoka, Bebao et Tambohorano*. Trav. Bur. Géol., n° 4, Tananarive, 1949, 37 p.

LISTE DES PRÉLÈVEMENTS

- 1) Ankametsy, à l'Est de Tambohorano : calcaire blanc fin.
- 2) Rive nord de la rivière Andranolava, au Nord de Maintirano : sables roux dunaires (?).
- 3) Hauteurs à l'Est de la ligne de rivage karimbolienne au Sud de la piste, près Tambohorano : sables roux dunaires (?).
- 4) A l'Ouest d'Ankazomahitsy, près de Tambohorano : sables blancs flamandais.
- 5) Rive Nord de la rivière Andranolava, au Nord de Maintirano : sables ocres karimboliens.
- 6) A l'Ouest d'Ankazomahitsy, près de Tambohorano : sables ocres du cordon karimbolien le plus externe.
- 7) A l'Est de Tambohorano : sable blanc hydromorphe dans un bas-fond.
- 8) Près du croisement de la piste de Maintirano et de celle de Tambohorano : sables roux dunaires (?).
- 9) A 8 km au Nord de Maintirano. Sable de la dune flamandaise retombant sur le loc'h, prélèvement en surface.
- 10) Tambohorano, première dépression à l'Est de l'agglomération : sable gris fin jaunâtre.
- 11) Cordon de Bevary, près de Besalampy : sable gris.
- 12) Grand cordon karimbolien boisé au Sud de Maintirano, prélèvement à 800 mètres au Nord d'Ankatoky : sable gris foncé à ocre.
- 13) Tambohorano, à 3 km à l'Est de l'agglomération : sables blancs entre cordons karimboliens.
- 14) Près de la bifurcation des pistes de Maintirano et de Tambohorano : sables roux dunaires (?).
- 15) Maroaboaly, au Nord de Maintirano : sables roux dunaires (?).
- 16) Tambohorano, crête karimbolienne d'Analanosy : sable gris très foncé.
- 17) Cordon de Bevary près de Besalampy : sable gris très foncé.
- 18) A 2 km au Nord-Est de Tambohorano : sables ocres sous marais.
- 19) Près Maroaboaly, au Nord de Maintirano; dans la partie méridionale de l'Heviny : sable gris-ocre très foncé.
- 20) Marofototra : grès calcaire stratifié karimbolien.
- 21) Tambohorano, près du terrain d'aviation : grès-calcaire dunaire stratifié karimbolien.
- 22) Bevary au Nord de Besalampy : grès siliceux sous le cordon de sables gris.
- 23) Dans arroyo de Bemoramba, au Sud de Tambohorano : grès siliceux très dur.
- 24) Marofototra : grès calcaire stratifié karimbolien.

RESUME

La côte Ouest de Madagascar entre Maintirano et le Cap Saint-André est un bel exemple de côte basse sableuse à vastes mangroves, où l'évolution rapide des formes de colmatage littoral s'explique par l'importance des apports des fleuves ainsi que par l'action des fortes houles capables d'engendrer une puissante dérive littorale vers le Nord.

De vieux sables roux dunaires sont rattachés à une première transgression marine quaternaire connue ailleurs à Madagascar sous le nom de Tsimien. L'absence des dépôts marins correspondants s'expliquerait par une tendance locale à la *subsidence* qui aurait porté ces derniers au-dessous du niveau marin actuel.

Après une régression importante au cours de laquelle ont été creusées les basses vallées, la transgression *karimbolienne* a laissé des traces nettes sous la forme de sections de falaises mortes jalonnant une ligne de rivages échancrée de profondes baies et de vastes ensembles de cordons littoraux constitués de sables gris à ocre, localement grésifiés dans la masse.

Après une nouvelle régression, la transgression *flandrienne* a fait reculer en falaises le matériel de ces vieux cordons et atteint en quelques endroits la falaise morte karimbolienne qu'elle a rajeunie.

Les formes récentes de régularisation littorale sont décrites dans les différents secteurs : vastes ensemble de cordons internes, ces derniers protégeant des mangroves très étendues. Comme cela est généralement le cas dans l'Ouest malgache, une zone de vase salée non colonisée existe souvent dans la partie interne de la *zonation* des mangroves.



SUMMARY

The western coast of Madagascar between Maintirano and the Cape of St-André is a fine instance of a low sandy coast with vast mangrove areas, where the rapid silting up along the coast is traceable to the volume of river deposits and to the action of a heavy surge powerful enough to cause a substantial northward sanddrift.

Some old red sands are to be related to an early marine transgression of the quaternary era, other instances of which in Madagascar are known as Tatsimian. The absence of the corresponding sea-deposits may be due to a local tendency towards subsiding. { depression ? / subsidence ? } which may have sunk them below the present - day sea level.

After a period of heavy regression during which the lower valleys were scooped out, the Karimbolian transgression left distinct traces in the shape of sections of falaises mortes dotting a deeply-indented coastline and offshore bars composed of grey ochrous sands locally changed into sandstone.

After a further regression, the Flandrian transgression caused these old bars to recede in the shape of cliffs and reached in some place the Karimbolian falaise morte which it rejuvenated.

The more recent forms of régularisation littorale are described in each of the various sections : wide masses of inland bars, behind which stretches a vast zone of mangroves. As is generally the case in the west of Madagascar, a tract of salted silt can often be found in the inland part of the mangrove area.

ZUSAMMENFASSUNG

Die madegassische Westküste zwischen Maintirano und Kap Saint-André bietet ein gutes Beispiel für eine sandige, mit weiten Mangroven bewachsene Flachküste, bei der die schnelle Entwicklung der Küstenablagerungsformen durch einen doppelten Vorgang verursacht wurde : einerseits die bedeutenden Flußanschwellungen, andererseits das Wirken eines schweren Seegangs, der stark genug ist, um ein mächtiges Küstenabtreiben nach Norden zu hervorzubringen. Bodenflächen aus altem, rotem Dünen sand kommen von der ersten Meeres transgression aus der Zeit des Quartärs her, die anderswo in Madagaskar Tatsimisch genannt wird. Man nimmt an, das Fehlen der normalerweise entsprechenden Meeresablagerungen habe seinen Grund in der Tendenz des dortigen Bodens zur Senkung, wodurch die Ablagerungen unter den heutigen Meerespiegel gebracht worden seien.

Nach einer bedeutenden Regression, im Laufe deren die niederen Täler gegraben wurden, hat die Karimboldsche Transgression deutliche Spuren hinterlassen, einerseits als durchschnittene Felswände, die einen mit tiefen Buchten eingeschnittenen Küstenstrich abstecken, andererseits als ausgedehnte Aggregate von Nehrungen, die aus grauem bis ockergelbem Sand gebildet sind, der stellenweise zu Sandstein aus der vollen Masse zusammengewachsen ist.

Nach einer neuen Regression hat die flandrische Transgression das Material dieser alten Nehrungen zurückgeschoben und zu Steilwänden ausgebildet ; an einzelnen Stellen hat sie die karimboldsche Steilwand erreicht und verjüngt.

Die neuesten Formen der Küstenausgleichs in den verschiedenen Küstengebieten werden in diesem Aufsatz beschrieben. Sie bestehen aus ausgedehnten, inneren und äußeren Nehrungen, deren letztere sehr umfangreiche Mangroven vor dem Übergreifen des Meeres schützen. Wie es im westlichen Madagaskar meistens vorkommt, ist eine Zone salzigen, nicht ausgebauten Schlammes im inneren Teil der Mangrovenformationen vorhanden.

RESUMEN

La costa del oeste de Madagascar entre Maintirano y el cabo de San Andrés es un ejemplo típico de costa baja y arenosa con extensos manglares, en la que se explica la rápida evolución del entarquinamiento por los importantes acarreos de los ríos así como por la acción de las fuertes marejadas capaces de originar una fuerte deriva litoral hacia el Norte.

Unas dunas antiguas de arena rojiza se relacionan con una primera transgresión marina cuaternaria, conocida en otras partes de Madagascar con el nombre de « Tautsimiano ». La ausencia de depósitos marinos correspondientes, se explicará por una tendencia local a la subsidencia que los habrá llevado bajo el nivel del mar actual.

Después de una regresión importante durante la cual se formaron los valles bajos, la transgresión karimboliana ha dejado unas huellas netas bajo la forma de trozos de acantilados muertos que jalonan una serie de orillas donde se abren golfos profundos e importantes conjuntos de cordones litorales constituidos por arenas grises o de color de almagre, que forman a veces bloques de asperón.

Después de otra regresión más reciente, la transgresión flandriana ha hecho retroceder estos cordones antiguos, formando así cantiles y alcanzando en algunos sitios el acantilado muerto karimboliano al que ha rejuvenecido.

Las formas recientes de litoral regularizado están descritas en los diferentes ramos : vastos conjuntos de cordones internos, protegiendo éstos unos manglares muy extensos. Como suele ocurrir en el oeste de Madagascar, una zona de lodo salado sin colonizar existe a menudo en la misma parte interior de los manglares.