

**PREMIERS RESULTATS
D'UNE ETUDE GENERALE SUR LES LACS
MALGACHES**

**IREO VOALOHAM-BOKATRA AZO TAMIN'NY FANDALINANA
ANKAPOBENY NATAO TAMIN'IREO FARIHY MALAGASY**

Luc FERRY
Christian DEPRAETERE
Laurent ROBISON

RESUME :

Après quelques considérations sur la terminologie du mot "lac" il est souligné que, dans la langue malgache, les noms de lac pourraient donner de précieuses indications sur leurs caractéristiques. Les objectifs du programme "lacs et paléoclimats malgaches" sont ensuite rapidement présentés. A partir d'un premier inventaire de plus de 1300 lacs et zones humides constitué à partir des cartes au 1/100 000^{ème}, les différents types de lac présents à Madagascar sont décrits. Leur répartition est mise en relation avec la géologie et la tectonique. La relation entre la fréquence des lacs et leur superficie suggère qu'en deçà d'une certaine taille beaucoup d'entre eux ne sont pas figurés sur les cartes au 1/100 000^{ème}. Des indices de forme sont proposés en vue de leur caractérisation. Enfin, l'intérêt du programme pour le développement est illustré par deux exemples.

FAMINTINANA :

Rehefa nofakafakaina ny teny hoe " lac " na adika hoe farihy amin'ny akapobeny, dia voamarika fa teo amin'ny Malagasy, ny anarana nomeny ny farihy na matsabory dia azo itarafana sahady ny toetra ananan'izy ireny, izay anisan'ny tanjona tratarin'ny tetik'asa " Lacs et Paléoclimats " na adika tsotsotra hoe " Ny farihy sy ny Tantaran'ny toetr'andro teto Madagasikara ". Avy tamin'ny fanisana sy fanadihadiana ny saritany (maridrefy 1/100 000) nataon'ny FTM no nahalalana fa miisa 1300 ireo farihy na matsabory, etsetra ... ; ary nahafahana nisokajy azy ireo. Nampifandraisina koa ny fitsijaran'izy ireo ara-paritra amin'ny fahalalana ara-jeolojia sy ny "tectonique". Ny kajy natao izay mampifandray ny habetsahan'ny farihy amin'ny habeny dia nahatsapana fa maro ireo farihy tsy misoritra eo amin'ny saritany rehefa mihoatra ny habe kely indrindra voafaritra. Nisy marika telo natolotra mba ahafahana misokajy ireo farihy ireo araka ny bikany. Ary farany, amin'ny alàlan'ny ohatra roa no nanaporofoina ny tombon-tsoa mety ho azo amin'ity tetik'asa ity.

I. INTRODUCTION

L'ORSTOM¹, le CNRE² et le CNRS³ mènent conjointement un programme intitulé "Lacs et paléoclimats malgaches"

Cette communication a pour objet de donner une description du volet "Lacs" de ce programme, de présenter les premiers résultats et de montrer son intérêt pour le développement à partir de quelques exemples.

II. QU'EST-CE QU'UN LAC ?

La définition la plus courante du mot "lac" donnée dans les dictionnaires est la suivante : "Grande étendue d'eau entourée de terre" On s'aperçoit immédiatement que cette définition manque de précision et n'est pas satisfaisante. Elle engloberait entre autres les mares, les étangs, les marais, les

marécages, les lagunes ainsi que les mers intérieures.

Il semble donc que les dénominations "lac" "mare" "étang" "marais" "marécage" voire "mer" données aux étendues d'eau entourées de terres sont employées de manière subjective et que leur utilisation, au moins dans la langue française, correspond plutôt à des habitudes terminologiques.

A partir de 725 noms de lac donnés par les cartes du FTM⁴, il est également difficile de faire une distinction précise entre les diverses étendues d'eau. Cependant, dans la langue malgache, les noms de lacs sont souvent évocateurs. Certaines dénominations ou racines se retrouvent assez fréquemment et sont accompagnées d'un qualificatif spécifiant la caractéristique principale traditionnellement reconnue :

Rano (eau) 80 dont :	Matsabory ou Matsabori- (étendue d'eau) 53 dont :	Amparihi- ou Farihy (lac) 63 dont :
<p>Andranotapahina Ranovorimena Andranovorimbolo Andranobe Ranolava Andranofasina Andranonjazavavy Andranomazava Andranoratsy Andranomamy Andranonankoay Andranovoringisa Andranovorin'isoantsy Lanirano</p>	<p>Matsabory Lemby Matsabory Malaiboka Matsabory Taranta Matsaboribe Matsaborimadio Matsaborimaika Matsaborimena Matsaboribitika Matsaborivato Matsaborifanjava Matsaborinamboaimena Matsaborinkova Matsaborimbola Matsaborifady</p>	<p>Amparihibe Amparihikambana Amparihimborona Amparihinandriana Amparihibevoay Amparihindralehilahy Amparihitsimisivody Amparihilava Amparihimora Amparihimena Amparihibendrano Amparihimaintilahy Amparihimaloto Amparihimangabe</p>

¹ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération,
Département des Eaux Continentales.

²CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement.

³CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique,
GDR 970, CNRS, ORSTOM, Paléohydrologie et Paléoclimatologie Continentales.

⁴FTM : Foiben Taosarintanin'i Madagasikara (Institut Géographique et Hydrographique National).

III. RESULTATS PRELIMINAIRES AU PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES LACS MALGACHES

L'étude des lacs malgaches a pour objectif de donner aux décideurs et aux aménageurs les informations de base indispensables à la gestion et à l'aménagement des écosystèmes lacustres au sens large.

Ces informations sont :

- la localisation et la forme,
- l'origine,
- le fonctionnement hydrologique et sédimentologique,
- les caractéristiques physico-chimiques des eaux,
- les potentialités.

Partant de la définition, "étendue d'eau entourée de terre" un premier catalogue de plus de 1300 lacs a été constitué à partir de la numérisation des cartes du FTM au 1/100 000^{ème}. Ce travail a été effectué pour toutes les étendues d'eau libre (hors rivières) pouvant être considérées comme telles en fonction de leur figuré sur les cartes. Il englobe certainement un nombre important de mares, marais et de marécages probablement cartographiés en période de hautes eaux.

Ce travail préliminaire, encore incomplet et qui demande à être validé, permet :

- d'une part, de proposer une codification de zones humides de Madagascar organisée suivant les grands bassins hydrologiques comme le sont les banques de données hydrologiques, pluviométriques et hydrogéologiques ;
- et, d'autre part, de tirer des résultats préliminaires sur le nombre, la localisation et la forme des "lacs" malgaches en vue d'orienter les futurs travaux.

III.1. ORIGINES, TYPES ET LOCALISATION

III.1.1. Origines et types

Les lacs de Madagascar peuvent être

classés en six grandes catégories :

- Lacs d'origine tectonique :

De forme généralement allongée, ils correspondent à des accidents tectoniques (failles). Le plus connu est celui du lac Alaotra situé dans le fossé qu'occupent les bassins versants du Maningory et du Mangoro. Le lac Tsimanampetsotsa situé sur la côte sud-ouest appartient également à cette catégorie.

De manière générale, la présence de lacs naturels sur socle cristallin des Hautes Terres de Madagascar est explicable par :

- les mouvements verticaux d'ensemble qui créent un déséquilibre régional modifiant le réseau hydrographique ;
- des failles dont la composante verticale s'oppose à l'écoulement des rivières et dont le jeu est suffisamment rapide pour compenser les comblements.

- Lacs d'origine volcanique :

Il s'agit principalement des lacs de cratère de la Montagne d'Ambre, des régions d'Antsirabe/Betafo, de l'Itasy, et de l'île de Nosy Be. Lorsque les cratères sont égueulés, ces lacs peuvent présenter un exutoire. Ces lacs sont associés à des bassins versants de petite taille. Il faut inclure dans les lacs d'origine volcanique les lacs de barrage formés à la suite de coulées volcaniques barrant les vallées. Le lac Itasy est de ce type.

- Lacs des plaines alluviales :

Ils sont très nombreux en particulier sur la partie occidentale de l'île depuis Ambilobe jusqu'à Morombe et dans les parties basses des grands fleuves : Mahavavy nord, Mahajamba, Betsiboka, Manambola, Tsiribihina, Morondava... Ces lacs peu profonds correspondent, soit à des zones d'inondation par débordement des rivières, soit à des impluvium (Ihotry), soit encore à des affleurements de nappes alluviales. Ils occupent souvent des anciens lits de rivière (delta, méandres et bras secondaires). Sur le versant ouest, deux groupes peuvent être distingués :

LOCALISATION DES LACS

● lac (superf. prop.)

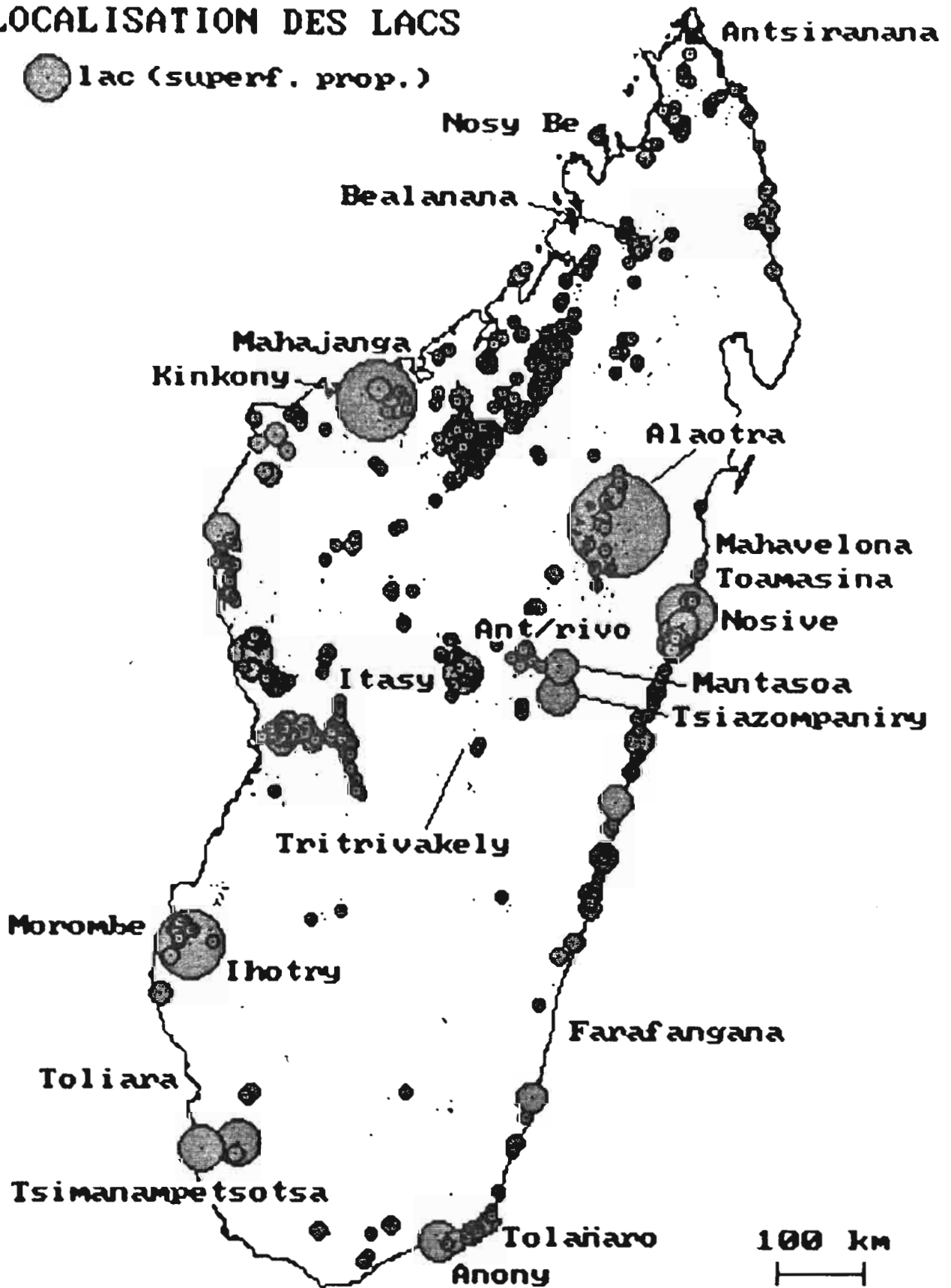


Fig. 1

- les lacs de la plaine côtière ;
- les lacs situés en bordure du socle cristallin et dans les dépressions périphériques, séparés des premiers par des massifs calcaires et gréseux : Manasamody, Bongalava, Ankarafantsika, Kelifely, Bemaraha, Makay.

- Lacs littoraux et lagunes côtières :

Ces lacs se confondent souvent avec les lacs des plaines alluviales précédemment décrits. On peut cependant les caractériser par la présence d'un cordon littoral pouvant être partiellement détruit lors des fortes crues et des tempêtes. Ces lacs sont présents sur toute la côte est. Le lac Nosive, un des plus grands lacs de Madagascar, appartient à cette catégorie.

C'est à partir du chapelet de lacs littoraux s'étendant le long de la côte est qu'à été ouvert le canal des Pangalanes (lakandranon' Ampangalana), voie d'eau navigable de près de 600 km reliant Mahavelona (Foulpointe) à Farafangana. Les lacs du système des Pangalanes sont en communication permanente avec la mer par l'intermédiaire des estuaires des grands fleuves qui recoupent le canal. En fonction de la proximité des embouchures, les eaux de ces lacs peuvent être saumâtres et peuplées de poissons marins.

- Lacs artificiels ou naturels aménagés :

Il s'agit de réservoirs et de grands barrages aménagés pour :

- l'hydroélectricité par les anciennes sociétés d'énergie et la JIRAMA (Antelomita, Mantasoa, Mandraka) ;
- l'alimentation en eau potable (Mandroseza pour Antananarivo, Andraikiba pour Antsirabe) ;
- la régulation du débit des rivières (Tsiacompaniry pour la régulation des débits de l'Ikopa dans la plaine d'Antananarivo) ;
- l'irrigation par les services du Génie

Rural notamment : Marovoay (Amboromalandy), les retenues périphériques des cuvettes de l'Alaotra et d'Andilamena (Sahamaloto, Antanifotsy, Ambodivato...).

III.1.2. Localisation

La localisation des lacs de Madagascar est présentée en figure 1. C'est sur le versant ouest et aux altitudes inférieures à 100 mètres qu'ils sont les plus nombreux (fig. 3). Sur les versants de raccordement situés entre d'une part, les plaines côtières et les dépressions périphériques de l'ouest et d'autre part, les Hautes Terres, ils sont peu nombreux en raison des pentes trop accentuées. Dans le sud, le faible nombre de lacs s'explique par les conditions climatiques (précipitations faibles). Sur les Hautes Terres, les lacs sont relativement nombreux avec des concentrations importantes dans les régions d'Antananarivo et du lac Alaotra.

La localisation des zones humides de Madagascar est en relation directe avec la géologie et la tectonique (fig. 3). Ceci est particulièrement remarquable pour la zone de contact entre le socle cristallin et les formations sédimentaires de l'ouest ainsi que dans les régions à volcanisme récent : Antsirabe/Betafo, Itasy, Montagne d'Ambre et Bealanana. La correspondance entre les zones à forte densité de lacs et les régions faillées est nette en ce qui concerne les régions du sud de la Montagne d'Ambre, du lac Alaotra et d'Antananarivo.

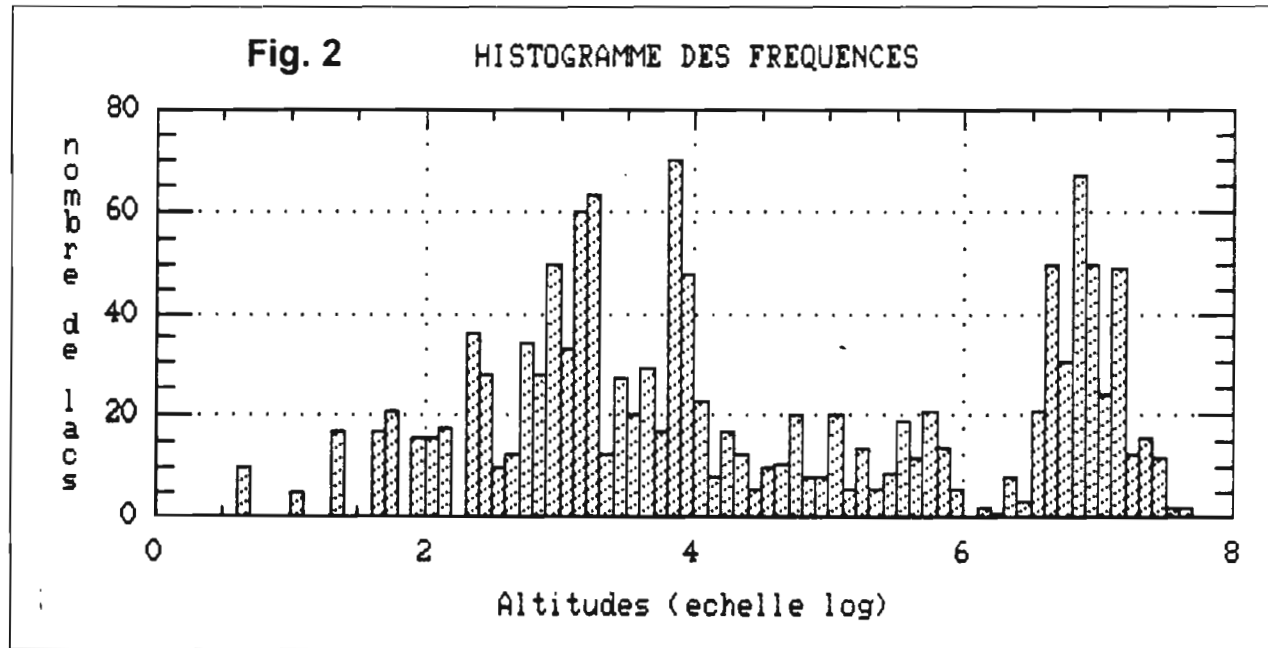
IV. DÉNOMBREMENT, SUPERFICIE ET FORME :

IV.1. Dénombrement et superficie :

Par hypothèse, on posera qu'il existe une relation statistique entre la fréquence des lacs et leur taille, soit une fonction hyperbolique du type :

$$F(S>s) = k s^{-B}$$

La fonction $F(S>s)$ représente la fréquence des lacs ayant une superficie S supérieure à une superficie s .



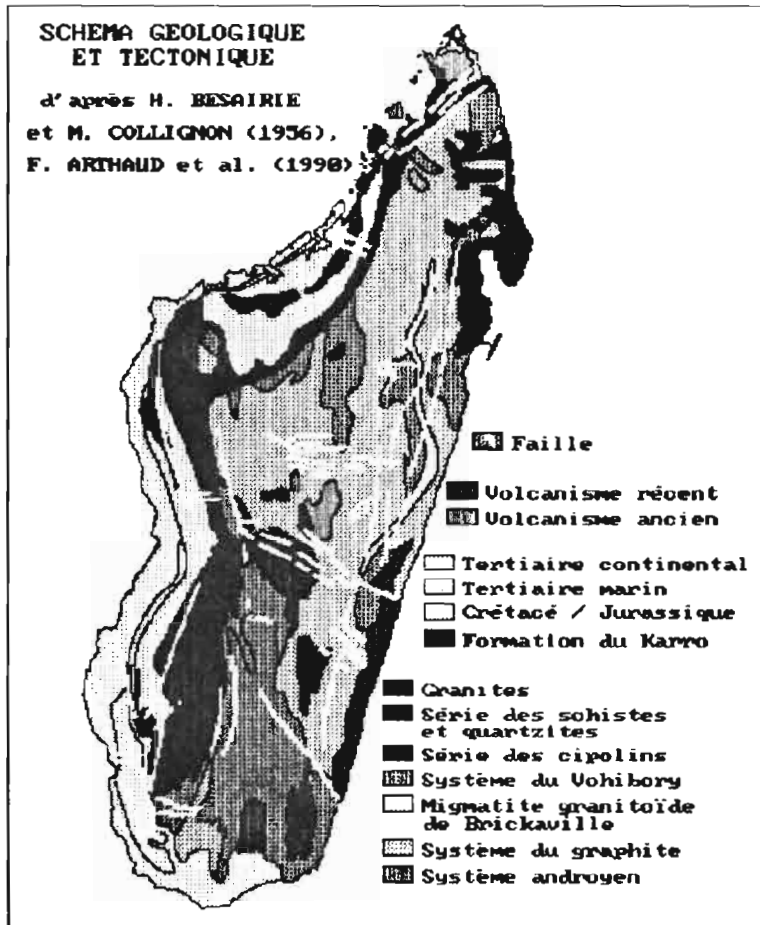


Fig. 3a

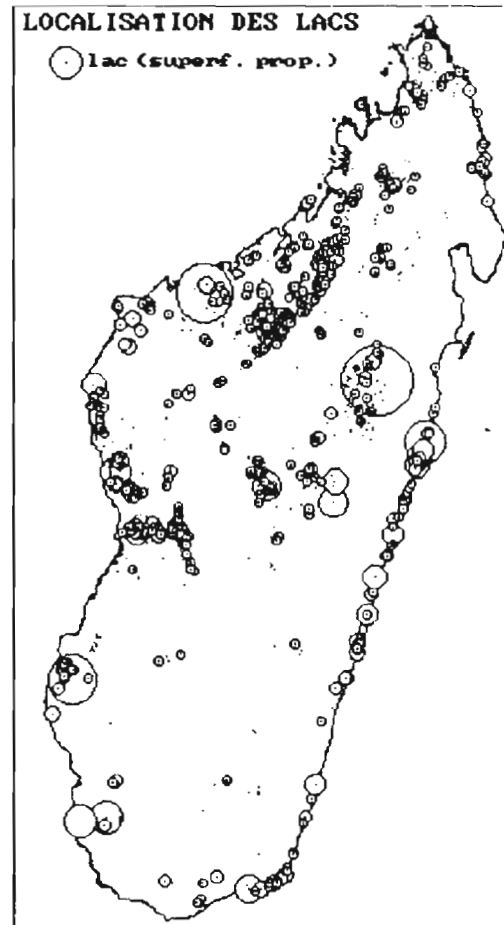


Fig. 3b

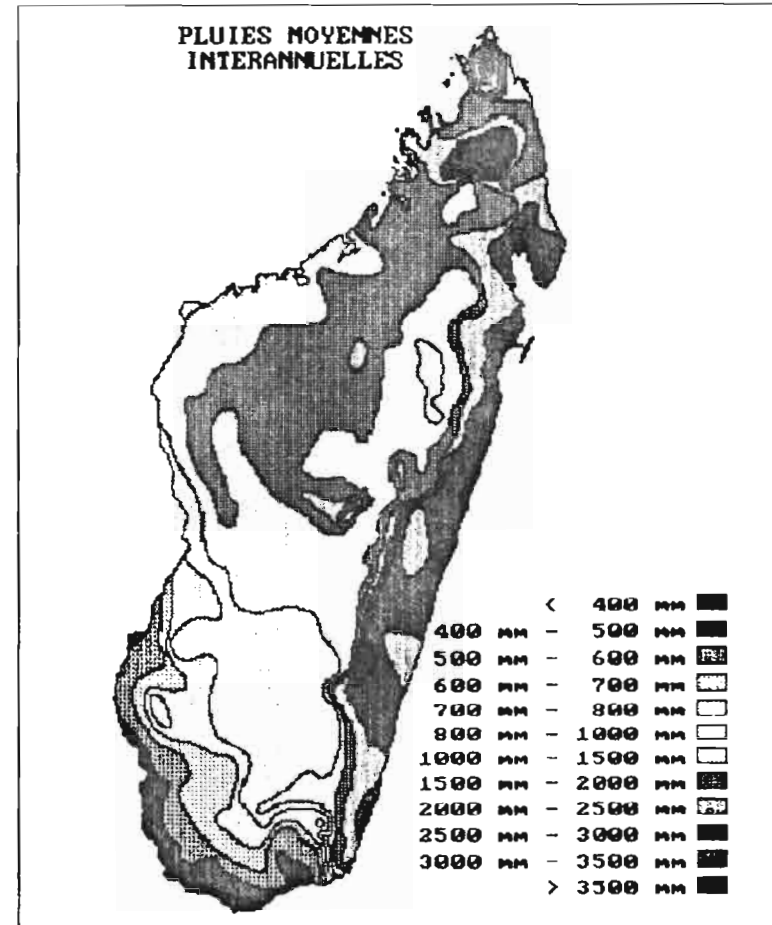


Fig. 3c

L'échantillonnage de 1300 lacs numérisés à partir des cartes au 1/1000000^{ème} de Madagascar ont des superficies comprises entre 1 hectare et 231 km². Il va permettre d'évaluer la validité d'une telle hypothèse.

Une relation hyperbolique entre fréquences et superficies se traduit par une relation linéaire entre le logarithme des fréquences et le logarithme des superficies. Sur la figure 4, on constate qu'une telle relation semble vérifiée pour les lacs dont la superficie est comprise entre 0,26 et 8 km² avec comme fonction :

$$F(S>s) = 5.27 s^{-0,815}$$

s (en km²) ∈ [0.26,8.0]
R²= 0.99

Les 30 lacs dont la superficie est supérieure à 8 km² semblent suivre une loi différente :

$$Fg(S>s) = 5.41 s^{-0,985}$$

s (en km²) ∈ [8.0,231.0]
R² = 0.97

Ce seuil pourrait avoir un sens tectonique (échelle minimale des grabbens suffisamment actifs par rapport à la vitesse de comblement ?).

Les lacs dont la superficie est inférieure à 0,26 km² ne suivent pas une telle loi. Cela peut s'expliquer par le fait qu'à l'échelle du 1/100 000^{ème}, ils ne sont pas tous représentés sur la carte. Ainsi, il n'y a que 880 lacs dont la superficie est comprise entre 1 et 26 hectares recensés à partir des cartes au 1/1000000^{ème} alors que leur décompte théorique en fonction de la fonction F est de 8400 (20000 avec la fonction Fg !).

On peut tenter un dénombrement théorique des lacs de petites tailles sur la base de la fonction F et établir leur surfaces cumulées : (voir tableau).

S'il convient d'utiliser avec circonspection ce type d'approche, elle n'en permet pas moins une analyse critique de la base de données et l'estimation de quelques ordres de grandeur.

IV.2. Formes des lacs

Afin de tenter une description et à terme une classification des formes de lacs, trois indices ont été retenus sur la base de travaux antérieurs (Depraetere, 1991).

Soient les caractéristiques planimétriques suivantes (figure 5) :

- S : superficie du lac en km².
- L : longueur du grand axe en km.
- l : périmètre du lac en km.
- Spc : superficie du polygone convexe en km².

A partir de ces quatre caractéristiques planimétriques, les indices sont calculés comme suit :

- un indice d'allongement Ia :

$$Ia = 0,5 \cdot \text{CARSPECIAUX } 112 \setminus f \text{ "Symbol" } 0,5.L.S-0,5$$

Ia est égal à 1.0 si le lac est parfaitement circulaire sinon Ia>1.0.

- un indice "de festonnement" Ife :

$$Ife = 0,5 \cdot \text{CARSPECIAUX } 112 \setminus f \text{ "Symbol" } -1.12.S-1$$

Ife fait le rapport entre le périmètre du lac et sa superficie. Ife est égal à 1.0 si le lac est parfaitement circulaire sinon Ife>1.0.

s en km ²	fréquences (S>s)	superficies cumulées en km ²
10	30	1019
1	194	1450
0,1	1270	1746
0,01	8280	1945
0,001	54110	2074
0,0001	353500	2156

- un indice "de péninsularité" Ipe :

$$Ipe = (Spc-S).Spc^{-1}$$

Ipe fait le rapport entre la superficie des péninsules du lac et la superficie du polygone convexe (enveloppe) associé à ce dernier. Ipe sera égal à 0.0 si le lac ne présente aucune péninsule sinon $Ipe > 0.0$ et $Ipe < 1.0$.

L'indice d'allongement a une valeur modale de 1,45 (figure 6a) avec un maximum de 5,11 pour le lac d'Ampamandrika (figure 7h).

L'indice de festonnement a une valeur modale de 1,15 (figure 6b) avec des valeurs ne dépassant 6,0 que dans les deux cas des lacs de Mantasoa et de Tsiazompaniry (figures 7a et 10g).

L'indice de péninsularité a une valeur modale de 0,03 (figure 6c) avec des valeurs ne dépassant 0,65 que dans les deux cas des lacs de Tsiazompaniry et de Mantasoa.

Les grands lacs artificiels se caractérisent par un fort indice de festonnement et un fort indice de péninsularité. Leurs caractéristiques planimétriques sont directement héritées de la forme des courbes de niveau sans que les processus de comblement soient venus les modifier.

Les lacs de cratère sont marqués par de faibles valeurs sur les trois indices.

Faisant intervenir le périmètre du lac, l'indice de festonnement est sensible à l'échelle de mesure ce qui n'est pas le cas pour les deux autres indices.

D'autres indices devront être définis pour les caractéristiques volumiques. Ces indices pourront être définis à partir de cartes bathymétriques telles que celle de la retenue de Sahamaloto (fig. 8) et des courbes de capacité résultantes (fig. 9).

V. INTERET DE L'ETUDE DES LACS POUR LE DEVELOPPEMENT ET LA RECHERCHE

V.1. Intérêt pour le développement (exemples)

Compte tenu de leur nombre, les lacs de Madagascar représentent une ressource importante pour l'irrigation, l'hydro-

électricité et l'alimentation en eau des villes. Rappelons également que les lacs sont des zones privilégiées de loisirs d'où leur intérêt particulier pour le développement du tourisme.

- Prenons en premier exemple, le grand projet de régulation des niveaux du lac Alaotra par construction d'un ouvrage à son exutoire, sur le fleuve Maningory. Ce projet de 1923 dit "projet Longuefosse" est toujours d'actualité. Sa réalisation permettrait :

- d'augmenter les surfaces rizicoles de la région ;
- d'envisager l'irrigation des périmètres par pompage des eaux du lac (actuellement les retenues périphériques sont à peine suffisantes) ;
- de fournir à l'ensemble de la région de l'électricité (rizeries, villes ...).

Ce projet, envisageable à l'époque, serait d'un coût de réalisation considérable de nos jours. Il mériterait cependant d'être reconsidéré à sa juste valeur dans le cadre des besoins actuels. Il serait souhaitable que des études approfondies du lac Alaotra soient lancées dès maintenant afin d'évaluer la faisabilité et la rentabilité du projet et à terme de dimensionner et gérer les équipements. Soulignons que certaines de ces études peuvent nécessiter de longues périodes d'observation sur le terrain.

En ce qui concerne le lac Alaotra, le programme "Lacs et Paléoclimats malgaches" a pour objectif de fournir un certain nombre d'informations de base : caractéristiques bathymétriques, fonctionnement hydrologique, évaluation, reconstitution des niveaux du lac à partir des débits du Maningory, évaluation de la sédimentation.

- Prenons comme autre exemple, la retenue de Sahamaloto située sur la bordure occidentale de la cuvette de l'Alaotra et pour laquelle une carte bathymétrique et plusieurs courbes de capacité sont disponibles (fig. 8 et 9) :

La retenue de Sahamaloto a été réalisée vers 1955 en vue de l'irrigation d'un grand périmètre rizicole de la bordure ouest du lac Alaotra. En 30 ans, entre 1955 et 1985,

cette retenue a perdu, à sa cote de déversement, plus d'un tiers de sa capacité, en passant de 21 millions de m³ à 14 millions de m³. Le levé bathymétrique de 1985 a montré également le risque de voir le lac coupé en deux par la progression du cône de sédimentation au débouché de la rivière Sahamaloto. C'est à la suite de l'étude de 1985 que d'importants travaux ont été réalisés sur cette retenue : rehaussement des digues, calage et installation d'une nouvelle tour de prise, renforcement de l'évacuateur de crue...

V.2. Intérêt pour la recherche

Du point de vue scientifique, l'étude des sédiments lacustres contribue à une meilleure connaissance de l'évolution climatique des zones tropicales de l'hémisphère Sud qui est assez mal connue, notamment en Afrique. Pour Madagascar, cette étude contribuera à une meilleure compréhension de l'évolution de la faune et de la flore malgaches pendant les derniers millénaires. Elle devrait permettre d'établir des ordres de grandeur en matière d'érosion pendant la période précédant l'arrivée de l'Homme à Madagascar. Cet aspect du programme "Lacs et paléoclimats" qui constitue une contribution scientifique non négligeable à la connaissance des grands équilibres écologiques de la Grande Ile, fait l'objet d'une autre communication : "Histoire des lacs et paléoclimats à Madagascar" (F. GASSE et L. FERRY).

VI. CONCLUSION

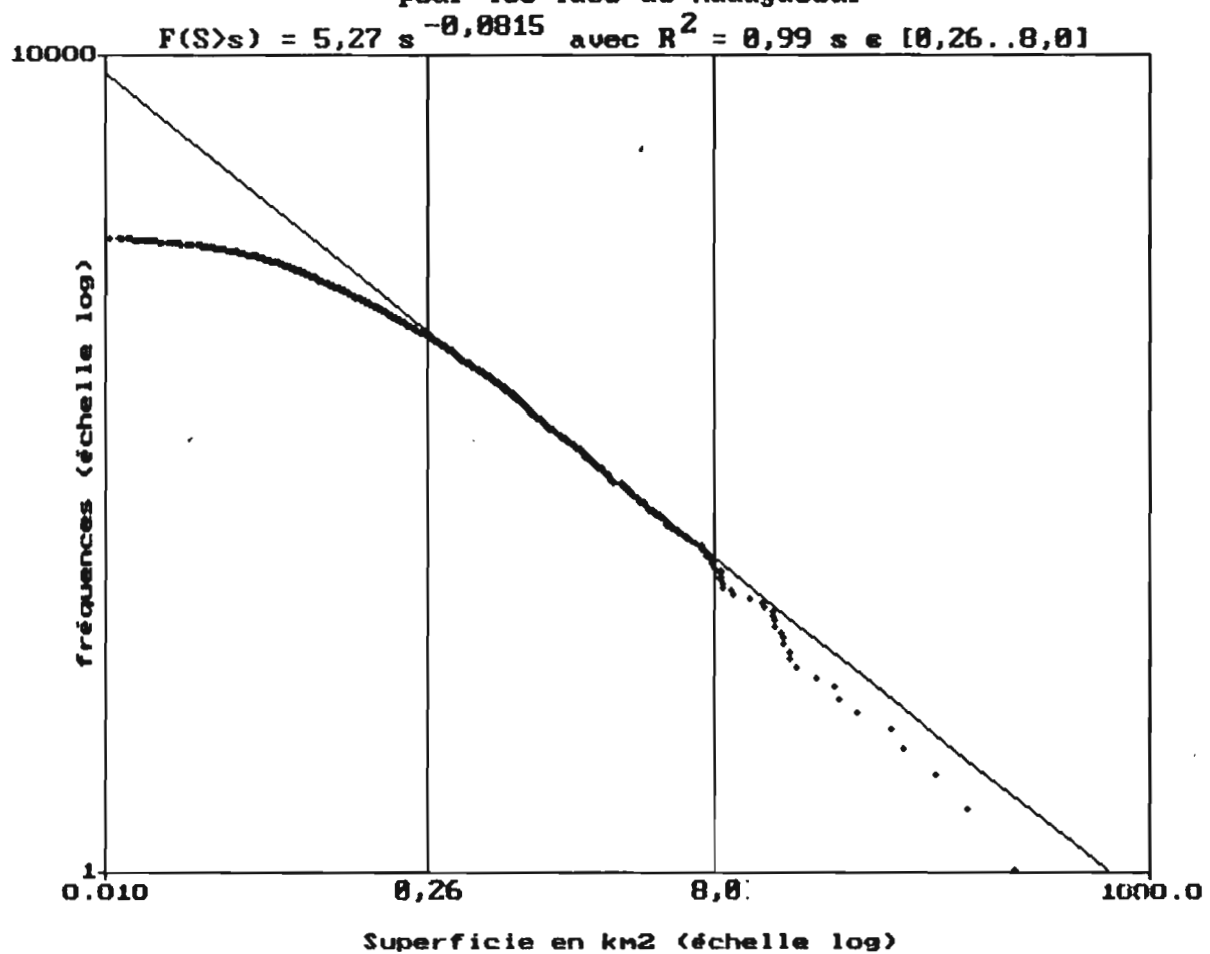
Les résultats qui ont été présentés ne marquent qu'une étape préliminaire et sont encore incomplets. Il s'agissait de montrer l'importance des milieux lacustres à Madagascar, le potentiel qu'ils représentent pour le développement de la Grande Ile et leur intérêt pour la recherche.

Un travail de terrain important va maintenant être réalisé. Il ne peut s'agir d'une étude exhaustive. Quelques lacs "témoins" de divers types seront sélectionnés dans des conditions morphoclimatiques variées en vue d'y effectuer des observations plus détaillées : bathymétrie, hydrologie, géochimie, sédimentologie etc. Parallèlement, une base de données spécialisée sera conçue afin de pouvoir mettre à la disposition des

décideurs, aménageurs et chercheurs, l'ensemble des informations recueillies dans le cadre du programme.

Les lacs et retenues d'eau déjà exploités doivent être considérés comme faisant partie de systèmes plus larges et plus complexes incluant les bassins versants. Ils nécessitent donc un suivi prenant en compte l'évolution du milieu environnant.

Fig. 4 Calibrage de la loi de fréquence en fonction de la superficie pour les lacs de Madagascar



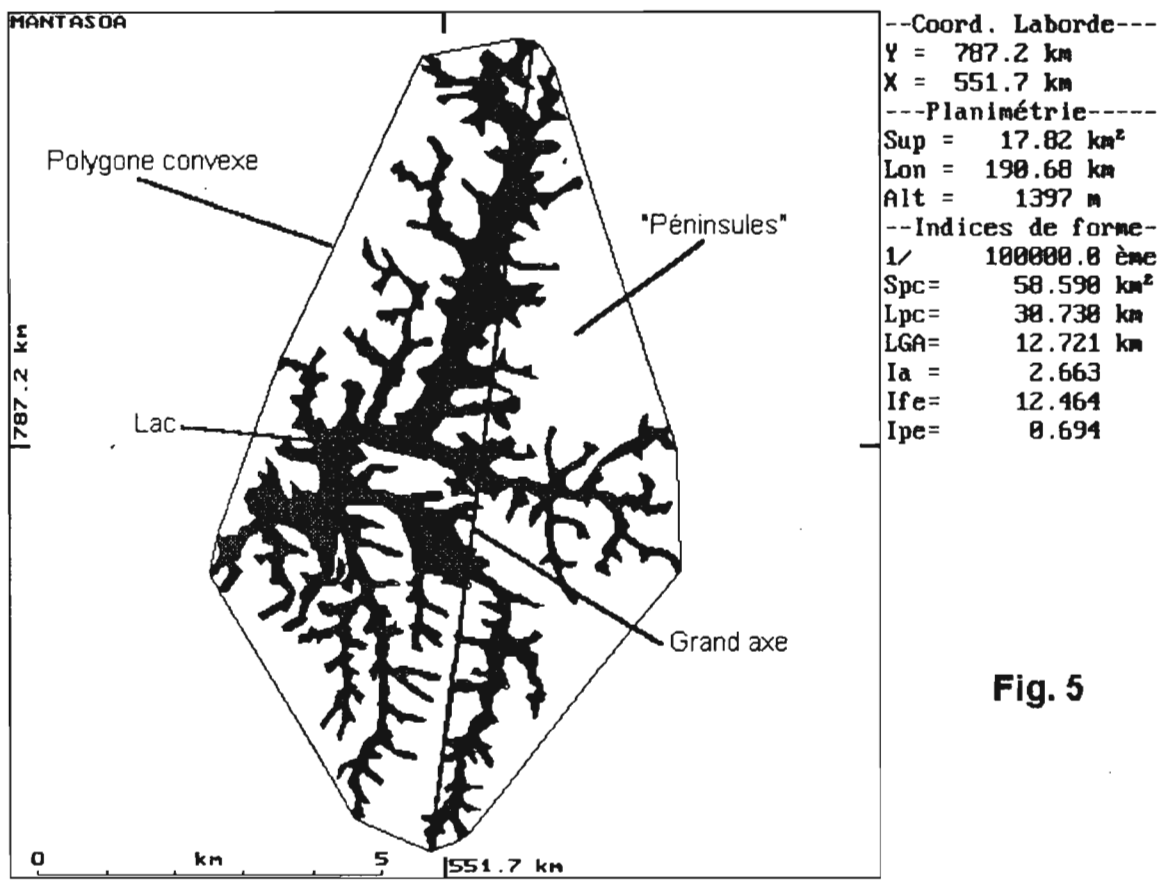


Fig. 5

Histogramme de fréquences de Ia

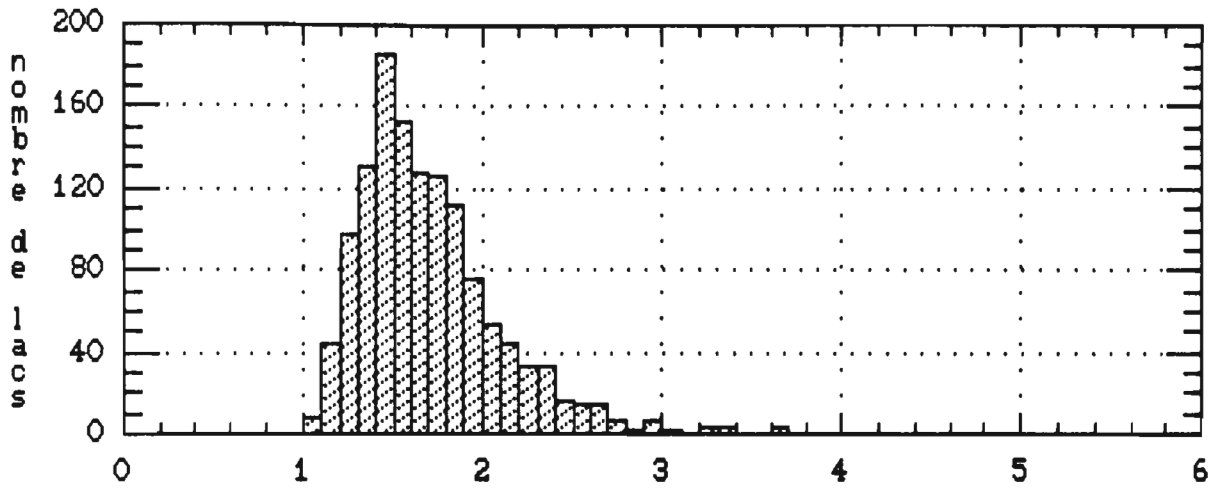


Fig. 6a

valeur de l'indice d'allongement

Histogramme de fréquences de Ife

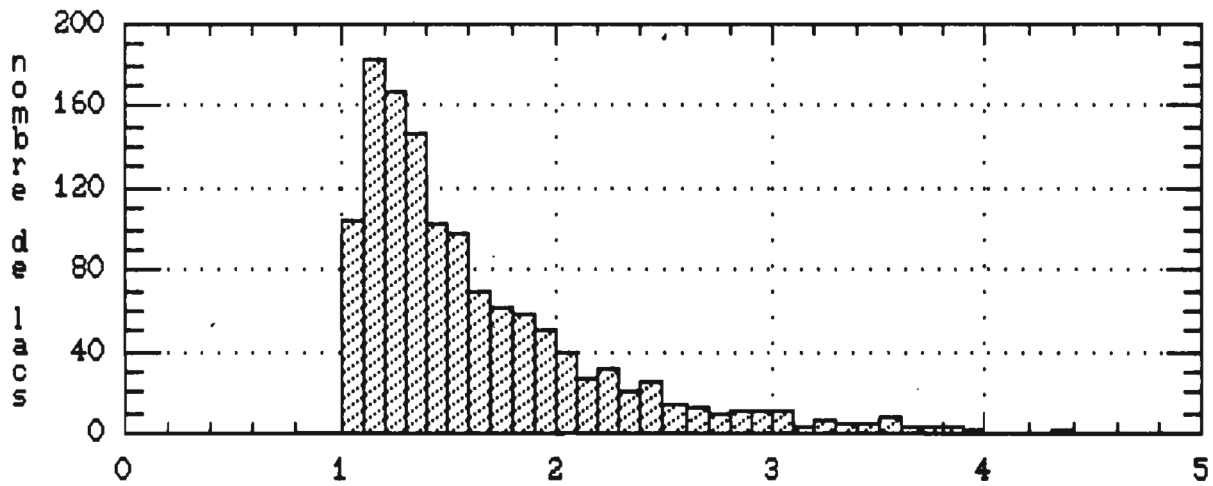


Fig. 6b

valeur de l'indice de festonnement

Histogramme de fréquences de Ipe

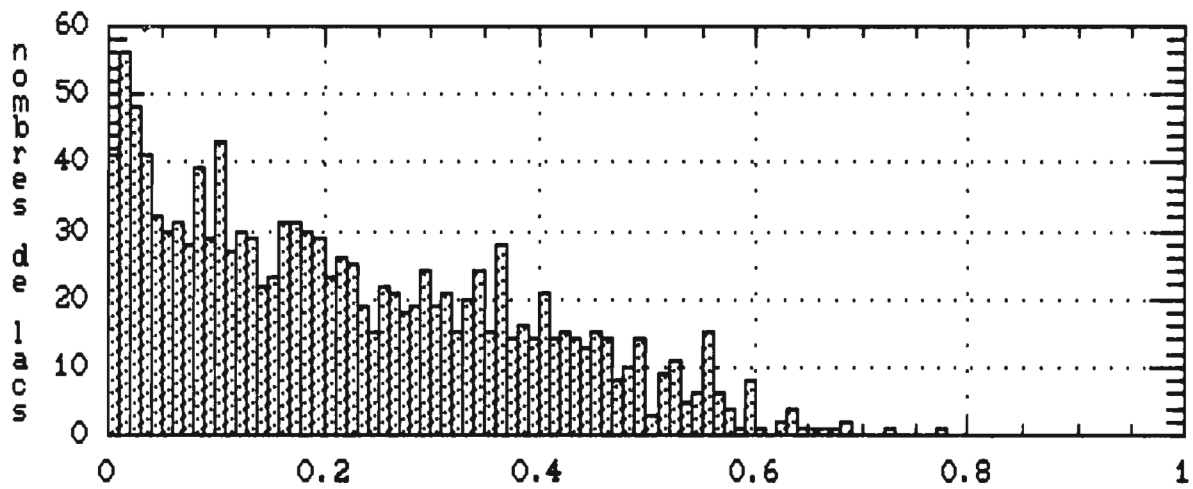
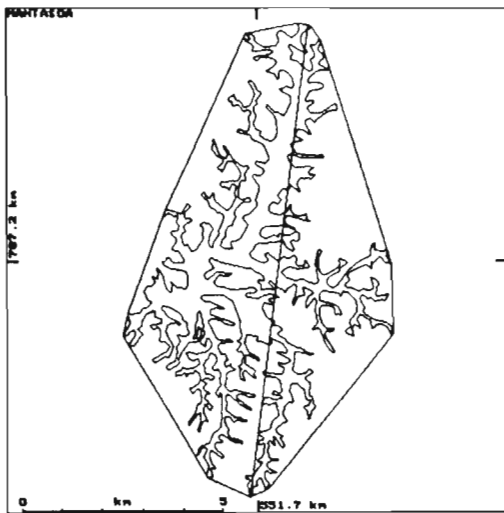


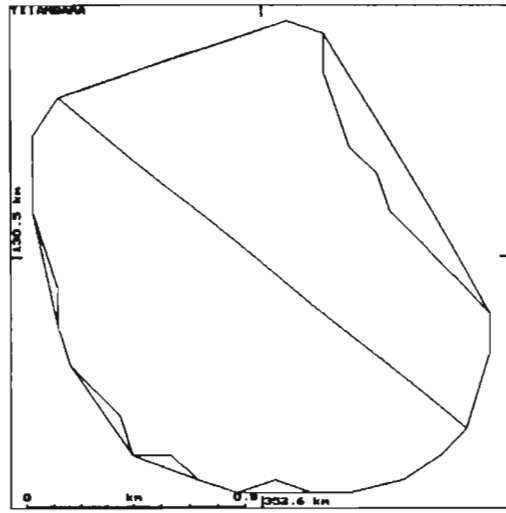
Fig. 6c

valeur de l'indice de peninsularite



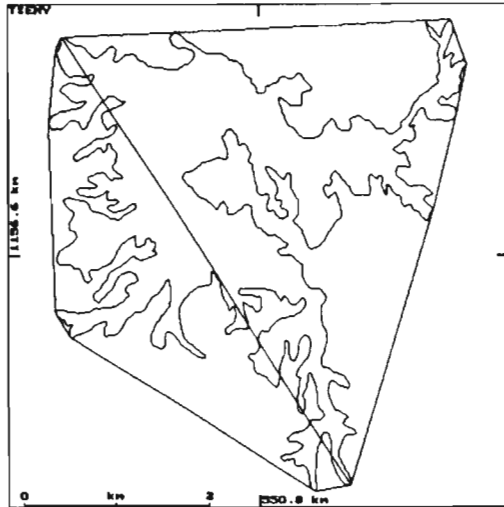
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 14---
PANTASDA
 ---Coord. Laborde---
 Y = 787.2 km
 X = 551.7 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 17.82 km²
 Lon = 190.68 km
 Alt = 1397 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 58.598 km²
 Lpc = 30.730 km
 LGA = 12.721 km
 Ia = 2.663
 Ife = 12.464
 Ipe = 0.694

Fig. 7a



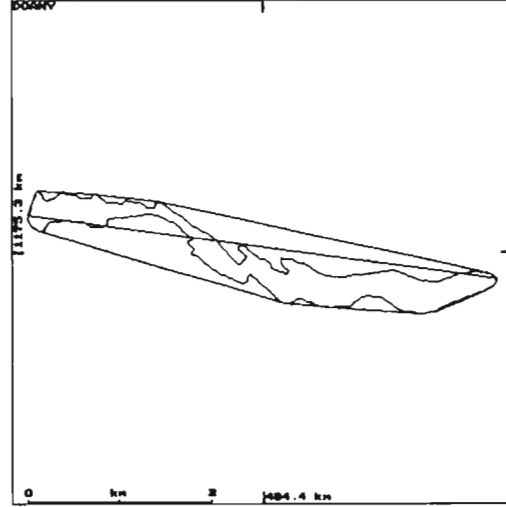
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 99---
TETABARA
 ---Coord. Laborde---
 Y = 130.5 km
 X = 352.6 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 2.31 km²
 Lon = 5.89 km
 Alt = 10 m
 ---Indices de forme---
 L/ 500000.0 éac
 Spc = 2.458 km²
 Lpc = 5.705 km
 LGA = 2.062 km
 Ia = 1.282
 Ife = 1.094
 Ipe = 0.060

Fig. 7e



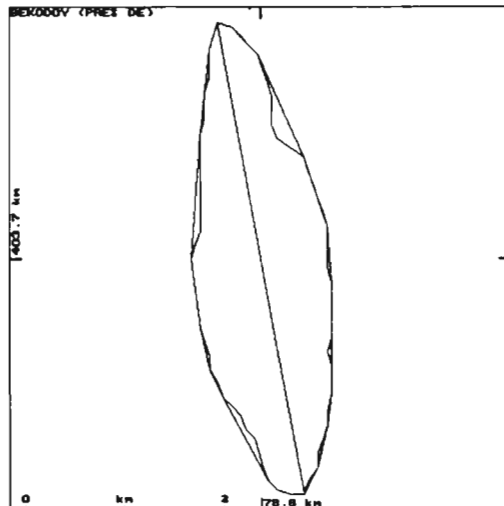
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 30---
TSENY
 ---Coord. Laborde---
 Y = 1156.6 km
 X = 550.8 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 8.74 km²
 Lon = 60.38 km
 Alt = 40 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 19.883 km²
 Lpc = 17.572 km
 LGA = 6.211 km
 Ia = 1.062
 Ife = 5.762
 Ipe = 0.561

Fig. 7b



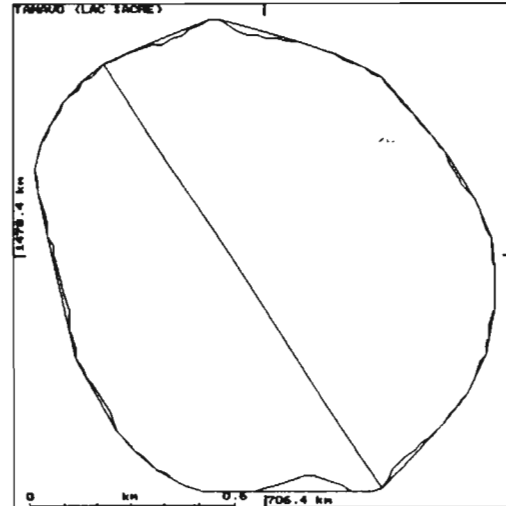
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 132---
DOHRY
 ---Coord. Laborde---
 Y = 1175.3 km
 X = 404.4 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 1.62 km²
 Lon = 13.73 km
 Alt = 20 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 3.669 km²
 Lpc = 11.640 km
 LGA = 5.541 km
 Ia = 3.856
 Ife = 3.041
 Ipe = 0.558

Fig. 7f



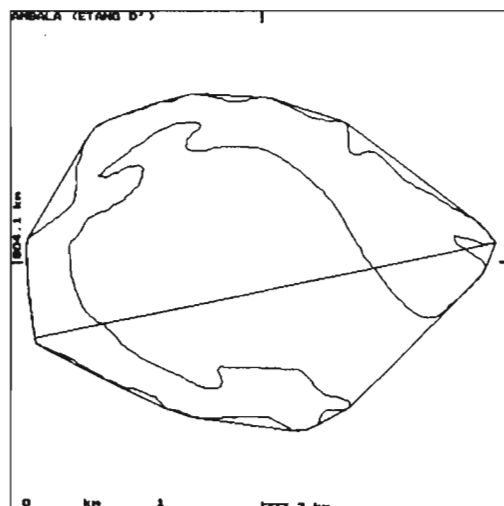
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 40---
BEKODDY (PRES DE)
 ---Coord. Laborde---
 Y = 483.7 km
 X = 78.8 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 5.28 km²
 Lon = 11.32 km
 Alt = 14 m
 ---Indices de forme---
 L/ 500000.0 éac
 Spc = 5.542 km²
 Lpc = 11.141 km
 LGA = 5.188 km
 Ia = 2.001
 Ife = 1.389
 Ipe = 0.047

Fig. 7c



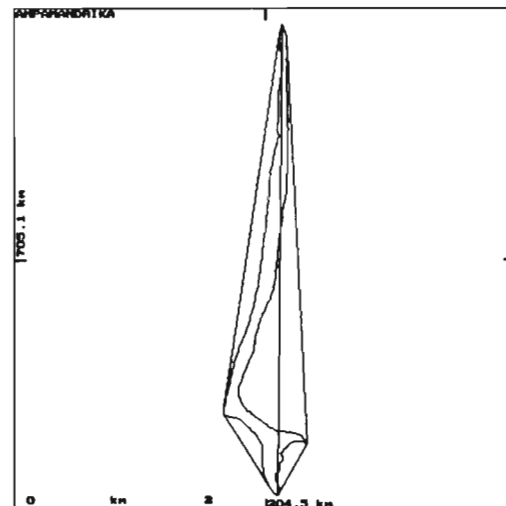
MALACCA 0.2
 ---LAC n° 133---
YAPAUD (LAC SACRE)
 ---Coord. Laborde---
 Y = 1478.4 km
 X = 706.4 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 1.62 km²
 Lon = 4.70 km
 Alt = 375 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 1.649 km²
 Lpc = 4.628 km
 LGA = 1.589 km
 Ia = 1.107
 Ife = 1.042
 Ipe = 0.017

Fig. 7g



MALACCA 0.2
 ---LAC n° 77---
AMBALA (ETANG B')
 ---Coord. Laborde---
 Y = 804.1 km
 X = 277.2 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 3.11 km²
 Lon = 18.47 km
 Alt = 107 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 7.438 km²
 Lpc = 10.161 km
 LGA = 3.838 km
 Ia = 1.929
 Ife = 2.955
 Ipe = 0.582

Fig. 7d



MALACCA 0.2
 ---LAC n° 210---
ANPAPANDRITKA
 ---Coord. Laborde---
 Y = 705.1 km
 X = 204.5 km
 ---Planimétrie---
 Sup = 0.96 km²
 Lon = 12.69 km
 Alt = 7 m
 ---Indices de forme---
 L/ 100000.0 éac
 Spc = 3.090 km²
 Lpc = 11.661 km
 LGA = 5.640 km
 Ia = 5.106
 Ife = 3.658
 Ipe = 0.690

Fig. 7h

Fig. 8

Riv. Sahamaloto

RETENUE DE SAHAMALOTO

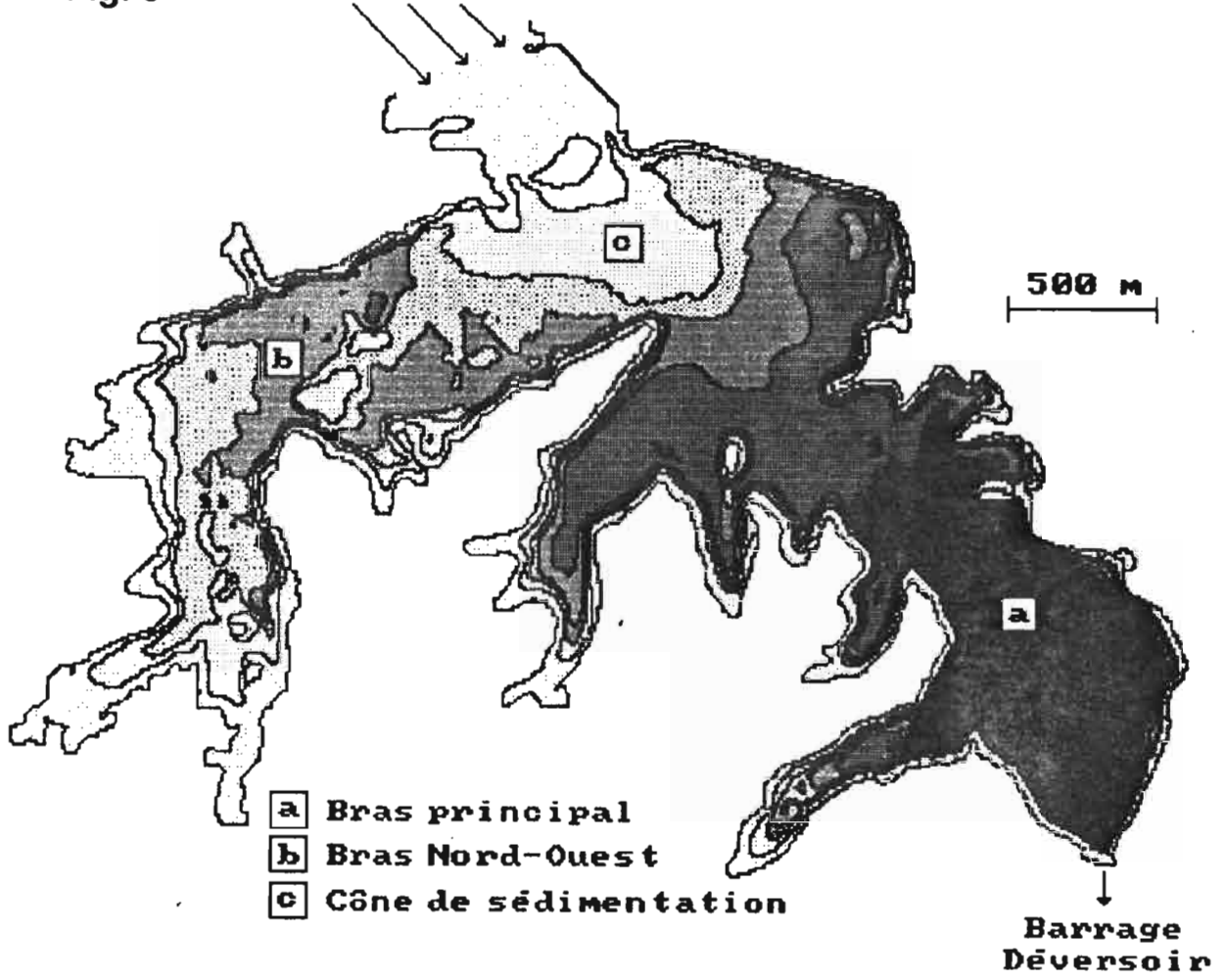
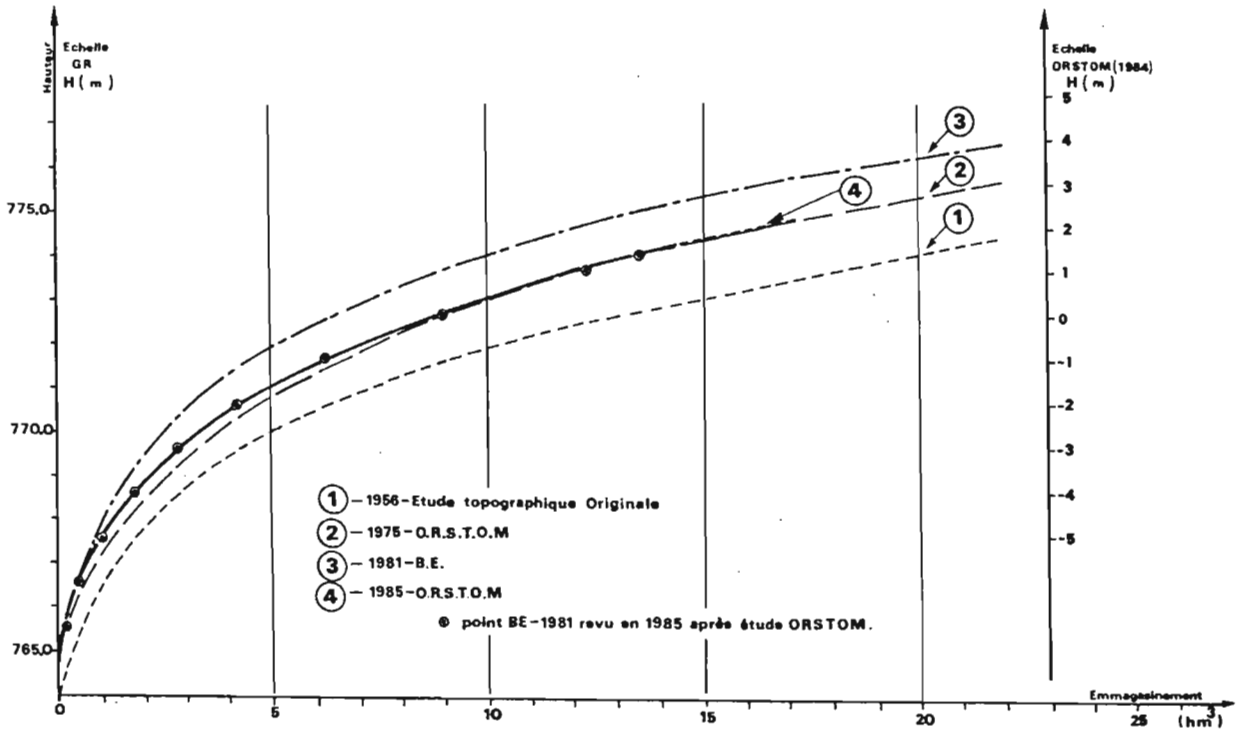


Fig. 9

Retenue de Sahamaloto - Courbes de capacité



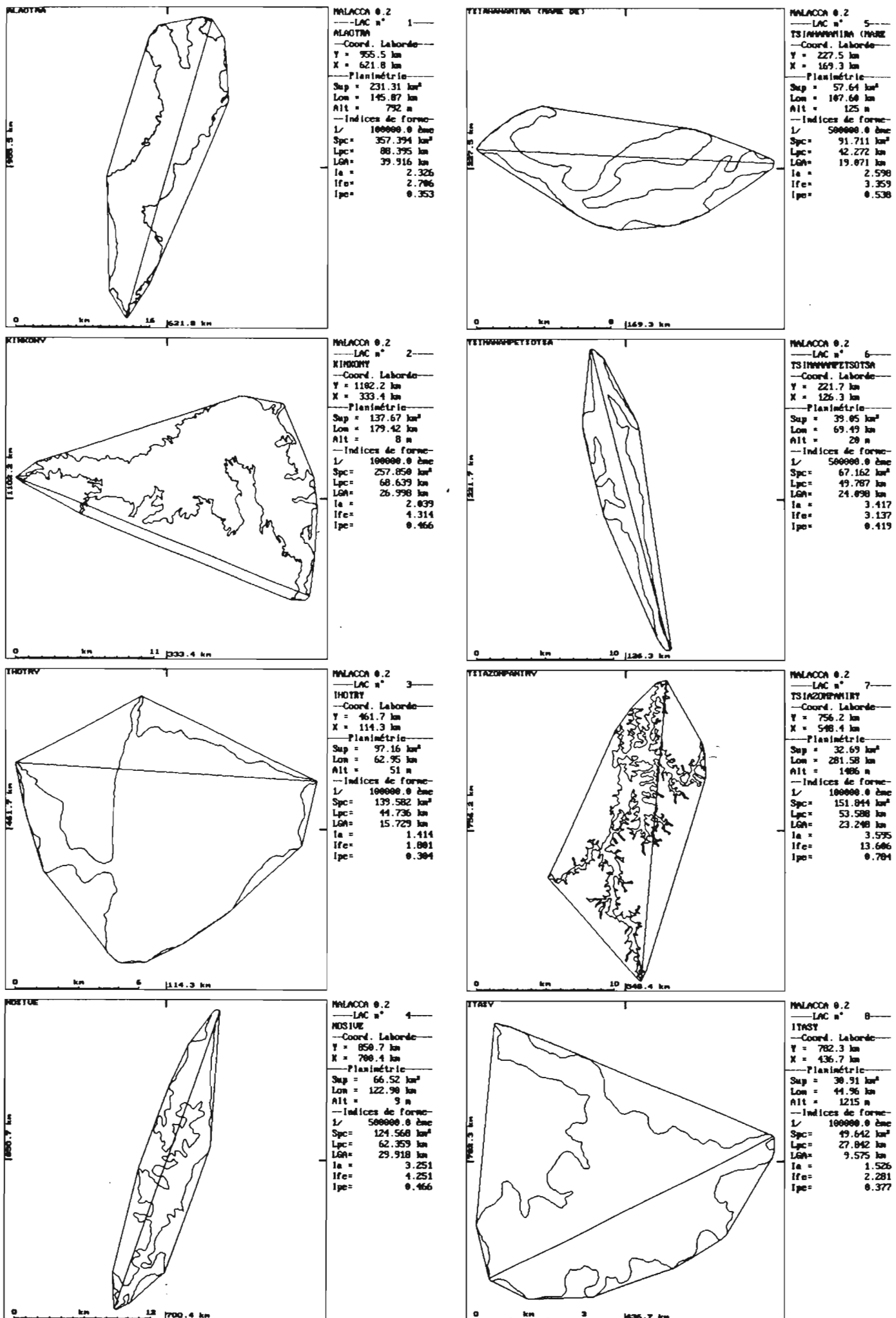


Fig. 10 : LES GRANDS LACS DE MADAGASCAR

REFERENCES

ARTHAUD (F.), GRILLOT (J.-C.), RAUNET (M.), 1990 - La tectonique cassante à Madagascar : son incidence sur la géomorphologie et sur les écoulements. *Can. J. Earth Sci.* 27, 1394-1407.

BESAIRIE (H.), COLLIGNON (M.), 1956 - Lexique stratigraphique international - Volume IV: Afrique - Fascicule 11 : Madagascar. Congrès géologique international, commission de stratigraphie. CNRS.

BURGIS (M.J.), SYMOENS (J.J.), 1987 - Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique - Répertoire. Editions de l'ORSTOM.

CHAPERON (P.), DANLOUX (J.), FERRY (L.), 1993 - Fleuves et rivières de Madagascar. Editions ORSTOM, monographie hydrologique n° 10.

DAVIES (B.), GASSE (F.), 1988 - Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique - Bibliographie. Editions de l'ORSTOM.

DEPRAETERE (C.), 1991 - Le phénomène insulaire à l'échelle du globe : tailles, hiérarchies et formes des îles océanes. *L'Espace géographique*, 1990-1991, n° 2.

FERRY (L.), 1989 - Etudes hydrologiques dans la région du lac Alaotra. Rapport ORSTOM.

LONGUEFOSSE, 1923 - L'Antsihanaka. Région du lac Alaotra. In *Bulletin Economique*, 1er, 3ème et 4ème trimestre.

NICOLL (M.E.), LANGRAND (O.), 1989 - Madagascar : Revue de la conservation et des aires protégées. WWF.

KIENER (A.), 1963 - Poissons, pêche et pisciculture à Madagascar. CTFT, n° 24

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