

AGES ABSOLUS Th²³⁰/Ur²³⁴ DE DEPOTS MARINS PLEISTOCENES A MADAGASCAR ET DANS LES ILES VOISINES

par

R. BATTISTINI

La méthode Th²³⁰/Ur²³⁴ permet de dater d'anciens dépôts marins dans la période couverte par la méthode C¹⁴, soit jusqu'autour de 40 000 années B.P., et au-delà jusqu'aux environs de 300 000 années. Le matériel convenant le mieux est le corail, mais la méthode s'applique aussi à d'autres constructions calcaires organiques, en particulier à des tests coquilliers : Tridacna, huîtres, etc. En ce qui concerne les prélèvements que nous avons effectués dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, la principale difficulté a résidé dans la nécessité, pour que la méthode soit applicable, d'une teneur en aragonite de l'échantillon supérieure à 97 %, soit moins de 3 % de calcite. Or, la plupart du temps une transformation de l'aragonite en calcite intervient plus ou moins rapidement dans les dépôts littoraux. Sur un ensemble de 15 échantillons attribués au Karimbolien (moins de 160 000 ans), déjà triés sur le terrain parmi de nombreux autres (légèreté du matériel corallien, absence de brillances de type saccharoïde), 7 seulement ont pu être datés, les 8 autres présentant une recalcification de l'aragonite en calcite dépassant 3 %. Parmi les échantillons plus anciens que le Karimbolien un seul a pu être retenu, et attribué au « niveau intermédiaire », tandis que tous les échantillons attribués au Tatsimien ont dû être rejetés, leur taux de recalcification étant, pour la plupart, proche de 100 %. Tous les échantillons datés sont constitués par du vieux corail.

Nous avons fait les prélèvements au cours de diverses missions, financées par l'Université de Madagascar, et par le Centre National de la Recherche Scientifique français, avec une participation de l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer, en particulier pour les îles Glorieuses visitées lors d'une mission du navire océanographique « Vauban ». Les datations par la méthode $\text{Th}^{230}/\text{Ur}^{234}$ ont été effectuées bénévolement au Centre des Faibles Radioactivités du CNRS de Gif-sur-Yvette, par Claude Lalou et Ginette Elbez. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'un mémoire de Ginette Elbez présenté en 1976 à l'Université de Paris-Sud (Centre d'Orsay), et d'une publication commune aux Comptes-rendus-Sommaires de la Société Géologique de France (sous-presse).

I. — LOCALISATION DES PRELEVEMENTS ET AGES OBTENUS

• *Lambetabe (côte Sud-Ouest de Madagascar)* : $85\ 000 \begin{matrix} + 4\ 000 \\ - 5\ 000 \end{matrix}$ B.P.

Le lieu dit Lambetabe est situé à environ 10 km au sud d'Itampolo, sur la côte Sud-Ouest de Madagascar (voir R. Battistini, *Thèse*, 1964, p. 477). Le prélèvement a été effectué dans la partie sud du lieu-dit, où de gros massifs de corail en position de croissance constituent, avec des luma-chelles et des brèches ou pouddingues coquilliers, le sommet du Karimbolien jusqu'à 1 ou 2 m au-dessus du niveau des plus hautes mers. L'ensemble des dépôts karimboliens affleurant dans la zone intertidale sont grésifiés, et donnent une plate-forme de haute mer avec mares à encorbellement, une zone de grands lapiés, et un ressaut à encorbellement. Le prélèvement a été fait dans l'un des gros massifs de corail en position de croissance, à environ 1 m au-dessus du niveau des plus hautes mers. La dalle karimbolienne est recouverte par 4 à 6 m de grès-calcaires jaunes, beaucoup plus tendre, et lités, à Mollusques continentaux et débris d'œufs d'*Aepyornis*, correspondant au Lavanonien. La coupe du Lavanonien de Lambetabe est fort semblable à celle de Lavanono, dont le sommet a été daté de 6 000 B.P. par la méthode C^{14} , la partie moyenne dépassant 32 600 B.P. (carbone mort) (R. Battistini, 1967 et 1975). La datation du Karimbolien permet de placer le Lavanonien entre 80 000 et 6 000 B.P. (Fig. 1).

• *Ile Europa* : $94\ 000 \begin{matrix} + 6\ 000 \\ - 4\ 000 \end{matrix}$ B.P.

L'île Europa est située au milieu du canal de Mozambique à peu près à la latitude de Morombe. La plus grande partie de l'île est constituée par des dépôts coralliens recimentés (biohermes anciens, brèches coralliennes) et des lits de grès de plage anciens (à distinguer des beach-rocks récents) attribués au Karimbolien, et montant un peu au-dessus du niveau actuel des plus hautes mers (R. Battistini, 1966). C'est dans ce matériel corallien ancien qu'est façonné le micro-karst de l'intérieur de l'île, ainsi que les lapiés littoraux, le ressaut à encorbellement, et la plate-forme de basse mer particulièrement développée en largeur sur la façade ouest et sud-ouest de l'île. La construction corallienne flandrienne n'intervient que sous la forme de minces revêtements

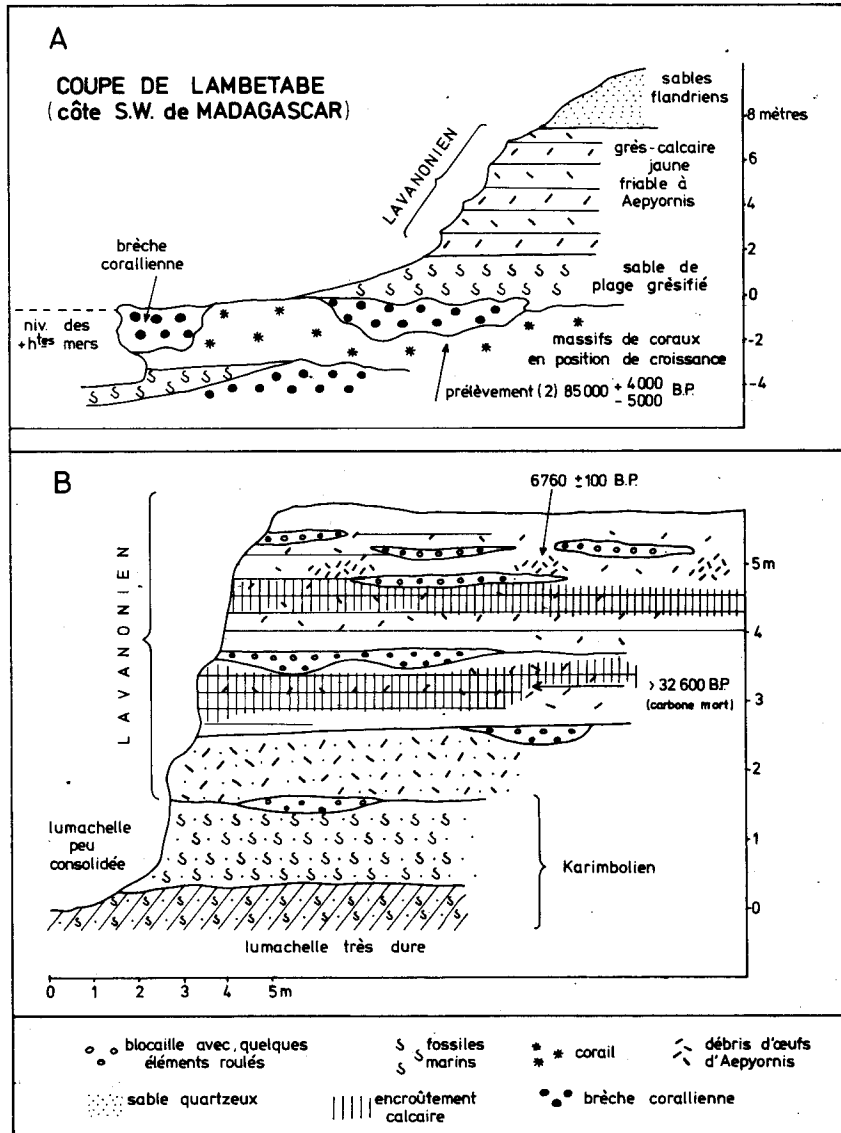


Fig.1 COUPES DE LAMBETABE (A) ET DE LAVANONO (B)

recouvrant ce matériel ancien dans la partie inférieure de l'estran et sur la pente externe. Le prélèvement a été effectué au niveau des plus hautes mers, dans le ressaut calcaire lapiazé constituant la partie supérieure de l'estran, près de la station météorologique, dans le Nord-Ouest de l'île. Il s'agit de corail en position de croissance, au milieu de brèches coralliennes.

• *Choisy, sud de l'île Maurice* : $120\ 000 \begin{matrix} + 20\ 000 \\ - 15\ 000 \end{matrix}$ B.P.

Dans le Sud-Ouest de l'île Maurice, il existe des témoins résiduels d'un vieux récif corallien complètement démantelé par l'érosion ; il s'agit de grands rochers isolés, découpés en grands lapiés, dont quelques témoins de taille décamétrique subsistent à Tamarin dans le village ainsi qu'au-dessus de la route, et aussi à Choisy (rocher de la Vierge). Ces témoins sont constitués par des lits de plage et par des brèches coralliennes et de gros massifs de coraux en position de croissance, jusqu'à environ 10 m d'altitude au-dessus du niveau des plus hautes mers.

Le prélèvement a été effectué dans les deux mètres inférieurs du gros massif rocheux, haut de cinq à six mètres, situé dans le village de Choisy, sur le bord de la route, et près de la statue de la Vierge encastrée dans ce rocher. Il s'agit de corail en position de croissance, en petits massifs au milieu de brèches coralliennes.

L'âge obtenu pour cet échantillon présente des difficultés d'interprétation, et peut être mis en doute : morphologiquement le niveau de Choisy appartient en effet au « niveau intermédiaire » et non au Karimbolien.

Baie des Dunes, près de Diego-Suarez :

$130\ 000 \begin{matrix} + 20\ 000 \\ - 15\ 000 \end{matrix}$ B.P. et $160\ 000 \begin{matrix} + 15\ 000 \\ - 10\ 000 \end{matrix}$ B.P.

Au sud du goulet d'entrée de la rade de Diego-Suarez, le cap Miné présente, sous le phare, de hautes falaises constituées jusqu'à + 16 m environ par les calcaires marins récifaux (récif I défini par A. Guilcher, 1956, mis en corrélation avec le Tatsimien par R. Battistini, 1965), recouverts par des grès-calcaires dunaires, superficiellement très altérés (poches d'altération rouge foncé). Au sud de ce secteur de côte élevée un complexe corallien plus récent (récif II) vient s'appuyer à cet ensemble ancien, donnant le petit ressaut à encorbellement et les rochers lapiazés qui dominent la plage de la baie des Dunes. Les deux prélèvements ont été effectués à environ 50 m au sud du début de la grande falaise, que précèdent d'énormes quartiers effondrés, et au nord du débouché de la piste. Le récif II est constitué en cet endroit par de gros massifs de corail en position de croissance, et par des brèches coralliennes incluant de très gros *Tridacna*. Le prélèvement ayant fourni un âge de $160\ 000 \begin{matrix} + 15\ 000 \\ - 10\ 000 \end{matrix}$ B.P. a été fait à peu près au niveau des plus hautes mers, et le second, daté de $130\ 000 \begin{matrix} + 20\ 000 \\ - 15\ 000 \end{matrix}$ B.P., deux mètres au-dessus du précédent, mais à peu près dans la même verticale. Il n'existe aucune discordance interne apparente entre les deux prélèvements, qui appartiennent au même ensemble

géomorphologique et stratigraphique. Nous considérons donc, en fonction des marges d'erreur, qu'ils ont tous les deux sensiblement le même âge, voisin de 150 000 ans.

• *Ile aux Crabes, Grande Glorieuse : 150 000 ± 20 000 B.P.*

Le banc des Glorieuses est situé dans la partie septentrionale de Madagascar. Long d'une quinzaine de kilomètres, constitué de sable et de corail, il porte deux îles : la Grande Glorieuse, au Sud-Ouest, qui est une grande caye sableuse flamandaise, et l'île du Lys au Nord, entièrement formée par des calcaires coralliens et par des lits de plage grésifiés rattachés au Karimbolien (R. Battistini et G. Cremers, 1972).

Bien qu'essentiellement sableuse, la Grande Glorieuse montre sur sa côte méridionale d'importants pointements de calcaires coralliens anciens montant jusqu'à 3 ou 4 m au-dessus du niveau des plus hautes mers, qui donnent un ressaut à encorbellement et de grands lapiés littoraux : ainsi au Cap Vert et à l'île aux Crabes. Les Roches Vertes, grands rochers situés à 3 km à l'Est de la Grande Glorieuse, sont d'une nature identique.

Le prélèvement a été effectué dans la partie sud de l'île aux Crabes, à environ 1 m au-dessus du niveau des plus hautes mers. En cet endroit affleurent dans la zone intertidale des calcaires coralliens, avec de gros massifs de corail en position de croissance, et des intercallations de lits de *Tridacna*, le tout découpé en grands lapiés. Au-dessus du niveau des plus hautes mers, le complexe corallien ancien est coiffé par des lits de



Photo 1 : Les calcaires coralliens datés de 150 000 ans à la Grande Glorieuse



Photo 2 : Ile du Lys, côte Nord : calcaire corallien lapiazé daté de
 $159\ 000 \begin{matrix} + 21\ 000 \\ - 19\ 000 \end{matrix}$ B.P.

plage anciens grésifiés, qui doivent être aussi rattachés au Karimbolien et par une levée de tempête flandrienne.

• Ile du Lys : $159\ 000 \begin{matrix} + 21\ 000 \\ - 19\ 000 \end{matrix}$ B.P.

Le prélèvement de l'île du Lys a été effectué sensiblement au niveau de mi-marée, sur la façade nord-ouest de l'île, près du déversoir du petit lagon. Cette partie septentrionale de l'île est entièrement constituée par des calcaires coralliens massifs (brèches coralliennes et coraux en position de croissance) montant, dans le micro-karst de la pointe sud-ouest, jusqu'à environ 5 m au-dessus du niveau des plus hautes mers. Au contraire de la partie nord, toute la partie sud de l'île, à proximité de la flèche sableuse en queue de comète sous le vent, est formé de lits de plage stratifiés discordants sur les calcaires coralliens précédents ; ils sont donc plus récents, quoique devant être rattachés eux aussi au Karimbolien.

• Sun Sand Beach (Kenya) : $240\ 000 \begin{matrix} + 70\ 000 \\ - 40\ 000 \end{matrix}$ B.P.

Entre Mombasa et Kilifi, ainsi que plus au nord jusqu'à Malindi, de longues plages de sable corallien alternent avec des secteurs rocheux (calcaires coralliens et grès de plage préflandriens) donnant localement des petites falaises de quelques mètres à une dizaine de mètres de hauteur.

Sun Sand Beach est situé au sud de Kilifi. Le prélèvement a été effectué dans une falaise morte flandrienne, taillée dans de vieux calcaires coralliens entre 1,5 et 2 m au-dessus du niveau de la mer, et à environ 100 m au nord de l'hôtel. A la différence du vieux récif de l'intérieur de la plaine côtière, défini par P.V. Caswell (1953), et que nous avons mis en corrélation avec le Tatsimien (R. Battistini, 1969) dont le corail est entièrement recalifié, l'affleurement de Sun Sand Beach présente des parties demeurées en aragonite. Il s'agirait d'un témoin du « niveau intermédiaire », antérieur au Karimbolien, qui se retrouverait aussi au cap d'Ambre à Madagascar (R. Battistini, 1965).

II. — DIVISION DU KARIMBOLIEN EN TROIS EPISODES

Les sept âges absolus nouveaux relatifs au Karimbolien que nous présentons s'ajoutent à un certain nombre d'autres obtenus par divers auteurs dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien :

• *Ile Plate (Maurice)* :

104 000 \pm 6 000 B.P. et 114 000 \pm 7 000 B.P., L. Montaggioni
- 4 000 - 6 000
(G. Elbez, 1976).

• *Aldabra (Seychelles)* : 125 000 B.P., D.R. Stoddart (in litteris).

• *Ile Gabriel (Maurice)* : 160 000 \pm 40 000 B.P., (H.H. Veeh, 1966).

• *Mahé (Seychelles)* : 140 000 \pm 30 000 B.P., (H.H. Veeh, 1966).

• *Praslin (Seychelles)* : 140 000 \pm 30 000 B.P., (H.H. Veeh, 1966).

Il semble que l'on puisse regrouper ces âges autour de 80 000 - 100 000 B.P., 120 000 B.P. et 150 000 B.P., ces trois périodes correspondant à des moments où le niveau de la mer était proche, ou légèrement supérieur, au niveau actuel. Le Karimbolien se subdiviserait donc en trois épisodes distincts : K¹, K² et K³.

Il existe d'autres arguments en faveur de la division du Karimbolien en plusieurs épisodes transgressifs :

1) *Existence de plusieurs poussées dunaires karimboliennes dans le Sud de Madagascar.*

M. Sourdat (1968) a été le premier à distinguer dans la plaine côtière de Tulear, deux poussées dunaires successives et bien distinctes correspondant à la « Petite Dune » définie par R. Battistini (1964). Postérieurement à la mise en place d'une vieille dune, considérée comme équivalent de la « Grande Duna » (Q¹), cet auteur distingue une première dune karimbolienne (Q²¹), à relief adouci, constituée de sables roux foncé ; une seconde dune karimbolienne, à relief mieux conservé, constituée de sables roux clair (Q²²), a déferlé sur la première. Plus près de la côte, la dune flandrienne (Q³)

comprend elle-même une partie ancienne avec des sables jaunes et une partie actuelle avec des sables blancs. Alors que Q^3 contient encore ses grains calcaires, Q^2 est décarbonatée. Sourdat rattache Q^{22} à l'Inchirien, mais sans en fournir la preuve.

Nous avons reconnu dans l'extrême-Sud de l'Androy, au sud d'Ambovombe, une subdivision de la « Petite Dune » semblable à celle décrite par Sourdat dans la plaine de Tulear, l'épisode Q^{22} étant représenté par des dunes paraboliques déferlant sur des dunes karimboliennes plus anciennes et morphologiquement moins bien conservées.

Ces observations pédologiques et géomorphologiques s'appuient stratigraphiquement sur des coupes, par exemple celle du lieu-dit Betioky près de Saodona, dans les berges de la basse Linta. Cette coupe dans les grès calcaires de la « Petite Dune », épais en cet endroit de 10 m, montre la superposition de trois bancs grésocalcaires distincts à belles stratifications entrecroisées, le banc supérieur (III) étant séparé du précédent par un paléosol rouge clair épais de 0,5 m. Au sommet de la coupe, une épaisse croûte calcaire scelle l'ensemble.

2) Discordances internes dans la série marine karimbolienne de l'Extrême-Sud de Madagascar

Les coupes naturelles montrant de telles discordances sont rares. La raison en est peut-être que le Karimbolien marin, qui monte au maximum jusqu'à 2 ou 3 m au-dessus des plus hautes mers, constitue aussi souvent la totalité de l'estran, lorsqu'il n'est pas recouvert par le sable des plages ou par des constructions coralliennes (marnages compris entre 0,8 m dans la région de Fort-Dauphin et 3,5 m sur le littoral mahafaly), et se poursuit généralement en-dessous du niveau des plus basses mers, souvent jusqu'à - 4 m au moins, ainsi que nous l'avons vérifié par des plongées en plusieurs points. Or, seuls les trois ou quatre mètres supérieurs d'un complexe qui dépasse souvent 10 m d'épaisseur, s'offrent donc à l'observation dans les coupes naturelles des falaises et des estrans. Cela expliquerait peut-être que l'âge obtenu à Lambetabe corresponde à l'épisode supérieur, le plus récent.

Plusieurs coupes naturelles permettent de penser que ce complexe marin a été mis en place en plusieurs fois.

A l'embouchure du Ranofotsy (pays tatsimo), l'une des coupes dans le Karimbolien montre la superposition suivante, de bas en haut :

- a) calcaire jaune à débris de coquilles marines (50 cm d'épaisseur au moins) ;
- b) calcaire blanc-jaunâtre à Mollusques continentaux (2,5 m) ;
- c) poches de lumachelle, ravinant (b), et contenant (détermination par E. Fischer-Piette et B. Salvat) : *Fissurella dubia*, *Patella stellaeformis*, *Hipponix antiquatus*, *H. pilosus*, *Nassa pullus*, *Terebra polygonia*, *Arca caelata*, *Mytilus perna*, *Cardita variegata*, *Divaricella angulifera*,

D. Cumingi, *Loripes clausus*, *Lucina divergens*, *Codokia tigerina*, *Cardium assimile*, *Gafrarium scripta*, *Sunetta donacina*, *Donax bipartitus*, *D. Brazieri*, *D. Productus* ;

- d) grès-calcaire dunaire à stratifications entrecroisées, avec Mollusques continentaux (2 m) ;
- e) croûte calcaire.

A Ankilimitraha, toujours sur le Ranofotsy, une autre coupe montre une superposition comparable avec deux lumachelles séparées par 80 cm de grès-calcaires continentaux.

Certaines coupes des abords du cap Sainte-Marie montrent, de la même manière, deux ou même trois passées de galets et de lumachelles marines séparées par des brèches continentales (coupe de Betofoka, décrite par R. Battistini, 1958).

Dans la coupe d'Olemoka (R. Battistini, 1958) 6 à 8 m de brèches continentales à débris d'œufs d'*Aepyornis* et Mollusques continentaux s'intercalent entre la dalle marine karimboliennne et les grès-calcaires à stratification entrecroisée de la « Petite Dune ».

Dans la coupe de Lavanono (R. Battistini, 1958 et 1964), des grès-calcaires dunaires identiques à ceux de la « Petite Dune » se sont éboulés en gros quartiers qui ont été recimentés avec les poudingues et lumachelles karimboliennes. On peut penser que la mer est venue une première fois (mise en place d'une première dune), et qu'il s'est écoulé un temps suffisant pour la pétrification de cette première dune, avant une nouvelle transgression correspondant aux lumachelles et aux poudingues marins affleurant dans la coupe. Ces dépôts marins, probablement contemporains de ceux datés de 85 000 ans à Lambetabe, sont recouverts, le long du littoral karimbola, par une nouvelle dune grésifiée de régression, dont la base peut descendre à au moins 4 m au-dessous du niveau des plus basses mers actuelles, ou, dans la coupe de Lavanono, par les épandages continentaux à débris d'œufs d'*Aepyornis* du Lavanonien.

3) Structure complexe du socle d'âge pléistocène moyen de certaines îles coralliennes.

A l'île du Lys, nous avons signalé dans le présent article la discordance des assises grésifiées (anciens lits de plage) qui constituent la partie sud de l'île, sur les calcaires coralliens massifs datés de $150\,000 \pm \begin{matrix} 21\,000 \\ - 19\,000 \end{matrix}$ B.P., qui affleurent dans la partie nord.

A Europa, M. Maugé (renseignements non publiés) a reconnu de même plusieurs discordances dans la structure du socle de calcaires coralliens constituant l'île. L'âge que nous donnons (94 000 ans) ne concernerait dans ce cas que l'assise supérieure (K^3).

4) Recouvrement des systèmes de cordons parallèles de la côte Est de Madagascar.

En plusieurs secteurs de la côte Est de Madagascar, les cordons sableux parallèles présumés karimboliens sont disposés en plusieurs systèmes complexes

qui se recourent. Il n'est pas impossible qu'une telle disposition soit liée à des mouvements de va-et-vient du niveau marin durant la période correspondant à leur mise en place.

III. — COMPARAISON DES RESULTATS CONCERNANT LE KARIMBOLIEN AVEC LES COURBES DE A.L. BLOOM ET N.J. SHACKLETON (Fig. 2)

La transgression karimbolienne apparaît donc, à la lumière des résultats précédents, comme une entité complexe qui se décompose en réalité en au moins trois ou quatre oscillations de second ordre. Cela est en accord avec la courbe de A.L. Bloom (1974) qui indique des maxima transgressifs autour de 140 000, 125 000, 105 000 et 85 000 ans. Des oscillations apparaissent aussi dans la courbe de N.J. Shackleton et N.D. Opdyke (1973), déduite des variations de composition isotopique des foraminifères des carottes sédimentaires.

Il existe un désaccord toutefois entre nos données et celles de A.L. Bloom d'une part, N.J. Shackleton d'autre part, en ce qui concerne l'altitude atteinte par la mer lors des oscillations de 100 000 et 80 000 ans : pour ces auteurs, seul le niveau de 120 000 - 125 000 ans aurait été supérieur au niveau actuel de la mer ; le niveau de 150 000 - 140 000 ans serait demeuré légèrement inférieur, tandis qu'à 100 000 et 80 000 ans le niveau de la mer n'aurait pas dépassé - 15 m.

En ce qui concerne le niveau de 150 000 ans, représenté dans l'Extrême-Nord de Madagascar (Orangea), et aux îles Glorieuses, aucun désaccord n'existe vraiment : la tendance au soulèvement durant le Pléistocène de l'Extrême-Nord de Madagascar est bien connue (R. Battistini, 1965) ; on peut admettre la même chose pour les îles Glorieuses.

Par contre, il y a désaccord pour la période 100 000 - 80 000 ans. L'échantillon de Lambetabe, daté de 85 000 ans, provient d'un secteur de la côte malgache dont la tendance bien connue est à une légère subsidence depuis le début du Pléistocène : il est impossible dans ces conditions d'admettre un renversement brutal de tendance très récent, ayant entraîné un soulèvement d'au moins 18 m depuis moins de 100 000 ans, et cela sans aucune déformation longitudinale notable sur plus de 500 km de littoral. Le même problème se pose pour l'échantillon d'Europa, daté de 94 000 ans. Ce point devra être précisé car, si les datations sont bonnes, elles remettent en question cette partie des courbes de A.L. Bloom et de N.J. Shackleton.

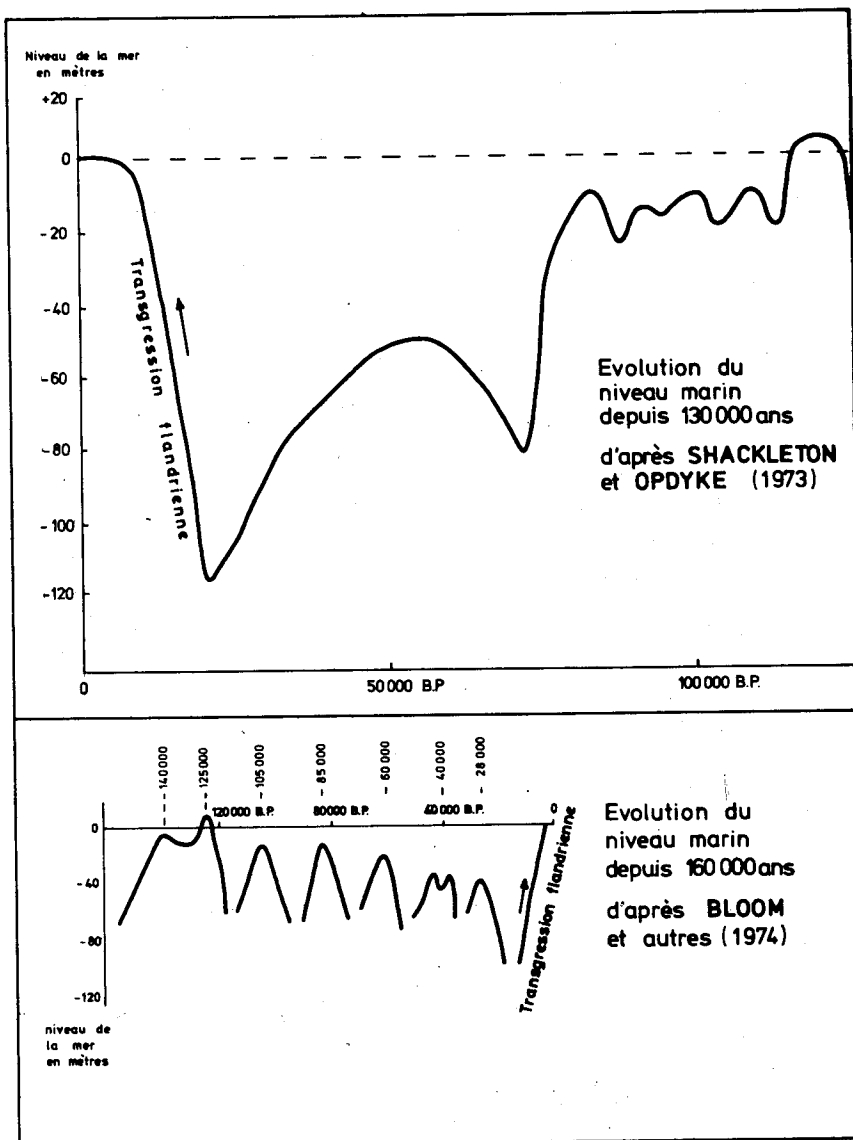


Fig. 2 Evolution du niveau marin depuis 130 000 ans d'après Shackleton et Opdyke, et depuis 160 000 ans d'après Bloom

CONCLUSIONS

Dans aucun cas les dépôts attribués au Tatsimien n'ont pu être datés, à cause d'une recalcification généralement proche de 100 %.

Un « niveau intermédiaire » existerait sur la côte du Kenya avec un âge compris entre 200 000 et 300 000 ans. Le « niveau intermédiaire » défini à Madagascar au cap d'Ambre lui serait probablement contemporain.

Il semble que la grande période d'altération et de recalcification du vieux récif du Kenya, et du Tatsimien malgache, doive être placée antérieurement au « niveau intermédiaire » (c'est, dans l'Extrême-Sud de Madagascar, le « pluvial » ambovombien, période sans doute longue et complexe d'altération rubéfiante de la « Grande Dune »).

Le Karimbolien se diviserait en trois épisodes distincts : K¹ autour de 150 000 ans, K² autour de 120 000 ans, et K³ entre 100 000 et 80 000 ans. La transgression karimbolienne serait donc une entité complexe se décomposant en réalité en trois ou quatre oscillations, ce qui est en accord avec les courbes de A.L. Bloom (1974) et N.J. Shackleton (1973). Nous sommes toutefois en désaccord avec ces auteurs en ce qui concerne l'altitude atteinte par la mer lors de la dernière de ces oscillations, entre 100 000 et 80 000 ans.

Enfin, aucune des datations obtenues n'a permis d'identifier l'Inchirien (transgression marine d'environ 30 000 ans) dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien.

R. BATTISTINI.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI R. 1957 — La zonation de l'estran dans les grès littoraux au cap Mandevitse près de Morombi (côte Sud-Ouest de Madagascar). *Mém. Inst. Scient. de Mad.*, Série D, Tome VIII, pp. 183-193.
- BATTISTINI R. (1959) — Définition du Tatsimien dans le Quaternaire littoral de l'Extrême-Sud de Madagascar. *C.r. somm. Soc. Géol. Fr.*, N° 2.
- BATTISTINI R. (1964) — L'Extrême-Sud de Madagascar, étude géomorphologique. *Thèse*, Editions Cujas, Paris, 636 p.
- BATTISTINI R. (1965) — Problèmes géomorphologiques de l'Extrême-Sud de Madagascar, Madagascar. *Madagascar Rev. de Géogr.*, N° 7, pp. 1-60.
- BATTISTINI R. (1966) — Un essai de datation par la méthode du radiocarbone du Lavanonien (dépôts du dernier « pluvial » de l'Extrême-Sud de Madagascar). *C.r. somm. Soc. Géol. Fr.*, fasc. 8, p. 281.
- BATTISTINI R. (1966) — Le Quaternaire littoral des environs de Dar-es-Salam (Tanzanie). *Bull. de l'AFEQ.*, Vol. 3, N° 3, pp. 191-201.
- BATTISTINI R. (1966) — La morphologie de l'île Europa. Mission scientifique à l'île Europa. *Mém. du Museum d'Hist. Nat.*, Paris, Série A, Tome XLI, pp. 7-18.
- BATTISTINI R. (1969) — Le Quaternaire du littoral kenyan entre Mombasa et Malindi. *Bull. AFEQ.*, N° 20, 3ème trimestre 1969, pp. 229-238.
- BATTISTINI R. (1970) — Etat des connaissances sur la géomorphologie de l'île Maurice. *Madagascar, Rev. de Géogr.*, N° 17, pp. 63-77.
- BATTISTINI R. et CREMERS G. (1972) — Geomorphology and vegetation of îles Glorieuses. *Atoll Research Bull.*, N° 159, pp. 1-25.
- BATTISTINI R., ELBEZ G., DELIBRIAS G. et LALOU C. (sous presse) — Application des méthodes Th^{230} - Ur^{234} et C^{14} à la datation des dépôts marins anciens de Madagascar et des îles voisines.
- BATTISTINI R., LALOU C. et ELBEZ G. (sous presse) — Datation par la méthode Th^{230}/Ur^{234} du Pléistocène moyen marin de Madagascar et des îles voisines. *C.r. somm. Soc. Géol. Fr.*
- BLOOM A.L., BROECKER W.S., CHAPPELL J.M.A., MATTHEWS R.K. et MESOLELLA K.J. (1974) — Quaternary Sea level Fluctuations on a Tectonic Coast : New $^{230}Th/^{234}Ur$ Dates from the Huon Peninsula, New Guinea. *Quaternary Research* 4, pp. 185-205.
- CASWELL P.V. (1953) — Geology of the Mombasa Kwale area report N° 24, Geol. Survey of Kenya, 69 p.
- SOARES de CARVALHO S. (1975) — Notice on Sedimentological, chronostratigraphic and geomorphological problems of Inhaca Island. *Memorias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique*, 10, Série B.
- DECARY R. (1924) — Notes géologiques sur la région de Diego-Suarez. *Bull. Acad. Malg.*, 11, Série, T. 6, pp. 43-62.
- ELBEZ G. (1976) — Application de la méthode de datation $^{230}Th/^{234}Ur$ à la détermination des niveaux marins de Madagascar et des îles environnantes. *Mémoire de Maîtrise* (Géophysique) soutenu à l'Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay.
- FISCHER-PIETTE E. (1958) — Mollusques des plages soulevées de Madagascar, récoltés par R. Battistini. *Journ. Conchyliologie*, Vol. XCVIII, pp. 117-123.

- FREINEX S., KARCHE J.P. et SALVAT B. (1970) — Sur une faune de Mollusques pliocènes du Nord de Madagascar (Diego-Suarez). Congr. Soc. Fr. de Malacologie, Caen, 7-12 septembre.
- GUILCHER A. (1956) — Etude géomorphologique des récifs coralliens du Nord-Ouest de Madagascar. *Ann. de l'Inst. Océanogr.*, Tome XXXIII, fasc. 2, 136 p.
- HILLS E.S. (1971) — A study of cliffy coastal profiles based on examples in Victoria, Australia. *Z. Geomorph. N.F.*, 15, 2, pp. 137-180.
- HODGKIN E.P. (1964) — Rate of erosion of intertidal limestone. *Z. Geomorph. N.F.*, 8, 4, pp. 385-392.
- LEMOINE P. (1906) — Etudes géologiques dans le Nord de Madagascar. *Thèse Sciences*, Paris, 520 p.
- MONTAGGIONI L. (1974) — Coral reefs and Quaternary Shore-lines in the Mascarene Archipelago (Indian Ocean) Proceedings of the second Int. Coral Reef Symp. 2. Great Barrier Reef Committee, Brisbane.
- SALVAT B. (1961) — Récoltes malacologiques de M.R. Battistini sur les plages soulevées de Madagascar. *Bull. Museum Nat. d'Hist. Nat.*, 2ème série, Tome XXXIII, N° 5, pp. 524-531.
- SHACKLETON N.J. et OPDYKE N.D. (1973) — Isotope paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V. 28-238 : oxygen temperature and Ice volumes on a 10^5 years and 10^6 years scale. *Quaternary Research*, 3, p. 39.
- STODDART D.R., TAYLOR J.D., FOSBERG F.R. et FARROW G.E. — Geomorphology of Aldabra Atoll, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* B.260, 31, pp. 31-65.
- VEEH H.H. (1966) — $\text{Th}^{230}/\text{U}^{238}$ et $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ Ages of Pleistocene High Sea Level Stand. *J. Geophys. Res.*, Vol. 71, N° 14, pp. 3379-3386.