

HISTOIRE DES LACS ET PALEOCLIMATS A MADAGASCAR

Premiers résultats sur le lac Tritrivakely
(massif de l'Ankaratra)

36 000 ans d'histoire hydroclimatique

NY FARIHY SY NY TANTARAN'NY TOETR'ANDRO
ETO MADAGASIKARA

Françoise GASSE
Luc FERRY

RESUME :

Après avoir souligné l'intérêt d'étudier les paléoclimats dans le but de mieux gérer l'environnement futur, les premiers résultats obtenus sur un sondage de quarante mètres effectué en 1992 dans un lac des Hautes Terres de Madagascar sont présentés. Les treize mètres supérieurs de ce sondage révèlent 36 000 ans d'histoire hydroclimatique : Un lac peu profond se maintient entre ≈ 35 et 19 ka BP sous un climat plus froid que l'actuel ; le milieu est proche de l'assèchement et peu productif entre ≈ 19 et ≈ 15 ka BP ; un réchauffement ample s'amorce dès $\approx 14,5$ ka BP ; la tourbière actuelle s'installe vers 4 ka BP.

FAMINTINANA :

Rehefa novelabelarina ny tombontsoa azo tamin'ny fanadiadiana ny tantaran'ny toetr'andro mba ahafahana mitantana tsaratsara kokoa amin'ny ho avy ny tontolo iainana, dia naseho ny vokatry voalohany tamin'ny fanadiadiana ireo tany noloarana tao Tritrivakely / Betafo. Marihina fa mirefy 40 metatra ny halavan'izy io ary ny 13 metatra no efa vita fanadiadiana sy fandalinana, ka toy izao ny vokatry azo. Io 13 metatra io dia mirakitra ny tantaran'ny toetr'andro nandritra ny 36 000 taona lasa (TL) teto Madagasikara, toa izao no fitrangany : Tritrivakely dia farihy tsy dia lalina teo anelanelan'ny 35 000 sy 19 000 TL, ny toetr'andro tamin'izay fotoana izay dia mangatsiaka kokoa noho ny ankehitriny ; saika ritra sy tsy namokatra firy izy tao anelanelan'ny 19 000 sy 15 000 TL ; nanomboka nafana tampoka tamin'ny 14 000 TL ; ary ny "fompotra" misy ankehitriny dia niforona tamin'ny 4 000 TL.

INTRODUCTION

L'étude du paléoclimat à Madagascar est conduite par le CNRS¹, l'ORSTOM² et le CNRE³ avec la collaboration de l'Observatoire de Géophysique d'Antananarivo. Elle s'inscrit dans le cadre d'un programme scientifique sur la compréhension des facteurs régissant les changements du climat de la planète, avec pour but in fine de prévoir son évolution future.

POURQUOI ETUDIER LES PALEOCLIMATS ?

A l'époque où la préoccupation des grands organismes nationaux et internationaux est la gestion de l'environnement futur, on peut s'interroger sur l'intérêt de se pencher sur le passé. La tendance au réchauffement global observée au cours du dernier siècle (environ 0,6°C) a été associée à l'accroissement, dans l'atmosphère, de la teneur en gaz à effets de serre d'origine anthropique. Les teneurs en gaz carbonique (CO₂) et en méthane (CH₄) se sont, en effet, élevées d'environ 280 à 330 ppmv et de 0,8 à 1,4 ppmv, respectivement (Jouzel et al., 1989). Une extrapolation sur les décennies futures est alarmante, si l'on considère les conséquences d'un réchauffement global sur la fonte des glaces polaires, l'élévation du niveau moyen de la mer, et les perturbations du cycle hydrologique à l'échelle de la Planète. Prévoir l'impact de l'activité humaine sur l'environnement est un des objectifs essentiels du Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB ou Global Change). Cette approche nécessite la modélisation du système climatique à l'échelle de la planète.

Les variations climatiques provoquées par l'activité humaine ne font toutefois que se surimposer à la variabilité naturelle du climat. Les données géologiques, déduites en particulier de l'étude des carottes

océaniques et des carottes de glaces polaires, montrent que la terre a subi, au cours de son histoire "récente" (quelques centaines de milliers d'années), des changements climatiques naturels d'amplitude considérable. Ainsi, en Antarctique, la teneur en CO₂ de l'air fossile piégé dans les glaces sous forme de bulles a oscillé entre 200 et 290 ppmv au cours des derniers 140 000 ans (Jouzel et al., 1989). L'amplitude des fluctuations thermiques, grossièrement parallèles, est d'environ 12°C, avec 2 maxima vers 130 000 et après 10 000 ans avant l'actuel (périodes interglaciaires) et un minimum vers 21000 ans (Dernier Maximum Glaciaire). Ces fluctuations à long terme sont en large part attribuables aux changements des paramètres orbitaux de la Terre qui varient de façon cyclique (cycle de 100 000 ans, 41 000 ans, 21 000 ans, 19 000 ans) et modifient la position de la Planète vis-à-vis du soleil. Les variations des paramètres orbitaux n'expliquent toutefois pas le caractère asymétrique des fluctuations climatiques observées, avec des phases de réchauffement extrêmement rapides contrastant avec le retour lent, et non linéaire aux conditions glaciaires.

Les mécanismes régissant les changements climatiques naturels sont loin d'être totalement élucidés. De plus, le seul moyen de tester la validité des modèles climatiques est de réaliser des expériences de simulation pour des périodes du passé très différentes de l'Actuel. Les paléodonnées sont encore insuffisantes, en particulier sur les continents, pour tester solidement ces modèles. Prévoir le climat et l'environnement du futur exige donc l'étude du passé. C'est pourquoi l'un des volets du programme PIGB (Global Change - PAGES) se focalise sur les paléoclimats.

¹CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique (GDR 970)
Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique, Université Paris-Sud,
Laboratoire de Géodynamique et Planétologie, Université Paris-Sud,
Centre des Faibles Radioactivités, Gif-sur-Yvette,
Laboratoire de Géologie du Quaternaire, Marseille
Laboratoire de Pétrologie organique, Université d'Orléans.

²ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Département des Eaux Continentales.

³CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement, Antananarivo (Madagascar).

PREMIERS RESULTATS

36 000 ANS D'HISTOIRE HYDROCLIMATIQUE DU LAC TRITRIVAKELY DANS LE MASSIF DE L'ANKARATRA

Les premiers résultats de l'étude de forages réalisés en 1992, à la suite d'une campagne de prospection géophysique, dans un lac de cratère des Hautes Terres de Madagascar sont rapportés ci-après.

LE MILIEU ACTUEL

Tritrivakely (19°47'S, 46°55'E, 1760 m) se situe au sud du massif de l'Ankaratra, constitué de dômes et de coulées volcaniques pliocènes et quaternaires recouvrant un socle ancien métamorphisé (Bésairie, 1946). La région est soumise à un climat tropical d'altitude (précipitation moyenne annuelle : 1500 mm/an ; température annuelle moyenne : 16°C), avec un été chaud et pluvieux et un hiver frais et sec (Chaperon et al., 1993). Le lac Tritrivakely occupe un maar (cratère d'explosion) d'environ 600 m de diamètre et 100 m de profondeur. Le fond du cratère est aujourd'hui occupé par un marécage à *Cyperus* et *Juncus* (zozoro), sans exutoire de surface. Les eaux sont peu minéralisées (conductivité électrique : 20,6 (S cm⁻¹), légèrement acides (pH = 5,5), et affichent une activité ¹⁴C de 98,14±1,75%, soit un "age apparent" d'environ 1000 ans (Table).

Les résultats relatifs aux 13 m supérieurs d'une séquence lacustre et palustre continue de 40 m d'épaisseur sont résumés ci-après.

Les faciès dominants sont (fig.1a) :

- des tourbes à Cypéracées,
- des vases organo-argileuses à laminations grossières (5-20 mm) ou millimétriques,
- des vases argileuses homogènes,
- quelques lits de sable,
- des tephres (projections volcaniques), dont un niveau in situ à 11,70 m témoigne d'une éruption très proche.

METHODE D'ETUDE

La chronologie s'appuie sur 14 âges radio-carbone (figs. 2a-1b ; Table). Les âges obtenus, entre 0 et 4,6 m et à la base du sondage, sur fragments de feuilles de Cypéracées sont validés par l'activité ¹⁴C de l'échantillon sommital (113,5%) qui traduit l'équilibre avec le CO₂ post-nucléaire. Les âges mesurés sur matière

organique totale entre 5,5 et 9,0 m (Table) peuvent être vieillis par la présence de particules organiques détritiques.

Les propriétés magnétiques des sédiments, analysées tous les centimètres ou tous les 5 cm (fig. 2d-e) expriment des changements drastiques de la concentration en grains de titanomagnétite détritique.

Les analyses granulométriques (fig. 2c) et paléobiologiques (figs. 3c-e) sont réalisées tous les 10 cm. La fraction minérale fine (<40 µm) des dépôts est principalement constituée d'allophanes (argiles mal cristallisées) parfois associées à de la vivianite (phosphate de fer). La fraction >40 µm est dominée soit par des matériaux détritiques souvent éolisés, soit par de la sidérite (carbonate de fer), minéral authigène abondant au-delà de 6 m et reflétant un milieu de sédimentation réducteur (Berner, 1971).

La teneur en carbone organique total (COT) et l'indice d'hydrogène, IH (mg HC/g COT), obtenus par pyrolyse Rock-Eval (fig. 3 a, b) sont contrôlés par la production lacustre primaire, l'apport en matériel organique détritique, et les processus de dégradation syn- et post-sédimentaire de la matière organique.

L'analyse des diatomées permet d'observer deux principaux types d'assemblages dominés respectivement par :

- 1) des espèces acidophiles, pour beaucoup aérophiles (*Pinnularia spp.*, *Eunotia spp.*) observées dans le marécage actuel (fig. 2c) ;
- 2) des épiphytes (*Cymbella silesiaca*, *Gomphonema gacile*), et/ou des espèces vivant en eau libre (*Fragilaria spp.*, *Auloacosira spp.*) reflétant un milieu lacustre aux eaux neutres et plus riches en éléments nutritifs qu'aujourd'hui.

Les pollens sont abondants sur l'ensemble du profil. Les plantes terrestres sont principalement représentées, entre 13 et 4 m de profondeur, par des Ericacées qui caractérisent aujourd'hui des zones d'altitude >2000 m (fig. 2e), et, au-dessous de 4 m, par des Graminées qui indiquent l'installation d'une savane ou d'une savane boisée.

RESULTATS

L'intervalle 13,0 - 12,5 m (~36 ka BP).

Les valeurs élevées du COT et de IH reflètent une forte productivité biologique dans un marécage à fond réducteur. Les faibles valeurs des paramètres magnétiques indiquent que les particules détritiques ruisselées ne parviennent pas au point du sondage, sans doute filtrées par une ceinture de végétation. Les rares grains détritiques, relativement grossiers, sont attribuables à des apports éoliens depuis les arènes granitiques proches. Les diatomées enregistrent un milieu subaérien. Le lac est, hydrologiquement, voisin de son état actuel mais l'abondance des Ericacées témoignent d'un climat plus froid.

L'intervalle 12,5-4,7 m (~36-20 ka BP)

Un épisode lacustre complexe est représenté par des vases brunes à vitesse moyenne de sédimentation (vms) relativement élevée (fig. 2b). Entre 12,5 - 12,0 m, la mise en place d'un lac peu profond se manifeste par le développement des pollens de plantes aquatiques, puis des diatomées d'eau libre associées à des épiphytes. Les faciès laminés apparaissent. La teneur en COT chute et se stabilise autour de 10%. Entre 12 m et 6 m, les valeurs des paramètres magnétiques, généralement fortes mais fluctuantes, témoignent de l'importance des apports détritiques fins par lessivage du bassin versant (hormis le pic à 11,7 m correspondant à un niveau de tephra). La décroissance de IH traduit l'augmentation de la teneur en matière organique oxydée. Cette évolution n'est pas linéaire : les pulsations de IH centrées sur 11,5 - 10,5 m et 9,5 - 8 m, grossièrement synchrones des teneurs maximales en diatomées, tradiraient des phases à forte productivité algale en milieu franchement lacustre. Le retour à des conditions palustres oxydantes est ensuite enregistré par les diatomées aérophiles et la diminution de IH. La flore pollinique terrestre est toujours dominée par les Ericacées.

L'intervalle 4,7 - 3,0 m (~19-4 ka BP)

Plusieurs niveaux de sable oxydé entre 4,6 et 3,6 m ainsi qu'une vms très réduite (fig. 2b) suggèrent de brèves phases d'assèchement. Pendant le dernier maximum glaciaire (4,7 - 4,1 m), la production biolo-

gique est extrêmement faible avec des valeurs de COT et IH minimales, une quasi-absence des diatomées et des plantes aquatiques. Les conditions favorables à la vie aquatique s'installent de nouveau dès 15 ka BP (4,0 m). Les fragments de charbon de bois, témoignant d'incendies fréquents, sont abondants dans les sédiments. Le déclin, en deux étapes, des Ericacées, marque le fin des conditions thermiques du dernier épisode glaciaire. La colonisation des pentes par les graminées ralentit le taux d'érosion, et la ceinture de Cypéracées filtre les particules détritiques grossières, expliquant le maintien d'une vms faible.

L'intervalle 3,0-0,0 m (~4-0 ka BP)

L'Holocène supérieur correspond à l'accumulation d'une tourbe dont les paramètres sédimentologiques et magnétiques sont voisins de ceux de la base de la carotte. Une recrudescence des Ericacées, attribuée à un refroidissement, est à noter vers 3,5-3,0 ka BP avant la mise en place des conditions actuelles.

CONCLUSION

Les résultats obtenus à ce jour, bien que préliminaires, permettent néanmoins de dégager quelques conclusions sur l'histoire climatique de la région.

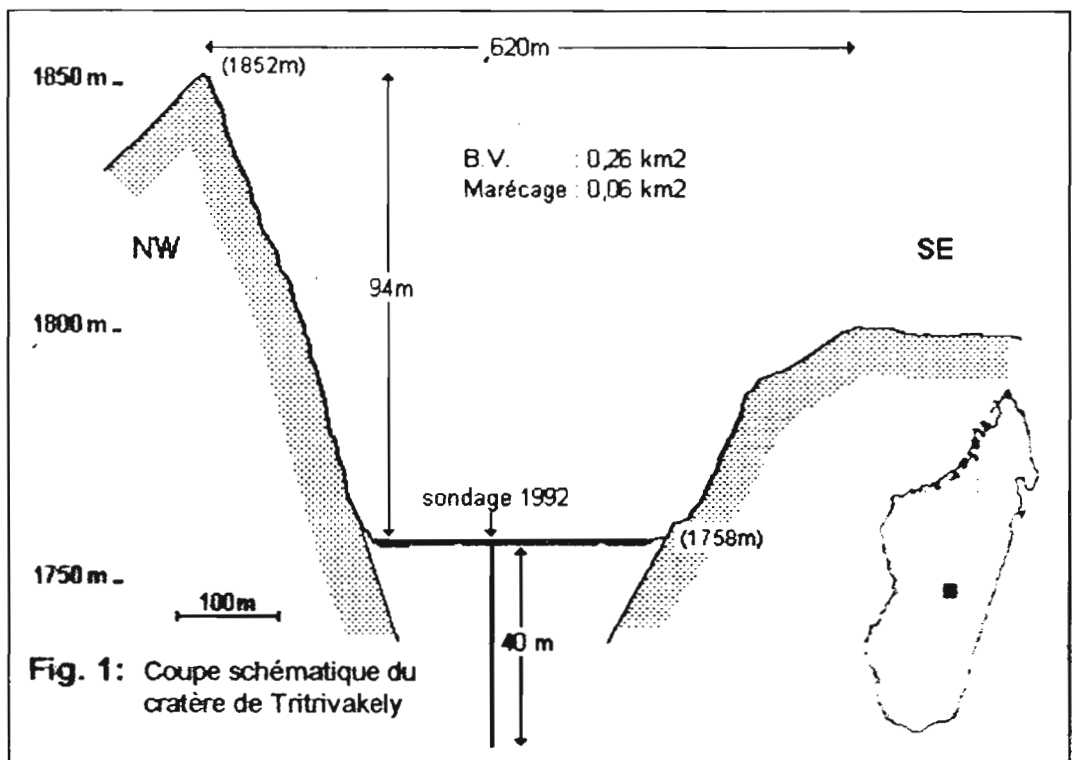
Le lac Tritrivakely a enregistré environ 36 000 ans d'histoire sur les 13 m supérieurs de sédiments. Compte tenu de la composition des sédiments en profondeur, on est en droit d'attendre des 40 m carottés à Tritrivakely un enregistrement continu du premier cycle climatique, soit environ 130 000 ans. Le dernier maximum glaciaire et la dernière déglaciation sont représentés, bien que très condensés en stratigraphie.

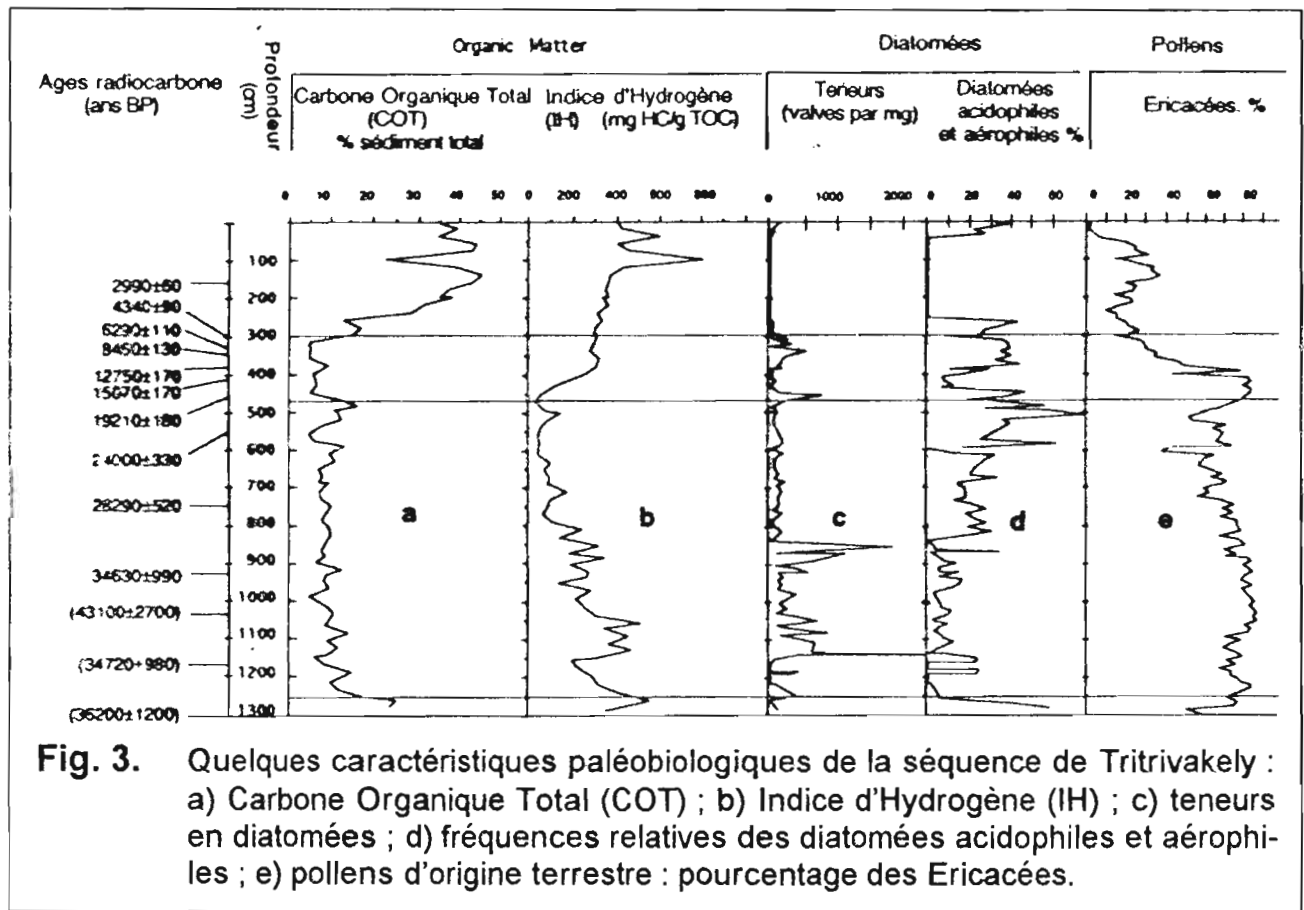
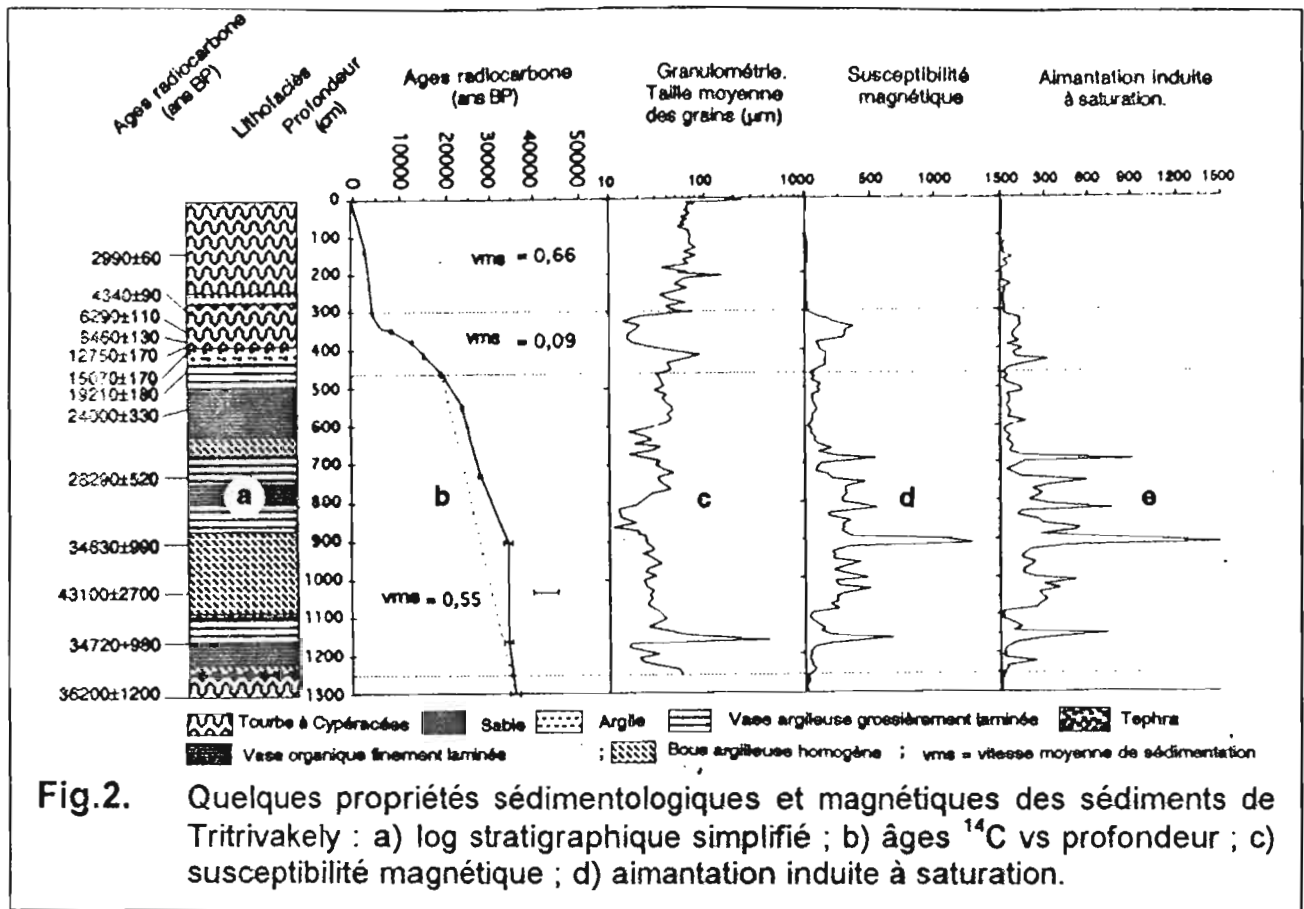
Signalons que l'étude pollinique ne révèle pas l'existence de grandes forêts naturelles sur la région pendant la période étudiée. L'abondance des fragments de charbon de bois dans les sédiments témoignent d'incendies naturels bien avant l'installation de l'Homme sur l'île. Enfin, notons que cette étude a permis de dater une éruption volcanique proche à environ 35 000 ans BP.

Echantillon	Profondeur (cm)	Analyse N° LHG	Matériel	Activité ¹⁴ C (%)	Age ¹⁴ C (ans BP)	δ ¹³ C (‰PDB)
LT1	15	H616	Macrophytes	113,47(± 1,97%)	Moderne	-
LT2/5	140	H667	Macrophytes	70,24(± 0,69%)	2840 ±60	-26,00
LT4	305	H618	Macrophytes	58,25(± 1,06%)	4340 ±90	-24,80
LT4/5	340	H669	Macrophytes	45,69(± 1,57%)	6290 ±110	-22,80
LT4 (40)	350	H711	Macrophytes	34,87(± 1,58%)	8460 ±130	-21,11
LT4 (69)	379	H712	Macrophytes	20,46(± 2,08%)	12750 ±170	-18,83
LT5 (19)	412	H710	Macrophytes	15,32(± 2,13%)	15070 ±170	-18,06
LT5/8	463	H670	Macrophytes	9,15(± 2,28%)	19210 ±180	-16,70
LT6	550	H624	T.O.M.	5,04(± 4,07%)	24010 ±330	-19,90
LT8	732	H650	T.O.M.	2,95(± 6,46%)	28290 ±500	-21,90
LT10	904	H626	T.O.M.	1,34(±12,32%)	34630 ±990	-10,40
LT12	1034	H628	T.O.M.	0,47(±34,20%)	[43100 ±2700]	-21,00
LT14	1165	H619	T.O.M.	1,33(±12,22%)	34720 ±980	-24,50
LT16	1300	H617	Macrophytes	1,10(±14,97%)	36200 ±1200	-25,70

(LHGI : Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique, ORSAY ; T.O.M.: Matière Organique Total)

Table : Chronologie radiocarbone de la carotte LT II (13 m ; janvier 1992) du lac Tritrivakely





REFERENCES

- BURNEY D.A., 1987. Pre-settlement vegetation changes at lake Tritrivakely, Madagascar. In J.A. Coetzee (Ed.), Rotterdam, Balkema, *Paleoecology of Africa*, 18, p. 3577-381.
- BERNER, R.A., 1971. Diagenesis of iron minerals. In *Principles of chemical sedimentology*. Mc Graw-Hill, New-York, N.Y., P. 139-209.
- BESAIRIE, H., 1946. La géologie de Madagascar. *Travaux du Bureau Géologique n° 54*, Tananarive.
- CHAPERON P., DANLOUX J., FERRY L., 1993 - Fleuves et rivières de Madagascar. ORSTOM/DMH/CNRE, Eds ORSTOM, 874 p.
- DONQUE, G., 1975. Contribution géographique à l'étude du climat malgache. Mémoire de thèse, Université de Madagascar, Tananarive.
- FOUCAULT, A., 1993. Climat - Histoire et avenir du milieu terrestre. Eds Fayard.
- JOUZEL, J., RAISBECK, G., BENOIST, J. P., YIOU, F., LORIUS, C., RAYNAUD, D., PETIT, J. R., BARKOV, N. I., KOROTKEVITCH, Y. S., KOTLYAKOV, V. M., 1989. A comparison of deep Antarctic ice cores and their implications for climate between 65 000 and 15 000 years ago, *Quaternary Research*, 31, pp. 135-150.
- STRAKA, H., 1993. Beiträge zur Kenntnis der Vegetationsgeschichte von Madagascar (Vorläufige Mitteilung. Festschrift Zoller. *Dissertationes Botanicæ*, 196, pp. 439-449, J. Cramer, Berlin.

REPOBLIKAN' I MADAGASIKARA
Tanindrazana-Fahafahana-Fahamarinana

BULLETIN
DE
L'ACADEMIE NATIONALE
MALGACHE
NUMERO SPECIAL

DU 50ème ANNIVERSAIRE
DE
L'ORSTOM

*Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération*
1994

ANTANANARIVO
1995