

**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**

## SOMMAIRE

	Page
<b>OUVERTURE OFFICIELLE DES JOURNEES ORSTOM A L'ACADEMIE MALGACHE (22 mars 1994)</b>	
- Intervention de M. Césaire RABENORO Président de l'Académie Malgache .....	4
- Intervention de M. Michel LEVALLOIS, Président du Conseil d'Administration de l'ORSTOM .....	7
- Intervention de M. Renaud PAULIAN, Recteur Honoraire, ancien directeur de l'Institut de Recherche Scientifique à Madagascar, Secrétaire perpétuel de l'Académie Malgache .....	14

## COMMUNICATIONS

### **"Première demi-journée : 22 mars 1994 - Thème : Eaux continentales"**

1- Biotypologie des cours d'eau. Aspects théoriques et développements actuels. Famaritana ireo rian-drano. Fisehoana sy Fivoarana amin'izao fotoana izao. Jean-Marc ELOUARD, François-Marie GIBON, Richard ANDRIAMIHAJA .....	17
2- GODET, un logiciel pour la gestion informatique de la biodiversité. Fitantanana sy fandrindrana ireo fahalalana momban'ny zavamanan'aina sy ny tontolo manodidina azy, "logiciel" natao ho amin'ny fitantanana ara-informatika ny "Biodiversité". Jean-Marc ELOUARD, François-Marie GIBON .....	26
3- Premiers résultats d'une étude générale sur les lacs malgaches. Ireo voaloham-bokatra azo tamin'ny fanadiadiana ankapobeny natao tamin'ireo farihy eto Madagasikara. Luc FERRY, Christian DEPRAETERE, Laurent ROBISON .....	30
4- Bilan des eaux, typologie des bas-fonds, érosion et modélisation sur des bassins emboîtés des hautes terres de Madagascar. Béatrice DUSSARRAT, Luc FERRY .....	47

**"Deuxième demi-journée : 23 mars 1994 - Thème : Marge littorale et océan"**

- 1- Quelques aspects caractéristiques des mangroves de Madagascar.  
Endrika manokana vivivitsy ho an'ny honko sy ny tontolo manodidina  
azy eto Madagasikara.  
Jacques ILTIS ..... 61
- 2- Biodiversité marine du littoral Nord-ouest de Madagascar.  
Karazan-java-manan'aina andranomasina hita amin'ny morontsiraka  
avaratra andrefan'i Madagasikara.  
Pierre LABOUE ..... 68
- 3- Surveillance de l'évolution des paysages de mangroves à l'aide  
des données "satellite". Exemples pris à Madagascar et en Afrique de l'Ouest.  
Fanarahamaso ny fiovaovan'ny totonlo iainana avy amin'ny alalan'ny  
zanabolana. Raisinaohatra amin'izany ny natao teto Madagasikara  
sy Afrika Andrefana.  
Noële MOREAU ..... 69
- 4- La pêche et la gestion des ressources thonières :  
des enjeux pour la recherche scientifique.  
Ny jono sy ny fitantanana ny loharano-karena azo avy amin'ny lamatra :  
antoka ho an'ny fikarohana siantifika sy ny toekarena malagasy.  
Patrice CAYRE ..... 74

**"Troisième demi-journée : 23 mars 1994"**

- 1- Les antipaludiques de la mer.  
Ireo ody tazo azo avy amin'ny ranomasina.  
Louisette RAZANAMPARANY, Voahirana ANDRIANASOLO,  
Pierre LABOUE, Ronan JAMBOU, Yvonne RANARIVELO et  
Dominique CORTADELLAS ..... 82
- 2- Histoire des lacs et paléoclimats à Madagascar :  
Premiers résultats sur le lac Tritrivakely (massif d'Ankaratra),  
36 000 ans d'histoire hydroclimatique.  
Ny farihy sy ny tantaran'ny toetr'andro eto Madagasikara.  
Françoise GASSE et Luc FERRY ..... 94
- 3- Les transformations économiques et sociales des populations rurales  
de l'ensemble méridional de Madagascar : Les applications de la recherche  
archéologique fondamentale au développement rural.  
Ny fiovam-piainan'ny mponina amin'ny faritra atsimo andrefan'i Madagasikara :  
Fampiharana ny fandalinana ny fiaimpiainan'ny olombelona natao ho amin'ny  
fampandrosoana.  
Emmanuel FAUROUX ..... 102

## Intervention du Président de l'Académie Nationale des Arts, des Lettres et des Sciences

M. Césaire RABENORO

### L'ACADEMIE MALGACHE ET L'ORSTOM

L'ORSTOM - appelons-le ainsi pour des raisons pratiques au lieu de la dénomination officielle actuelle "Institut de recherche scientifique pour le développement en coopération", Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer créé par une ordonnance du Gouvernement Provisoire de la République Française en date du 25 novembre 1944, fête son cinquantenaire cette année 1994. L'Académie Malgache peut se prévaloir du droit d'aïnesse car elle a 92 ans cette même année 1994, un arrêté du 23 janvier 1902 du Gouverneur Général GALLIENI lui ayant donné naissance.

L'histoire a voulu que les deux institutions partagent, en quelque sorte, le même destin à travers leurs dirigeants communs pendant une dizaine d'années à la fin des années 40 et pendant les années 50. Confusion des hommes et aussi cohabitation matérielle car les deux organismes étaient logés dans le même bâtiment. A propos de bâtiment, s'adressant au Haut-Commissaire de l'époque, lors du cinquantenaire de l'Académie en 1952, le Professeur MILLOT, Directeur de l'Institut de Recherches Scientifiques à Madagascar (IRSM) et Président de l'Académie Malgache, s'exprima en ces termes : "Il nous a fallu attendre 50 ans pour que soit enfin tenue la promesse de GALLIENI de nous donner "un bâtiment présentant toutes les commodités désirables et dont l'aspect extérieur répondra à l'importance de sa destination". Comme une âme en peine l'Académie Malgache a erré du Palais de la Reine à la Chambre de Commerce ou ailleurs, elle a cru trouver un ancrage définitif dans le bâtiment, digne de son prestige, qui fut construit dans le quartier de Tsimbazaza où elle s'installa ainsi que l'IRSM. Hélas pour peu de temps car il en furent délogés pour laisser la place à l'Assemblée Représentative issue de la loi-

cadre de 1956. Il leur fallut donc quitter ce qui est aujourd'hui le Palais de l'Assemblée Nationale pour cet édifice bien plus modeste où nous nous trouvons.

Emanation de l'ORSTOM, l'IRSM fonctionna à partir de 1947 avec à sa tête le professeur MILLOT, lequel avait comme adjoint celui qui allait devenir le Recteur PAULIAN. Le tandem se retrouva aux commandes de l'Académie Malgache car le Professeur MILLOT en prit la présidence en 1948, à la suite du décès du Dr FONTOYNTON qui occupa la présidence pendant 41 ans, alors que le Docteur PAULIAN fut élu Secrétaire Perpétuel en 1954. D'autres équipes ont pris la relève de ces prestigieux précurseurs à l'IRSM au début des années 60. A l'Académie le Professeur MILLOT passa la main au Dr RADAODY-RALAROSY, premier Président malgache, mon prédécesseur, en 1958, alors que le Professeur PAULIAN resta Secrétaire Perpétuel jusqu'à son départ en 1961.

Je ne dirai pas davantage de l'ORSTOM, des voix plus autorisées que la mienne pouvant en parler bien mieux et plus abondamment, sinon que sous la houlette du Président Michel LEVALLOIS - un quasi-compatriote qui a passé une partie de sa jeunesse chez nous - il a de beaux jours devant lui. Je saisisrai cette occasion pour présenter, ou pour rappeler à ceux qui la connaissent déjà mais peut-être pas suffisamment, notre vieille compagnie nonagénaire qui s'achemine vers son centenaire en l'an 2002 qui n'est plus si loin.

"En fondant l'Académie Malgache GALLIENI voulait lui donner comme but principal l'étude de la langue, des moeurs et de la société malgache, mais devant la richesse de la moisson scientifique qui s'offrit dans la Grande Ile l'Académie n'a

pu s'empêcher d'étendre presque aussitôt le domaine qui lui était assigné, publiant dans son Bulletin et ses Mémoires d'importants travaux sur les sciences de la vie et de la terre". Ces propos sont ceux du Professeur HUMBERT, botaniste de renom, qui a entrepris la publication de la Flore de Madagascar. Effectivement les problèmes ethnographiques, linguistiques, sociologiques, historiques, archéologiques relatifs à Madagascar furent d'abord étudiés mais les sciences biologiques et naturelles prirent de plus en plus de place. Grâce à son Académie, à ce point de vue, Madagascar prit de l'avance parmi les territoires se trouvant dans la mouvance française à l'ère de la colonisation. Au Maroc s'est doté d'une Académie il y a une dizaine d'années ; certains Etats d'Afrique francophone en manifesteraient l'intention à l'heure qu'il est.

Pluridisciplinarité, multinationalité - j'ajouterai ouverture à toutes les confessions -. Voilà les traits caractéristiques de l'Académie Malgache depuis sa création jusqu'à ce jour. S'agissant de multinationalité n'est-il pas remarquable que dès le début, en 1902, la vice-présidence d'une institution localisée dans une colonie française fut assurée par un Britannique, le Révérend Richard BARON de la London Missionary Society. BARON possédait la langue malgache à la perfection, s'essaya à la poésie dans les cantiques dont il composa les paroles, ce fut aussi un éminent naturaliste auteur entre autres, du Compendium des plantes malgaches. Je ne peux m'empêcher de lui associer le nom d'un autre Vice-Président, Français celui-là, disparu il y a juste 40 ans, Gustave MONDAIN, membre de l'Académie Malgache pendant 52 ans - record qui est en passe d'être battu s'il ne l'est déjà, par notre collègue Maître Berthe RAHARIJAONA-. Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, section sciences physiques, ce scientifique "stricto sensu" d'origine versa dans la théologie et les sciences humaines en général. Comme BARON il se fit poète en langue malgache dans les cantiques qui sont chantés dans les églises protestantes malgaches. Il a laissé de nombreux écrits touchant divers domaines de la vie malgache qui font autorité chez mes malgachisants.

Nous poursuivons donc cette tradition de la

multinationalité et nous comptons des membres étrangers en France, évidemment, en Grande-Bretagne, en Norvège, en Russie, aux Etats-Unis, au Japon et dans d'autres pays encore. Au plus fort de la crise qui a affecté les relations franco-malgaches dans le seconde moitié des années 70, nos collègues français se sont réjoui de trouver à l'Académie Malgache une atmosphère de cordiale confraternité, un havre de paix aux dires de quelques uns. Nous pouvons, je crois en être légitimement fiers.

En 1952 le cinquantenaire de l'Académie fut donc célébré, le Professeur MILLOT étant Président. Le 75 ème anniversaire le fut en 1977, sous ma présidence. Il fut marqué par la tenue, pour la première fois, de trois colloques internationaux- sur la langue, l'histoire, les plantes médicinales malgaches-. Les colloques, nationaux et internationaux, ont été continués ainsi que les séminaires, les tables rondes, outre les séances ordinaires tous les jeudis à 16 heures. Le 75 ème anniversaire fut aussi célébré dans les 5 autres chefs-lieux de province, les comités d'organisation s'étant transformés par la suite en sections provinciales de l'Académie Malgache dont celle de Fianarantsoa est particulièrement active.

Académie Nationale des Arts, des Lettres et des Sciences : c'est la nouvelle dénomination reconnue par le récent décret du 27 mai 1993. Il est clair que les postes de responsabilité sont tenus par des nationaux malgaches : le Président, le Chancelier, les Présidents, Vice-Présidents et Secrétaires Perpétuels des 4 Sections. Je relèverai seulement la présence de femmes parmi les responsables : une Présidente et une Vice-Présidente de Section, une Secrétaire Perpétuelle. Comme pour l'ORSTOM le nom d'Académie Malgache reste en raison de la commodité. Revenant à l'ORSTOM, précisément, je voudrais évoquer brièvement les deux personnalités qui nous étaient communes, l'un décédé - le Professeur MILLOT, l'autre - le Recteur PAULIAN -, bien vivant, que je suis heureux d'accueillir dans ces lieux qui lui étaient familiers.

Le Professeur Jacques MILLOT, Docteur en Médecine et Docteur ès-Sciences, a été Professeur à la Faculté de Médecine de

Paris puis au Muséum d'Histoire Naturelle dont il fut le Directeur. Il était membre de l'Académie des Sciences, de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer. Je rappelle qu'il a été Directeur de l'Institut de Recherches Scientifiques à Madagascar de 1947 à 1959 et Président de l'Académie Malgache de 1948 à 1958. Il publia des centaines d'articles surtout concernant la biologie animale. Ses travaux sur des sujets malgaches ont porté sur les arachnides, les batraciens, les lémurien, ceux sur le coelacanthe l'ont rendu célèbre dans le monde entier. Il est mort en 1979 à l'âge de 82 ans.

J'ai eu l'honneur de décorer de l'Ordre National Malgache, à notre Ambassade à Paris il y a près de deux ans, celui qui fut le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Malgache de 1954 à 1961 et le Directeur Adjoint puis Directeur de l'Institut de Recherches Scientifiques à Madagascar de 1947 à 1961, je veux dire Monsieur le Recteur Renaud PAULIAN. Docteur ès-Sciences et Docteur ès-Lettres, après son séjour malgache il fut Directeur du Centre d'Enseignement Supérieur de Brazzaville, Recteur de l'Université d'Abidjan, Recteur de l'Académie d'Amiens pour terminer une brillante carrière en qualité de Recteur de l'Académie de Bordeaux. Il est correspondant de l'Académie des Sciences, membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer et plusieurs autres sociétés savantes françaises et étrangères. Ses publications se comptent par centaines, ses travaux sur Madagascar concernent la zoologie et plus particulièrement l'entomologie. Il est toujours le Président du Comité de la Faune de Madagascar dont les volumes continuent à sortir grâce à son inlassable activité. Pour donner une note multiconfessionnelle, et pour me laver du soupçon de sectarisme ... confessionnel, j'ajouterai que le successeur du protestant laïque Renaud PAULIAN dans les fonctions de Secrétaire Perpétuel fut le Révérend Père Jean COZÉ, religieux, catholique doublé d'un homme de science. Directeur de l'Observatoire d'Ambohidempona il a été le dernier Secrétaire Perpétuel étranger.

L'ORSTOM, voué à la recherche sur les milieux intertropicaux dès l'origine, au delà de cette célébration entend assumer pleinement le rôle que lui assigne sa

nouvelle appellation : la recherche pour le développement en coopération. J'ai bien retenu les quatre grands thèmes : environnement et écosystèmes, agriculture en milieu tropical, environnement et santé, homme et société en mutation. J'apprécie la volonté de coopération avec les institutions du sud et c'est dans ce cadre, précisément, sans compter le passé historique commun, que se situent les Journées de l'ORSTOM à l'Académie Malgache que nous inaugurons aujourd'hui.

L'Académie Malgache est toujours disponible pour servir de tribune aux chercheurs de l'ORSTOM à l'oeuvre à Madagascar. La tradition doit être continuée, dans un contexte certes différent, comme lorsque les deux organismes avaient les mêmes têtes. Le grand âge, l'approche du centenaire n'ont pas émoussé le dynamisme ni restreint le rayonnement de notre institution nationale qui peut s'enorgueillir de compter parmi ses membres les deux premiers personnages de l'Etat : le Président de la République et le Président de l'Assemblée Nationale.

Au service de la science, la science au service de l'homme, voilà notre finalité commune en cette fin de siècle et fin de millénaire, l'ORSTOM au delà de son cinquantenaire, l'Académie Malgache vers et au delà de son centenaire.

Ce que, les uns et les autres, nous avons accompli jusqu'ici - pour reprendre un proverbe malgache ne sont que les prémices d'une moisson qui s'annonce abondante. allusion à la récolte de riz, ce riz qui tient la place que l'on sait à Madagascar. "*Santatra am-bava rano ny manetsa be mbola ho avy*".

## Intervention du Président du Conseil d'Administration de l'ORSTOM

M. Michel LEVALLOIS

Permettez-moi tout d'abord, Monsieur le Président, de vous remercier pour la passionnante et chaleureuse évocation que vous venez de présenter de votre Académie et de ses liens étroits avec l'Institut de Recherche Scientifique à Madagascar.

Monsieur le Président de l'Académie Nationale des Arts, des Lettres et des Sciences,

Monsieur le Représentant de Madame le Ministre de l'Enseignement Supérieur,

Monsieur le Recteur de l'Université,

Monsieur le Premier Conseiller Représentant de Monsieur l'Ambassadeur de France et de Monsieur le Chef de la Mission de Coopération,

Mesdames, Messieurs,

C'est un rare privilège que de me trouver ici, aujourd'hui, parmi vous, pour cette célébration du cinquantenaire de l'ORSTOM.

Je le dois au Président Césaire RABENORO, Président de votre Académie, et à Henri RAHARIJAONA, Chancelier, car dès ma première mission à Madagascar en 1989, "comme la brède et la viande de boeuf, nous nous sommes rejoints", car "ceux qui ont la même fumée pensent de même" dit le proverbe : or, nous avons humé la même fumée ici à Tananarive, dans les mêmes écoles, dans cette grande maison sans murs que sont la culture et l'amitié franco-malgache.

Ce privilège se double d'un grand plaisir, celui d'être accompagné par Monsieur le Recteur Renaud PAULIAN qui a bien voulu accepter mon invitation de participer à cette manifestation du cinquantenaire de l'ORSTOM à Madagascar. Vous avez rappelé, M. le Président, le rôle qui fut le sien dans la création de l'Institut de Recherches Scientifiques à Madagascar et dans la relance de l'activité scientifique à Madagascar au lendemain de la guerre. Qu'il soit remercié pour avoir accepté, par

sa présence, de resserrer les liens entre le passé et le présent, entre l'ORSTOM d'hier et celui d'aujourd'hui.

En exprimant le souhait que le cinquantenaire de l'ORSTOM soit célébré à l'Académie malgache, avec elle, avec vous, je voulais tout d'abord rendre hommage à votre Académie, la première Académie du sud de l'Equateur qui, depuis 92 ans, maintient la réputation du patrimoine exceptionnel que sont la flore, la faune, les écosystèmes, les sociétés et les cultures de la Grande Ile, qui entretient avec obstination, zèle et enthousiasme la flamme de la recherche scientifique par des publications, des conférences, des rencontres, des débats.

Il n'était donc pas imaginable de parler de l'ORSTOM à Madagascar sans nous placer sous le patronage de votre Académie qui est son aînée, et qui a toujours été, en dépit des vicissitudes de l'histoire, un interlocuteur privilégié, un interlocuteur avec lequel nous souhaitons maintenir une coopération exemplaire, toujours vivante, chaque jour renouvelée.

L'IRSM, puis l'ORSTOM aujourd'hui, Institut français de recherche scientifique pour le développement, se placent en effet dans la longue histoire des recherches naturalistes à Madagascar, dans la prestigieuse lignée des explorateurs, administrateurs et missionnaires qui ont été fascinés par la richesse et par l'originalité de cette "terre de promesse des naturalistes", avides de connaître mais aussi soucieux de faire partager l'émerveillement de leurs découvertes.

Rendons grâce avant d'aller plus loin à FLACOURT, COMMERSON, aux missionnaires de la London Missionary Society, à Alfred GRANDIDIER, à Perrier de la BATHIE, à HUMBERT, à DECARY. Depuis 1902, l'Académie malgache a enraciné cette tradition scientifique et naturaliste dans la société malgache elle-même, car après le Docteur FONTOYNONT et le Professeur MILLOT,

le Docteur RADAODY-RALAROSY, puis vous-même, Monsieur le Président, vous avez pris et maintenu allumé le flambeau de la science à Madagascar, entouré d'universitaires et de chercheurs, au nombre desquels je ne citerai que le docteur RAKOTO-RATSIMAMANGA, faute de pouvoir les citer tous.

Le souvenir de ces prédécesseurs et la présence de ces partenaires justifient que je fasse mien le conseil de Jean-Joseph RABEARIVELO:

*"Les mœurs de chez nous, jeune homme, sont bien rigides : l'on ne doit pas faire retentir trop haut le bruit des pas sur notre terre ; l'on ne doit pas y parler trop fort. Que soit d'un humble votre démarche ; qu'elle soit traînante. Que vos paroles, quoique d'un homme, ne soient pas rouges ; ni, même d'un noble, trop franches".*

Pour évoquer l'histoire de la présence et de l'activité de l'ORSTOM à Madagascar et ses relations avec l'Académie malgache, nous disposons des rapports et des publications, mais aussi du témoignage et des souvenirs du Recteur Renaud PAULIAN pour la première période 1947-1962, puis du rapport rédigé en 1971 par Patrice ROEDERER pour les 25 ans de l'ORSTOM à Madagascar. En effet, son départ et son remplacement par Paul de BOISSEZON en 1971, puis la révolution malgache ont entraîné un très sensible amenuisement des effectifs de l'ORSTOM à Madagascar et un ralentissement de la coopération scientifique. Il fallut attendre 1986 pour que mon prédécesseur, Pierre LAVAU, signe un nouvel accord de coopération qui marquait non pas la reprise - car le lien n'a jamais été rompu entre l'ORSTOM et la recherche malgache, et en particulier votre Académie, mais un nouveau départ dans la coopération avec l'ORSTOM. Car je dois dire ici ce que je vous avais dit, M. le Président, lors de ma mission de 1989 : c'est un nouvel ORSTOM qui s'efforce de bâtir avec ses partenaires scientifiques, les instituts de recherche malgaches et, depuis le nouvel accord général signé par Gérard WINTER en février dernier, avec les Universités, un partenariat scientifique aux ambitions et aux méthodes profondément renouvelées sinon différentes de ce qu'étaient celles de l'ORSTOM d'autrefois.

Parler d'un nouvel ORSTOM, ce n'est pas faire insulte au passé, et encore moins à ceux qui ont travaillé ici, dans un contexte scientifique et politique différent, à l'époque où la priorité était encore aux grands inventaires, où les Universités n'existaient pas et où les objectifs de mise en valeur et de progrès social étaient ceux d'une autorité coloniale et non ceux d'un Etat indépendant. Pour m'être attaché à connaître et à comprendre l'histoire de ce demi-siècle ORSTOM, je suis aujourd'hui convaincu que si cette maison a traversé les péripéties politiques et administratives françaises, les mutations scientifiques et la vague des indépendances africaines et malgache, c'est parce qu'elle a su rester fidèle à son mandat initial; rester fidèle ne veut pas dire conserver, cela veut dire au contraire, au sens claudélien, "renaître", puiser dans son fonds originel, dans ses racines les forces et les solutions de l'avenir, changer, muter en se ressourçant pour reprendre la dialectique d'Emmanuel MOUNIER entre la tradition et le changement. Et c'est bien sur cette ligne que je vois se dérouler l'histoire de l'ORSTOM à Madagascar, celle d'une *évolution dans la fidélité à une mission*. Evolution dont l'Académie aura été, dont elle doit rester le témoin et le garant.

Je vous rappelle ce qu'est la mission de notre Institut : "Etudier le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes tropicaux ainsi que la gestion, par les sociétés humaines, des patrimoines naturels et culturels qui leur sont liés. Mener ces recherches en coopération avec les communautés scientifiques du Sud". Ainsi, la finalité de cette mission se comprend à l'interface de l'environnement et du développement. Elle se décline le long de cinq axes : connaître, comprendre, valoriser, former, coopérer. C'est cette mission que l'ORSTOM a essayé de remplir à Madagascar, sous des formes différentes, selon des proportions variables et qu'il ambitionne de continuer à remplir selon des modalités renouvelées dans les prochaines années.

Voyons rapidement comment l'IRSM, puis l'ORSTOM, se sont acquittés de ces missions de 1947 à 1971, puis de 1971 à nos jours.

La première période de 25 ans qui va de la création de l'IRSM, en 1946, jusqu'à 1971 est celle de la construction des

infrastructures, à Tsimbazaza et à Nosy-be, et celles des inventaires, des cartes, des monographies.

Dans un texte qu'il a bien voulu rédiger pour le cinquantenaire, le Professeur PAULIAN évoque ce que fut le travail du premier Institut de Recherche Scientifique à Madagascar qu'il vint créer en 1947 avec le Professeur MILLOT et qu'il dirigea de 1947 à 1961 et dont ils eurent l'ambition de faire l'Institut de recherche scientifique de Madagascar.

"Pendant que se poursuivait le programme de construction et d'équipement, les recherches s'organisaient et se développaient et de nouvelles sections s'organisaient : hydrologie, sciences humaines, chimie végétale, auxquelles devaient s'ajouter, bien plus tard, la physique du Globe, lorsque l'équipe des Pères Jésuites de l'Observatoire de Tananarive fut atteinte par la limite d'âge.

En pédologie l'activité fut orientée autour de trois axes : le lever d'une carte pédologique générale du pays; le lever de détail de secteurs paraissant plus immédiatement susceptible d'être mis en valeur; l'étude de la genèse et de l'évolution des divers types de sols. Par la suite, des recherches de microbiologie du sol et une liaison avec les essais de conservation des sols entrepris par le service des Eaux et Forêts complétèrent le dispositif.

En entomologie médicale, le concours de l'entomologiste fut demandé par le service de lutte contre le paludisme, afin de contrôler et de conseiller les actions entreprises en vue de l'éradication, ce qui était la principale endémie malgache, à un moment où l'OMS croyait à sa possibilité; puis par l'Institut Pasteur dans le double cadre de la lutte contre la filariose et contre la bilharziose quand celle-ci se développa.

Les entomologistes agricoles se penchèrent sur les problèmes rencontrés dans les essais de culture du lin sur les Hauts-Plateaux et dans la culture du Cinchona à la Montagne d'Ambre. Mais très vite est apparue la nécessité d'établir un inventaire de la faune entomologique dont on s'apercevait qu'elle était pratiquement inconnue.

Les botanistes, pour leur part, portèrent

leurs efforts sur l'étude des équilibres naturels des prairies locales et sur leurs possibilités d'amélioration.

Les hydrologues installèrent un réseau de stations d'observation sur les principaux fleuves : Betsiboka, Mangoky, Mangoro, Menarandra, Mandrare, Onilahy. Il s'agissait d'apprécier leurs débits, de connaître les régimes de crue et d'étiage, pour décider de l'installation de barrages hydroélectriques ou de stations d'irrigation en direction des terres fertiles les bordant.

En sciences humaines, trois directions de recherche furent privilégiées :

- les recherches archéologiques sur le site des anciennes villes "arabes" dans la région de Vohémar et à Mahilaka ;
- les recherches socio-économiques, analysant les activités et les modes de vie des populations dans des secteurs où des projets de développement prenaient corps, afin de lier le développement aux besoins et aux possibilités réelles de ces populations ;
- des recherches sur les coutumes, les rites et les croyances permettant d'en mieux comprendre le sens et de les intégrer dans les projets de développement.

Les océanographes dressaient les cartes des mouvements des masses d'eau dans le canal de Mozambique, dressaient l'inventaire des poissons et des crevettes locales dont il paraissait qu'une exploitation rationnelle était possible et serait rentable." Fin de citation. En effet, le Professeur MILLOT avait créé à Nosy-be en 1949 un centre de recherches océanographiques bien équipé et qui procéda au premier chalutage à la crevette en 1958.

Ainsi, l'activité scientifique lancée par MM. MILLOT et PAULIAN se développe dans tous les domaines de la connaissance et de la compréhension des milieux physiques, des ressources naturelles, des écosystèmes et des maladies à vecteurs, des sociétés et de leur culture, faisant de l'IRSM l'Institut de recherche de Madagascar. Ces travaux sont diffusés et valorisés par les "Mémoires de l'Institut scientifique" et par un périodique de vulgarisation,

"Le naturaliste malgache". A partir de 1956, l'Institut lance "La faune de Madagascar". Poursuivie, jusqu'à aujourd'hui, avec le concours de Pierre VIETTE, "La faune" atteint le tome 79, tandis que quatre volumes sont actuellement sous presse, dotant Madagascar d'un instrument unique parmi les pays tropicaux.

Permettez-moi de compléter cette rapide évocation de l'IRSM par quelques mots que j'emprunterai à nouveau au Recteur PAULIAN sur la bibliothèque de Tsimbazaza :

*"Profitant des bouleversements de l'immédiat après-guerre, nous eûmes la chance de pouvoir acheter les collections complètes des principaux périodiques scientifiques, ce qui fit de la bibliothèque du Centre l'une des plus belles de l'hémisphère austral. A la mort de Guillaume GRANDIDIER, M. MILLOT parvint à obtenir le transfert à Tananarive de la partie malgache de la bibliothèque GRANDIDIER (celle d'Alfred, l'explorateur de Madagascar et initiateur de l'Histoire physique, naturelle et politique de Madagascar, au XIX<sup>ème</sup> siècle, et celle de Guillaume, son fils, naturaliste) avec ses documents anciens. Par la suite, la bibliothèque fut constamment enrichie, en partie grâce aux échanges consentis avec les publications propres de l'Institut."*

Pendant la période qui suivit le départ de la première équipe de direction, en 1961, l'IRSM devenu Centre ORSTOM en 1963, orienta son action dans trois directions :

- Premièrement, la poursuite des inventaires et de la compréhension des spécificités malgaches, ce qui impliquait une collaboration étroite avec l'université de Madagascar, l'Institut Pasteur, les instituts de recherche malgache, avec les universités françaises, le muséum, le CNRS, avec le WWF, l'Université de Tokyo, la Smithsonian Institution).

On peut citer les recherches en gravimétrie et magnétisme, en géologie des basaltes, des cartes pédologiques de base et de synthèse, des études de botanique générale, les inventaires zoologiques, en particulier entomologiques, les travaux sur l'histoire des pays de la région, les atlas,

etc. ... Des expéditions interdisciplinaires et inter-organismes sont organisées pour compléter les inventaires.

- Deuxièmement, l'orientation plus marquée des recherches vers des applications immédiates, à la demande des structures nationales. Dans cette optique, des recherches en hydrologie sur les différentes rivières sont poussées, des études précises en pédologie effectuées, ainsi que sur les plantes médicinales locales et les vecteurs de maladies tropicales (paludisme, filariose de Bancroft). Citons les travaux sur les caféiers malgaches, sur les insectes parasites, les techniques agricoles, sur les sociétés traditionnelles et leurs rapports avec les politiques de développement, les relations ville-campagne du point de vue économique et géographique, la mise au point de méthodes démographiques adaptées au pays, les terroirs et les études régionales, etc. ... C'est dans cet esprit que les sciences humaines sont renforcées avec les travaux de Georges Condominas, d'Henri Lavondès et de Paul Ottino venus prendre le relais de leurs collègues Decary et Molet, et que sont créées les sections de sociologie en 1962, d'économie-démographie et de géographie en 1965.

- Troisièmement, les relations avec les autorités et avec les structures scientifiques et universitaires malgaches qui se font par l'intermédiaire de la Direction de la Recherche, rattachée à la vice-présidence, et dont le responsable était un chercheur malgache détaché de l'ORSTOM à l'IRAM.

Les autres interlocuteurs sont le Commissariat au Plan et les différents ministères techniques : Agriculture, travaux publics, services de Santé.

Les relations commencées dès 1948 avec le centre universitaire sont poursuivies avec l'Université de Tananarive: enseignement prodigué à l'Université par des chercheurs du Centre, travaux pratiques organisés au Centre pour les étudiants, recherches exécutées à l'ORSTOM par les enseignants-chercheurs. Les instituts du GERDAT,

maintenant regroupés au sein du CIRAD, sollicitent l'ORSTOM pour certains travaux et plusieurs missions sont faites en commun; de même, l'Institut Pasteur pour tout ce qui concerne les vecteurs des maladies tropicales.

Outre le Conseil Supérieur de la Recherche, l'ORSTOM est représenté au conseil de l'Université et au Comité inter-îles de Recherche agronomique regroupant les recherches surtout sucrières de Madagascar, de la Réunion et de Maurice. Cette présence permet de créer une antenne du Centre à la Réunion pour l'histoire et la pédologie, puis à Maurice pour la pédologie et l'entomologie agricole, en collaboration avec le "Mauritius Sugar Industry Institute". Elle permet de lancer la "Flore des Mascareignes" avec le même institut et le "Royal Botanical Garden" de Kew en grande-Bretagne.

La période qui commence en 1972 va voir apparaître une nouvelle coopération avec un nouvel ORSTOM.

Les maladroites et les malentendus qui secouent les sciences sociales à Tsimbazaza au début des années 1970, bien vite dépassés par la révolution de 1972, débouchent sur la signature de l'accord culturel du 4 juin 1973, aux termes duquel le gouvernement malgache prend en charge les Centres de recherche de la grande île à compter du 1er janvier 1974. L'Orstom quitte Tsimbazaza et Nosy-be. Seuls restent un chercheur et un technicien en hydrologie. Mais le contact est maintenu, en particulier avec votre Académie. C'est à cette époque que le conseil d'administration de l'ORSTOM (délibération du 22 juin 1977) autorise la donation du fonds GRANDIDIER à l'Académie malgache.

La création, en 1985, d'un Ministère pour la Recherche Scientifique et Technique pour le Développement ouvre une ère nouvelle pour la recherche et la coopération scientifique. Un protocole d'accord de coopération scientifique est signé le 12 juin 1986 entre l'ORSTOM et le MRSTD, un protocole relatif aux contrats de formation-insertion le 26 juin 1988, puis un accord avec le ministère des Transports, de la Météo et du Tourisme, le 27 avril 1989,

enfin un accord-cadre de coopération scientifique le 9 février 1994 avec le MRAD.

Je ne sais pas s'il faut dresser un bilan de ces bientôt dix ans de coopération scientifique renouvelée. Sans doute pas. Mais sans "faire retentir trop haut le bruit des pas sur votre terre", sans "parler trop fort", il doit être possible de dire que l'ORSTOM s'est efforcé de répondre aux demandes du gouvernement et des instituts de recherche malgaches, demandes de recherche, demandes de formation, demandes d'appui scientifique et documentaire, demandes d'animation scientifique.

Le travail scientifique de ces dernières années a porté sur trois programmes de grande portée pour le développement :

- le programme "eaux continentales" qui a débouché sur la publication de " Fleuves et rivières de Madagascar" et qui va aboutir à la création d'une banque de données hydrologiques et pluviométriques avec le CNRE et la DMH; ce programme a permis la formation de 15 chercheurs et ingénieurs et de 10 agents des ministères intéressés ;
- le programme "mangrove" mené avec le CNRE dont la première phase s'achèvera en juin prochain, qui a permis l'encadrement et la promotion de 11 étudiants ;
- le programme "urbanisation et systèmes de production en crise dans l'ensemble méridional malgache", poursuivi avec le CUR d'abord, puis l'Université de Toliara, et qui s'achèvera en juin par une table-ronde de restitution des résultats. En cinq ans, 65 étudiants ont été intégrés à ce programme pour des maîtrises, des DEA, des doctorats. Cinq ouvrages éducatifs, sept films vidéo et une revue "Aombe" en sont issus ;

Une collaboration étroite s'est instaurée avec le CIDST et Melle Juliette RATSIMANDRAVA pour la reconstitution et la modernisation des fonds documentaires ORSTOM/CIRAD/BDPA, qui représentent quelques 5000 documents. Cette opération est achevée et j'aurai le plaisir de transférer officiellement ce fonds au CIDST.

Je tiens à dire que ces programmes, ces actions ont bénéficié d'un appui sans faille du ministère de la coopération et du soutien de la mission.

Après avoir évoqué le passé, y compris le passé très proche, il nous faut dire quelques mots de l'avenir. Celui-ci devra s'inspirer de trois principes : l'ouverture, le partenariat, la valorisation.

- L'ouverture : Organisme de recherche en coopération intervenant dans plus de trente cinq pays de la ceinture intertropicale (et ne cessant d'élargir son champ de compétence géographique à la demande de nouveaux Etats, l'Institut interviendra par exemple très prochainement au Vietnam), l'ORSTOM qui se trouve placé à l'interface entre les communautés scientifiques du Sud, avec lesquelles il collabore, et celles du Nord dont il est naturellement membre à part entière, souhaite s'affirmer comme un relais entre ces deux communautés. l'ORSTOM milite, vous l'avez compris, pour une science sans frontière.
- Le partenariat : Mais l'ORSTOM sait aussi que la réussite de sa mission passe par une collaboration loyale et équilibrée que nous traduisons par le terme de partenariat, par un dialogue soutenu avec le monde universitaire qui, seul, lui permettra de préparer l'avenir en s'attachant à la formation de nouveaux chercheurs, mais aussi de scientifiques spécialistes des problèmes de développement durable et d'environnement. Comme nous avons conscience que cet enjeu dépasse largement nos seules possibilités, nous avons choisi de rejoindre l'AUPELF-UREF dans une association formalisée où nous retrouvons d'ailleurs Madagascar, et de nous situer, pour une part importante de nos activités, au sein de la francophonie.
- la valorisation : Trop souvent, nous ne savons pas valoriser nos résultats. Nous ne mobilisons pas assez ni la communauté scientifique internationale, ni les opérateurs de développement qui pourraient s'appuyer sur nos recherches et bénéficier des connaissances acquises. Je souhaite que chaque programme qui se termine soit l'occasion de mieux faire connaître autour de nous les résultats obtenus. Dans ce domaine, notre colla-

laboration avec l'Académie peut jouer un rôle essentiel.

Sur la base de ces principes, la commission de concertation MRAD-ORSTOM de février a décidé de resserrer et de renforcer la coopération scientifique sur cinq thèmes majeurs :

- L'eau et les ressources du milieu aquatique avec, après l'achèvement des programmes PEC I, PEC II et PEC V, le lancement de deux nouvelles opérations concernant l'étude des lacs et paléoclimats (PEC VI) et la biodiversité/biotypologie (PEC VII).
- La déforestation et ses rapports avec les systèmes de production de l'ensemble méridional avec un nécessaire rapprochement entre les programmes mangroves et DESPAM (déforestation et société paysanne à Madagascar).
- Les ressources vivantes marines avec l'installation en 1993 d'un agent ORSTOM à Antsiranana à l'antenne CNRO/DRH (Direction des Ressources Halieutiques) sur un programme intéressant les thons. Un programme analogue sur les cervettes est à l'étude.
- Les problèmes de santé dans une approche prenant en compte la diversité des zones écologiques et les systèmes de santé.
- L'étude de la politique d'ajustement structurel et de son impact sur la société malgache, thème quelque peu nouveau pour l'ORSTOM dans sa thématique et dans son mode d'intervention.

Pour ce qui concerne la valorisation, l'ORSTOM s'efforcera de répondre aux demandes du CIDST concernant l'alimentation des bases de données, l'envoi des publications, la formation à la rédaction scientifique, l'utilisation du réseau de courrier électronique Rio, l'édition de thèses et d'articles, l'organisation de colloques; toutes questions qui intéressent au plus haut point votre Académie, comme l'ont prouvé ses initiatives récentes, en particulier votre colloque de 1991 sur la recherche. Nous devons aussi continuer à jouer avec votre compagnie un rôle moteur d'animation scientifique.

Tirant les leçons des opérations réalisées conjointement ces dernières années, considérant les évolutions récentes tant de l'ORSTOM que du dispositif scientifique malgache, analysant les demandes de collaboration qui se présentent aujourd'hui, je dirai, pour conclure, que nous aurons atteint nos objectifs si la politique de coopération que nous souhaitons promouvoir, permettait à la recherche malgache de se situer durablement au sein d'un double réseau :

- Un premier réseau Recherche/Université/monde du développement permettant le rapprochement des chercheurs, des universitaires et des scientifiques spécialistes du développement. C'est un premier défi.
- Un second réseau plaçant la recherche malgache au sein de la communauté scientifique internationale et permettant aux chercheurs malgaches de multiplier les contacts avec les scientifiques des autres pays et de diffuser plus largement les résultats des recherches réalisées à Madagascar. C'est le second défi qui nous est proposé aujourd'hui.

J'emprunterai le mot de la fin à Gérard WINTER, Directeur général de l'Institut, qui disait il y a quelques jours à l'ouverture de la commission de concertation: "l'ORSTOM serait fier, au moment où il fête son cinquantenaire, d'accompagner la recherche malgache dans ce rôle de chef de file d'une véritable recherche pour le développement à long terme, unanimement reconnue à l'échelle internationale".

J'ajouterai à ce vœu, celui d'un plein succès de ces deux journées. Qu'elles permettent d'approfondir et de mettre en lumière les divers aspects de la collaboration qui s'est établie entre l'IRSM, puis l'ORSTOM et votre Compagnie. Qu'elles continuent à servir la recherche et Madagascar, dans l'amitié et la coopération.

Michel LEVALLOIS

## Intervention du Recteur Honoraire : M. Renaud PAULIAN

Monsieur le Président,

Puisque vous me faites l'honneur, en ce jour exemplaire, de me donner la parole ici, dans ces bâtiments de l'Académie malgache, de participer à nouveau, après trente-trois années, à côté de mes confrères, à une séance de notre Compagnie, vous comprendrez sans doute aisément que mes premiers mots seront empreints d'une profonde émotion et d'une grande joie; joie de me retrouver dans un pays que j'ai beaucoup aimé et qui m'a valu hier des satisfactions professionnelles, joie de retrouver des visages connus et d'évoquer, avec les vivants, le souvenir des disparus. Emotion aussi, et dont l'une des plus vives me vient de retrouver à chaque pas, si vivace, le souvenir conservé par treize promotions d'élèves de l'Ecole des Sciences, puis de l'Université de Tananarive, et de l'Ecole de Médecine de Befelatanana, de ma femme et de son enseignement.

Si je ne développe pas devant vous cette émotion, c'est, Monsieur le Président, et vous le savez mieux que quiconque, que les mots sont faits pour exprimer avec précision des faits concrets et des idées claires; les appliquer à l'émotion risque de fausser celle-ci, de la priver de son essence. Il y faudrait la musique, et je ne suis hélas pas musicien !

En ce jour où l'ORSTOM célèbre son cinquantenaire sous les auspices de l'Académie malgache, vous me permettez peut-être de me prévaloir d'une longue existence dont vingt-deux années ont été consacrées à la coopération et les autres à des tâches diverses de hautes responsabilités administratives, pour évoquer les problèmes du développement et du rôle de la recherche.

Il y a une cinquantenaire d'années, l'homme devenu maître de l'atome et profitant des prodigieux progrès scientifiques et techniques nés de la guerre, a cru être le maître de la nature. Sans que l'on en ait pris conscience, la pensée humaine a subi à ce moment une mutation

prodigieuse. N'ayant sans doute pas d'autre équivalent dans l'histoire de l'humanité que la révolution prométhéenne lui ayant procuré, il y a bien des millénaires, la maîtrise du feu. Pendant cinquante ans, les hommes ont alors cru que par l'application de l'une ou l'autre des idéologies qu'ils avaient élaborées, et en utilisant les recettes de la recherche scientifique et technique, ils étaient maîtres du développement, de leur développement et de celui des autres hommes, de ce développement dont, à des degrés divers, tous les groupes humains rêvent.

A l'échéance de ce demi-siècle, force est de reconnaître l'échec général, total, de cette prétention. Les idéologies constructives se sont brisées sur les faits, les recettes de l'ingenium humain, si variées soient-elles, se sont révélées inefficaces. Les unes et les autres, plus hautes productions de l'esprit humain, ne suffisent pas pour assurer les transformations des sociétés.

Depuis une décennie à peu près, quelques esprits ont alors voulu comprendre les raisons de cet échec universel; ils ne pouvaient accepter l'idée que la recherche était inefficace et inutile et voulaient découvrir comment lui rendre le rôle qui devait être le sien. Peu à peu, deux plans de réflexion ont alors émergé. D'une part, on a pris conscience de ce que le développement était un phénomène complexe où devaient être intégrés de très nombreux facteurs relevant de domaines et de disciplines scientifiques différents. Un succès ponctuel, local, n'avait pas de sens. Seule l'harmonie entre l'ensemble des facteurs, physiques et humains, assurait le progrès. Chaque recherche rassemble des éléments, comme le lexicographe construit son dictionnaire, l'informaticien sa banque de données. Mais un dictionnaire, une banque de données ne sont qu'un outil, ne disposent pas de la vie. C'est le grammairien qui, associant les mots du dictionnaire en un ordre convenu, donne à la phrase résultante sens et pouvoir. Trois

mots isolés, sans rapports entre eux, sans efficacité, deviennent, lorsqu'ils sont organisés "Sésame ouvre-toi", et la porte du trésor s'ouvre.

Le second plan de réflexion plonge plus profondément dans la réalité humaine. Technocrates et idéologues constamment affrontés ont dû reconnaître que le développement comportait d'inévitables tensions, de douloureuses fractures, qu'il n'était pas que lumières, mais lourdement chargé d'ombres. Mais alors, il n'est possible que s'il est acceptable pour ceux auxquels on le propose. Il faut que les sociétés en développement prennent conscience de tout ce que comporte le développement, en mesurent toutes les conséquences, les assument pleinement. Cela veut dire qu'il n'y a de développement qu'endogène, généré par la population toute entière et que jamais un rapport extérieur ne pourra faire plus que d'offrir une information scientifique et technique, l'indispensable connaissance des éléments de base du développement. Le reste appartient au domaine du politique national, de la sensibilité et des choix du groupe humain et ne portera de fruits que si le groupe en assume la pleine charge en l'adaptant à ses réalités propres, en le digérant et en l'assimilant, en somme.

Apparaît alors une dimension de la coopération essentielle et trop souvent méconnue, celle qu'hier le Président Levallois appelait la valorisation de la recherche.

Trois étapes marquent cette valorisation, trois étapes indispensables sans lesquelles tout l'effort de la recherche n'aboutit qu'à constituer des archives mortes.

La première suppose l'intégration des résultats des diverses recherches.

Couvrant des champs distincts, oeuvre de chercheurs spécialisés, la recherche nous apporte des éléments. Pour qu'ils soient utilisables, ils doivent s'articuler les uns sur les autres, associer l'hydrologie à l'épidémiologie et à la sociologie, par exemple. Aucune recherche n'a, isolée, de portée réelle; le passage de l'indispensable recherche fondamentale à l'active recherche appliquée suppose cette intégration permanente. Il ne s'agit pas, il ne peut s'agir, d'adapter les résultats de l'une à

l'autre, ce serait une faute contre l'esprit, mais d'édifier l'une par l'autre en une constante des faits et des idées.

La seconde impose que ces résultats intégrés, ces conclusions efficaces, soient formulés, présentés, en un langage, un vêtement, compréhensible par tous. Les chercheurs, un peu par paresse, beaucoup pour se faire plaisir, font usage d'un langage ésotérique dont le vocabulaire et la syntaxe échappent aux non spécialistes. Pour que la recherche soit valorisable, il faut qu'après cette première formulation, des présentations claires et simples puissent être offertes, ne serait-ce que pour respecter le vieil adage "ce qui se conçoit bien s'énonce clairement". Et cette valorisation-là passe par la forme de la présentation aussi bien que par son fond.

Enfin, c'est là peut-être la phase la plus difficile de la valorisation, celle-ci doit, d'une part, prendre en compte toutes les conséquences de la recherche, positives comme négatives, toutes les contraintes qui inspirent ses conclusions, ne rien occulter des travaux, des difficultés, des contradictions qu'elle génère. Elle suppose une réflexion profonde fondée sur une profonde sympathie (au sens étymologique même de ce mot), elle interdit tout jugement de valeur, toute échelle de comparaison. Elle doit présenter des résultats tels que, n'ignorant plus rien des enjeux et des risques, afin que les intéressés puissent faire leurs conclusions et construire eux-mêmes leur propre développement.

A ce point de notre réflexion apparaît la nécessaire distinction entre le politique, qui seul a pouvoir pour décider des mesures à prendre et du concret de leur application, qui seul aussi a compétence à le faire, et le scientifique dont le rôle est d'apporter une information honnête, totalement intégrée et aussi étendue que possible. C'est ici, Monsieur le Président, que l'Académie malgache me paraît appelée à un rôle évident.

En un pays où coexistent de multiples organismes de recherche, nationaux, ONG ou relevant de la coopération bilatérale; en un pays de vieille tradition scientifique, riche de deux siècles de travail de recherche sur la nature et les hommes; il faut qu'une coordination puisse s'établir entre les activités scientifiques, que des orientations

soient données à la recherche, des synthèses proposées. Sinon, il sera difficile de progresser et beaucoup d'efforts seront perdus. L'Académie malgache, par son histoire, par ses statuts, par sa force, me semble le lieu même de tous ces arbitrages, de tous ces choix, l'endroit où doit se faire la politique nationale de la recherche, en somme, comme il en va, en d'autres lieux, de l'Académie des Sciences, de la Royal Society de Londres, de l'Académie Royale de Stockholm, et bien d'autres.

Je souhaite que votre Compagnie, sous votre direction éclairée, avec le concours de tous ses membres, malgaches, zana-tany et vazahas, joue ce rôle essentiel et bénéfique et je suis confiant que c'est bien ainsi que les choses se passeront.

Je vous remercie de votre attention.

Renaud PAULIAN

# BIOTYPOLOGIE DES COURS D'EAU ASPECTS THEORIQUES ET DEVELOPPEMENTS ACTUELS

## FAMARITANA IREO RIAN-DRANO. FISEHOANA SY FIVOARANA AMIN'IZAO FOTOANA IZAO

François-Marie GIBON  
Jean-Marc ELOUARD  
Richard ANDRIAMIHAJA

### RESUME :

Les recherches sur la biotypologie des eaux continentales ont pour but de répondre à la question suivante : les communautés d'organismes aquatiques sont-elles structurées? Dans l'affirmative, comment le sont-elles et quels sont les facteurs structurants ? Une fois la typologie établie, son utilisation en tant qu'outil de gestion écologique s'appuiera sur une réponse affirmative à l'interrogation : toute modification des facteurs structurants entraîne-t-elle une modification prévisible et mesurable des communautés aquatiques ?

Les concepts et les différentes théories en cours font l'objet d'un rappel, de même que les principaux acquis concernant les zones intertropicales; puis sont exposés les objectifs du programme PEC 7 réalisé à Madagascar par le C.N.R.E. et l'ORSTOM.

### FAMINTINANA :

Ireo fikarohana atao mikasika ny famaritana sy fandinihana ny ranomamy an-tanety (renirano, ony, farihy) ary ireo zavamanan'aina ao aminy na amin'ny teny baiko "biotypologie des eaux continentales", dia mikatsaka ny hamaly ireto fanontaniana manaraka ireto : Moa ve voarafitra ny fikambanan'ny zavamanan'aina anaty rano ? Raha eny, manao ahoana izy reo ary inona no mpandrafitra azy ?

Ny fampiasana io famaritana izay voapetraka io amin'ny maha-fitaovana entina hitantanana ny zavamanan'aina sy ireo manodidina azy dia hiankina amin'ny valiny tsy misy fisalasalana ny fanontaniana hoe : ny fanovana ireo mpandrafitra ny fiainan'ny zavamanan'aina anaty rano ve mety mitarika fiovana izay tsikaritra mialoha sy voarefy eo amin'ny fivondronan'ny zavamanan'aina anaty rano ?

Hitarika fampahatsiahivana ireo fijery sy fianarana maro samihafa izay mbola an-dàlana . Toy izany koa ny votoatin-kevitra voaray tao amin'ny faritra "intertropical". Ho entina hamaranana dia hovelabelarina ireo tanjon'ny fandaharan'asa PEC 7 izay nifarimbonan'ny C.N.R.E. sy ny ORSTOM ny fametrahana azy teto Madagasikara .

## I. INTRODUCTION

### I.1 La spécificité des hydrosystèmes lotiques.

Les fleuves et rivières, plus généralement l'ensemble des écosystèmes lotiques, présentent deux particularités remarquables :

- 1/ ils sont fortement déterminés par les caractéristiques de leur bassin versant (ce qui a été remarquablement exprimé par Hynes, 1975, : "la vallée gouverne le cours d'eau");
- 2/ ils sont structurés longitudinalement; chaque bief dépend des caractéristiques du site et des apports locaux (pluies, eaux souterraines), mais, bien plus encore des flux d'eau, de matières organiques et d'êtres vivants en provenance de l'amont.

Les hydrosystèmes sont donc particulièrement sensibles. Ils subissent, non seulement des impacts ponctuels et directs (pollution, canalisation, barrages ...), mais encore les effets induits des modifications qui affectent le bassin versant et les rives, tout particulièrement les changements ou évolutions de l'occupation des sols (déforestation ou intensification agricole, voir par exemple : Corkum, 1990). L'existence du flux longitudinal aggrave l'effet des impacts ponctuels en les prolongeant vers l'aval, en outre, du fait de la linéarité, la multiplication d'impacts ponctuels entraîne une fragmentation qui fragilise de nombreuses populations et peuplements. On estime que le benthos de la plupart des fleuves et grandes rivières d'Europe occidentale s'est considérablement modifié et appauvri depuis un siècle (Zwick, 1992), bien avant que les "études d'impact" ne prennent pour "référence" des situations dont on connaît mal la représentativité et dont on ignore l'histoire et le fonctionnement. L'idée couramment admise de fleuves américains ou tropicaux plus proches d'un "état naturel originel" doit être, dans la plupart des cas, sérieusement réexaminée (Benke, 1990). Les grands fleuves sont à la fois très

anthropisés et mal connus.

Les stratégies classiques de conservation (c'est-à-dire la création de zones où les activités humaines sont réduites) sont peu efficaces car elles impliquent la mise en réserve de la majeure partie du bassin versant, ce qui est dans la majorité des cas irréalisable. La conservation de ces milieux implique donc des politiques actives de gestion et d'aménagement que Cummins (1992) résume de la manière suivante "a great deal of present management is restoration effort; namely, the attempt to repair damage of former management programmes, or lack of them". La manipulation d'un écosystème nécessite une meilleure connaissance de sa composition, de sa structure et de son fonctionnement que la mise en réserve. Au niveau économique, les sommes nécessaires pour restaurer la qualité et la productivité des eaux atteignent des niveaux qui justifient pleinement l'étude des processus biologiques et écologiques qui assurent gratuitement ces services (mécanisme d'autoépuration des rivières).

### I.2 Utilité des recherches biotypologiques.

Gérer un patrimoine demande une planification de l'utilisation des ressources ainsi que la prévision de l'impact des évolutions en cours, des opérations de développement ou d'aménagement. Il faut pouvoir évaluer l'état et les potentialités des écosystèmes et disposer de modèles fonctionnels pour en prévoir l'évolution. La typologie des eaux courantes élaborée sur des bases écologiques sera l'outil principal de cette gestion rationnelle des hydrosystèmes.

L'approche biotypologique des eaux continentales postule que les biocénoses sont structurées et qu'à un ensemble de conditions écologiques données correspond une structure et un fonctionnement propre. Ces derniers peuvent être caractérisés par la composition faunistique et/ou floristique des biocénoses.

Enfin, l'utilisation de la typologie biologique en tant qu'outil de gestion suppose la mise en évidence des facteurs structurants par comparaison de systèmes situés dans des conditions différentes.

## II. LES DEUX PRINCIPALES THEORIES FONDATRICES

### II.1. La théorie de la zonation longitudinale d'Illies et Botosaneanu.

La première théorie globale a été celle d'Illies et Botosaneanu (1963). Le principe général en est le suivant : l'évolution des caractéristiques physico-chimiques depuis les sources jusqu'à l'estuaire induit des modifications floristiques et faunistiques. Cette évolution se réalise principalement par "sauts" au niveau de confluences principales (entre cours d'eau de débits équivalents). Il y a donc une zonation biologique longitudinale et ordonnée des réseaux hydrographiques. Ce modèle est le cadre dans lequel se sont inscrits la plupart des travaux ultérieurs (Botosaneanu, 1979; Verneaux, 1976), il reste, aujourd'hui encore, le cadre de base de toute approche globale des réseaux hydrographiques.

Deux débats demeurent ouverts à son sujet. Le premier concerne la nature du "facteur déterminant". Lorsque le débit augmente, de nombreux facteurs évoluent de manière concomitante et généralement interagissent (par exemple : oxygène dissous, température et vitesse du courant ou vitesse du courant et granulométrie du substrat). Pour Illies et Botosaneanu, la température est le facteur primordial tandis que les travaux récents mettent l'accent sur les facteurs hydrauliques (Statzner et Higler, 1986; Davis et Barmuta, 1989).

Le second débat concerne l'extension du modèle à d'autres régions que les zones tempérées pour lesquelles il a été élaboré. Nous savons maintenant qu'il ne s'applique ni aux zones alpines, ni aux zones arctiques. Des essais de généralisation ont déjà été publiés. Bien que cela ne soit pas toujours explicite, ces derniers considèrent la température comme le facteur principal (Wasson, 1989). Illies (1964) situe à plus de 2.000 mètres la limite rhithron / potamon au niveau de l'équateur, dans la région amazonienne. Une étude plus récente sur la zonation des fleuves et rivières éthiopiens a été publiée par Harrison et Hynes (1988). Ils définissent un Rhithral situé au dessus de 2.000 mètres, une zone de transition située entre 1.650 et 1.900 mètres et au-dessous un Potamal "which contains a fauna that is similar to that of much of Africa". Le principal inconvénient de ces

travaux est de sous-estimer les changements faunistiques qui ont lieu aux basses altitudes, car les cours d'eaux africains situés à des altitudes inférieures à 1.650 mètres ne sont pas faunistiquement homogènes. Ce fait avait déjà été noté et discuté par Harrison et Rankin (1976). Ces auteurs décrivent, aux Antilles, une faune torrenticole, c'est-à-dire un rhithron, situé à peine au-dessus du niveau la mer et à des températures nettement supérieures à 20°C. Ils ont donc distingué, en zone tropicale un "rhithron froid", celui qui avait été défini par Illies, et un "rhithron chaud" qu'ils mettaient en évidence. La situation géomorphologique qu'ils rencontrent, des collines aux pentes abruptes tombant presque directement dans la mer, n'est pas le seul cas de "rhithron chaud" que l'on peut observer en zone tropicale. La plupart des fleuves et rivières d'Afrique occidentale sont composés d'une alternance de zones calmes et de rapides (Lévêque *et al.*, 1983). Les peuplements de ces biotopes sont très différents, celui des biefs "calmes" (Chironomidae, Oligochètes, Mollusques, Ephémères et Trichoptères fousseurs...) est un potamon typique, celui des rapides (Hydropsychidae, Philopotamidae, Baetidae, Tricorythidae...) peut être considéré comme un "rhithron chaud".

### II.2 Le River Continuum Concept.

Vannote *et al.* publient en 1980, une seconde théorie globale des cours d'eau : le "River Continuum Concept" (R.C.C.). Contrairement au modèle précédent, le R.C.C. est une approche fonctionnelle; il structure les écosystèmes lotiques autour du flux de matières organiques (apports, transports et transformations, recyclage).

Les réseaux alimentaires des cours supérieurs sont dominés par les apports de matières végétales provenant des écosystèmes terrestres riverains. Ils donnent naissance à un flux de fines particules de matières organiques, base de la productivité des cours intermédiaires où se développe progressivement une production primaire. Enfin les plaines d'inondation et deltas sont les principales sources de matières organiques des grands fleuves. On assiste donc au passage d'"écosystèmes majoritairement hétérotrophes" directement dépendant des bassins versants à des "écosystèmes majoritairement autotrophes". Si nous

reprenons la métaphore de Hynes<sup>1</sup> nous constatons une autonomie progressive du cours d'eau par rapport à sa vallée (ce phénomène ne concerne pas seulement le fonctionnement trophique, du fait de l'augmentation des masses d'eau, le système est, par exemple, de plus en plus résistant à la variabilité des températures). La situation extrême est la plaine alluviale ou le delta qui constituent des écosystèmes "créés" par le fleuve.

La faune benthique est intégrée au moyen du concept de groupe fonctionnel (Cummins, 1974, Cummins et Klug, 1979), qui prend en compte non seulement la ressource alimentaire, mais surtout son mode d'acquisition. Minshall *et al.* (1985) fournissent un schéma théorique de zonation de ces groupes fonctionnels en fonction du rang du cours d'eau (stream order). Les petits ruisseaux sont dominés par les déchiqueteurs de grandes particules (large particulate shredders), puis par les collecteurs de fines particules (fine particulate collectors); les rivières moyennes voient le développement des brouteurs de periphyton (periphyton grazers) et des filtreurs benthiques (benthic filter feeders); enfin les fleuves les plus larges sont le domaine des fouisseurs (sediment burrowers). Il y a donc une évolution graduelle de la structure du benthos en fonction de la quantité, de la nature et de l'accessibilité des matières organiques charriées ou produites par les hydrosystèmes.

Le R.C.C. a permis le développement de nombreux travaux complémentaires ou critiques (Statzner et Higler, 1985). Il est le modèle actuellement utilisé pour comprendre le fonctionnement des réseaux hydrographiques (Minshall *et al.*, 1985). Les critiques les plus vives n'ont pas concerné le R.C.C. lui-même mais sa généralisation à d'autres domaines bioclimatiques, particulièrement en zones tropicales (Winterbourn *et al.*, 1981; Dudgeon, 1984).

Ainsi les deux modèles principaux d'étude globale des réseaux hydrographiques se révèlent difficiles à appliquer aux fleuves tropicaux. Peut-être n'est-ce seulement que par manque d'informations.

### II.3. Intégration des deux modèles

<sup>1</sup> Hynes, 1975 : "la vallée gouverne le cours d'eau"

Le R.C.C. devrait intégrer les approches de type "zonations" qui l'ont précédé. Mais, ces dernières supposent des secteurs plus ou moins homogènes séparés par des transitions nettes, ce qui semble en contradiction avec la notion de "continuum". Il s'agit peut-être d'un problème d'échelle, car, comme le remarque Wasson (1989) : "il est facile de confondre un escalier avec un toboggan, lorsque l'on ne dispose que d'un seul point par marche". Plus généralement, il semble exister sur les réseaux hydrographiques des frontières faunistiques que l'on ne peut réduire aux transitions fonctionnelles. Le déterminisme de ces frontières est l'une des questions soulevées par les théories de zonations, les interrelations entre "associations benthiques" et le fonctionnement est l'une de celles posées par le R.C.C.

Ces deux approches de la structure faunistique longitudinale des eaux courantes ne sont pas incompatibles : il y a, par exemple, des relations directes entre la taille et la nature des matières organiques transportées et les conditions hydrodynamiques. Les contradictions apparentes entre certains travaux proviennent souvent du niveau taxonomique utilisé. Des recherches menées sur l'ensemble du peuplement benthique à un niveau taxinomique qui oscille entre le genre et l'ordre, mettront en évidence une structure proche de celle prévue par le R.C.C., car les espèces d'un même genre appartiennent généralement à un même groupe fonctionnel et de la même façon, elles auront, du fait d'une morphologie voisine, des réactions analogues aux contraintes hydrauliques. Au cours de telles études, certaines frontières zoologiques passent inaperçues. En revanche, une recherche menée au niveau spécifique pourra mettre en évidence des remplacements d'espèces déterminés par des facteurs climatiques. Le fait que de nombreuses études aient été réalisées en utilisant des niveaux spécifiques disparates (généralement en fonction de la disponibilité des identificateurs) a contribué à la confusion de ces deux phénomènes. Dans le cadre du développement actuel des recherches sur la biodiversité, il sera essentiel de distinguer les transitions fonctionnelles généralement liées aux changements trophiques (nature et accessibilité des ressources alimentaires), et les transitions faunistiques généralement liées aux facteurs thermiques ou chimiques.

### III. LES DONNEES DISPONIBLES

Il y a très peu de données précises permettant de tester ces théories en zone tropicale. Un certain nombre de travaux de base ont toutefois été réalisés, apportant des éléments à la modélisation des hydrosystèmes africains.

1/ La comparaison des biotes lotiques des grandes rivières de l'Afrique de l'Ouest a permis de mettre en évidence, au niveau familial, une forte homogénéité des peuplements entomiques. Soumises à des traitements insecticides semblables durant plusieurs années, les communautés d'insectes lotiques évoluent de la même manière (Elouard, 1983; Yaméogo *et al.*, 1991; Elouard *et al.*, 1992). Entre des sources, souvent théoriques (Statzner 1984) et l'estuaire, il existe une "zone à Hydropsychidae" indifférenciée (Lévêque *et al.*, 1983), sans réelle transition rhithron/potamon.

2/ Sur le bassin du Bandama en Côte d'Ivoire, la richesse spécifique augmente avec le rang du cours d'eau. Mais cela est dû à deux phénomènes distincts: d'une part, les hauts cours et les petits affluents sont moins riches en espèces, souvent de manière aléatoire avec des populations moins abondantes; d'autre part, la zone méridionale du bassin pénètre dans la zone forestière et se trouve colonisée par des espèces caractéristiques de la transition forêt/savane, voire par quelques espèces strictement forestières (Statzner, 1984; Gibon et Statzner, 1985). Le résultat principal de ces travaux est la mise en évidence d'une forte homogénéité faunistique en savane, quel que soit le rang du cours d'eau. Cette situation est en contradiction apparente avec les modèles classiques de zonation. L'ensemble des recherches menées en Afrique occidentale sur la répartition géographique des insectes lotiques indique que leur distribution peut être décrite par l'altitude (elle même étroitement corrélée à la température) et par la formation végétale dominante du bassin (elle même étroitement corrélée à la pluviométrie). Ce modèle de distribution se vérifie de manière

concordante chez les Trichoptères (Gibon *et al.*, 1994; Gibon, sous presse) et chez les vecteurs de l'Onchocercose (Quillévéré, 1979; Quillévéré *et al.*, 1981). On observe même, à la suite des phénomènes de déforestation, de profondes modifications de certaines situations épidémiologiques (Walsh *et al.*, 1993).

### IV. LE PROGRAMME "BIODIVERSITE ET BIOTYPOLOGIE DES EAUX CONTINENTALES MALGACHES" (PEC 7)

#### IV.1. Le contenu du programme

L'Orstom et le C.N.R.E. ont entrepris, avec le soutien financier du Fonds d'Aide et de Coopération, un programme de biotypologie des eaux continentales malgaches. Cette recherche doit fournir un outil de surveillance et de gestion des hydrosystèmes continentaux aux responsables nationaux. Au-delà de cette application directe, nous espérons mettre à l'épreuve, en milieu tropical, les théories actuelles élaborées pour les zones tempérées d'Europe occidentale et d'Amérique du nord.

Pour tester ces hypothèses, il est indispensable de travailler au niveau spécifique. La première phase consiste donc en un inventaire faunistique des insectes et macrocrustacés benthiques. Ce travail est coordonné à des recherches hydrochimiques, hydrologiques et climatologiques. L'ensemble constitue une base de données destinée à :

- 1/ déterminer les structures cénotiques et leurs distributions sur les hydrosystèmes,
- 2/ mettre en évidence les régions biogéographiques,
- 3) étudier les principaux facteurs déterminant les répartitions des invertébrés benthiques,
- 4) décrire les éventuelles zonations et adapter le modèle d'Illies et Botosaneanu en zone tropicale, sur plusieurs bassins ayant une forte variation altitudinale et répartis suivant un gradient de pluviométrie, depuis les milieux très arides du Sud-ouest jusqu'aux forêts humides de la côte orientale,

- 5) fournir aux décideurs un modèle pour prévoir et évaluer toute modification de ces systèmes à la suite des perturbations ou des aménagements.

Madagascar offre des conditions favorables à de telles études car l'île possède une grande variété d'habitats aquatiques due à son relief et à ses régimes pluviométriques variés. La diversité des situations altitudinales et climatiques, géomorphologiques et édaphiques rencontrées sur un espace accessible à une petite équipe est un atout remarquable pour ce type de recherche. Madagascar, île continent, constitue en ce sens un véritable laboratoire naturel d'étude des hydrosystèmes.

#### IV.2. Les objectifs à moyen terme.

##### IV.2.1. Effets de la déforestation sur les écosystèmes lotiques.

Les résultats obtenus nous permettront d'étudier l'effet de la déforestation sur les écosystèmes lotiques. Le défrichement, suivi ou non de mise en culture, est un phénomène ancien qui s'est considérablement accentué au cours des dernières années à Madagascar. Si les effets sur la biodiversité des milieux terrestres a fait l'objet de nombreuses recherches, nous disposons de peu d'éléments permettant de prévoir son impact sur les milieux aquatiques. Cependant, il semble que le biome dominant du bassin, ou la formation végétale environnant le cours d'eau, soit l'un des facteurs majeurs déterminant la biocénose benthique. Nous avons vu qu'en Afrique occidentale, les espèces ne sont pas "rhitriques" ou "potamiques" mais "de forêt" ou "de savane". Ce facteur est étroitement corrélé à la pluviométrie et donc aux régimes hydrologiques. Par ailleurs, il a un effet direct sur la température de l'eau et sur son pH; il conditionne l'érosion et, en conséquence, les transports solides en rivière et la sédimentation. Son importance est de plus en plus soulignée (Minshall *et al.*, 1983; King *et al.*, 1992).

La situation actuelle nous permet d'analyser, à Madagascar, les effets du défrichement, l'existence de zones refuges dans des vestiges forestiers et la dynamique de l'installation d'une nouvelle faune et/ou d'un nouveau fonctionnement trophique. La comparaison des stratégies de divers groupes taxinomiques, offrant des capacités

de dispersion complètement différentes (durée de vie adulte et possibilités de vol), en sera un élément central.

##### IV.2.2. Typologie fonctionnelle des écosystèmes lotiques

Il s'agit d'appliquer la démarche du River Continuum Concept à deux petits bassins versants où existe une typologie faunistique nette. Un tel projet suppose :

- l'étude des flux de matières organiques (sous ses différentes formes),
- l'étude des ressources alimentaires et de ses modes d'acquisition chez les principaux invertébrés benthiques.

Les hypothèses à tester sont les suivantes :

- 1/ il existe des zones faunistiques déterminées par des facteurs physicochimiques (température, hydraulique ...), eux-mêmes dépendant de la géo-morphologie, de la pluviométrie et de la couverture végétale du bassin (résultats acquis par les études typologiques);
- 2/ les transitions entre ces zones sont indépendantes du fonctionnement trophique de l'écosystème (la structuration longitudinale du fonctionnement n'intervenant qu'au niveau de l'abondance des divers groupes fonctionnels).

La question abordée est celle de l'articulation entre la diversité zoologique et le fonctionnement des écosystèmes, elle est, aujourd'hui, au coeur du débat sur le concept de biodiversité.

#### CONCLUSION

L'objectif du programme PEC 7 est la mise au point d'un modèle de gestion des hydrosystèmes malgaches. Les étapes préliminaires de ce programme permettront d'inventorier la faune invertébrée des milieux aquatiques (relativement peu connue), de cartographier la distribution des espèces et des peuplements. La base de données BiBiSOA, qui sera l'un des supports du programme, mettra à la disposition des futures recherches en hydrobiologie un fonds bibliographique, taxinomique et écologique opérationnel.

## OUVRAGES CITES

- BENKE (A. C.), 1990 - A perspective on America's vanishing streams. *J. N. Am. Bentholog. Soc.*, 9, 77-88.
- BOTOSANEANU (L.), 1979 - Quinze années de recherches sur la zonation des cours d'eau : 1963-1978. Revue commentée de la bibliographie et observations personnelles. *Bijdr. tot. Dierkunde*, 19 (1), 109-134.
- CORKUM (L.D.), 1990 - Intra-biome distributional patterns of lotic macroinvertebrate assemblages. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47 (11) : 2147-2157.
- CUMMINS (K.W.), 1974 - The structure and function of stream ecosystems. *Bioscience*, 24, 631-641.
- CUMMINS (K.W.), 1992 - Catchment Characteristics and River Ecosystems. In *River Conservation and management*, édité par P.J. Boon, P. Calow et G.E. Petts. J. Wiley and sons Ltd.,
- CUMMINS (K.W.) & KLUG (M. J.), 1979 - Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 10, 147-172.
- DAVIS (J. A.) & BARMUTA (L.A.), 1989 - An ecologically useful classification of mean and nearbed flows in streams and rivers. *Freshwater Biol.*, 21, 271-282.
- DUDGEON (D.), 1984 - Longitudinal and temporal changes in functional organisation of macroinvertebrate communities in the Lam Tsuen River, Hong-Kong. *Hydrobiologia*, 111, 207-217.
- ELOUARD, (J.-M.), 1983 Impact d'un insecticide organophosphoré (le Téméphos) sur les entomocénoses associées aux stades préimaginaux du complexe *Simulium damnosum* Théobald (Diptera : Simuliidae). Thèse doct. Etat, Univ. Paris XI, 546 pp.
- ELOUARD (J.-M.), YAMEOGO (L.), SIMIER (M.), 1991 - Homologie d'évolution de peuplements benthiques soumis aux épandages d'insecticides antisimulidiens. *Rev. Sciences de l'Eau*, 41 : 453-462.
- GIBON (F.-M.), sous presse - Unusual patterns of caddisflies longitudinal zonation. Assumed consequence of a biome-effect.
- GIBON (F.-M.), GUENDA (W.) & COULIBALY (B.), 1994 - Observations sur la zonation des cours d'eau de la savane ouest-africaine : Trichoptères du Sud-Ouest du Burkina Faso. *Annls. Limnol.*, 30 (2), 101-121.
- GIBON (F.-M.) & STATZNER (B.), 1985 - Longitudinal zonation of lotic insects in the Bandama River System (Ivory Coast). *Hydrobiologia*, 122, 61-64.
- HARRISSON (A.D.) & HYNES (H.B.N.), 1988 - Benthic fauna of Ethiopian mountain streams and rivers. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 81, 1, 1-36.
- HARRISSON (A.D.) & RANKIN (J.J.), 1976 - Hydrobiological studies of Easter Lesser Antillean Islands. II St. Vincent : freshwater fauna, its distribution, tropical river zonation and biogeography. *Arch. Hydrobiol., suppl.* 50, 275-311.

- HYNES (H.B.N.), 1975 - The stream and its valley. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19, 1-15.
- ILLIES (J.), 1964 - The invertebrate fauna of the Huallaga, a peruvian tributary of the Amazon River, from the sources down to Tingo Maria. *Verh. internat. Verein. Limnol.*, 12 : 1-57.
- ILLIES (J.) & BOTOSANEANU (L.), 1963 - Problème et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 12, 1-57.
- KING (J. M.), DE MOOR (F.C.) & CHUTTER (F.M.), 1992 - Alternative ways of classifying rivers in Southern Africa. In *River Conservation and management* édité par P.J. Boon, P. Calow et G.E. Petts. J. Wiley and sons Ltd., 213-228.
- LEVEQUE (C.), DEJOUX (C.) & ILLIES (J.), 1983 - Limnologie du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*, 100 : 113-141.
- MINSHALL (G. W.), PETERSEN (R. C.), CUMMINS (K.W.), BLOTT (T. L.), SEDELL (J. R.), CUSHING (C.E.) & VANNOTE (R.L.), 1983 - Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecol. Monogr.*, 51, 1-25.
- MINSHALL (G.W.), CUMMINS (K.W.), PETERSEN (R.C.), CUSHING (C.E.), BRUNS (D.A.), SEDELL (J. R.) & VANNOTE (R.L.), 1985 - Developpements in stream ecosystem theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.*, 42, 1045-1055.
- QUILLEVERE (D.), 1979 - Contribution à l'étude des caractéristiques taxonomiques, bioécologiques et vectrices des membres du complexe *Simulium damnosum* présents en Côte d'Ivoire. *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 109, 304 pp.
- QUILLEVERE (D.), GUILLET (P.) & SECHAN (Y.), 1981 - La répartition géographique des espèces du complexe *Simulium damnosum* dans la zone du projet Sénégal. *Cah. ORSTOM, ser. Ent. méd. et Parasitol.*, 19 (4), 303-309.
- STATZNER (B.), 1984. - Keys to adult and immature Hydropsychinae in the Ivory coast (West Africa) with notes on their taxonomy and distribution. *Spixiana*, 7 (1) : 23-50.
- STATZNER (B.) & HIGLER (B.), 1985 - Questions and comments on the River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.*, 42, 1038-1044.
- STATZNER (B.) & HIGLER (B.), 1986 - Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation pattern. *Freshwater Biol.*, 16, 127-139.
- VANNOTE (R.L.), MINSHALL (G.W.), CUMMINS (K.W.), SEDELL (J.R.) & CUSHING (C.E.), 1980 - The River Continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.*, 37, 130-137.
- VERNEAUX (J.), 1976 - Biotypologie de l'écosystème "eau courante". La structure biotypologique. *C.R. Acad. Sc. Paris, série D.*, 283, 1663-1666.
- WALSH (J. F.), MOLYNEUX (D.H.) & BIRLEY (M.H.), 1993 - Deforestation : effects on vector-borne disease. *Parasitology*, 106, S55-S75.
- WASSON (J.-G.), 1989 - Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes : 1. Revue critique de quelques approches existantes. *Bull. Ecol.*, 20 (2), 109-127.

WINTERBOURN (M.J.), ROUNICK (J. S.) & COWIE (B.), 1981 - Are New Zealand stream ecosystems really different ? *New Zealand J. Mar. Freshwater Res.*, 15, 321-328.

YAMEOGO (L.), ELOUARD (J.-M.) & SIMIER (M.), 1991 - Typologie des entomocénoses

benthiques soumises à des épandages d'insecticides antisimulidiens. *Arch. Hydrobiol.*, 123 (1) : 117-127.

ZWICK (P.), 1992 - Stream habitat fragmentation - a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 1, 80-97.

# GODET

## UN LOGICIEL POUR LA GESTION INFORMATIQUE DE LA BIODIVERSITE

(Fitantanana sy fandrindrana ireo fahalalana momban' ny zavamanan'aina  
sy ny tontolo manodidina azy)

"Logiciel " natao ho amin'ny fitantanana ara-informatika  
ny "Biodiversité",

Jean-Marc ELOUARD  
François-Marie GIBON

### RESUME :

L'ORSTOM développe depuis plusieurs années, le logiciel **GODET** (**G**estion et **O**rganisation des **D**onnées **E**cologiques et **T**axinomiques) conçu pour gérer dans la même base relationnelle, l'ensemble des données nécessaires à la réalisation d'un travail écologique, à savoir des références bibliographiques, des fiches taxinomiques, l'iconographie des taxons et des données de terrain. Les différents fichiers sont interactifs soit directement, soit par l'intermédiaire de routines et permettent de ce fait la création de bases de connaissances intégrées, sur de multiples sujets.

### FAMINTINANA :

Efa aman-taona maro ny ORSTOM no namakafaka ny "logiciel GODET". Io "logiciel" io no natao dia mba hitantanana ao anatin'ny "base relationnelle" tokana ny fitambaran'ny fahalalana voaangona avy amin'ny fikarohana ka tena ilaina amin'ny fanatanterahana asa momba ny zavamanan'aina sy ny tontolo manodidina azy. Toy izany ireo famantarana sy filazalazana maro ara-bibliografika sy arataksinomika.

Mifandray mivantana na amin'ny alalan'ny fahazarana avokoa ireo filazalazana samihafa ireo (fichiers) izay mitondra araka izany ho amin'ny famoronana "bases" ara-pahalalana mifandraika amina foto-kevitra maro isan-karazany.

## I. PROBLEMATIQUE

Les écologistes de terrain se trouvent confrontés dans l'exploitation de leurs résultats à la gestion de plusieurs catégories d'informations.

- 1) Travaillant sur du matériel biologique, ils sont amenés à identifier les espèces récoltées dans les différents échantillons. Ceci nécessite de posséder un fichier sur la systématique des espèces présentes dans la région dans laquelle ils œuvrent; fichier qui comprend aussi bien des informations systématiques et taxinomiques que biologiques, biogéographiques, éthologiques etc... ainsi que l'iconographie de la morphologie des espèces.
- 2) La constitution de ce fichier d'espèces s'appuie, au moins partiellement, sur des informations documentaires. Il faut donc gérer un fichier de références bibliographiques accessibles selon des critères "bibliographiques" classiques mais également par mots-clés. Il est surtout indispensable de pouvoir sélectionner les références correspondant à un genre ou une espèce donné.
- 3) Les écologistes ont également à gérer un fichier de "terrain" composé de fiches sur lesquelles sont reportées les listes d'espèces capturées ainsi que les différentes informations, biotiques et abiotiques, enregistrées lors de l'échantillonnage. La gestion de ces fiches permet de sélectionner les données correspondant à certains critères d'étude et leur mise automatique en tableaux.
- 4) Ils doivent enfin pouvoir recaler la présence des espèces au sein des informations géographiques et biogéographiques préexistantes.

Cette problématique est ancienne et la majeure partie des écologistes possèdent ces quatre fichiers fondamentaux. En revanche, leur présence simultanée dans la même base relationnelle constitue une approche nouvelle et permet une exploitation interactive des informations contenues dans

ces fichiers liés, mais de conception très différente.

Il est ainsi possible d'avoir en quelques secondes, toutes les informations taxinomiques, bibliographiques, iconographiques, biogéographiques (cartographie thématique des distributions incluse) et écologiques pour une espèce sélectionnée.

## II. LE LOGICIEL GODET

Le logiciel GODET permet de gérer dans la même base relationnelle des données bibliographiques, des fiches taxinomiques et des données de terrain; ces différentes informations sont interactives soit directement, soit par l'intermédiaire de routines (cf. structure).

### II.1. Données bibliographiques

Le fichier [FICHES BIBLIO] est constitué d'enregistrements classiques avec un accès multicritère dans la sélection des fiches. La rubrique Espèce TXT de ce fichier permet d'accéder rapidement à l'ensemble des fiches bibliographiques concernant un ordre, une famille, un genre ou une espèce donné.

Ce fichier est lié à un fichier d'adresses facilitant l'envoi du courrier aux auteurs.

Le nombre de formats d'édition n'est pas limité et permet, entre autres, d'éditer les références selon les exigences des différentes revues, ainsi que d'imprimer demandes de tirés-à-part et enveloppes.

### II.2. Données Systématiques

Le fichier [SYSTEMATIQUES] gère toutes les informations concernant la classification des organismes, depuis le phylum jusqu'à la sous-espèce ou variété.

Ce fichier intègre également les *synonymes* (anciens noms et synonymes) ce qui facilite une recherche bibliographique complète pour une espèce, sur son nom actuel et sur ses synonymes.

L'ensemble des *spécimens* correspondant à une espèce est également pris en compte, que ce soit les spécimens récoltés lors d'une étude (couplage avec le fichier écologique) ou les spécimens déposés dans les musées et centres de recherche.

L'iconographie intégrée présente les différents dessins correspondant à chaque espèce soit séparément, soit sous forme de planches synthétiques automatiquement constituées.

Un module spécial couplé au fichier écologique, permet la représentation cartographique (sommaire) de la distribution des espèces.

### II.3. Données écologiques

Il s'agit d'un fichier de terrain organisé en quatre niveaux :

1- *Le Fichier [STATION CAPTURE]* : il correspond à la localisation dans l'espace de l'échantillonnage (= fichier **x, y, z** : latitude, longitude, altitude), et aux paramètres "immuables" à l'échelle de l'étude (géologie, pédologie, couvert végétal etc...);

2- *Le Fichier [JOUR PRELEVE]* : il comprend les enregistrements faits pour une date donnée sur une station donnée (= fichier **x, y, z, t** : latitude, longitude, altitude, **temps**), c'est-à-dire les paramètres dépendant de la date de prélèvement (conditions météorologiques, hydrologiques etc.).

3- *Le Fichier [METHODES]* : il intègre les différentes méthodes d'échantillonnage sur une station donnée, un jour donné (= Fichier **x, y, z, t, m** : latitude, longitude, altitude, temps, **méthode**);

4- *Fichier [LECH\_SP]* : il est constitué des listes d'espèces capturées sur une station, un jour donné par une des méthodes. Le programme génère ensuite automatiquement les listes récapitulatives d'espèces pour un jour ou une station donnée. Il permet également des sélections multicritères de fiches aux quatre niveaux; sélection du type "quelles sont les fiches comprises entre telle et telle altitude (longitude, latitude), telle et telle date, échantillonnée par telle méthode et contenant telle famille (genre, espèces)? Une liste d'espèces synthétisant les listes des fiches sélectionnées est automatiquement générée par le programme.

Des procédures permettent l'exportation ou l'importation de tous les types de données.

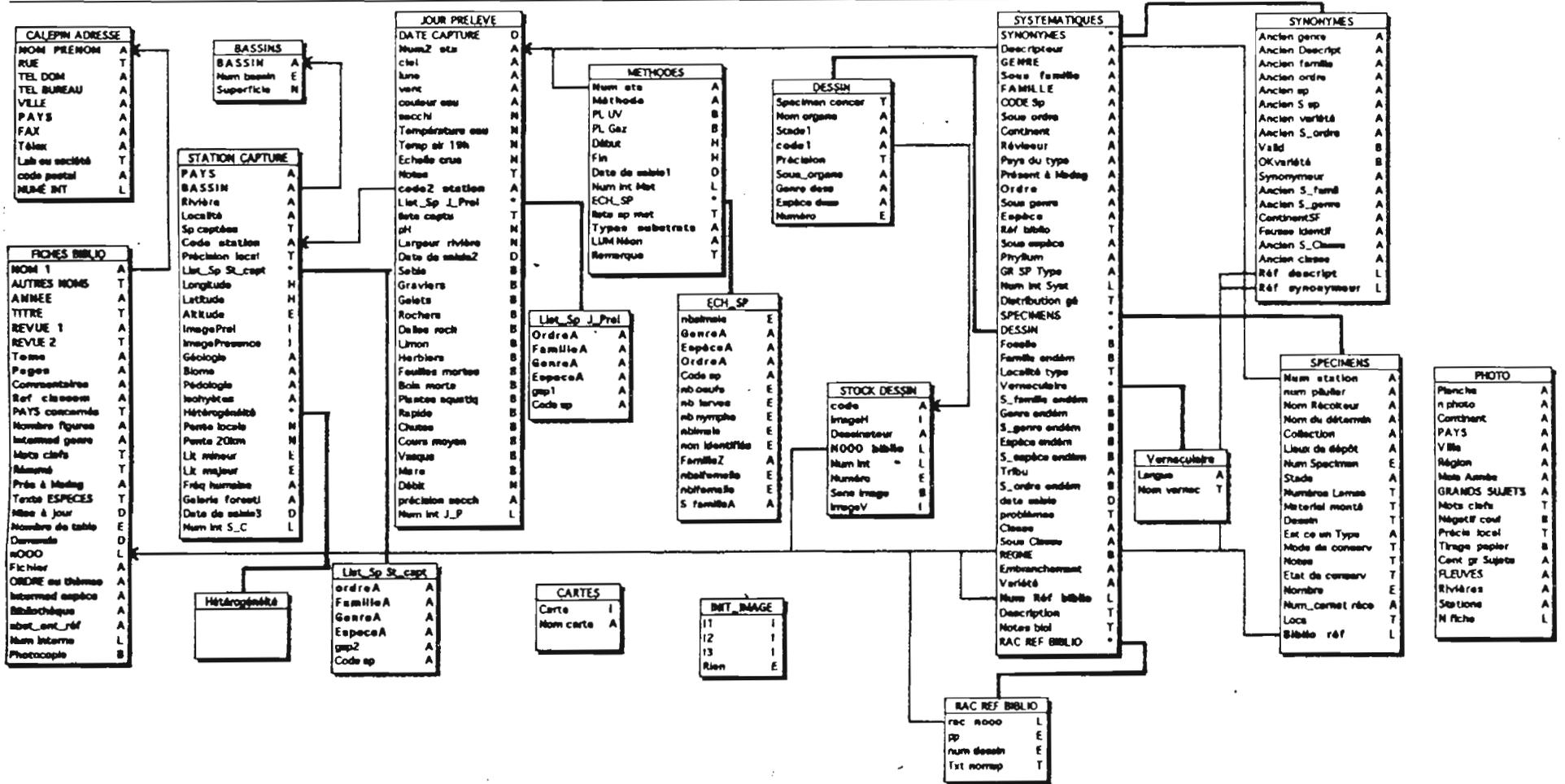
### III. MATERIEL NECESSAIRE

Le logiciel Godet<sup>1</sup> est greffé sur le logiciel de base de données relationnelle 4ème Dimension (ACI). Il nécessite de posséder un ordinateur MacIntosh de configuration minimale 4/40. L'utilisation du fichier des dessins nécessite en revanche une configuration plus évoluée (16/250).

---

<sup>1</sup> Ce logiciel GODET est enregistré à l'Agence pour la Protection des Programmes sous le numéro 94 - 42-001-00

Structure de GODET



**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<sup>ème</sup>, 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<sup>ème</sup>. 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'ORSTOM<sup>1</sup>, le CNRE<sup>2</sup> et le CNRS<sup>3</sup> 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 FTM<sup>4</sup>, 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>

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

<sup>2</sup>CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement.

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

<sup>4</sup>FTM : 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<sup>ème</sup>. 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.)

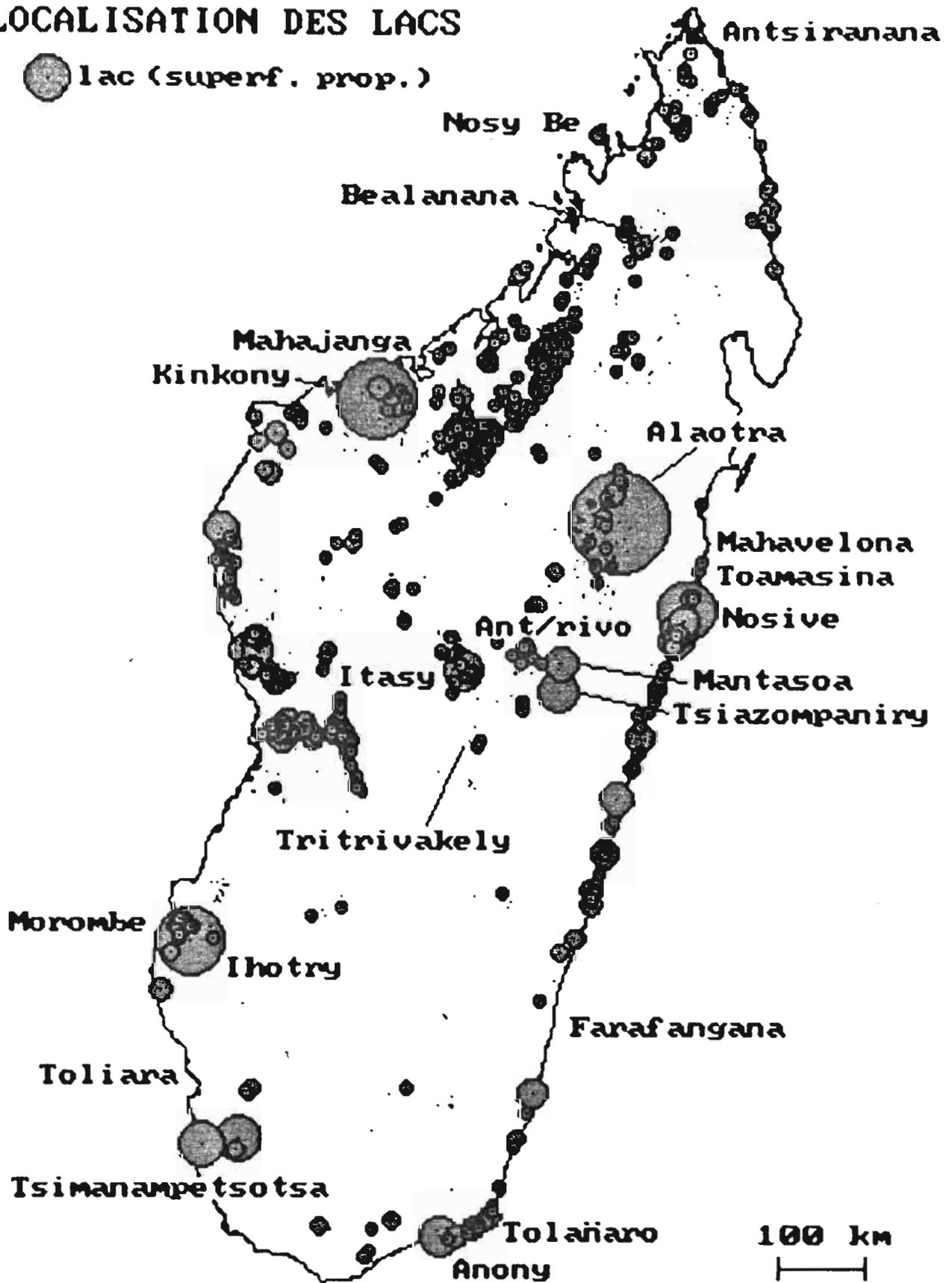


Fig. 1

- 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 recourent 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 climatologiques (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.

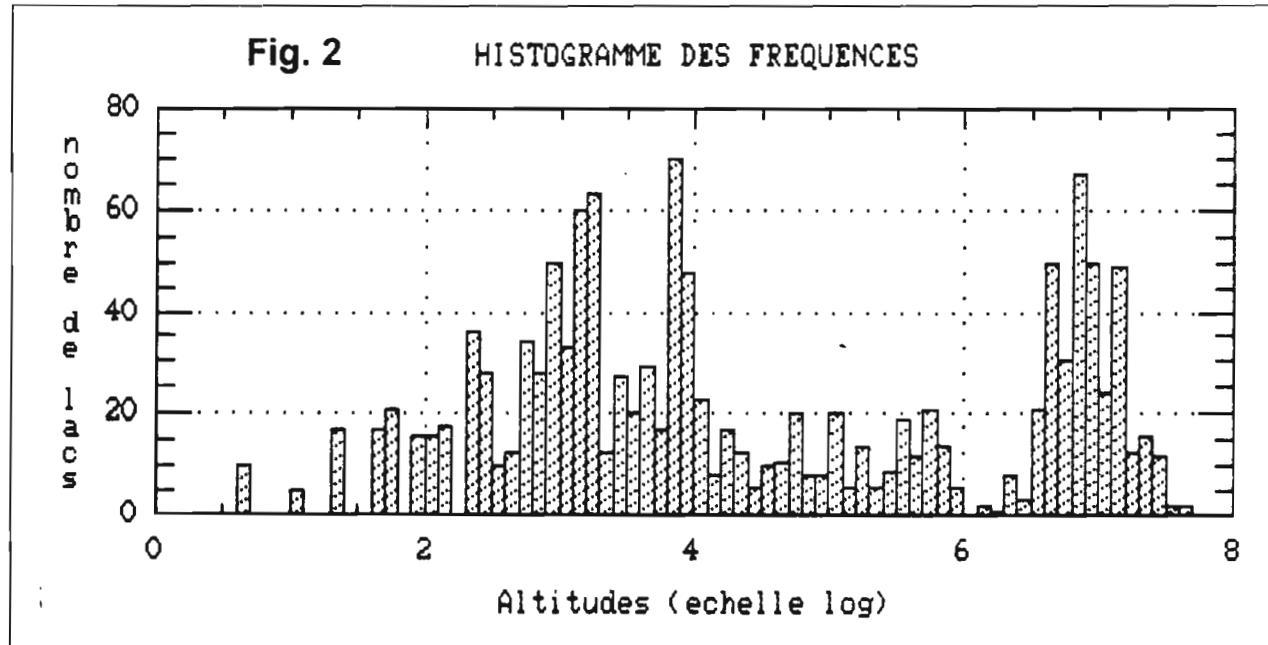
## IV. DÉNOMBREMENT, SUPERFICIE ET FORME :

### 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  $s$ .



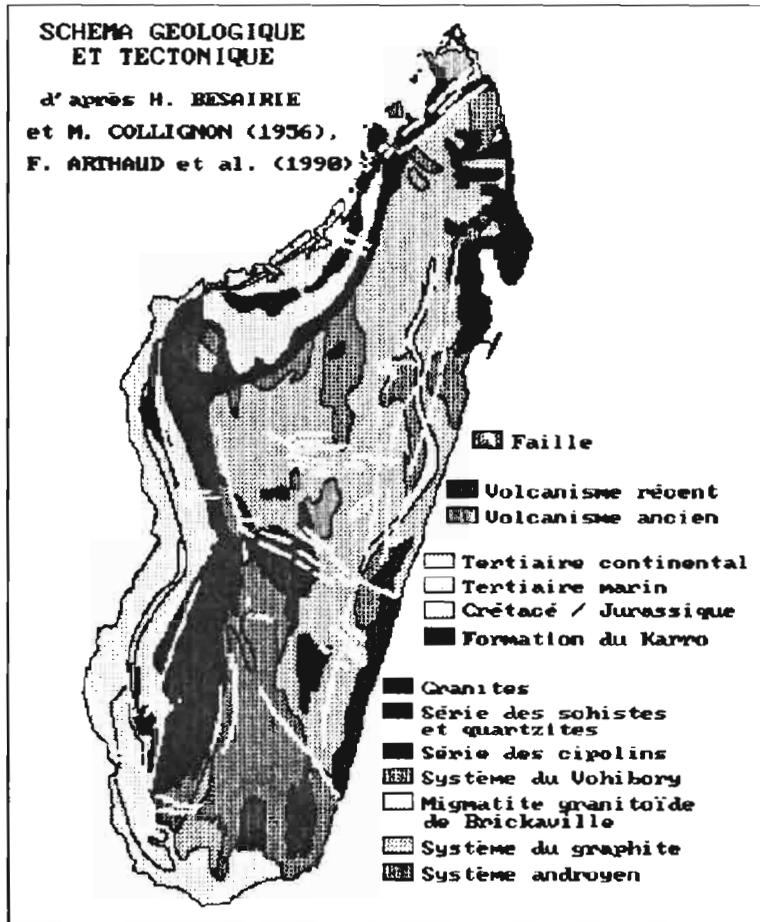


Fig. 3a

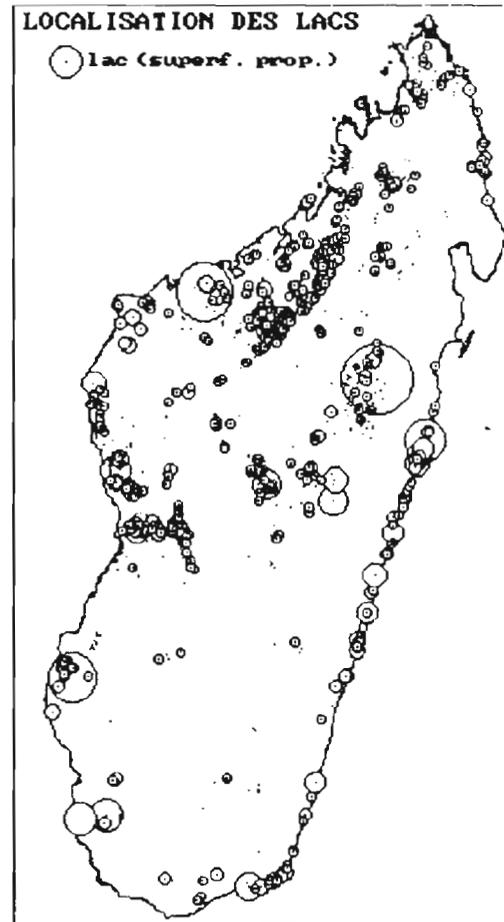


Fig. 3b

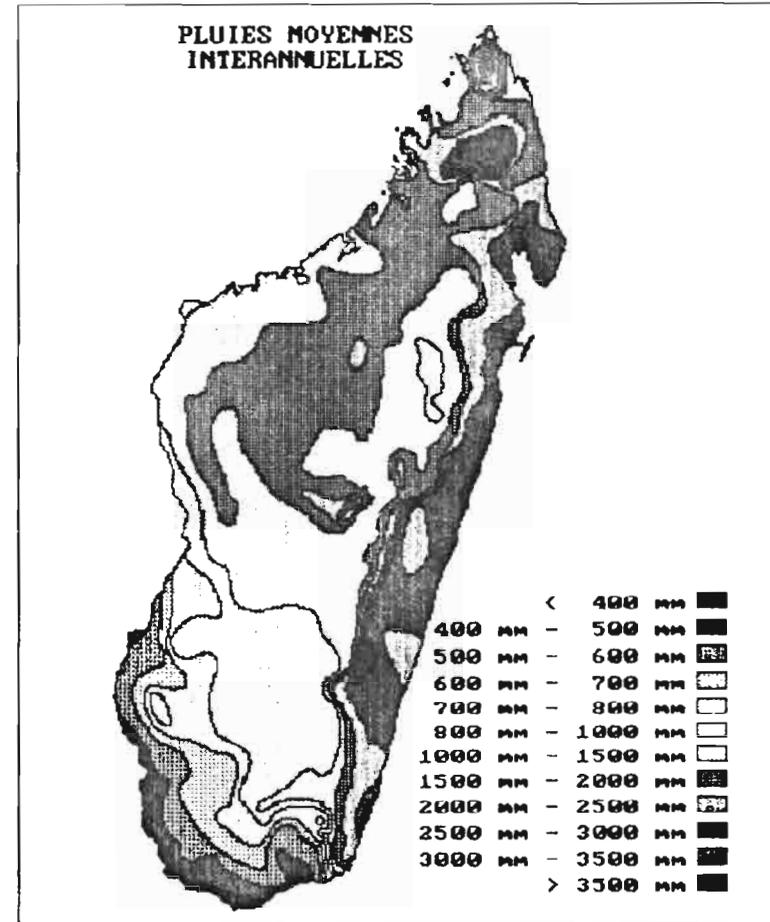


Fig. 3c

L'échantillonnage de 1300 lacs numérisés à partir des cartes au 1/1000000<sup>ème</sup> de Madagascar ont des superficies comprises entre 1 hectare et 231 km<sup>2</sup>. 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 km<sup>2</sup> avec comme fonction :

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

s (en km<sup>2</sup>) ∈ [0.26,8.0]  
R<sup>2</sup>= 0.99

Les 30 lacs dont la superficie est supérieure à 8 km<sup>2</sup> semblent suivre une loi différente :

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

s (en km<sup>2</sup>) ∈ [8.0,231.0]  
R<sup>2</sup> = 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 km<sup>2</sup> ne suivent pas une telle loi. Cela peut s'expliquer par le fait qu'à l'échelle du 1/100 000<sup>ème</sup>, 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<sup>ème</sup> 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 km<sup>2</sup>.
- L : longueur du grand axe en km.
- l : périmètre du lac en km.
- Spc : superficie du polygone convexe en km<sup>2</sup>.

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 <sup>2</sup>	fréquences (S>s)	superficies cumulées en km <sup>2</sup>
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 m<sup>3</sup> à 14 millions de m<sup>3</sup>. 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 Île, fait l'objet d'une autre communication : "Histoire des lacs et paléoclimats à Madagascar" (F. GASSE et L. FERRY).

## VI. CONCLUSION

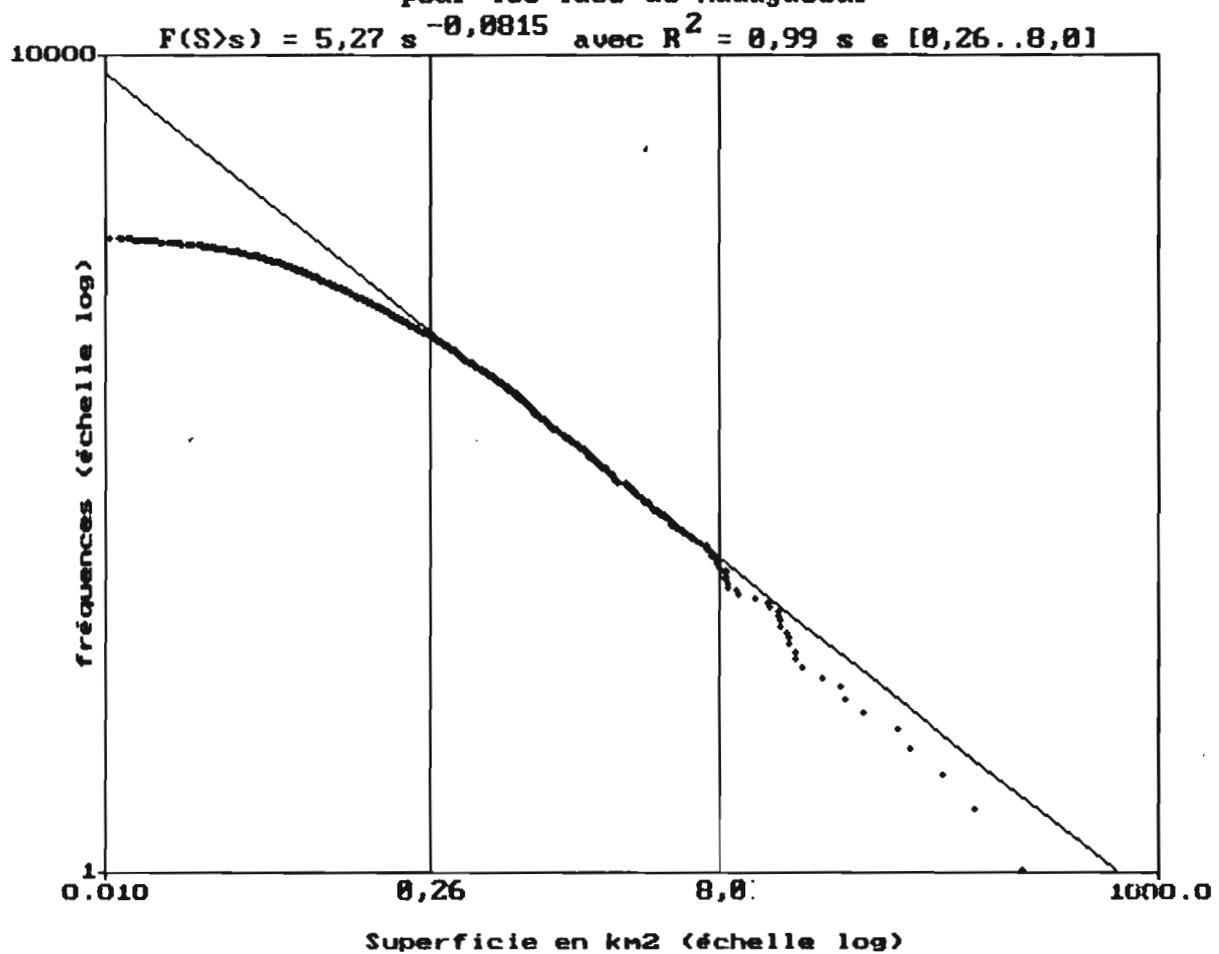
Les résultats qui ont été présentés ne marquent qu'une étape préliminaire et sont encore incomplets. Il s'agissait de montrer l'importance des milieux lacustres à Madagascar, le potentiel qu'ils représentent pour le développement de la Grande Île et leur intérêt pour la recherche.

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



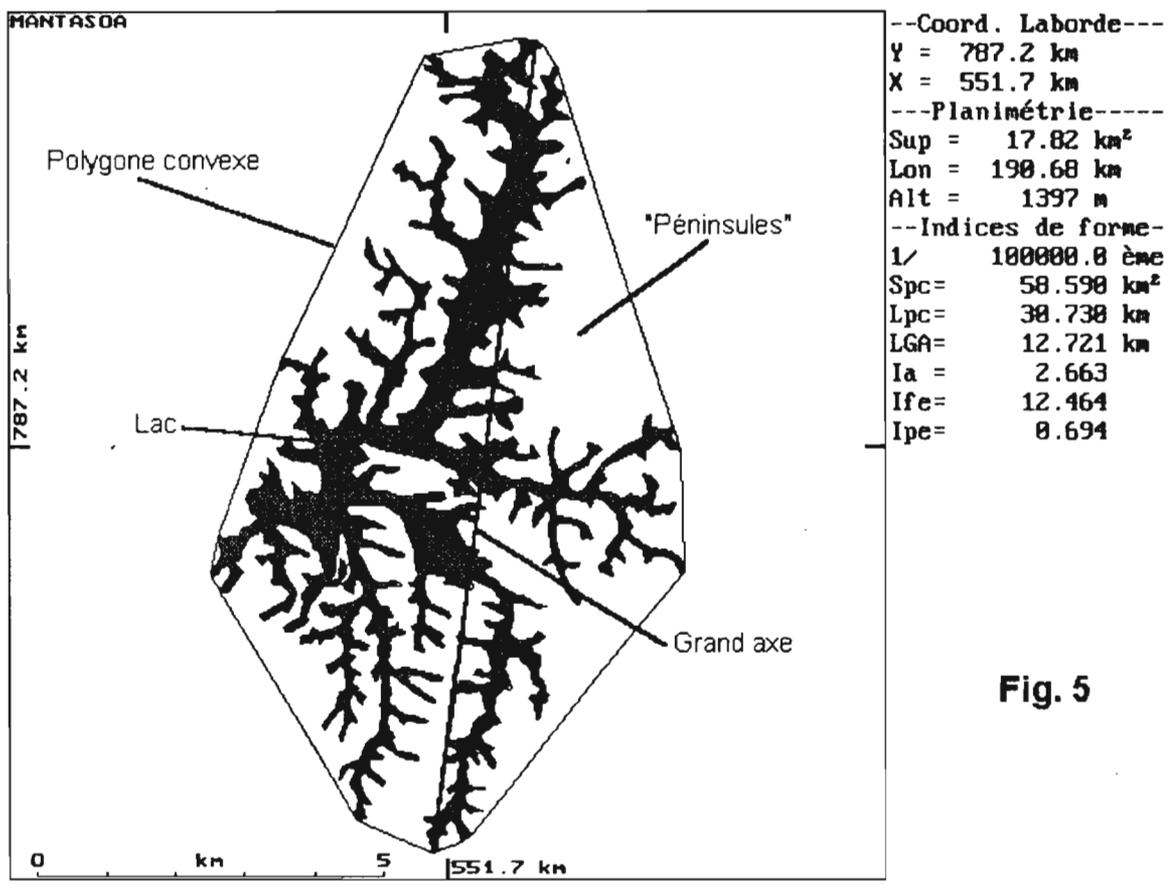


Fig. 5

Histogramme de fréquences de Ia

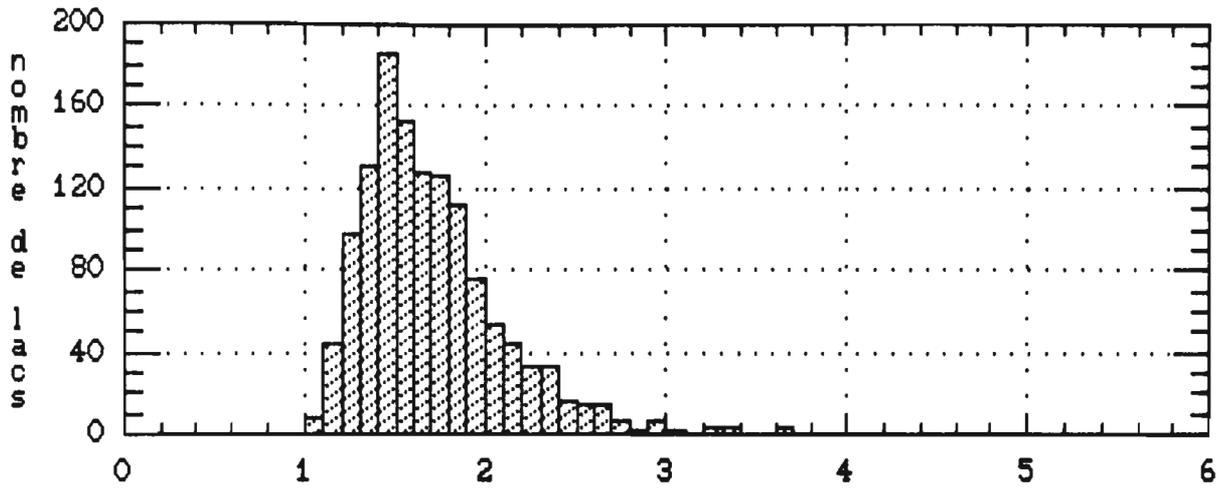


Fig. 6a

valeur de l'indice d'allongement

Histogramme de fréquences de Ife

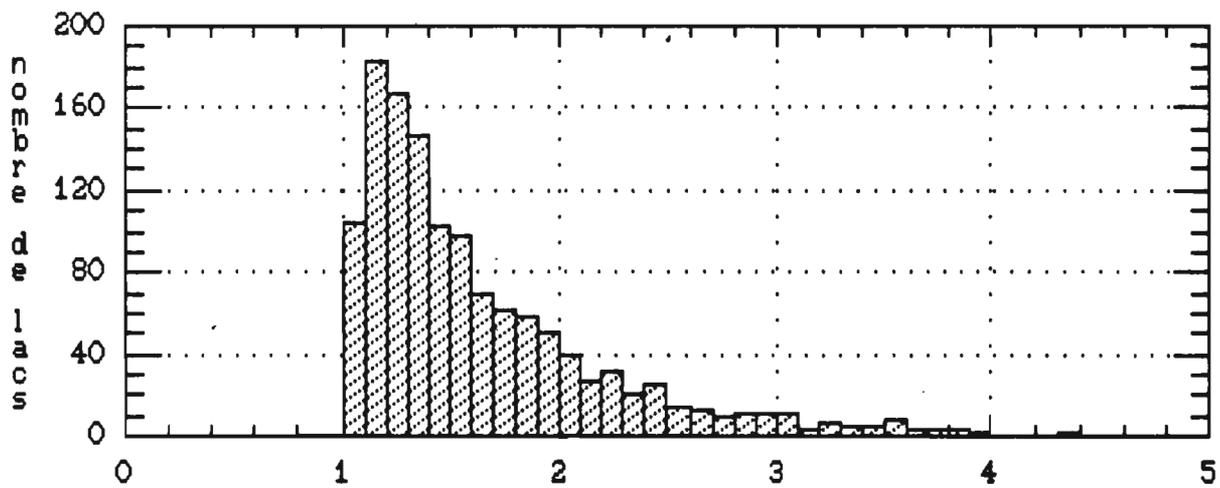


Fig. 6b

valeur de l'indice de festonnement

Histogramme de fréquences de Ipe

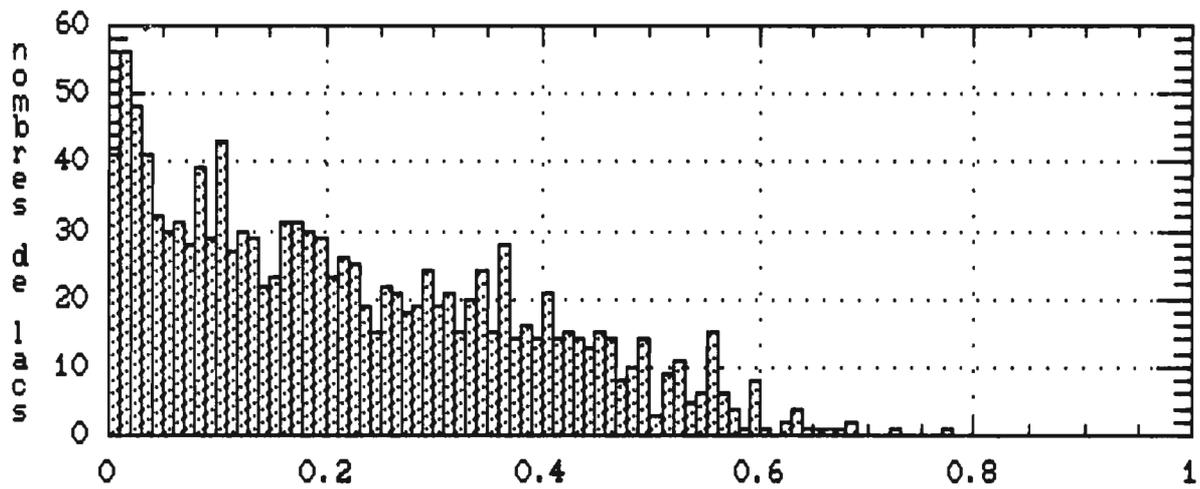
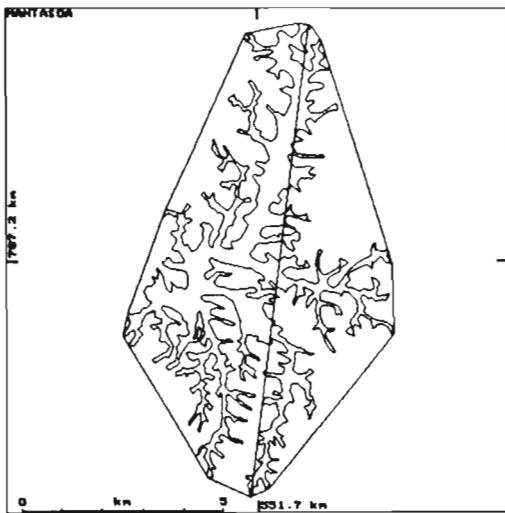


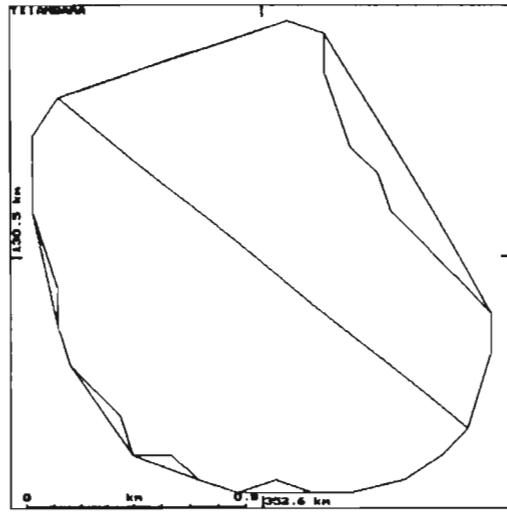
Fig. 6c

valeur de l'indice de peninsularite



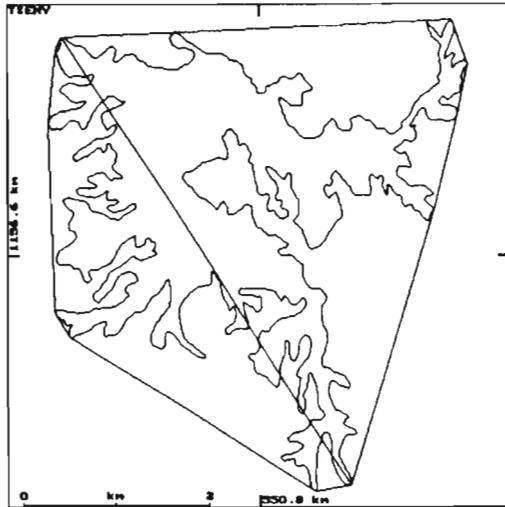
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 14---  
**PANTASDA**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 787.2 km  
 X = 551.7 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 17.82 km<sup>2</sup>  
 Lon = 190.68 km  
 Alt = 1397 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 58.598 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 30.730 km  
 LGA = 12.721 km  
 Ia = 2.663  
 Ife = 12.464  
 Ipe = 0.694

Fig. 7a



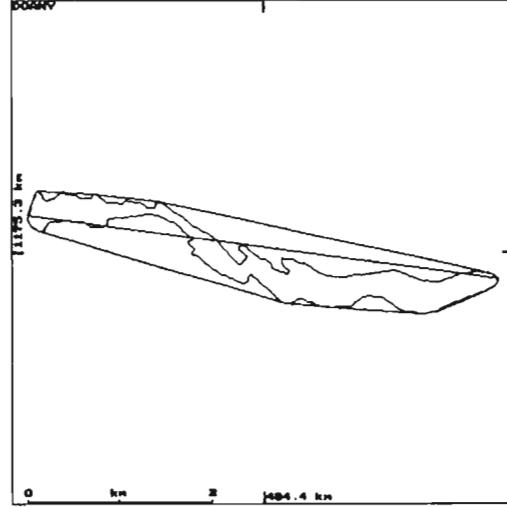
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 99---  
**TETABARA**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 130.5 km  
 X = 352.6 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 2.31 km<sup>2</sup>  
 Lon = 5.89 km  
 Alt = 10 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 500000.0 éac  
 Spc = 2.458 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 5.705 km  
 LGA = 2.062 km  
 Ia = 1.282  
 Ife = 1.094  
 Ipe = 0.060

Fig. 7e



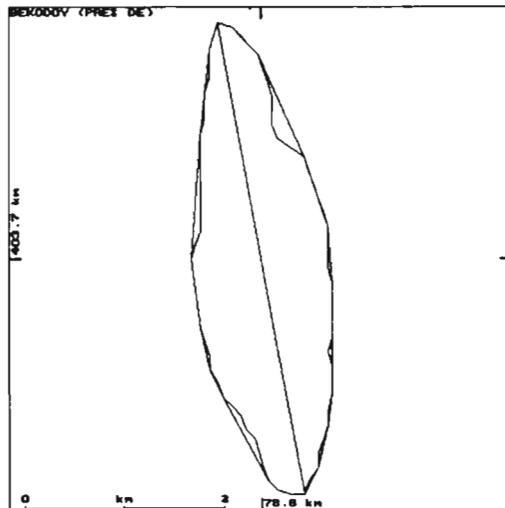
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 30---  
**TSENY**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 1156.6 km  
 X = 550.8 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 8.74 km<sup>2</sup>  
 Lon = 60.38 km  
 Alt = 40 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 19.883 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 17.572 km  
 LGA = 6.211 km  
 Ia = 1.062  
 Ife = 5.762  
 Ipe = 0.561

Fig. 7b



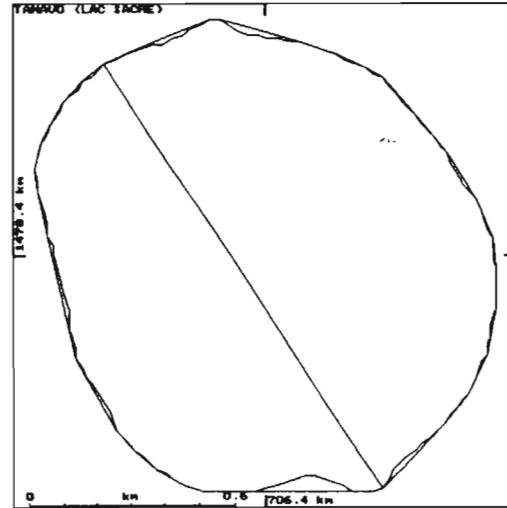
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 132---  
**DOHRY**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 1175.3 km  
 X = 404.4 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 1.62 km<sup>2</sup>  
 Lon = 13.73 km  
 Alt = 20 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 3.669 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 11.640 km  
 LGA = 5.541 km  
 Ia = 3.856  
 Ife = 3.041  
 Ipe = 0.558

Fig. 7f



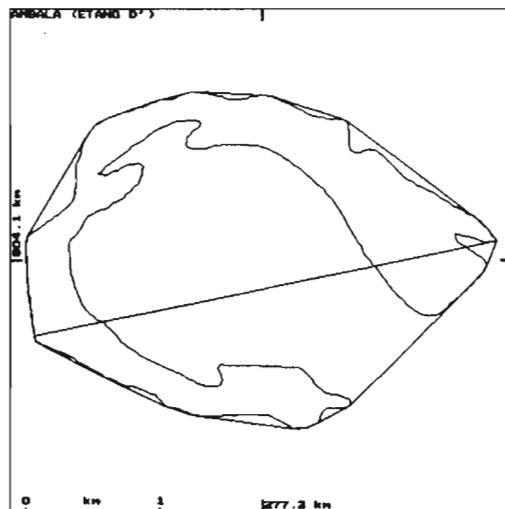
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 40---  
**BEKODDY (PRES DE)**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 483.7 km  
 X = 78.8 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 5.28 km<sup>2</sup>  
 Lon = 11.32 km  
 Alt = 14 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 500000.0 éac  
 Spc = 5.542 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 11.141 km  
 LGA = 5.188 km  
 Ia = 2.001  
 Ife = 1.389  
 Ipe = 0.047

Fig. 7c



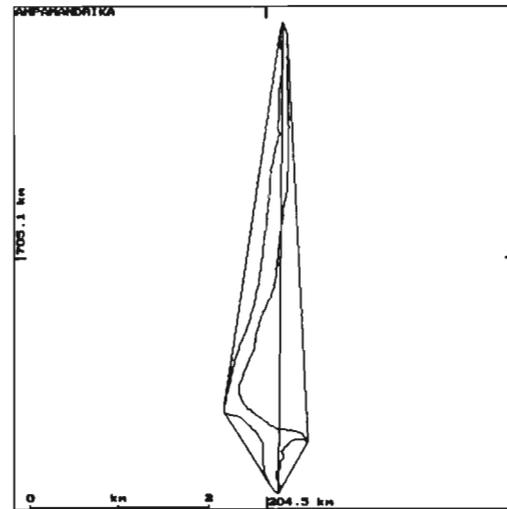
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 133---  
**YAPAU (LAC SACRE)**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 1478.4 km  
 X = 706.4 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 1.62 km<sup>2</sup>  
 Lon = 4.70 km  
 Alt = 375 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 1.649 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 4.628 km  
 LGA = 1.589 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 km<sup>2</sup>  
 Lon = 18.47 km  
 Alt = 107 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 7.438 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 10.161 km  
 LGA = 3.838 km  
 Ia = 1.929  
 Ife = 2.955  
 Ipe = 0.582

Fig. 7d



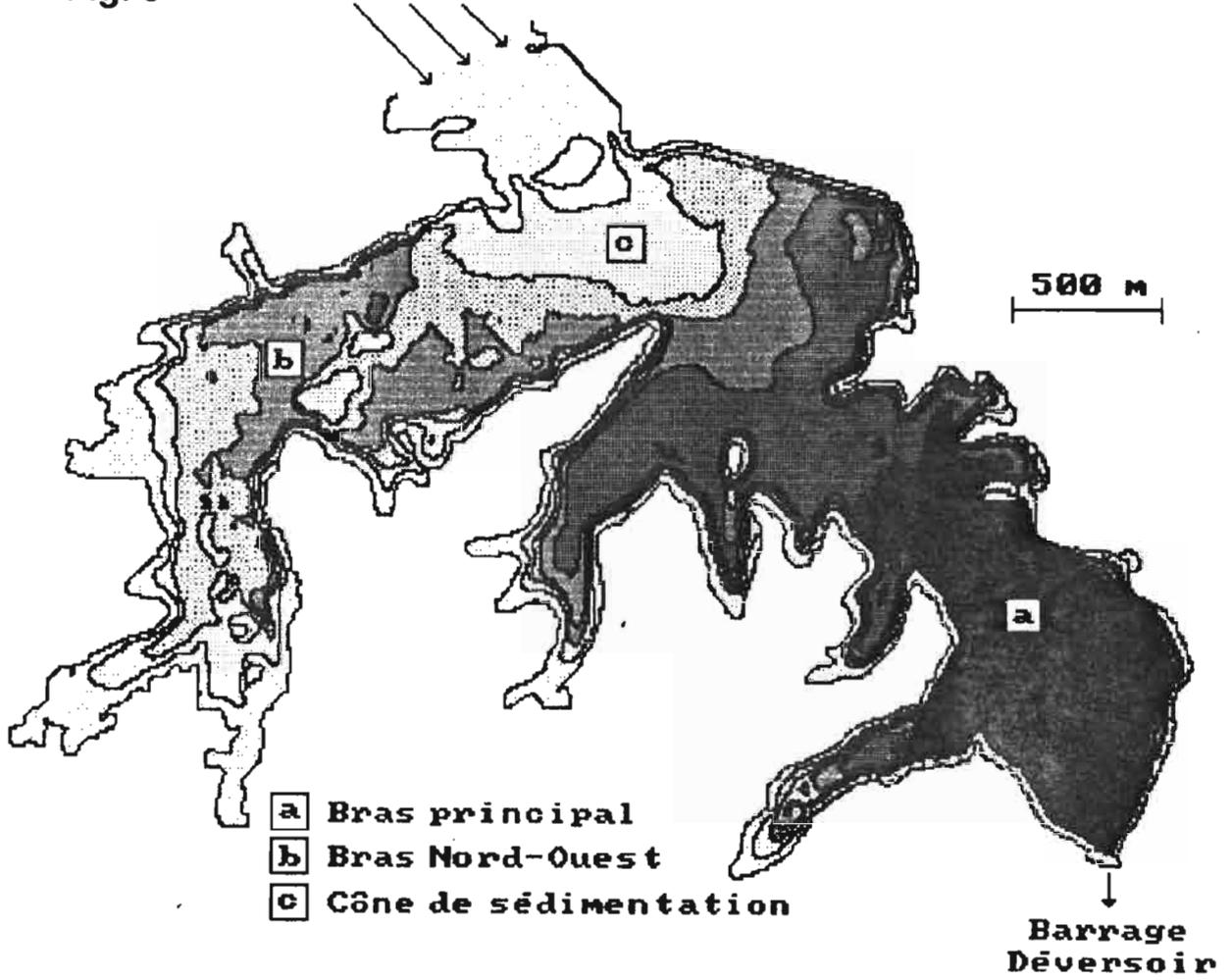
MALACCA 0.2  
 ---LAC n° 210---  
**AMPAPANDRITKA**  
 ---Coord. Laborde---  
 Y = 705.1 km  
 X = 204.5 km  
 ---Planimétrie---  
 Sup = 0.96 km<sup>2</sup>  
 Lon = 12.69 km  
 Alt = 7 m  
 ---Indices de forme---  
 I/ 100000.0 éac  
 Spc = 3.090 km<sup>2</sup>  
 Lpc = 11.661 km  
 LGA = 5.640 km  
 Ia = 5.106  
 Ife = 3.658  
 Ipe = 0.690

Fig. 7h

Fig. 8

Riv. Sahamaloto

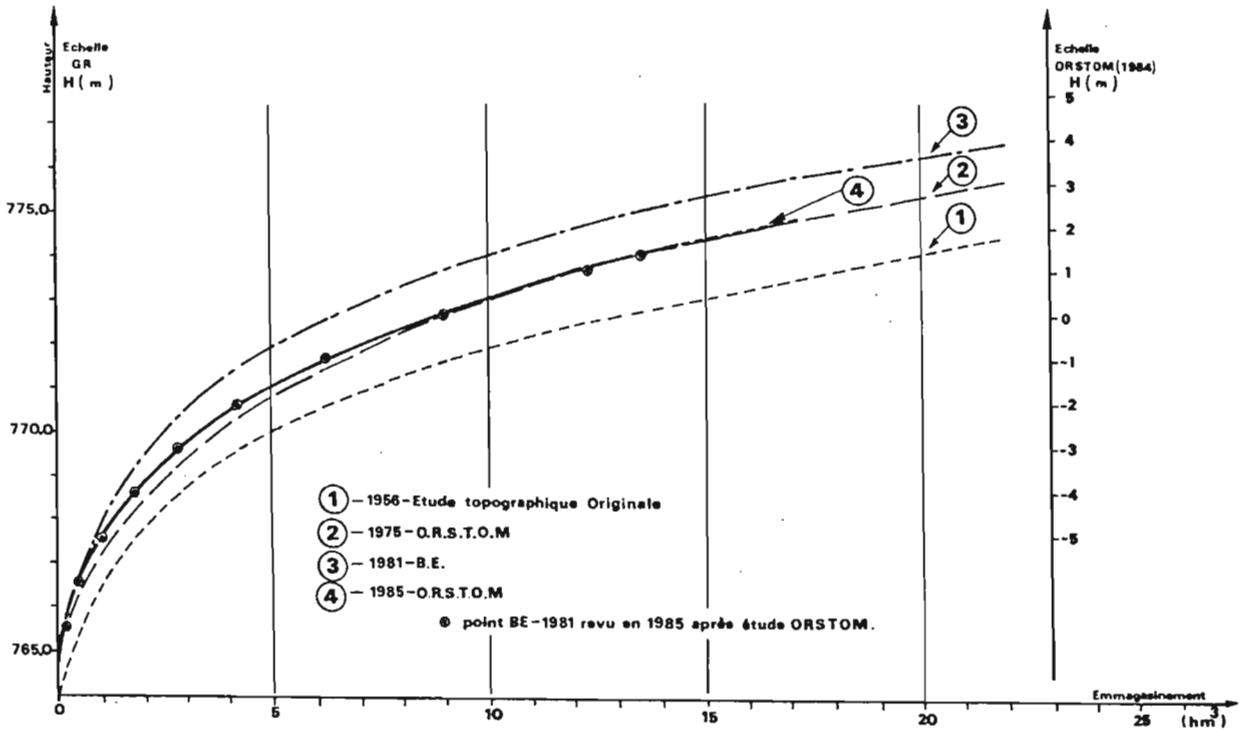
RETENUE DE SAHAMALOTO



- a** Bras principal
- b** Bras Nord-Ouest
- c** Cône de sédimentation

Fig. 9

Retenue de Sahamaloto - Courbes de capacité



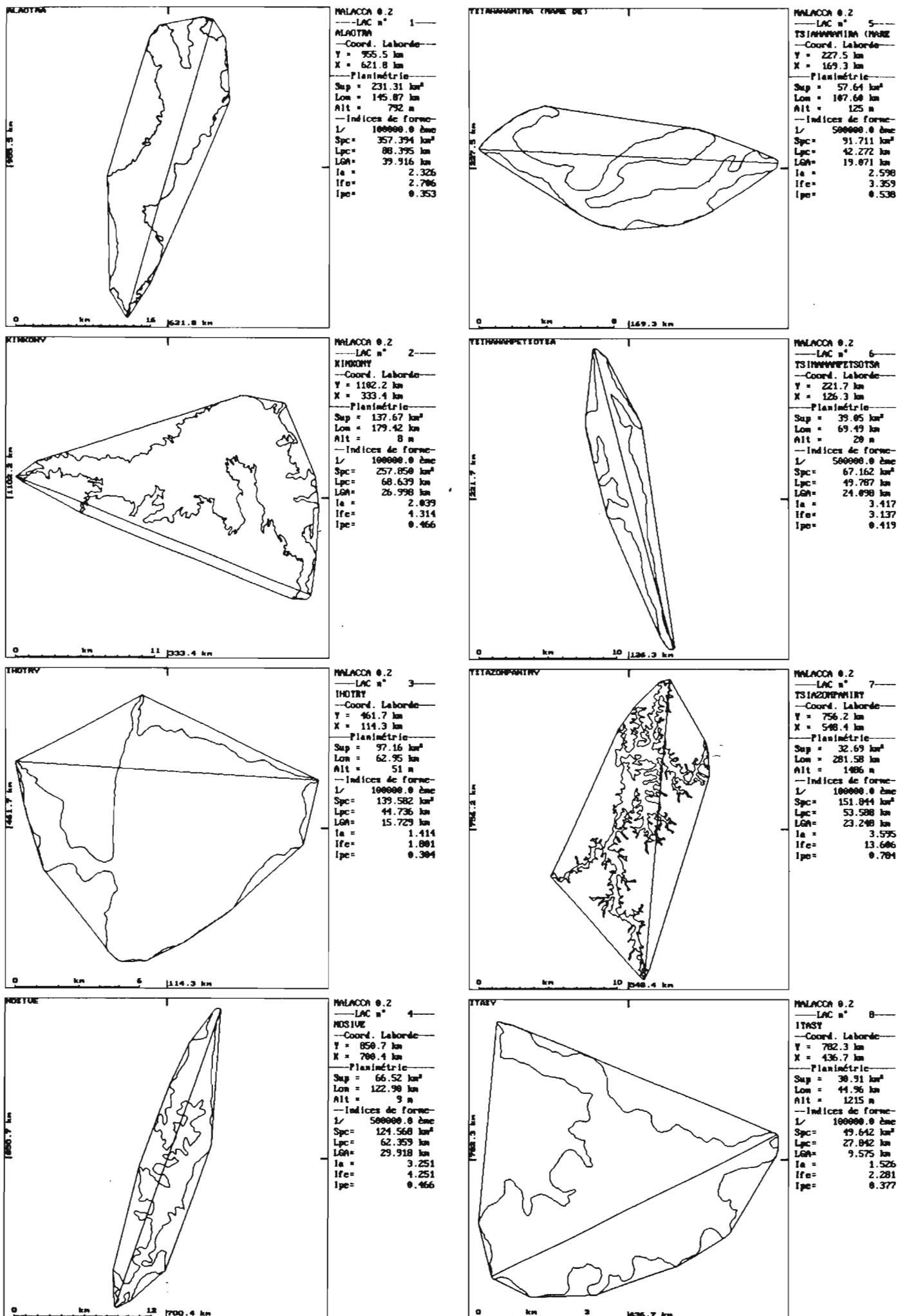


Fig. 10 : LES GRANDS LACS DE MADAGASCAR

## 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

# **BILAN DES EAUX, TYPOLOGIE DES BAS-FONDS, EROSION ET MODELISATION SUR DES BASSINS EMBOITES DES HAUTES TERRES DE MADAGASCAR**

Béatrice DUSSARRAT  
Luc FERRY

## **RESUME :**

Les résultats d'une étude multidisciplinaire, géomorphologique, tectonique, hydroclimatologique et hydrogéologique réalisée de 1991 à 1993 dans la région d'Antananarivo (Hautes Terres de Madagascar) sont présentés. Les différents réservoirs aquifères de la région de Mahitsy sont décrits. La présence d'une néotectonique encore active influence le modelé de surface et conditionne la géométrie des aquifères et le fonctionnement hydrologique des bassins versants. Un accent particulier est donné aux ressources en eaux souterraines et à leur gestion ainsi qu'à la protection des bassins versants et des bas-fonds rizicoles.

## **FAMINTINANA :**

Ny vokatry ny fikarohana "multidisciplinaire", "géomorphologique", "tectonique", "hydroclimatologique" ary "hydrogéologique" natao tamin'ny faritra iray teto Antananarivo (afovoantany malagasy) dia efa naseho ny be sy ny maro. Ireo "réservoirs aquifères" samihafa na adika tsotsotra hoe sinibe mpitahiry ny rano ambanin'ny tany tao amin'ny faritry Mahitsy, fivondronana Ambohidratrimo dia novelabelarina tamin'ny antsipirihiny. Ny fisian'ny "néotectonisme" na adika hoe ny fihetsehin'ny tany izay mbola mitohy ankehitriny dia mandray anjara amin'ny firafitry ny nofo-tany, mametra ny bikan'ireo sinibe ireo sy ny "fonctionnement hydrologique" ny "bassins versants". Notsindriana kokoa ny momba ny rano ambanin'ny tany, ny fitantanana azy ary koa ny fiarovana ny "bassins versants" sy ny "bas-fonds" na adika hoe lembalemba fambolem-bary.

## AVANT PROPOS

Sur les Hautes Terres de Madagascar, les ressources en eau semblent, a priori, suffisamment abondantes. Toutefois, dans la région d'Antananarivo, la demande en eau à usage domestique, pour l'irrigation (essentiellement la riziculture) et l'industrie est telle que des problèmes pourraient se poser à terme.

De 1987 à 1989, une étude multidisciplinaire (agronomie, géomorphologie, hydrologie, hydrogéologie, tectonique) menée dans le cadre d'un programme FOFIFA<sup>1</sup>/CNRS<sup>2</sup>/ CIRAD<sup>3</sup> a été réalisée sur le site expérimental d'Ambohitrakoho, situé à environ 30 km au NW d'Antananarivo. L'objectif scientifique de cette étude était de réaliser un bilan hydrique et minéral d'une "unité bas-fond" (130 ha) qui semblait représentative de la région. Les résultats ont été présentés en décembre 1991, à Antananarivo lors de la tenue du colloque international "Bas-fond et riziculture".

Dans le domaine de l'hydrogéologie et de la tectonique, les résultats ont dépassé la simple application agronomique qui en était l'objectif essentiel. La mise en évidence d'un système aquifère bicouche et d'une tectonique récente dans la région d'Antananarivo est apparue d'un grand intérêt pour la connaissance des eaux souterraines de cette région, ressource peu étudiée jusqu'à présent.

Le programme CNRE/ORSTOM<sup>4</sup> "Bilan des eaux, typologie des bas-fonds, érosion et modélisation sur des bassins emboîtés des Hautes Terres de Madagascar" mené entre 1991 et 1993 a permis d'étendre ces résultats préliminaires à une zone plus vaste de 140 km<sup>2</sup> située dans la région de Mahitsy et incluant le bas-fond d'Ambohitrakoho précédemment étudié. Les principaux résultats de cette étude multidisciplinaire (morphotectonique, hydrologique, hydrogéologique) sont donnés dans cette note.

---

<sup>1</sup> FOFIFA : Centre National de la Recherche Agronomique Appliquée au Développement Rural.

<sup>2</sup> CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

<sup>3</sup> CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

<sup>4</sup> ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

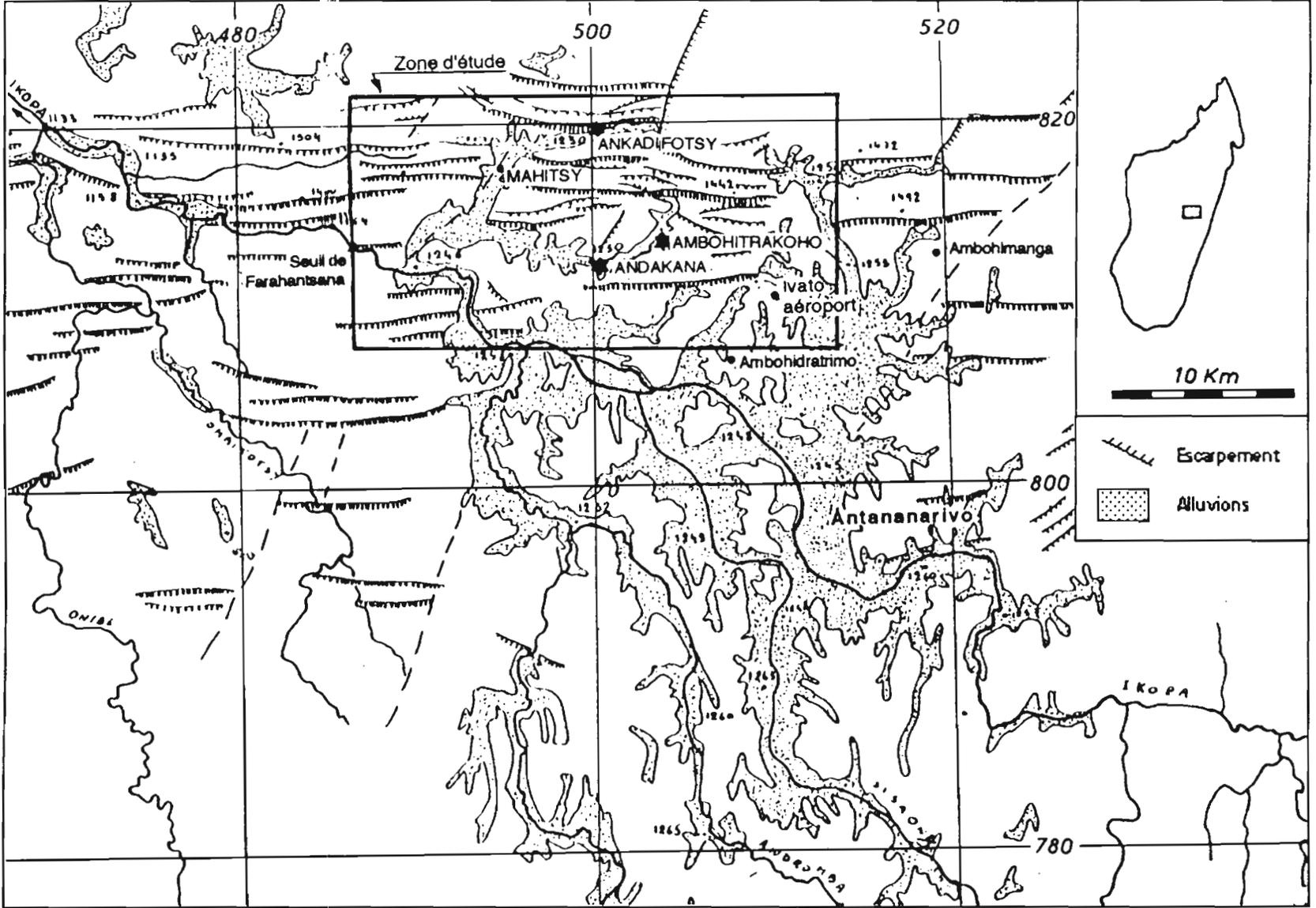


Fig. 1 : Région d'Antananarivo (d'après F. Arthaud et al., 1991)

## I . OBJECTIFS DE L'ETUDE

- confronter la connaissance du fonctionnement hydraulique d'une unité témoin à celle d'unités emboîtées de dimension croissante ;
- caractériser les composantes de l'écoulement souterrain et leur interférence avec les eaux de surface ;
- définir l'exploitabilité et la gestion des ressources en eau ;
- orienter la protection et l'aménagement des Hautes Terres de Madagascar vis à vis des phénomènes intenses d'érosion.

## II. METHODOLOGIE

Sur la base d'une description du milieu physique de la zone d'étude (Fig. 1), différentes approches (Fig. 2) ont permis :

- d'identifier et de caractériser les terrains aquifères de la région de Mahitsy : analyse pédologique, géomorphologique et géologique ;
- de déterminer la structure des réservoirs aquifères : analyse morphotectonique et microtectonique (étude des reliefs et des roches en fonction de la fissuration/fracturation des formations géologiques).

Cette dernière approche a également permis :

- de confirmer l'existence d'une tectonique récente sur les Hautes Terres malgaches ;
- de proposer une classification des bas-fonds rizicoles et de montrer qu'il existe une relation entre la tectonique et la reprise d'érosion des bassins versants.

La compréhension du fonctionnement des aquifères, objectif essentiel du programme, repose en grande partie sur les résultats préliminaires obtenus entre 1987 et 1989 sur le site d'Ambohitrakoho, par différentes analyses :

- piézométrique : enregistrement du niveau des nappes en écoulement naturel ;
- physico-chimique : détermination des teneurs en ions majeurs et en éléments isotopiques ;
- hydrodynamique : détermination des propriétés de stockage des aquifères et de l'aptitude des nappes aux écoulements souterrains (pompages d'essai et expérience de Darcy).

Les trois années d'observations supplémentaires réalisées sur tout le bassin de Mahitsy ont permis d'apporter des précisions aux résultats antérieurs et de proposer de nouvelles hypothèses. L'étude repose essentiellement sur une analyse physico-chimique des eaux de source : utilisation de certains ions naturels en solution et de l'oxygène dissous comme indicateurs et traceurs du fonctionnement hydrologique des aquifères. Cette approche a permis de proposer un modèle d'alimentation des différentes nappes, d'identifier et de caractériser différents types de domaines hydrogéologiques dans la région de Mahitsy.

Enfin, l'établissement de bilans hydrologiques sur 5 sous-bassins versants vient confirmer l'ensemble des hypothèses, notamment sur le fonctionnement des aquifères. Les bilans hydrologiques reposent sur une analyse des précipitations et des écoulements de surface et sur l'évaluation de l'évapotranspiration. Ils consistent au niveau d'un bassin versant, à identifier les différents réservoirs, à examiner le cheminement de l'eau et à quantifier leur volume suivant le principe de la conservation des masses.

Du point de vue pratique, les résultats de l'étude peuvent être considérés comme des éléments d'aide à la décision des planificateurs et concepteurs pour notamment :

- l'exploitation et la gestion des ressources en eaux (irrigation et alimentation en eau potable)
- la protection et l'aménagement des bassins versants (lutte contre l'érosion) et des bas-fonds rizicoles.

### III. RÉSULTATS

Les résultats des études multidisciplinaires menées sur le site d'Ambohitrakoho et dans la région de Mahitsy ont fait l'objet de nombreuses publications dont les références sont données en annexe.

Nous ne présenterons ici que quelques résultats concernant la géomorphologie du bassin de Mahitsy et l'hydrogéologie de ses réservoirs aquifères.

#### III.1. Géomorphologie de la région de Mahitsy

La morphologie des Hautes Terres de Madagascar a longtemps été considérée comme ne dépendant que de la lithologie des roches et du contexte climatologie. Les travaux menés dans la région de Mahitsy ont montré que ces facteurs sont insuffisants. Sur les Hautes Terres, les mouvements d'ensemble d'origine tectonique ont conditionné les modalités de l'érosion et du transport : drainage vers l'Ouest dominant, répartition des zones à érosion dominante sur l'altération.

On rencontre à Madagascar deux phases récentes de tectonique cassante correspondant à deux distensions. La première phase est E-W, la seconde est N-S. Ces deux phases sont bien caractérisées sur la côte ouest et dans la région d'Antsirabe, moins bien sur l'ensemble des Hautes Terres.

La première phase de fracturation affecte, dans l'ouest, les séries carbonatées éocènes (et oligocènes ?). Ses structures guident l'installation des systèmes karstiques anté-oligo-miocènes. Son âge est donc post-éocène et anté-miocène. Il s'agit d'une distension E-W réactivant des failles profondes N20E et N160E en failles à composante normale. Sur les Hautes Terres, des failles, en moyenne N-S, contrôlent le volcanisme précoce de l'Ankaratra, les bassins pliocènes et les morphologies antérieures à la surface d'aplanissement d'âge fini-tertiaire (S.F.T.). La tectonique est caractérisée par la microtectonique au Sud et à l'Est d'Antananarivo, par des microfailles et un tenseur de contraintes antérieures à la tectonique en extension N-S.

La deuxième phase correspond à une

distension N-S qui a été mise en évidence dans plusieurs sites de Madagascar, en particulier dans la région d'Antananarivo par une analyse microtectonique des petites fractures associées aux failles. Cette analyse a permis de caractériser le champ de contraintes (Fig. 3).

L'ensemble des mouvements correspond à un état de contrainte défini par une extension horizontale ( $\sigma_3$ ) en moyenne N-S. Du point de vue de l'âge : on considère qu'elle est actuelle, dans la mesure où les zones dans lesquelles elle est évidente sont également des zones sismiques, et où elle affecte les alluvions les plus récentes (plaine d'Antananarivo). Quant à la fracturation on peut dire qu'elle est d'âge quaternaire récent à actuel car elle est :

- postérieure à la distension E-W (dans plusieurs stations microtectoniques, les stries de la distension N-S recourent celles de la distension E-W) ;
- postérieure à la réalisation de la surface d'aplanissement fini-tertiaire ;
- probablement postérieure aux dépôts de la basse terrasse mis en place pendant le "displuvial vavaténién" défini par F. Bourgeat et daté de -25000 à -10000 B.P. ;
- antérieure à l'installation des dépôts du niveau organique correspondant à un épisode de stabilité bioclimatique situé entre -9000 à -2600 ans (M. Raunet).

Dans la région d'Antananarivo, des mouvements verticaux différentiels liés à la présence de failles accentuent ou diminuent le rôle du soulèvement d'ensemble. La morphologie du bassin de Mahitsy (Fig. 4) dépend principalement de deux facteurs dont les inter-férences se traduisent par des paysages différents.

Le premier facteur est le changement de niveau de base dans la période comprise entre la mise en place de la surface d'aplanissement fini-tertiaire (S.F.T.) et l'installation d'un réseau de bas-fonds à une altitude tendant vers 1250 m NGM, à partir du seuil de l'Ikopa (seuil de Farahantsana).

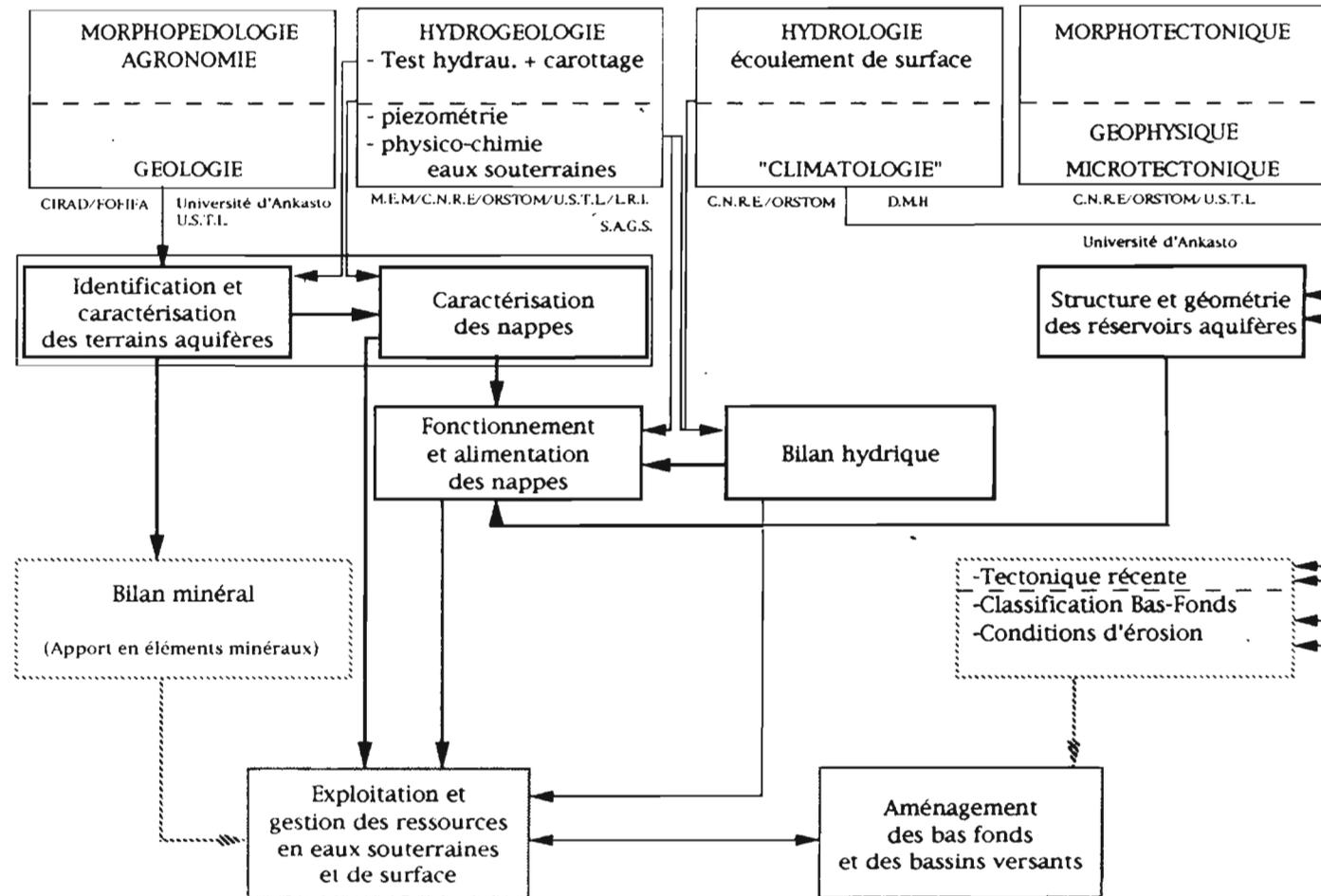


Fig. 2 : Méthodologie de l'étude de la région de Mahitsy.

Le second facteur correspond aux phases récentes de tectonique cassante qui du point de vue géomorphologique se manifeste essentiellement par des mouvements verticaux différentiels de blocs séparés par des failles (ces déplacements n'excluant pas les basculements d'ensemble). Compte tenu du recouvrement altéritique et des phénomènes d'érosion actuels, seule l'analyse morpho-tectonique et microtectonique a permis de mettre en évidence une tectonique encore active. Particulièrement bien développée, elle confère une grande originalité à cette région, où de nombreux types de bas-fonds et plaines alluviales sont représentés. Les failles majeures du secteur, à composante normale et d'orientation E-W à N110°, correspondent à une phase tectonique récente à actuelle d'extension N-S. Le jeu de ces failles dont le rejet peut être de l'ordre de la centaine de mètres s'accompagne du basculement de certains blocs, de la réactivation de fractures plus anciennes en particulier NE-SW et de l'apparition de failles secondaires d'orientation E-W à NW-SE.

La région de Mahitsy est un exemple particulièrement démonstratif de l'influence de la fracturation sur la typologie des bas-fonds et l'hydrographie, dans un contexte d'interaction entre le soulèvement régional et le jeu de failles.

L'étude morphotectonique a permis de proposer une classification des bas-fonds qui prend en compte l'amplitude des mouvements verticaux d'ensemble, soit positifs (soulèvement), soit négatifs (enfouissement), par rapport au niveau hydraulique de base (NBH) et l'intensité de la tectonique, appréciée par le rejet moyen des failles, leurs dimensions ou leur densité.

L'analyse statistique des fréquences directionnelles a montré qu'il existe une relation entre l'orientation des failles en surface et celle des bas-fonds et cours d'eau. Ces contrôles tectoniques permettent de proposer un mode d'organisation des écoulements de surface : outre l'influence de l'héritage des fractures anciennes N40E, des seuils liés à l'érosion différentielle et des aménagements humains, les cours d'eau principaux se sont installés sur des zones de failles d'orientation E-W.

A l'échelle locale, les déplacements verticaux liés au jeu des failles ont également un rôle important dans les circulations hydrauliques souterraines (taille et forme des différents réservoirs aquifères) et les conditions d'érosion des bassins versants.

### **III.2. Identification, caractérisation et fonctionnement du système aquifère de la région de Mahitsy**

Les terrains aquifères identifiés sur le bassin de Mahitsy (Fig. 5) renferment tous des nappes aux caractéristiques hydrodynamiques et physico-chimiques différentes : altérites, arènes micacées, socle fissuré, matériaux de bas-fonds et de plaines alluviales et formations d'éboulis.

Bien qu'en relation hydraulique, certaines d'entre-elles ont un mode de fonctionnement très différent, notamment en ce qui concerne leur alimentation (Fig. 6).

#### Aquifère des altérites :

La partie supérieure des formations altérées (AL : Altérites) des interfluves renferme une nappe bien développée mais d'extension limitée. Cette nappe peu minéralisée (conductivité électrique  $< 30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) est rapidement alimentée (infiltration de l'ordre de 1m/jour) par les précipitations depuis la surface.

Des échanges hydriques (Fig. 7) peuvent s'opérer par drainances verticales descendantes (début du cycle pluvieux) ou ascendantes (seconde moitié du cycle pluvieux) avec les nappes arènes micacées/socle sous-jacentes. La fin de la recharge de la nappe des altérites est marquée par un retour rapide à des conditions de lente décrue relativement constante durant la saison sèche.

L'eau de cette nappe contribue à l'irrigation des rizières par son émergence au niveau de lignes de sources et de suintements situées en bordure des bas-fonds et des plaines alluviales.

**me** : porosité efficace en % (rapport du volume d'eau de gravité au volume total) ; **K** : coefficient de perméabilité de Darcy (volume d'eau libre qui percole pendant l'unité de temps à travers l'unité de surface d'une section totale de la couche aquifère sous un gradient hydraulique égale à l'unité, à la température de 20°C) ; **Kv** et **Kh** : perméabilités verticale et horizontale en m/s (caractérise et régit respectivement l'écoulement vertical et horizontal) ; **T** : Transmissivité en m<sup>2</sup>/s (produit du coefficient de perméabilité par la puissance de la couche aquifère) ; **S** : coefficient d'emmagasinement en % (volume d'eau libéré par un prisme vertical de la couche aquifère, de section égale à l'unité, pour une baisse unitaire du niveau piézométrique) ; **CE** : conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  pour une température ramenée à 20°C (est fonction de la concentration et de la nature des sels dissous).

#### Aquifère des arènes micacées :

La formation altérée (AM : Arènes micacées), comprise entre les altérites et le socle sain fissuré (SF) renferme une nappe plus minéralisée (conductivité électrique > 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) et d'extension régionale. Un niveau argileux discontinu formé au sommet des arènes micacées confère localement à la nappe des conditions d'écoulement différentes de celles de la nappe sus-jacente et une bonne protection à d'éventuelles pollutions.

L'alimentation de cette nappe semi-captive se ferait soit par des écoulements provenant de la nappe de socle sous-jacente (SF) soit depuis la surface, au niveau des plaines alluviales, lacs et marécages situés dans le bassin.

#### Aquifère de socle (SF) :

Dans ce type de réservoir, les circulations souterraines importantes se font essentiellement par le réseau des failles. L'étude tectonique et morphotectonique a montré que, dans la région de Mahitsy, de telles circulations étaient possibles.

L'alimentation de la nappe de socle serait réalisée depuis des zones, situées dans ou hors du bassin, à faible couverture altérite (foliation métamorphique des roches favorisant l'infiltration des précipitations

depuis la surface) et par des échanges avec la nappe des arènes micacées sus-jacente avec laquelle elle serait en continuité hydraulique. Ces échanges hydriques sont probablement accrus dans les zones affectées par des failles et les zones dépressionnaires : zones de lacs, marécages... Soulignons que les bilans hydrologiques ont mis en évidence l'existence d'apports souterrains extérieurs au bassin. Le système de fracturation E-W favoriserait des échanges avec d'autres bassins (Fig. 1), notamment ceux situés dans la région d'Ivato.

Soulignons que la nappe de socle demanderait à être plus étudiée, notamment en ce qui concerne ses propriétés hydrodynamiques.

#### Aquifère des matériaux de bas-fonds et de plaines alluviales :

Les matériaux situés sous les bas-fonds et les plaines alluviales (LT : Limons tourbeux, T : Tourbe franche et SL : Sables "lavés") renferment des "nappes" très superficielles et de faibles épaisseurs.

Les pratiques culturales qui précèdent la saison des pluies (labours, édification des diguettes de retenue et de régulation du plan d'eau des rizières...) modifient le comportement du recouvrement argileux anthropique de surface. Ces pratiques ont pour effet de déstructurer cet horizon, favorisant les infiltrations depuis la surface : des transferts de flux verticaux descendants peuvent ainsi s'opérer au début du cycle pluvieux (6, Fig. 7).

Durant la seconde moitié du cycle pluvieux et la première moitié de la saison sèche, des transferts de flux verticaux ascendants (7, Fig. 7) s'opéreraient depuis les arènes micacées jusqu'au recouvrement argileux anthropique globalement restructuré et dans lequel s'enracine le riz. Au cours de la seconde moitié de la saison sèche ces transferts s'inverseraient (8, Fig. 7).

Ces nappes sont alimentées par des écoulements verticaux ou latéraux provenant soit du réseau de surface (rivières, drains, canaux, rizières inondées...) soit des autres nappes.

Du point de vue agronomique, l'eau de ces nappes a probablement une grande importance, car elle contribuerait à l'alimentation des rizières en éléments nutritifs (potassium) pouvant provenir des nappes des arènes micacées et du socle.

#### Aquifère des formations d'éboulis :

Les formations d'éboulis renferment des nappes d'extension limitée. En fonction de l'état de consolidation des éboulis, elles sont alimentées soit directement par les précipitations soit par des écoulements provenant de la nappe de socle.

Ces nappes sont déjà très utilisées par gravité pour l'alimentation en eau des villages.

### **III.3. Représentativité du bassin de Mahitsy à l'échelle des Hautes Terres**

L'approche morphotectonique couplée à l'étude hydrologique au sens large et notamment la définition de domaines hydrogéologiques identifiables par certains paramètres physicochimiques des eaux a permis de tester la représentativité d'un bassin témoin (bas-fond d'Ambohitrakoho) à l'intérieur d'un système considéré, à plus petite échelle (bassin de Mahitsy).

Le bas-fond unitaire d'Ambohitrakoho ne serait pas représentatif de l'ensemble du bassin de Mahitsy mais correspondrait à une structure comprenant un ensemble de bas-fonds, et appartenant à un domaine hydrogéologique en relation avec des conditions morphotectoniques.

Cette approche a également permis de montrer que le bassin versant de Mahitsy est un ensemble complexe, non représentatif des Hautes Terres. Pour un domaine hydrogéologique considéré, les bas-fonds n'ont pas la même structure que l'ensemble du bassin mais les phénomènes hydrodynamiques doivent rester assez identiques.

Cela signifie que, si l'on veut changer d'échelle en vue d'une étude hydrogéologique, il est nécessaire de réaliser, sur la zone considérée, une approche multidisciplinaire couplée à une

analyse morphotectonique (identification des seuils, du niveau hydraulique de base, des failles...). En cela, la méthodologie mise en place pour l'étude du bassin de Mahitsy pourrait servir d'exemple.

## **IV. RESSOURCES EN EAUX ET PROTECTION DES BASSINS VERSANTS (RECOMMANDATIONS)**

### **IV.1. Exploitation par pompage et gestion des ressources en eaux souterraines**

En raison de son extension réduite aux interfluves et de sa rapide alimentation depuis la surface, une éventuelle exploitation de la nappe des altérites pour l'alimentation en eau villageoise ne pourrait être que limitée et nécessiterait une surveillance particulière d'une part de son niveau et d'autre part vis à vis des risques de pollutions. Un abaissement de son niveau aurait probablement des conséquences sur l'alimentation en eau des rizières à partir des lignes de sources et de suintements (exutoires de la nappe), notamment lors des périodes sèches. Toutefois des pompages excessifs n'auraient probablement que des répercussions très localisées.

Les nappes des arènes micacées et du socle d'extension régionale sont mieux protégées contre d'éventuelles pollutions, et elles semblent avoir des potentialités plus intéressantes du point de vue quantitatif. A cela, ajoutons que leur exploitation par pompage provoquerait des écoulements descendants (mis en évidence au cours des tests hydrauliques) provenant de la nappe sus-jacente des altérites et traversant la couche argileuse (protection contre les pollutions). C'est seulement par des études morpho-tectoniques préliminaires (localisation des failles et implantation des forages en conséquence) que des échecs sur les forages dans les nappes arènes micacées/socle pour l'alimentation en eau villageoise pourraient être évités.

Rappelons que de manière générale, l'exploitation par pompage des eaux souterraines exige un suivi très rigoureux des fluctuations des nappes.

#### IV.2. Protection et aménagement des bas-fonds rizicoles et des bassins versants

Les seuils rocheux barrant les cours d'eau (seuils de Farahantsana, d'Andakana...) jouent un rôle déterminant dans la dynamique des écoulements de surface et souterrains, la stabilisation des niveaux piézométriques de l'ensemble du système aquifère et la stabilité des terrains. Leur modification pourrait avoir de graves conséquences qu'il est difficile d'estimer à terme : abaissement ou remontée locale du niveau des nappes (assèchement ou engorgement des rizières), perte des surfaces rizicoles par reprise d'érosion ...

L'étude morphotectonique a montré une relation entre la tectonique et l'importance des phénomènes d'érosion. Les projets de lutte contre l'érosion par reboisement et le développement de nouvelles surfaces cultivables devraient prendre en compte ce

type d'étude. Le choix des sites devrait se porter en priorité sur des zones tectoniquement stables, pour réaliser des aménagements à moindre coût et à moindre risque de dégradation.

#### V. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'identification et la cartographie des unités morphotectoniques peut servir pour une application au niveau des ressources en eau et de la protection des bassins versants à l'échelle des Hautes Terres.

L'acquisition d'une meilleure connaissance de l'aquifère de socle est nécessaire pour une gestion durable et efficace des ressources en eaux souterraines, non seulement sur les Hautes Terres malgaches mais également dans d'autres régions comme par exemple la région cristalline du sud malgache (zone semi-aride).

TERRAINS AQUIFERES	NATURE PEDOLOGIQUE et/ou LITHOLOGIQUE	EPAISSEUR MOYENNE (M)	CARACTERISTIQUES DES AQUIFERES ET DES NAPPES
Altérites des interfluves	Altérites kaoliniques limono-argilo-sableuses	20	Nappe libre Bien développée D'extension limitée Infiltration de l'ordre de 1m/jour Faiblement minéralisée : CE < 30 me : 6% ; Kv > 1E-4 1E-5 < T > 5E-5
Arènes micacées	Niveau argileux discontinu	2	Semi-perméable
	Arènes argilo-sableuses quartzo-feldspato-micacées	6	Nappe semi-captive D'extension régionale S : de l'ordre de 0,1% T : de l'ordre de 5E-6
Socle fissuré	Granitoïdes et orthogneiss		Nappe d'extension régionale Porosité de fissure/fractures
Matériaux de bas-fonds et de plaines alluviales	Tourbe franche	0,40-1,50	Nappes très superficielles De faible épaisseur Kv et Kh < 1E-9
	Limon tourbeux	0,40-1,50	Kv : 4E-4 ; Kh : 3E-6
	Sables grossiers "lavés"	0,20-0,60	Kv et Kh de l'ordre de 1E-5
Formations d'éboulis	Blocs, pierres, graviers, sables, argiles... (plus ou moins consolidés)		Nappes libres ou semi-captives à captives D'extension limitée

Fig. 5 : Identification et caractérisation des terrains aquifères et de leur nappe (B. Dussarrat, 1994).

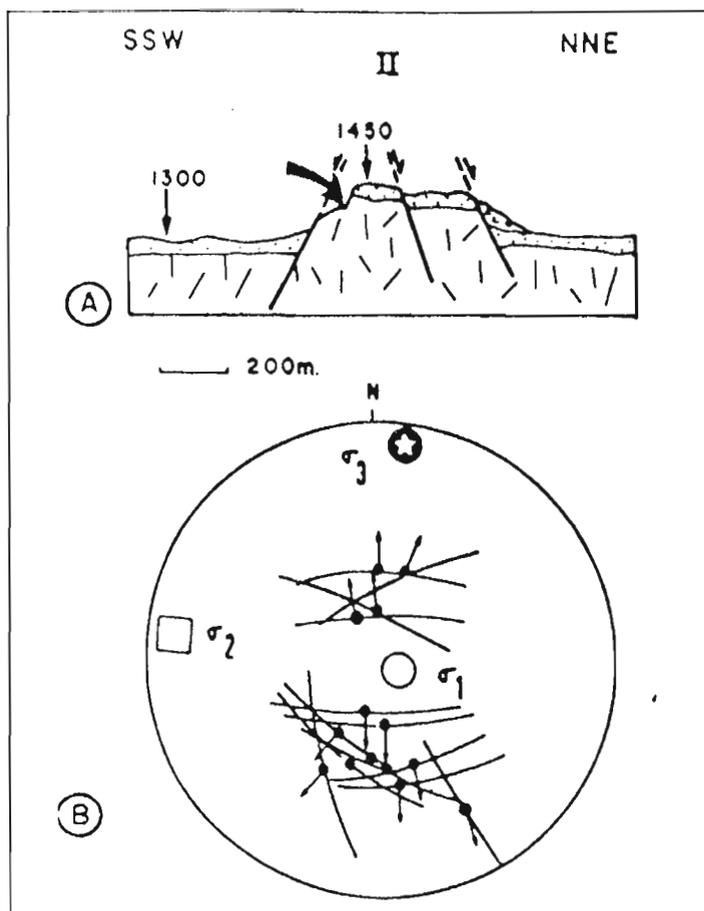


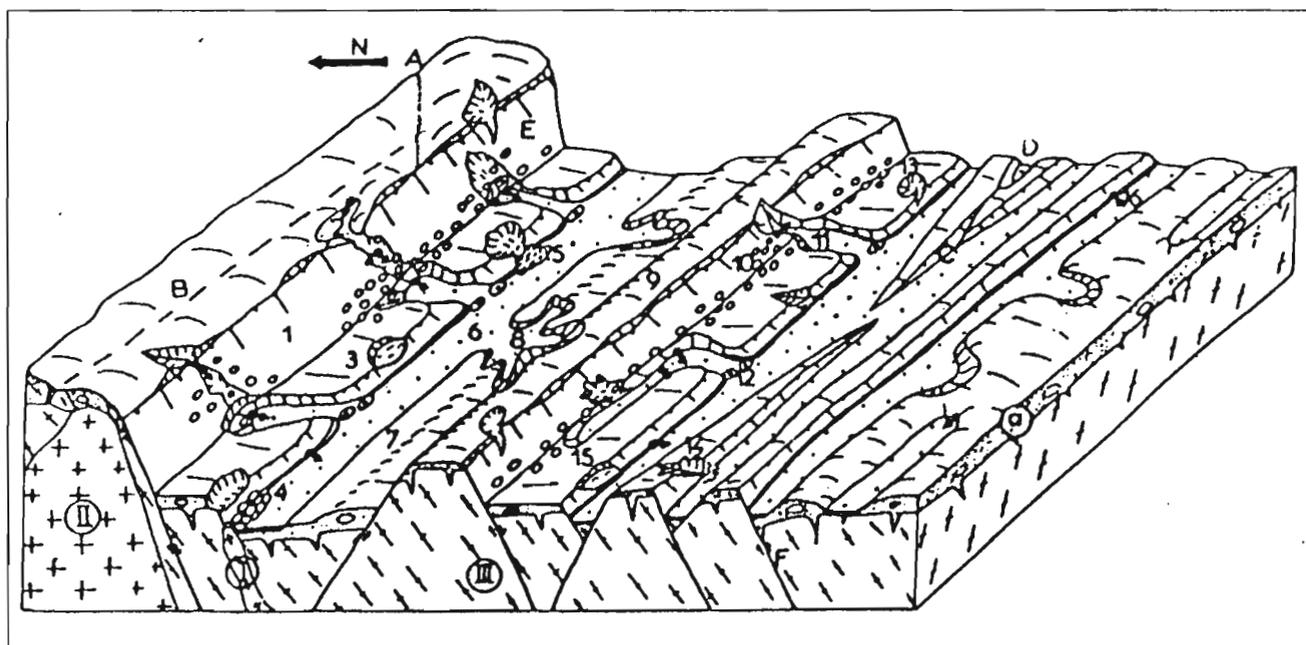
Fig. 3 :

Données microtectoniques d'une station de la région de Mahitsy

Carrière dans les migmatites  
x = 508 ; y = 814  
(F. Arthaud et al., 1989)

3.A : Coupe schématique passant par le point de mesure des microfailles

3.B : Projection cyclographique des microfailles (plan et direction des stries ainsi que l'orientation des trois directions principales)



1 : Escarpement de faille ; 2 : Thalweg ; 3 : Surface d'aplanissement fini-tertiaire (S.F.T.) ; 4 : Accumulation de boules ; 5 : Coulées boueuses ; 6 : Bas-fond alluvial ; 7 : Terrasse ; 8 : Bas-fond en doigt de gant ; 9 : S.F.T. surélevée par rapport à 3 ; 10 : Eboulis ; 11 : Bas-fond de transit ; 12 : Filon rocheux ; 13 : Lavaka ; 14 : Vallon perché ; 15 : Glissement de terrain ; 16 : Ligne de suintement et de sources ; A : Relief de ligne de faille ; B : Faille ancienne ; C : Faille récente ; D : Escarpement de ligne de faille ; E : Escarpement ; F : Faille ; a : Altérites ; I : Filon ; II : Granitoïdes ; III : Gneiss et migmatites.

Fig. 4 : Unités morphotectoniques du bassin versant de Mahitsy  
(B. Dussarrat, J. Ralaimaro, 1993).

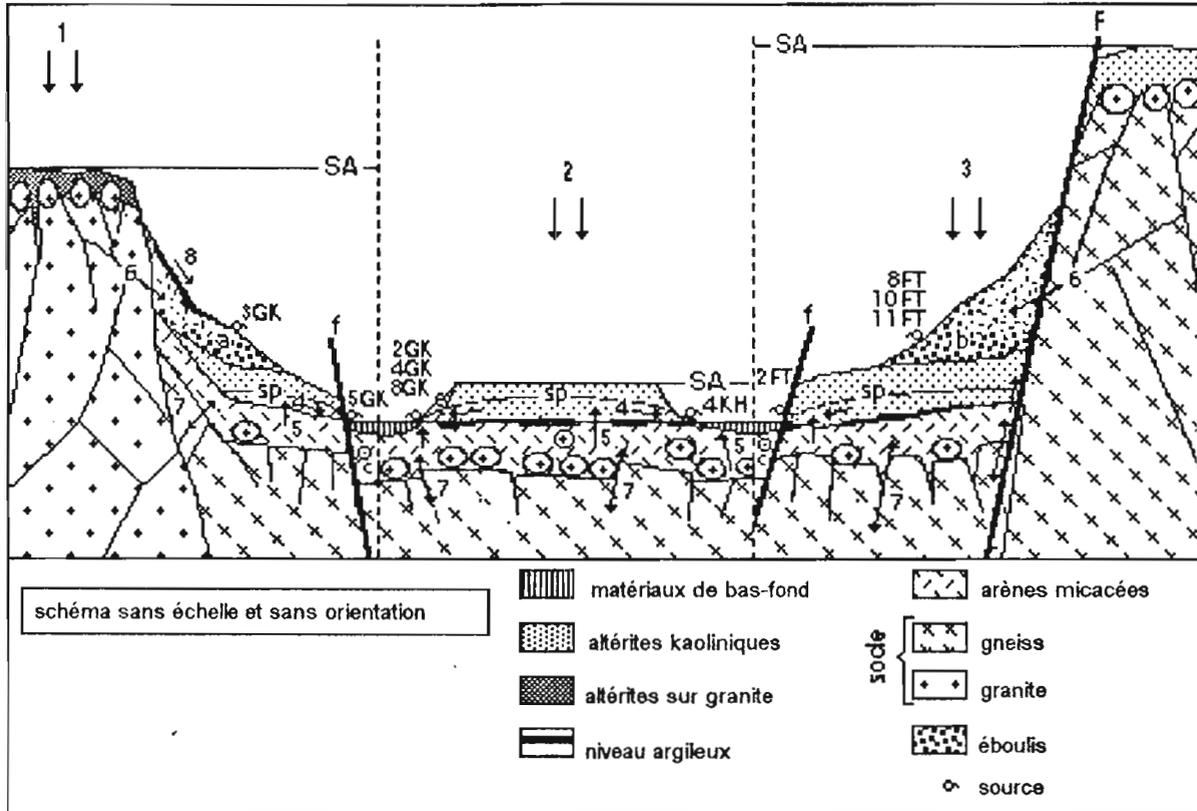
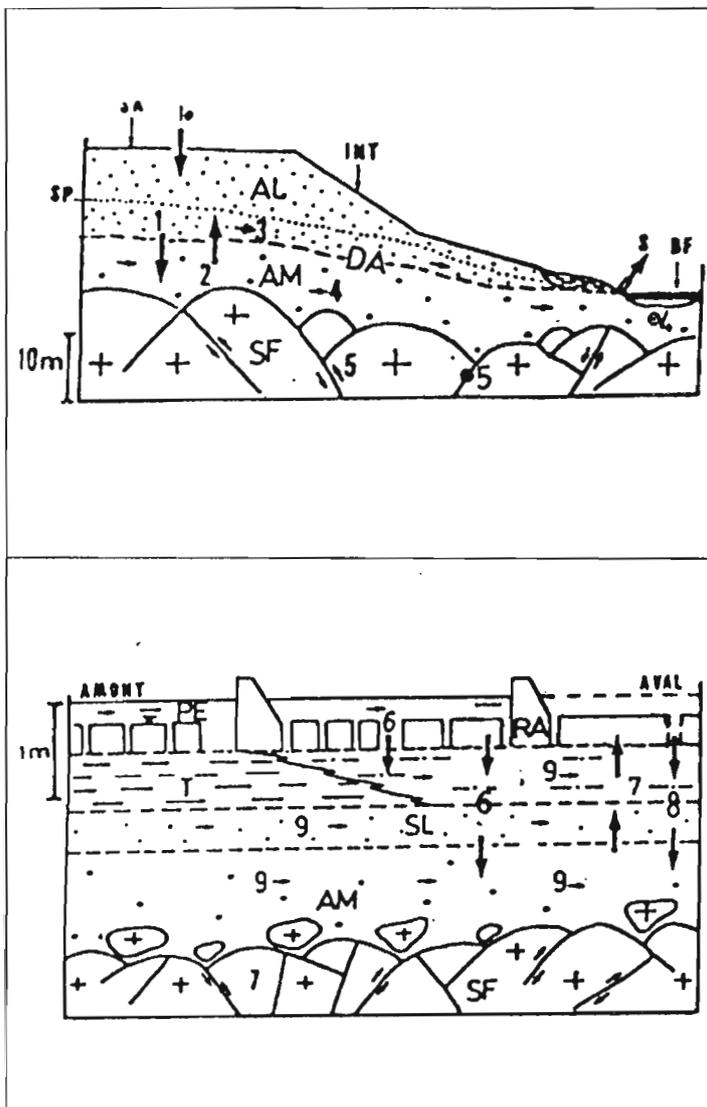


Fig. 6 : Modèle d'alimentation des exutoires des différentes nappes du bassin versant de Mahitsy. (B. Dussarrat, J. Ralaimaro, 1993)

a : éboulis stabilisés ; b : éboulis actifs ; e : zone d'altération-érosion ; F : faille majeure ; f : faille affectant les altérites ; sp : surface piézométrique de la nappe libre ; s : source ; 1, 2 et 3 : précipitations sur les reliefs, les interfluves et les éboulis non stabilisés ; 4 : écoulements provenant de la nappe des altérites ; 5 : écoulements provenant de la nappe des arènes micacées ; 6 : écoulements descendants provenant du socle fissuré ; 7 : échanges hydriques entre la nappe des arènes micacées et celle du socle ; 8 : ruissellement et/ou écoulements hypodermiques ; c : circulations souterraines contrôlées par le réseau de failles ; KH : Ambohitrakoho ; GK : Antangirika ; FT : Ankadifotsy



7.1 : Sous les interfluves.

AL : Altérites kaoliniques ; SP : surface piézométrique ; DA : discontinuité argileuse ; AS : ensemble arènes micacées/socle ; SA : surface d'aplanissement ; INT : interfluve ; S : source des altérites ; BF : bas-fond : le : infiltration efficace ; 1 : drainances verticales descendantes (début du cycle pluvieux) ; 2 : ascendantes (seconde moitié du cycle pluvieux) ; 3, 4 et 5 : directions de drainage souterrain

7.2 : Sous le bas-fond.

1 : plan d'eau libre des rizières ; 2 : recouvrement argileux anthropique déstructuré par les labours et l'édification des diguettes ; 3 : tourbe franche ; 4 : limons tourbeux ; 5 : sables lavés ; 6 : arènes micacées ; 7 : socle fissuré ; 8 : directions de drainage souterrain ; A : drainances verticales descendantes (début du cycle pluvieux) ; B : ascendantes (seconde moitié du cycle pluvieux et première moitié de la saison sèche) ; C : à nouveau descendantes (seconde moitié de la saison sèche).

Fig. 7: Modèles des transferts de flux entre la surface et le milieu souterrain. (J.C. Grillot et B. Dussarrat, 1992).

## REFERENCES

- ARTHAUD (F.), GRILLOT (J.-C.), RAUNET (M.), 1989 : Mise en évidence d'une tectonique en distension N-S. à Madagascar. C.R. Acad. Sci., Paris, 309 (2), PP. 125-128.
- 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, pp.1394-1407.
- ARTHAUD (F.), DUSSARRAT (B.), GRILLOT (J.-C.), 1991 : Rôle des facteurs tectoniques et géomorphologiques dans l'organisation des systèmes de bas-fonds rizicoles (exemples des hauts-plateaux de Madagascar). Séminaire international, Madagascar, Tananarive, 9-14 décembre 1991. Bas-fonds et riziculture. 9 pages.
- BRENON (P), 1952 : La plaine de Tananarive et les possibilités d'abaissement du niveau de l'Ikopa. Document du Bureau géologique A.465.
- DE GUIDICI (P.), 1991 : Etude agro-pédologique du périmètre d'Andakana. Projet MAG/86/004. Laboratoire Radio-isotope-Antananarivo.
- DURBEC (A.), DUBAR (C.), GRILLOT (J.-C.), RAUNET (M.), 1991 : Modélisation des écoulements souterrains entre interfluves et bas-fond rizicoles : cas d'un bassin versant élémentaire des Hauts Plateaux malgaches. Séminaire international, Madagascar, Tananarive, 9-14 décembre 1991. Bas-fonds et riziculture. 10 pages.
- DUSSARRAT (B.), RALAIMARO (J.), 1993 : Caractérisation hydrogéologique de bassins versants emboîtés sur socle altéré en zone tropicale d'altitude: exemple des Hautes Terres de Madagascar. Rev. Hydrogéologie, n°1 : pp. 53-64.
- DUSSARRAT (B.), 1994 : Structure et fonctionnement des aquifères de socle altéré en zone tropicale d'altitude : cas du bassin de Mahitsy (Hautes Terres de Madagascar) . Thèse de Doctorat- Université de Montpellier II.
- GRILLOT (J.-C.), BLAVOUX ( B.), RAKOTONDRAINIBE (J.-H.), RAUNET (M.), 1989 : Dynamique en hautes eaux des aquifères des altérites sur les Hauts Plateaux cristallophylliens de Madagascar. J. Afr. Earth Sci., vol. IX, n° 3/4, pp.599-607.
- GRILLOT (J.-C.), FERRY (L.), 1990 : Approche des échanges surface-souterrain en milieu cristallin altéré aquifère. Cahiers ORSTOM, Sér. Hydrol. Cont., Vol. X, n°1, pp.3-12.
- GRILLOT (J.-C.), RAUNET (M.), FERRY (L.), 1990 : Comportement piézométrique des nappes d'altérites en zone intertropicale humide d'altitude (Hauts Plateaux de Madagascar). J. Hydrol. 120, pp.271-282.
- GRILLOT (J.-C.), DE ENDOLENKO (D.), DUSSARRAT (B.), 1991 : Perméabilités de matériaux reposant sur socle cristallin: un exemple en zone intertropicale ( Madagascar). C.R. Acad. Sci., Paris, 313 (2), pp.959-964.
- GRILLOT (J.-C.), DUSSARRAT (B.), 1992 : Hydraulique des unités d'interfluves et de bas-fond tourbeux : un exemple en zone de socle altéré (Madagascar). J. Hydrol. 135, pp.321-340.
- NOIZET (G.), 1965 : La plaine de Tananarive, site géologique et problème d'assainissement. Communication à l'Académie malgache. Séance du 18 Février 1965.
- NOIZET (G.), 1966 : Note sur la nature et l'échelonnement dans le temps des travaux géologiques nécessaires dans l'opération "Plaine de Tananarive". Document du Service Géologique AU.125.
- RAUNET (M.), 1991 : Bas-fond et riziculture. Actes du Séminaire d'Antananarivo, Madagascar, 9-14 décembre 1991. CIRAD, 517 pages.
- RAMANANJATO (Z.), A paraître : Phénomènes d'érosion accélérée sur socle altéré sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar : Cas du bassin versant de Mahitsy. Mémoire de maîtrise - Université d'Antananarivo.

## QUELQUES ASPECTS CARACTERISTIQUES DES MANGROVES DE MADAGASCAR

### ENDRIKA MANOKANA VITSIVITSY HO AN'NY HONKO SY NY TONTOLO MANODIDINA AZY ETO MADAGASIKARA

Jacques ILTIS,

#### RESUME :

La mangrove est la formation de palétuviers établie dans la zone de balancement des marées de tous les littoraux tropicaux. A Madagascar, cette formation couvre environ 320 000 hectares, essentiellement sur la côte ouest (98 % de la superficie totale). On dénombre huit espèces de palétuviers, identiques à celles de la côte de l'Afrique de l'Est. Les mangroves les plus étendues sont celles des estuaires des grands fleuves, dont elles occupent les rives et les bancs de vase (Betsiboka, Mahajamba, Mahavavy, Tsiribihina, Mangoky). L'intérêt écologique de ces milieux est considérable : ils constituent le lieu de reproduction d'un grand nombre de poissons et de crustacés d'intérêt commercial, et en même temps, un dispositif de protection contre l'érosion fluviale et marine. Entre la mangrove et la terre ferme, apparaît généralement un sol à efflorescences et croûtes salines, moins fréquemment submergé que la mangrove. Ce sol, en grande partie dénudé, est appelé internationalement tanne et localement sirasira; il occupe une superficie totale d'environ 100 000 hectares. Ces terrains, voués jusqu'alors à l'exploitation saline, attirent à présent l'attention de sociétés désireuses d'implanter des fermes d'élevage de crevettes de mer.

#### FAMINTINANA :

Ny honko dia ala mandrakotra ny faritra azon'ny samonta amin'ny morontsiraky ny tany mafana. Velaran-tany 320 000 hekitara eo ho eo no anirian'ity alan-driaka ity eto Madagasikara, ary amin'ny morontsiraka andrefana no tena maro azy (98 % n'ny honko misy eto). Misy valo karazana ny hazon'ny honko eto amintsika; tsy misy valaka amin'izay hita any amin'ny morontsiraka atsinanan'i Afrika. Ny alan-konko midadasika indrindra dia ireo izay maniry amin'ny vinanin'ny ony lehibe toa an'i Betsiboka, Mahajamba, Mahavavy, Tsiribihina, Mangoky. Mandrakotra ny morona, na ny nosinosy misy betrompotaka ireny alan-konko ireny. Manana anjara asa lehibe eo amin'ny tontolo manodidina azy ny honko: toerampanatodizana sy fahafoizan'ireo hazandranomasina isan-karazany, tadiavina eo amin'ny tsenam-barotra, toy ny trondro sy ny tsitsika. Ankoatr'izany dia manana anjara asa amin'ny fiarovana ny morontsiraka tsy hokaohin'ny ony sy ny ranomasina izy ireny. Eo anelanelan'ny honko sy ny tety dia ahitana faritra madiodio rakotry ny bon-tsira ary tsy dia azon'ny rano samonta matetika. Io faritra io no antsoina eran-tany hoe "tanne", na sirasira eto amintsika; mahatratra 100 000 hekitara ny velarany. Manomboka mahasarika ireo orin'asa manao fiompiana tsitsika ireny faritra ireny amin'izao fotoana izao raha natao ho toeram-pamokarana sira fotsiny hatramin'izay.

Pour qui n'a pris, un jour, le temps de la parcourir, a pied ou en pirogue, a Madagascar ou ailleurs, la mangrove est réputée impénétrable et d'accès, pour le moins, difficile. D'elle, la mémoire ne retient alors que l'enchevêtrement des racines de palétuviers, l'épaisseur de la vase, la moiteur de l'air et... les nuées de moustiques ! Exacte, cette image est, cependant, très réductrice. Elle ne reflète pas, en particulier, l'intérêt écologique considérable de ce milieu, a la fois réservoir de ressources biologiques et dispositif protecteur contre l'érosion fluviale et marine. Au cliché de la mangrove-enfer végétal, on peut aussi opposer la force et, souvent, l'harmonie des paysages de mangrove aménagés par l'homme, certains depuis des siècles : les rizières des paysans diola en Casamance (Sénégal), celles des transmigrants a Kalimantan (Indonésie), les bassins rizipiscicoles du delta du Mékong (Vietnam), les marais salants du Golfe de Kutch (Inde) et, a Madagascar, les salines de Diégo-Suarez ou la riziculture itinérante dans le delta de la Tsiribihina. Plus récemment, un certain nombre de littoraux tropicaux ont vu se développer l'aquaculture de crevettes de mer, non sans que le fragile équilibre du milieu en ait été perturbé, lorsque la mangrove y était sacrifiée.

### Une ambiguïté terminologique

Qu'est-donc précisément la mangrove ? Le terme désigne a la fois -et dans une certaine confusion- la formation de palétuviers établie dans la zone de balancement des marées des littoraux tropicaux et, d'autre part, l'écosystème caractéristique de ce milieu littoral. Dépasant l'ambiguïté terminologique, certains auteurs parlent de "marais maritime tropical", pour désigner le cadre spatial complexe dans lequel s'installe, s'épanouit et, parfois, disparaît la mangrove (Baltzer et Lafond, 1971). Celle-ci est la composante végétale la plus active du marais maritime -qui, lui, est un espace plus vaste, englobant d'autres milieux soumis a l'influence des marées : la basse slikke dénudée, les tannes dénudés ou herbacés, des forêts et prairies marécageuses, faiblement ou non salées, etc.

### La mangrove, formation

### végétale pantropicale

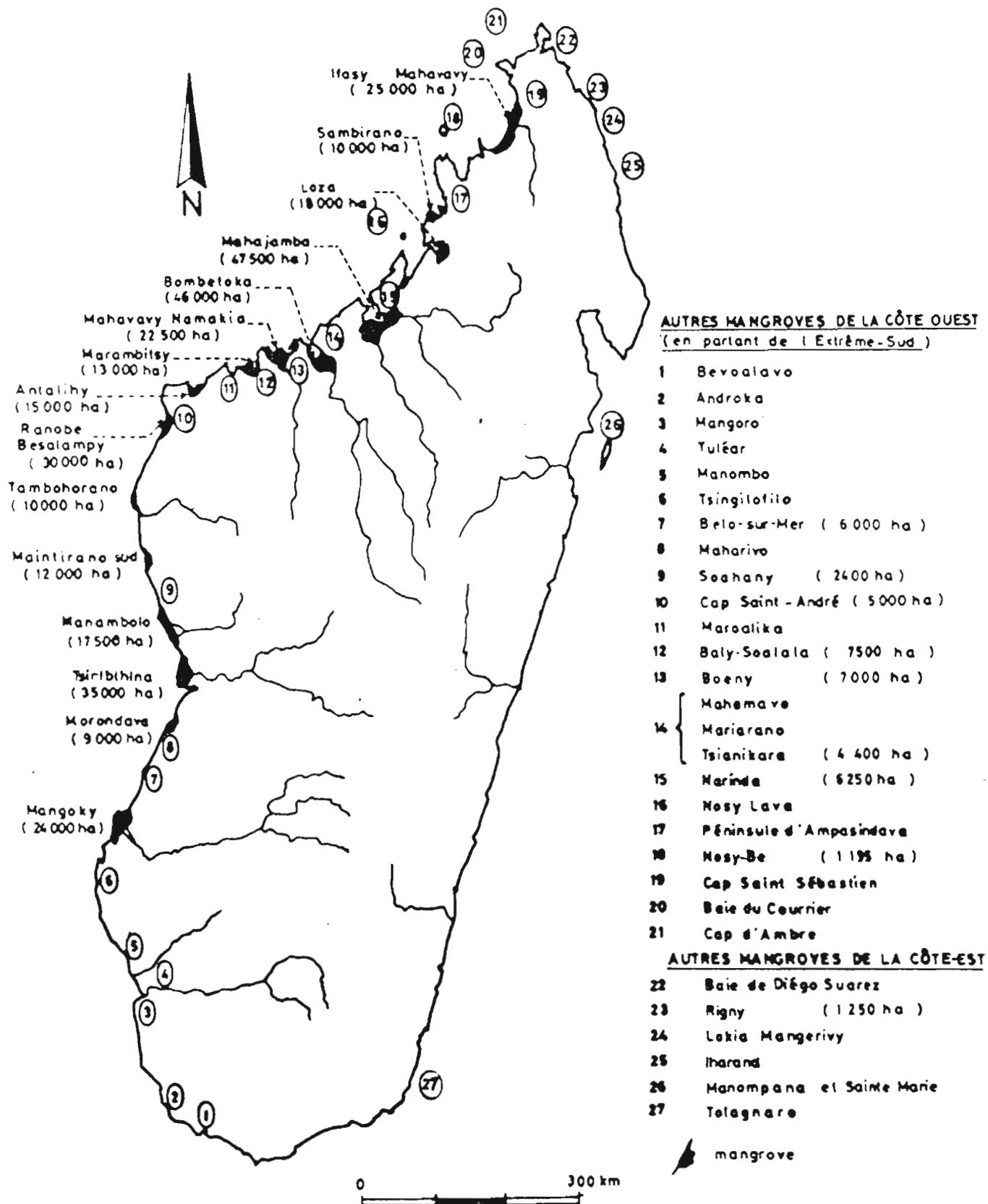
La mangrove, formation pantropicale, est installée a la périphérie des trois océans de la planète. Celle de Madagascar appartient au domaine de l'Indo-Pacifique -appelé également domaine oriental, par distinction avec le domaine de l'Atlantique ou occidental-. L'on y dénombre huit palétuviers (en incluant *Heritiera littoralis*), identiques a ceux d'Afrique de l'Est. Ceci ne saurait surprendre : la dissémination des graines s'est faite aisément dans le Canal de Mozambique, qui ne mesure que 420 km dans sa partie la plus étroite. Au sein du domaine Indo-Pacifique, les mangroves de la façade ouest sont les plus pauvres en espèces; en revanche, elles sont plus riches que les mangroves ouest-africaines. L'on peut rappeler, ici, un certain nombre d'hypothèses plus ou moins convergentes, selon lesquelles le berceau planétaire de la mangrove serait l'ensemble malayo-indonésien, qui compte le plus grand nombre d'espèces. La mangrove se serait ensuite largement étendue vers l'Ouest et, pour partie, vers le Sud-Est (Ding Hou, 1960; Van Steenis, 1962; Aubréville, 1964; Marius, 1985).

### Marais maritimes et mangroves a Madagascar

L'on compte, a présent, un nombre substantiel de publications consacrées aux mangroves et aux marais maritimes de Madagascar. Dans un premier temps, correspondant grosso modo a la période d'avant-guerre, ont été publiés une majorité de travaux mettant en évidence l'intérêt économique que les mangroves revêtaient alors. L'époque était celle de l'exploitation des écorces a tanin, d'un vers a soie (**landibe**) et d'une cochenille produisant un vernis (**lombiro**). Puis sont venues les publications scientifiques, dont le précurseur aura été H. Perrier de la Bathie (1921, 1954). Avec lui, l'on citera un autre botaniste : H. Weiss (1966, 1972, 1973). D'autres disciplines ont fourni des contributions substantielles : la zoologie, avec A. Kiener (1963, 1971, 1972) ; la sédimentologie, avec L.R. Lafond (1967) et J. Hervieu (1968); et, enfin, la géographie physique, avec G. Rossi (1976, 1980), J.-N. Salomon (1978, 1986) et J.-M. Lebigre (1984, 1987, 1988, 1990).

# Figure 1: LES MARAIS MARITIMES A MANGROVES DE MADAGASCAR

( d'après KIENER -1972 - modifié )



Madagascar compte environ 420 000 hectares de marais maritimes, et entre 320 000 et 325 000 hectares de mangroves (Kiener, 1972; IUCN, 1983; Lebigre, 1990). C'est davantage que la côte est-africaine considérée dans son ensemble. En Afrique de l'Ouest, seuls le Nigéria et le Sénégal en possèdent des superficies plus importantes.

Les zonations de palétuviers, davantage que leur (faible) diversité spécifique, reflètent la variabilité spatiale et temporelle des conditions écologiques. L'on peut classer, ainsi, les palétuviers de Madagascar en fonction de la durée et de la fréquence de l'inondation des marées (Lebigre, 1990) :

1. Palétuviers adaptés à une très longue submersion (50% du temps) : *Sonneratia alba* et *Avicennia marina*.
2. Palétuviers adaptés à une longue durée de submersion : *Rhizophora mucronata*.
3. Palétuviers adaptés à une durée importante de submersion, mais se localisant le plus souvent dans des zones à faible durée de submersion : *Bruguiera gymnorrhiza* et *Ceritera tagal*
4. Palétuviers adaptés à une faible durée de submersion : *Xylocarpus granatum* et *Heritiera littoralis*.
5. Palétuviers et autres plantes seulement adaptées à une faible durée de submersion : *Lumnitzera racemosa*, *Phoenix reclinita*, *Thespesia populnea* et *Hibiscus tiliaceus*.

La répartition des mangroves, au pourtour de l'île, est très inégale : 98 % d'entre elles se situent sur la côte ouest, face au Canal de Mozambique; 2 % seulement sur la côte orientale. Cette dissymétrie végétale reproduit la dissymétrie morphologique et hydrologique qui caractérise les deux côtes (voir figure).

### La côte orientale

La forme allongée de l'île, selon un axe N-N-E/S-S-W, souligne l'opposition entre la côte occidentale et la côte orientale.

La côte orientale est, des points de vue climatique, hydrologique et géomorphologique, la plus homogène. Elle subit toute l'année l'influence des masses d'air humides des alizés. L'amplitude des marées y est faible (inférieure à 1 mètre en vives eaux). Sur un tronçon rectiligne de 900 km, une plaine côtière étroite, allant de l'extrémité sud-est aux 2/3 nord-est de l'île, limite le développement de la mangrove aux embouchures fluviales et aux passes des lagunes. Plus au Nord, quelques mangroves sont établies à l'abri des récifs ou dans les petites baies qui indentent la côte. Sur l'ensemble du littoral est, la superficie des marais maritimes ne dépasse pas 5000 hectares (Kiener, 1972). Aucun tanne d'étendue significative n'est à signaler.

### La côte occidentale

À la différence de son vis-à-vis, la côte ouest s'inscrit dans un ensemble géologique homogène : le bassin sédimentaire malgache. Les marées du Canal de Mozambique, de type semi-diurne, affectent le littoral avec un effet croissant du Sud vers le Nord : en vives eaux, les marnages sont compris entre 3,20 m (Tuléar) et 4,20 m (Nosy Be). Les marais maritimes se couvrent, puis se découvrent alors sur de grandes superficies. L'extrémité nord de l'île constitue, pour sa part, une zone de transition vers le domaine océanique. À Antsiranana (Diégo-Suarez), le marnage n'atteint plus que 2,10 m.

Du Sud vers le Nord, se succèdent deux grands ensembles de littoraux à mangroves, lesquels reflètent également d'importants contrastes climatiques :

- Entre l'extrémité sud de l'île (25°S) et le Cap St André (16°S), soit les 2/3 du littoral, la côte est généralement basse et prolongée par un plateau continental de largeur variable. Sur celui-ci se déposent, depuis plusieurs milliers d'années, de grandes quantités de sédiments terrigènes (sables, limons et argiles). Les contours de ces dépôts sont progressivement régularisés par de puissants courants de dérive littorale, formant des cordons littoraux et des lagunes. Ailleurs, se forment des deltas

-dont certains mesurent plusieurs centaines de km<sup>2</sup> de superficie (Mangoky, Tsiribihina)-, aux endroits où la masse des sédiments en provenance des fleuves excède la capacité des courants littoraux. Sur cette portion du littoral, alternent ainsi mangroves de plaines deltaïques et mangroves lagunaires.

- Au Nord-Ouest de l'île, le domaine côtier est découpé, du fait de la présence de massifs de roches cohérentes et de lithologie contrastée. Entre les avancées rocheuses, se sont formés des estuaires et des baies, caractéristiques d'un littoral d'ennoisement, lesquels enserrant de grands marais maritimes à mangroves (Betsiboka, Mahajamba, Narinda). La côte nord-ouest est, contrairement au littoral sud-ouest, assez pauvre en cordons littoraux. La rareté de ces derniers et, par conséquent, celle des mangroves lagunaires, s'explique essentiellement par la faiblesse des houles, dont la plupart sont de secteur nord-ouest.

Du point de vue climatique, la côte ouest subit des influences variées, allant du climat tropical à courte saison sèche, au Nord-Ouest, au climat subaride, au Sud-Ouest. Alors que Nosy Be, par exemple, reçoit en année moyenne 2200 mm de pluie, Tuléar n'en recueille que 340 mm. Entre ces deux localités, Morondava a une pluviométrie de l'ordre de 750 mm. La pluviométrie influence-t-elle sur la vigueur des peuplements de palétuviers ? D'aucuns l'affirment, en prenant l'exemple de la lagune de Belo-sur-mer (21° de latitude Sud, 700 mm de précipitations), où la plupart des peuplements ne dépassent pas 5-6 m de hauteur, contre 20 m dans la baie d'Ambaro (15° S et 2200 mm). En réalité, l'accroissement vers le Nord des apports d'eau fluviale -très faibles à Belo- explique mieux ces différences.

### **Les tannes**

Le tanne -terme d'origine sénégalaise, mais d'usage international- a pour équivalents malgache sirasira et, ailleurs, les termes salina et salt flat. Le tanne forme, en retrait de la mangrove, la partie interne du

marais maritime, la moins soumise à l'influence des marées; il constitue, ainsi, une zone de transition vers la terre ferme. A Madagascar, des contrastes régionaux apparaissent dans la zone occupée par les tannes. Ceux-ci sont plus étendus au Sud qu'au Nord. Il y aurait, ainsi, une corrélation entre la durée de la saison sèche et la superficie des tannes, ou, encore une fois, entre l'étendue de ceux-ci et la diminution des apports fluviaux (Lebigre, 1990). Rares sont les tannes homogènes, totalement herbacés ou vifs, secs ou humides.

Des conditions d'hypersalinité président généralement à la formation des tannes, aussi bien dans les marais de lagunes que ceux des embouchures fluviales. D'autres tannes, dits hydrologiques, dérivent davantage de la dessiccation prolongée du sol hors saison pluvieuse, que de la concentration élevée du sel (Lebigre, 1990). De cette seconde catégorie relèvent, par exemple, les tannes enclavés dans la mangrove du marais maritime de la Mahajamba. L'un d'entre eux constitue le site de la première ferme d'aquaculture semi-intensive de crevettes de mer à Madagascar, implantée en 1993.

La côte ouest compte, tous types confondus, environ 100 000 hectares de tannes, dont la moitié recèle des sites potentiellement aménageables en fermes d'aquaculture de crevettes. Le potentiel de la zone Nord/Nord-Ouest (de la baie du Courrier à Soalala) a été évalué à environ 21 300 hectares (PNUD-FAO, 1988). Le potentiel de la zone Sud/Sud-Ouest (de Tuléar à Soalala) représenterait, pour sa part, une superficie de 31 500 hectares (PNUD-FAO, 1990).

### **La mangrove dans le contexte de la déforestation généralisée**

Les mangroves de Madagascar représentent près de 0,5 % de la superficie de l'île et 2,6 % du domaine boisé. Ce dernier taux est en augmentation constante depuis plusieurs décennies, compte tenu de deux faits :

1. Sur la terre ferme, les forêts reculent d'année en année. C'est, à l'évidence, le problème environnemental majeur, a

l'heure actuelle, a Madagascar. En 1980, l'île comptait 132 000 km<sup>2</sup> de forêts, dont 103 000 km<sup>2</sup> de forêts fermées et 29 000 km<sup>2</sup> ouvertes (FAO, PNUE, 1981). En 1988, il en restait 123 000 km<sup>2</sup> (FAO, 1992). Neuf mille km<sup>2</sup> de forêts auraient, par conséquent, disparu en 8 ans, au rythme de 1100-1200 km<sup>2</sup> en année moyenne. Certaines années, les destructions pourraient même dépasser 3000 km<sup>2</sup> -davantage que la superficie totale des reboisements depuis qu'ils sont pratiqués (2647 km<sup>2</sup> en 1988).

2. La mangrove échappe en grande partie -mais pas totalement- a ce phénomène. La conjonction de plusieurs faits explique cette situation particulière. Primo, la mangrove, établie sur des sols engorgés et cloisonnée par des chenaux et des espaces dénudés (les tannes), se protège naturellement. Secundo, la mangrove progresse a l'embouchure des fleuves principaux (Betsiboka, Tsiribihina, Mangoky), en colonisant les sédiments arrachés aux parties hautes des bassins hydrographiques, livrées a une érosion vigoureuse. Tertio, les groupes humains installés sur le littoral ouest, essentiellement ruraux (paysans,

pêcheurs), sont peu nombreux. Au bois de mangrove, ces populations préfèrent, en outre, généralement les ressources ligneuses de terre ferme (fourrés, forêts denses sèches). Toutefois, quand celles-ci ont disparu, comme dans les secteurs de Tuléar et de Majunga, la mangrove est a son tour exploitée.

Dans le cas bien particulier de la mangrove, et en l'isolant du contexte environnemental national, l'on pourrait, ainsi, dresser un constat a priori rassurant. Mais ce constat ne doit pas faire illusion : le dynamisme de la mangrove n'est que le prisme déformant de la situation catastrophique des forêts malgaches ! Si l'ironie était de mise en la matière, l'on pourrait considérer la mangrove comme "la forêt qui cache l'arbre". Et combien de temps encore le cachera-t-elle ? A Majunga, la mangrove fournit déjà 6% de l'approvisionnement en combustibles ligneux de l'agglomération (UPED, 1992). Quelle sera sa part lorsque, comme cela est prévisible, l'approvisionnement en bois et en charbon de bois de terre ferme se réduira encore, ne serait-ce que de 20 % -la part actuelle de l'exploitation, totalement illégale, du massif forestier de l'Ankarafantsika ?

## Quelques repères bibliographiques

- HERVIEU J. - 1968. Contribution a l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Mémoires ORSTOM, n°24, Paris, 465 p.
- HERVIEU J. - 1968. Contribution a l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Mémoires ORSTOM, n°24, Paris, 465 p. des peuplements de mangrove au nord de Morondava. Université d'Antananarivo, Ecole Sup. Sc. Agronomiques, Mémoire de fin d'ét., 84 p., annexes.
- KIENER A. - 1978. Ecologie, physiologie et économie des eaux saumâtres. Paris, Ed. Masson, Coll. Biologie des milieux marins, 220 p.
- SALOMON J.-N. - 1987. Le Sud-Ouest de Madagascar, étude de géographie physique. Presses Universitaires de Bordeaux, 998 p., 3 cartes h.t., 238 fig., 68 photos.
- LAFOND L. R. - 1967. Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide. Thèse de Doct. ès-Sc, Fac. des Sc., Orsay, 836 p.
- WEISS H. - 1972. Etude phytosociologique des mangroves de la région de Tuléar (Madagascar).
- LEBIGRE J.-M. - 1984. Problématique des recherches sur les marais maritimes de Madagascar en vue de leur protection et de leur aménagement. Madagascar, Revue de Géogr., n°44, pp. 45-74.
- WEISS H. - 1973. Etude phytosociologique des mangroves de la région de Tuléar (Madagascar).
- LEBIGRE J.-M. - 1990. Les marais maritimes du Gabon et de Madagascar. Thèse Univ. de Bordeaux III, Institut de Géographie, 704 p.
- WEISS H. - 1973. Etude phytosociologique des mangroves de la région de Tuléar (Madagascar).
- RABEFARITRA A. - 1988. Analyse écologique et sylvicole
1. Les mangroves de Sarodrano et Tuléar. Téthys, suppl. 3, pp. 297-319.
  2. Les mangroves du Nord-Fiherenana. Téthys, suppl. 5, pp. 315-334.
  3. Les mangroves d'Ankaloaka et d'Ankilibe. Téthys, suppl. 5, pp.467-526.

# BIODIVERSITE MARINE DU LITTORAL NORD-OUEST DE MADAGASCAR

## KARAZAN-JAVA-MANAN'AINA ANDRANOMASINA HITTA ANY AMIN'NY MORONTSIRAKA AVARATRA ANDREFAN'I MADAGASIKARA

Pierre LABOUE

### RESUME :

La communication, présentée sous forme orale, a pour thème une tentative d'inventaire de la biodiversité marine du littoral Nord-ouest de Madagascar.

L'auteur présente la méthodologie de la récolte, identification et réalisation d'une collection d'invertébrés marins littoraux de la région de Nosy Be et commente la projection de diapositives de photographies sous-marines de ces organismes.

A noter qu'il est envisagé de réaliser, en collaboration avec le Centre National de Recherche Océanographique (CNRO) de Nosy-Be, un ouvrage illustré sur la faune marine littorale du Nord-ouest de Madagascar.

### FAMINTINANA :

Ny fampahalalana, izay natao am-bava, dia mikasika fananganana tahirin-kevitra momban'ny "biodiversité" ao anatin'ny ranomasina avaratra-andrefan'i Madagasikara.

Nasehon'ny mpanolotra amin'izany ireo fombafomba fakana sy fisokajiana ary fanantanterahana ny tahirim-bibikely tsy misy taolana ao anaty ranomasina amin'ny faritr'i Nosy Be iny. Narahina sary sy fanazavana izany rehetra izany.

Marihina fa kasaina ny hanonta boky misy ny sarin'ireo bibin-dranomasina ao avaratra-andrefan'i Madagasikara ireo ka iarahana amin'ny Foibe ny Fikarohana andranomasina (CNRO) ao Nosy Be izany.

**SURVEILLANCE DE L'EVOLUTION DES PAYSAGES  
DE MANGROVES A L'AIDE DES DONNEES SATELLITE  
EXEMPLES PRIS A MADAGASCAR ET EN AFRIQUE DE  
L'OUEST**

**FANARAHAMASO NY FIOVAOVAN'NY TOTONLO IAINANA  
AVY AMIN'NY ALALAN'NY ZANABOLANA.  
RAISINA OHATRA AMIN'IZANY NY NATAO TETO  
MADAGASIKARA SY AFRIKA ANDREFANA**

Noële MOREAU

**RESUME :**

Les mangroves, formations à palétuviers caractéristiques des zones littorales des régions intertropicales, représentent une écosystème très riches tant pour l'agriculture, que pour la pêche, l'aquaculture (crabes et crevettes).

L'étude par images satellite permet non seulement de reconnaître toutes les composantes de ce paysage. mais aussi d'appréhender les ruptures d'équilibre de cet écosystème, d'accès difficile et souvent inhospitalier. Des exemples seront pris en Afrique de l'Ouest et à Madagascar.

**FAMITINANA :**

Ny honko, izay hita any amin'ny faritra tsy dia be orana any amoron-tsiraka ary anirian'ny karazan-kazo toy ny mahabibo, dia manana toetra tena ilaina amin'ny famokarana, na voly, na jono na fiompiana trondro toy ny drakaka sy makamba.

Ny fandinihina ny sary azo avy amin'ny zana-bolana dia tsy ahafahana mamantatra fotsiny ny drafitr'ilay toerana fa koa ahazoana manaramaso izay mety ho fahatapahan'ny firindran'ny fiainanana ao satria sarotra idirana sy tsy azo honenana izy ireny. Raisina ohatra ny any Afrika Andrefana sy ny eto Madagasikara.

## CARACTERES GENERAUX DE LA MANGROVE

Les mangroves qui ne se rencontrent que dans les régions tropicales et intertropicales, sont constituées d'arbres spéciaux, les palétuviers, qui ont la particularité de vivre, toute ou partie de leur vie, les pieds dans l'eau marine, soumise au balancement des marées.

L'alternance des marées est à l'origine de l'installation des 2 genres principaux de palétuviers en Afrique de l'Ouest : *RHIZOPHORA* (palétuviers avec racines échasses) et *AVICENNIA* (palétuviers avec racines à pneumatophores).

En effet, les mangroves de l'Afrique de l'Ouest font partie du domaine occidental, atlantique, moins diversifié au niveau des genres et des espèces que les mangroves de Madagascar, qui font partie du domaine oriental indo-pacifique, plus riche en espèces.

Mais le terme "mangrove" comprend non seulement les espèces forestières composées donc par les palétuviers, mais aussi les tannes naturels ou anthropiques, (tanne, terme vernaculaire sénégalais, désignant une zone nue sursalée, située en arrière de la mangrove), les fleuves qui parcourent ces paysages, ou les côtes qui les bordent.

Végétation terrestre et faune marine et fluviale composent donc un écosystème. Cet écosystème a ses propres lois de fonctionnement, difficiles à connaître.

En fonction des domaines considérés, les paysages de mangroves peuvent procurer différentes ressources économiques:

- dans les marigots ou dans les fleuves qui traversent les paysages de mangroves :
  - . la pêche
- dans les forêts de palétuviers :
  - . l'exploitation du bois pour le bois d'oeuvre ou la fabrication de charbon de bois

- . le défrichement des palétuviers pour la riziculture, en effet les sols de mangroves sont des sols riches car ce sont des sols alluvionnaires, et le riz est une plante halotolérante, leur défrichement pour aménager des bassins d'aquaculture, les zones de mangroves rassemblant, théoriquement, toutes les propriétés pour l'élevage de la crevette.

- sur les tannes : l'exploitation de sel si le tanne est vif, avec présence d'efflorescences salines, l'aménagement de rizières, si le tanne n'est pas trop salé ou si on peut le dessaler, l'aménagement de bassins d'aquaculture.

Les paysages de mangrove sont donc des milieux écologiques riches en potentialités. Mais on s'est aperçu que l'équilibre de cet écosystème ne résiste pas à des interventions brutales. Des exemples d'aménagement de mangrove mal pensé (en Casamance, poldérisation atteignant d'anciens sols acides à *RHIZOPHORA*) montrent qu'une fois l'équilibre de cet écosystème rompu, il est difficile de faire marche arrière, pour récupérer des terres devenues parfois stériles.

Aussi, nous allons vous montrer, après avoir rappelé les caractéristiques du satellite SPOT, que les données radiométriques relevées par SPOT permettent de mettre en évidence les contraintes naturelles dont il faudra tenir compte avant tout aménagement des mangroves, pour que celui-ci ne perturbe pas l'équilibre naturel de ces paysages, sans quoi l'aménagement lui-même ne sera pas rentable.

Le satellite SPOT est un satellite héliosynchrone qui passe au-dessus d'une région toujours à la même heure solaire qui ne dépend que de sa latitude. Tous les 26 jours, le satellite repasse exactement sur la même trace. Ceci permet d'effectuer des observations répétées d'une même région sous le même angle de visée verticale. Or comme il est possible d'orienter l'angle de visée des récepteurs en position latérale, l'observation d'une région quelconque de la Terre peut être assurée avec une périodicité variant de un à quelques jours, rendant ainsi possible le suivi de phénomènes localisés à évolution relativement rapide.

En mode multispectral, qui est celui qui nous intéresse, les détecteurs radiométriques du satellite SPOT captent la réflectance d'un pixel (ou plus petit élément observé au sol) de 20 m. dans 3 bandes de longueurs d'onde, ou canaux,

XS1 = 0,50-0,59mm, l du vert

XS2 = 0,61-0,68mm, l du rouge

XS3 = 0,79-0,89mm, l du proche IR

Les 3 canaux sont divisés en 256 niveaux d'intensité radiométriques.

La résolution spatiale de 20 m. convient bien, en général, aux mangroves aménagées puisque la surface d'un pixel représente la taille moyenne des parcelles rizicoles ou des salines.

La résolution spectrale convient bien à l'étude d'un paysage végétal tel que la mangrove, végétation amphibie. La présence d'eau donne une absorption dans l'IR, alors que la chlorophylle présente une réponse dans le vert, une absorption dans le rouge, et une réponse dans le proche IR.

### **DÉMONSTRATION DE TRAITEMENT NUMÉRIQUE D'UNE IMAGE SPOT**

Région du delta de la Tsiribihina, rive gauche du Bekopaka.  
Image de 1295 lignes et de 1076 colonnes qui est un extrait d'une scène SPOT (3000 lignes, 3000 colonnes).

Cette image contient 1.393.420 pixels, la valeur moyenne de radiance d'un pixel est codée numériquement sur 256 niveaux d'intensité sur les 3 canaux XS1, XS2, XS3.

Cette masse énorme d'informations est donc une véritable banque de données en énergie de radiation, au jour et à l'heure de l'image.

Tout le problème du traitement consiste à réduire cette information pour la rendre compréhensible.

Le traitement des données radiométriques consiste à ordonner tous ces niveaux d'intensité pour faire des cartes thématiques, en fonction des thèmes qui nous intéressent.

Il s'agit donc de classer les valeurs radiométriques, et la classification sera toujours faite avec une vérité-terrain à la clé.

Analyse monocanale :

Histogramme = le nombre de pixels par valeurs radiométriques

L'histogramme permet d'isoler des groupes de réflectance en constituant des classes, 2 minima encadrant un mode.

Or il est difficile de fixer les bornes des classes.

Nous allons donc travailler sur les valeurs radiométriques que nous allons visualiser individuellement.

Les bornes des classes seront donc fixées d'après la connaissance du thématicien.

En visualisant les données radiométriques relevées sur l'histogramme du canal 3, on voit que la signature spectrale de l'eau se trouve dans les faibles valeurs de l'Infra-Rouge, alors que celle de la végétation se trouve dans les fortes valeurs.

Le canal 3 distingue bien ces 2 classes.

Le canal 2 ne permet pas de distinguer l'eau de mer de la végétation, par contre les hauts fonds et l'eau des fleuves qui reflètent dans les hautes valeurs peuvent être individualisés.

Même chose pour le canal 1, en effet les canaux 1 et 2 sont toujours très corrélés dans les paysages de mangroves.

Si on faisait un histogramme bidimensionnel de ces 2 canaux, les informations radio-métriques se disposeraient suivant une droite.

La méthode des histogrammes monocanaux, faite sur une grande région, n'est pas satisfaisante, car, sauf pour le canal 3, plusieurs thèmes ont la même signature spectrale.

Analyse des 3 canaux simultanément :

La composition colorée numérique consiste à combiner de façon automatique les niveaux radiométriques des 3 canaux.

On distingue la composition colorée non supervisée, c'est-à-dire que tous les comptes radiométriques sont pris en compte, de 0 à 256, et la composition colorée supervisée, faite par le thématicien qui fixe lui-même les bornes minimales et maximales, sur chaque canal, en fonction de ce qu'il veut mettre en valeur.

La composition colorée classique consiste à colorer en fausses couleurs les valeurs retenues des canaux, en rouge les valeurs du canal 3, en vert, celles du canal 2, en bleu, celles du canal 1. Le document obtenu a les mêmes couleurs qu'une photo Infra Rouge Couleur (IRC). Chaque pixel prend donc une couleur différente en fonction de sa valeur sur chacun des 3 canaux.

Avec les bornes choisies, dans l'exemple,  
4-100, pour XS3,  
10- 70, pour XS2,  
13- 70, pour XS1,

on obtient une composition colorée intéressante, car on distingue bien la forêt sèche des mangroves, mais si on fait un zoom, c'est-à-dire qu'on observe au niveau du pixel, le manque de détail peut gêner le thématicien qui veut plus de renseignements en fonction de sa vérité-terrain.

Extraction d'une zone plus petite, bien connue du thématicien.

L'analyse monocanale faite sur un nombre de pixels plus réduits permet de mieux cerner les bornes que nous allons retenir pour une nouvelle composition colorée :

13-70, pour XS3,  
12-44, pour XS2,  
22-45, pour XS1,

La composition colorée obtenue donne plus de détails que la précédente, et on distingue bien les palétuviers, (*BRUGUIERA*), en rouge, des zones défrichées à l'intérieur de la mangrove, en vert, foncé ou clair, ce sont des défrichements clandestins faits derrière des rideaux de palétuviers pour aménager des rizières, ces zones ne sont pas encore plantées en riz, certaines sont abandonnées car elles sont colonisées par des herbes adventices tenaces, des *CYPERACEES* ou des *MIMOSACEES*, en marron rose, d'après la vérité-terrain faite par  
L . R A T S I M B A e t  
M.ANDRIAMASINORO.

Les rizières en activité sont très visibles et se distinguent bien en rose.

Pourquoi en rose :

forte réflectance dans l'IR,  
car végétation active

..... couleur rouge  
absorption dans le rouge,  
car végétation active

..... pas de vert.  
peu de réflectance  
dans le vert,..... peu de bleu

Rouge + un peu de bleu = rose

Les rizières abandonnées sont colorées en vert.

Pourquoi en vert :

faible réflectance dans l'IR,  
car pas de végétation active

..... pas de rouge  
forte réflectance dans le rouge,  
car pas de végétation

..... couleur vert  
faible réflectance  
dans le vert,..... peu de bleu

Vert + rien, ou un peu de bleu = vert

Les rizières en friches recolonisées par des adventices sont en vert + rose.

Nous avons vu qu'une composition colorée, faite scrupuleusement, avec une vérité-terrain précise, apporte beaucoup d'informations sur les paysages de mangroves.

Dans le cas de cette région du delta de la Tsiribihina, il serait intéressant de suivre avec des images ultérieures la progression de ces défrichements sauvages, qui se font dans des régions retirées, difficilement accessibles, et évaluer si la vitesse de cette progression ne va pas faire disparaître la population de *BRUGUIERA*.

Un autre exemple intéressant montre la nécessité de surveiller l'évolution des mangroves par satellite.

En Afrique, en Guinée, le traitement de l'image satellite de 1986, fait à l'échelle très précise du 17/000, a permis de voir des

*AVICENNIA* en position anormale, alors que la photographie aérienne de 1966 montrait des RHIZOPHORA à leur place.

L'installation des *AVICENNIA* est la preuve d'un changement dans la sédimentation de la boucle du Kapatchez.

A la demande des paysans guinéens, un aménagement a été effectué pour pallier l'excès de sédiments qui bouchait le cours du Kapatchez. Un canal a été construit parallèlement au Soussoudé, qui a exercé un drainage trop fort et a inversé le sens du courant. Cet aménagement a surdrainé les terres au lieu de les drainer raisonnablement et a bouleversé l'équilibre des sols, il s'en

est suivi un changement dans la végétation environnante, et la progression des rizières en friches.

Nous avons montré que l'étude des images spatiales des paysages de mangrove permet de prendre conscience, grâce à la précision des détails, des contraintes naturelles auxquelles doit obéir tout aménagement de ces régions, si on veut les aménager sans perturber l'équilibre de cet écosystème.

#### BIBLIOGRAPHIE :

MOREAU N., VERCESI L. (1989) - Cartographie des mangroves de Guinée à l'aide du satellite SPOT, in Rev.Photo Interpr., 89-1, fasc. 4, pp. 35-48.

MOREAU N. (1990) - Identification et Dynamique des paysages de mangroves en Guinée à l'aide du satellite SPOT1, in Editions du CNRS - TELEDETECTION

ET TIERS MONDE - pp.107-131

MOREAU N. (1991) - Contribution de la télédétection à l'étude de l'évolution des paysages de mangroves de l'Afrique de l'Ouest - Thèse de doctorat de l'Université de BORDEAUXIII 276 p.

**LA PECHE ET LA GESTION DES RESSOURCES THONIERES :  
DES ENJEUX POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET L'ECONOMIE MALGACHES.**

**NY JONO SY NY FITANTANANA NY LOHARANO-KARENA AZO AVY  
AMIN'NY LAMATRA : ANTOKA HO AN'NY FIKAROHANA SIANTIFIKA  
SY NY TOEKARENA MALAGASY.**

Patrice CAYRE

**RESUME :**

Ce sont près de 20% des captures mondiales (3,1 millions de tonnes en 1992) de thonidés majeurs qui proviennent actuellement de l'océan Indien; l'exploitation des thons tropicaux (albacore, bonite à ventre rayé et thon obèse) a en effet littéralement explosé dans le sud-ouest de l'océan Indien au cours de la dernière décennie, en passant de 117.000 t en 1981 à 450.000 t en 1991. Cet accroissement est essentiellement dû à l'avènement de la pêche industrielle de surface (senne) même si les pêcheries traditionnelles représentent toujours une part prépondérante (56%) dans les captures, fait caractéristique de cet océan. Les thons et leur pêche sont ainsi devenus un enjeu économique de premier plan pour Madagascar et les pays de la région, alors que les caractéristiques et potentialités offertes par cette ressource étaient très peu connues et étudiées.

Après avoir mentionné la nécessité d'actions régionales et internationales consensuelles pour la gestion effective de ressources hautement migratrices comme les thons, on trouvera ici un bref rappel des méthodes utilisées pour disposer d'éléments objectifs indispensables à cette gestion. L'importance des enjeux économiques et les nécessaires opérations de recherche qui ont été entreprises en coopération avec l'ORSTOM pour y faire face dans un cadre régional sont exposées. Il apparaît ainsi clairement qu'une coopération internationale s'impose en matière de gestion des ressources thonières et cela pour le bénéfice des différents acteurs de la pêche, pays riverains et pays exploitants, qui ont tous intérêt à une exploitation durable.

**FAMINTINANA :**

Ny 20 % amin'ny vokatra azo erantany (3,1 tapitrisa tonina tamin'ny 1992) amin'ny jono lamatra vaventy dia avy amin'ny Oseana Indiana. Tao anatin'ny folo taona lasa izay dia nirongratra tokoa ny fitrandrahana lamatran'ny tany mafana (lamatra, vohy, lamatra matavy) 117.000 T tamin'ny 1981, niakatra 450.000 T tamin'ny 1991. Mamokatra kokoa ny jono nentin-drazana (56%) raha ny eto amin'ity oseana ity no dinihina nefa dia isan'ny nampitombo ny vokatra ny fisian'ny jono indostrialy (senne). Nanjary isan'ny voalohan'ny amin'ny tambin-karena ho an'i Madagasikara sy ireo tany manodidina azy ny lamatra sy ny jono lamatra kanefa dia zara raha fantatra sy voadinika ny momba azy sy ny tombontsoa mety ho azo aminy.

Rehefa voamarika ary fa ilaina ny fandrindrana ny asan'ny mpanjono, na tera-tany izany na iraisam-pirenena, eo amin'ny fitantanana tena izy ny haza mpifindra toerana toy ny lamatra, dia tsiahivina vetivety ny fomba hampiasaina mba hahafantarana izay tena ilaina ka hahatratrarana ny zavakinendry eto an-toerana.

Novelambelarina ny maha-zava-dehibe ny tambin-karena sy ny asam-pikarohana izay natao niaraka tamin'ny ORSTOM mba hiantrehana izany eto an-toerana. Mazava tsara fa tsy maintsy mila fiaraha-miasa iraisam-pirenena eo amin'ny fitantanana ny famokarana ny lamatra ary izany dia ho tombotsoan'ny rehetra izay mila ny fitrandrahana mba haharitra sy hateza.

## LA PECHE DES THONS DANS LE MONDE ET LA RECHERCHE DANS L'OCEAN INDIEN

Les thons sont depuis des temps immémoriaux très activement pêchés dans l'ensemble des océans. Les captures mondiales de thonidés majeurs<sup>1</sup>, environ 2,8 millions de tonnes, par an proviennent essentiellement de l'Océan Pacifique (65,7 %), de l'Océan Atlantique (14,5 %) et de l'Océan Indien (19,8 %). La bonite à ventre rayé ou listao, représente actuellement l'espèce de thon la plus pêchée mondialement (43 % des captures de thons).

En zone intertropicale, où se situent les eaux malgaches, les espèces exploitées par les pêcheries industrielles sont essentiellement : l'albacore, le listao (ou bonite à ventre rayé) et le thon obèse aussi appelé patudo. Ce sont ces espèces qui font l'objet de la pêche de la cinquantaine de grands thoniers senneurs océaniques (Espagne, France, Japon, URSS, Maurice) en activité dans la partie occidentale de l'Océan Indien. (figure 1)

La fantastique croissance des captures de thonidés majeurs dans l'Océan Indien depuis le début des années 80 (tableau 2 et figure 2) a suscité un effort de recherche particulièrement important dans le cadre du Projet Thonier Régional de la Commission de l'Océan Indien (projet administré par l'Association Thonière dont le siège est à Antananarivo) avec l'aide de l'ORSTOM qui en coordonne les activités scientifiques. Ce projet, financé en partie par les états de la COI (Comores, France pour la Réunion, Madagascar, Maurice, Seychelles) et pour l'essentiel par le FED (Fonds Européen de Développement), s'occupe spécifiquement de jeter les bases d'un suivi de l'exploitation thonière et de ses conséquences sur les ressources afin d'en assurer une exploitation durable. Il vise à terme la mise en place d'un ensemble de moyens et de compétences (réseau statistique régional, opérations de recherche sur la biologie, l'environnement et les migrations des thons ...) qui permettront aux pays de la COI de jouer pleinement un rôle d'excellence au sein d'une future Commission Thonière de l'Océan Indien dont les statuts sont en cours d'élaboration.

ANNEE/ ESPECE	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
YF	622	724	789	866	912	964	1058	993	1092
SJ	1063	914	1090	1040	1282	1222	1302	1561	1421
BE	208	242	257	249	232	238	272	248	250
ALB	176	189	213	220	225	244	230	168	213
BLF	73	73	62	58	56	53	47	44	48
LOT	64	92	86	83	141	133	166	134	122
TOTAL	2206	2234	2506	2516	2848	2854	3075	3148	3146

Tableau 1 : Production mondiale (milliers de tonnes) de thonidés majeurs. (Sources FAO)

Année	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
YFT	38	47	61	97	102	121	129	181	164	181	178
SKJ	46	53	62	103	136	150	172	204	240	212	216
BET	33	39	44	36	42	46	48	54	41	45	44
ALB	13	23	17	15	10	28	42	40	18	28	31
SBF	26	29	37	30	28	22	19	19	14	9	7
OTH	128	168	163	157	223	213	249	254	246	238	289
BIL	11	11	10	11	18	19	18	18	18	14	16
Total	295	370	394	449	557	599	677	771	741	726	780

Tableau 2 : Capture annuelles (milliers de tonnes) de thons et espèces voisines dans l'océan Indien de 1980 à 1991 (source ITP) ; YFT = albacore, SKJ = bonite à ventre rayé, BET = thon obèse, ALB = germon, SFB = thon rouge du sud, OTH = autres petits thonidés et scombridés, BIL = espadon et marlins.

<sup>1</sup> par thonidés majeurs on entend les espèces qui ont légalement droit à l'appellation commerciale de "thon" et qui sont notamment destinées à la conserve.

## LA GESTION DES RESSOURCES THONIERES

La qualité de "grands migrateurs" reconnue officiellement aux thonidés par la Convention des Nations Unies sur le Droit de la mer (Caracas, 1982) induit une exploitation appliquée sur une vaste échelle océanique qui déborde largement les limites juridiques reconnues des Zones Economiques Exclusives (ZEE) d'Etats riverains. La gestion des pêcheries thonières est rendue particulièrement complexe en raison de ce comportement migrateur, de l'étendue des zones fréquentées et de la multiplicité des pays qui exploitent les thons avec des engins de pêche très divers. Pour ces raisons il apparaît, sauf cas très exceptionnels, que ces espèces ne peuvent être gérées à l'échelle des ZEE d'un ou même de plusieurs pays isolément.

Le souci légitime de Madagascar et des pays riverains de protéger une ressource importante qu'ils souhaitent exploiter au mieux, directement (création d'armements thoniers nationaux) ou indirectement (négociation d'accords de pêche, conserveries), ont conduit ces pays et aussi les pays exploitants (en raison des investissements matériels et financiers énormes qu'implique l'exploitation thonière) à s'inquiéter de la pérennité de la ressource et de son exploitation rationnelle.

Pour étudier une population exploitée et la gérer il faut avant tout disposer d'une estimation de son abondance ; il est possible d'estimer cette dernière par l'intermédiaire des rendements réalisés par les bateaux de pêche. Il est ensuite nécessaire de modéliser l'exploitation et la réponse des populations, de thons en l'occurrence, à cette exploitation. Celle-ci dépend étroitement des caractéristiques biologiques des espèces exploitées et de leurs relations avec l'environnement, toutes choses qu'il convient donc d'étudier afin d'alimenter les modèles.

Un modèle se définit comme une entité mathématique que l'on substitue à la réalité. Dans l'élaboration d'un modèle on va donc simplifier la réalité en essayant de la respecter au mieux par l'incorporation de paramètres destinés à quantifier les aspects essentiels d'un processus biologique (et éventuellement économique). Les modèles

auront pour but de décrire et éventuellement d'expliquer un ensemble complexe intégrant les interactions entre la biologie d'une espèce (mortalité naturelle, croissance, fécondité, comportement, migrations ...), l'environnement et son exploitation (statistiques de capture, effort de pêche, capturabilité). Tous ces facteurs nécessitent pour être connus l'entreprise de recherches approfondies menées conjointement dans différents domaines de la biologie (âge, croissance, mortalité, reproduction, migrations, ...) avec des techniques particulières (histologie, marquage, entre autres). Par ailleurs l'acquisition régulière, précise et exhaustive des statistiques de pêche détaillées (prises, efforts de pêche, taille des poissons exploités) à une échelle d'espace et de temps fine, est absolument indispensable à l'élaboration de ces analyses de dynamique des populations.

Une cellule statistique a été mise en place à Antsiranana à cet effet dans le cadre du Projet Thonier Régional. des chercheurs et techniciens du Ministère de l'Elevage et de la Pêche, du Ministère de la Recherche Appliquée au Développement (CNRO de Nosy-Be) et de l'ORSTOM y travaillent en étroite et harmonieuse collaboration.

Un modèle est donc essentiellement descriptif, parfois explicatif et prédictif moyennant un certain nombre d'hypothèses supplémentaires sur l'évolution future de l'exploitation et de la biologie des espèces. Les modèles sont utilisés comme base de décision pour, si cela apparaît nécessaire, prendre des mesures de gestion visant notamment à réduire l'effort de pêche, à imposer une taille minimale des individus exploités ou à instaurer un système de quota limitant les captures totales.

Les deux grands types de modèles classiquement utilisés à l'heure actuelle en dynamique des populations sont :

**Les modèles synthétiques ou globaux** : ils servent à décrire comment un stock de poisson réagit à la pêche et notamment si on ne pêche pas plus que la population ne permet compte tenu de ses capacités propres d'accroissement (reproduction, croissance, longévité des individus). Outre certaines hypothèses sur l'identité des stocks il suffit pour les utiliser de posséder les données concernant les prises et les efforts de pêche réalisés sur le stock considéré.

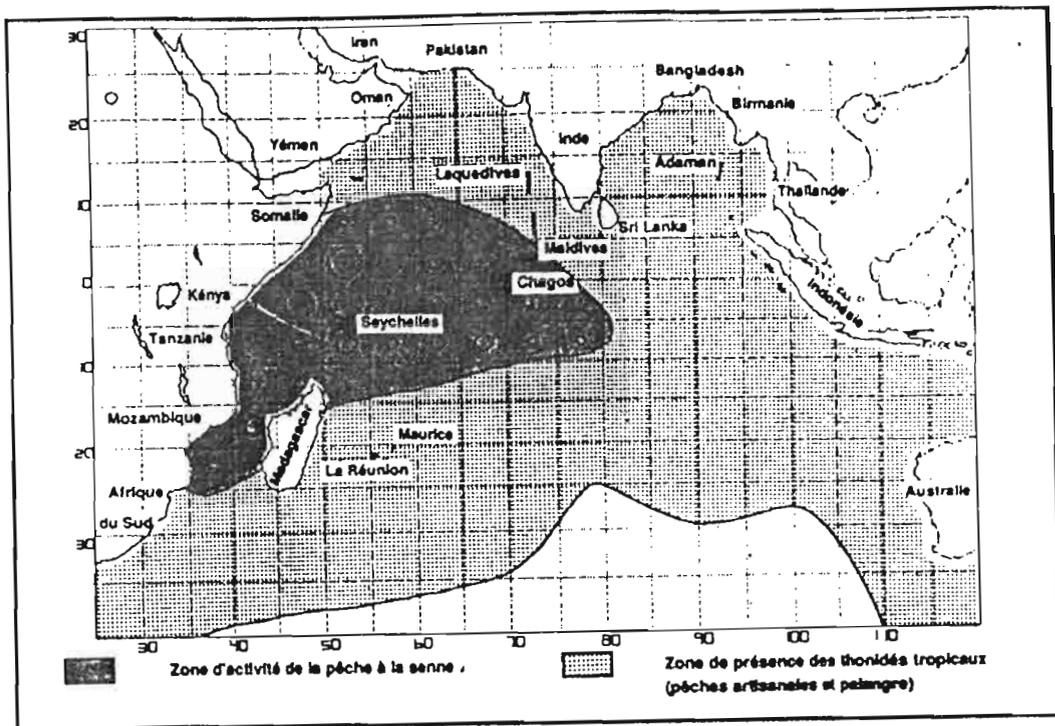
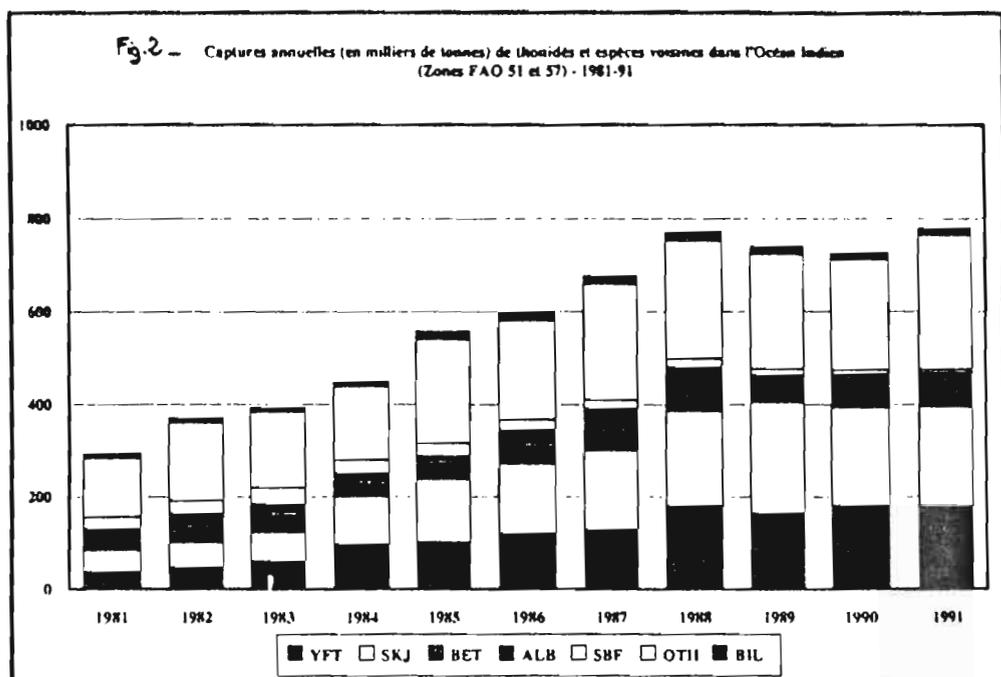


Figure 1. les zones de pêche thonière dans l'océan Indien



Les modèles globaux vont apporter des renseignements sur la position de la pêcherie à un moment donné, par rapport à une courbe de production équilibrée et par rapport au point optimal de la Production Maximale Équilibrée (PME). on peut ainsi décrire quatre phases différentes dans l'exploitation d'un stock (figure 3)

- Stock sous exploité :  
Toute augmentation de l'effort de pêche se traduira par une augmentation des captures.
- Stock modérément exploité :  
Une augmentation de l'effort de pêche se traduit par une faible mais significative augmentation des captures.
- Stock pleinement exploité :  
La production maximale équilibrée est atteinte. Les captures sont égales à ce que le stock produit naturellement par le jeu de la croissance des individus et du recrutement.
- Stock surexploité :  
Toute augmentation de l'effort de pêche n'entraîne qu'une diminution des captures qui peut parfois aller jusqu'à une diminution irréversible du stock.

Lorsque l'on constate que la PME et l'effort qui y correspond sont dépassés, ces modèles indiquent que le stock est surexploité, et servent alors de signal d'alarme. Ils ont souvent été utilisés comme base de décision pour prendre des mesures de gestion visant notamment à réduire l'effort de pêche ou à instaurer un système de quota des captures totales effectuées sur un stock menacé.

**Les modèles analytiques ou structuraux** : ils ne vont pas simplement décrire comment un stock réagit à la pêche, ils vont permettre de comprendre pourquoi et comment il réagit. dans ce type de modèle le maximum de paramètres caractéristiques d'un stock (mortalité, croissance, composition en âge des captures, recrutement, ...) seront pris en compte. Le nombre de paramètres sera limité à ceux jugés les plus caractéristiques du stock afin de ne pas créer une complexité trop grande rendant le modèle inutilisable dans la pratique. Ces modèles

analytiques permettent de déterminer s'il est utile ou non de diminuer les captures d'individus inférieurs à une taille donnée pour augmenter la productivité globale du stock (figure 4). En effet, pour gérer une pêcherie on peut généralement agir sur deux facteurs : la taille (ou l'âge) des premiers individus capturés et la mortalité par pêche.

## **LES PECHERIES THONIERES DANS L'OCEAN INDIEN**

Par "pêcherie" il faut entendre un ensemble de moyens de capture mis en oeuvre conjointement. Cet ensemble sera limité, selon les cas et les besoins, par différents paramètres ou critères qui seront considérés séparément ou conjointement pour définir de manière plus ou moins restrictive la pêcherie en question. Le premier de ces critères peut être l'espèce ou un ensemble d'espèces exploitées (ex: la pêcherie thonière). D'autres critères concernent la nature des engins de pêche ou la zone de pêche proprement dite (ex : la pêcherie thonière à la senne dans l'Océan Indien) ; des critères sociaux économiques voire nationaux peuvent aussi être invoqués pour définir une pêcherie (ex : la pêcherie artisanale thonière dans cet océan).

L'exploitation thonière dans l'Océan Indien peut être divisée selon deux pêcheries (tableau 3) : la pêcherie industrielle et la pêcherie artisanale. Cette dernière représente en effet une part très importante (56 % en 1991) et caractéristique de l'exploitation thonière dans cet océan.

La croissance spectaculaire de l'exploitation industrielle (figure 5) au cours des dix dernières années explique la diminution de l'importance relative de la pêche artisanale (de 68 % des captures en 1980 à 56 % en 1991), pourtant en forte croissance elle aussi (+ 104 % de 1980 à 1991). Les pêcheries artisanales, aussi parfois appelées traditionnelles, se caractérisent en générale par la nature et la diversité des engins de pêche utilisés (lignes à main, harpons, filets divers) par la taille réduite des unités de pêche (pirogues, barques) et par les structures socio-économiques qui soutiennent et encadrent les activités halieutiques artisanales. On remarquera que les éléments de définition des pêcheries artisanales se traduisent en terme d'espèces

exploitées (tableau 3, figure 5) ; les pêcheries industrielles (senneurs, fileyeurs et palangriers) visent préférentiellement l'exploitation des espèces qui alimentent les marchés internationaux alors que les pêcheries artisanales exploitent en majorité des espèces destinées à des marchés nationaux (consommation intérieure).

Cette description demeure cependant très schématique dans la mesure où elle élimine tous les particularismes et les différences fondamentales qui peuvent exister entre diverses pêcheries artisanales ou industrielles. Ainsi la Proportion de thonidés majeurs exploités par les pêcheries artisanales (39 % en 1991) est loin d'être négligeable (figure 5), et concourt aussi dans certains cas à alimenter des marchés internationaux. A titre d'exemple dans l'Océan Indien on peut citer les Maldives dont une importante proportion des conséquentes captures annuelles de thonidés majeurs (environ 65 000 tonnes) est destinée à l'exportation sur le marché international. Ceci illustre bien l'existence des nombreuses compétitions ou interactions potentielles entre pêcheries de nature différentes et parfois géographiquement éloignées, exploitant des espèces et stocks communs.

En ce qui concerne plus particulièrement Madagascar une conserverie importante (la plus importante de la région) est en activité à Antsiranana, et des projets d'accroissement des capacités de mise en conserve sont envisagés. Des palangriers asiatiques sont susceptibles d'accroître leurs débarquements à Madagascar et de nombreux senneurs et cargos frigorifiques chargés de thons relâchent et débarquent ou transbordent leur cargaison à Antsiranana. (figure 6)

## LES ENJEUX POUR MADAGASCAR

La négociation des accords de pêche avec la CEE (maintenant Union Européenne) et l'ensemble des activités énumérées représentent donc un secteur très important de l'activité économique malgache qu'il faut préserver et développer. Madagascar doit pouvoir faire valoir ses intérêts dans l'Océan Indien pour se ménager année après année un accès aux ressources thonières si des projets de développement d'une flotte thonière nationale venaient à se concrétiser. Dans cette optique il est donc essentiel de s'assurer que les stocks ne sont pas surexploités. Etant donné que les ressources thonières recouvrent à la fois les ZEE de différents pays et les eaux internationales, les intérêts malgaches passent par une gestion rationnelle et une préservation de ces ressources sur l'ensemble de leur aire de répartition ; ils ne peuvent donc s'exprimer que dans le cadre d'une organisation internationale regroupant pays riverains (exploitants ou non) et pays exploitants non riverains.

Les entraves majeures qui demeurent à la création et au fonctionnement de ces organismes internationaux tiennent essentiellement à une défiance mutuelle instinctive et à des intérêts à long terme mal compris des différents acteurs. La tentation générale de réaliser à court terme des profits importants peut inciter les uns à vouloir imposer des droits de pêche et des mesures contraignantes excessifs, et les autres à fausser leurs déclarations de captures pour minimiser les "pressions" excessives des premiers et se garder de la concurrence. Mais chacun comprend de plus en plus clairement maintenant que la gestion des ressources et de l'exploitation thonières ne peut reposer que sur une base consensuelle car il y va de l'intérêt commun.

Année Type de pêche Groupe d'espèce	1980				1991			
	Artisanale		Industrielle		Artisanale		Industrielle	
	Tonnage	%	Tonnage	%	Tonnage	%	Tonnage	%
Thonidés majeurs	69,5	47 %	77,5	53 %	184,3	39 %	290,5	61 %
Petits Thonidés et Thazards	123,5	96 %	5,2	4 %	201,4	93 %	14,7	7 %
Poissons à rostre	1,1	11 %	8,7	89 %	11,2	73 %	4,2	27 %
	194,1	68 %	91,4	32 %	396,9	56 %	309,4	44 %

**Tableau 3 :** évolution (1980-1991) des captures (exprimées en milliers de tonnes) de thonidés et de poissons à rostre dans les pêcheries artisanales et industrielles de l'Océan Indien.

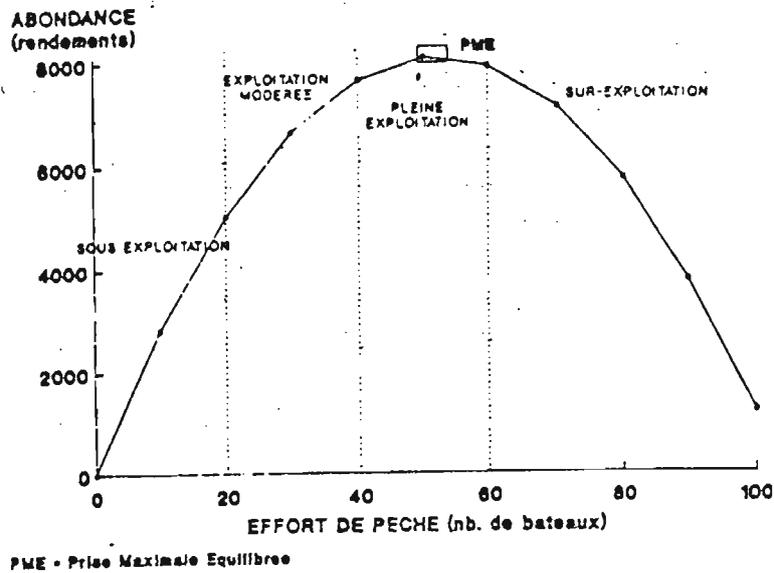


Figure 3: relation entre l'abondance d'un stock de poisson et l'effort de pêche

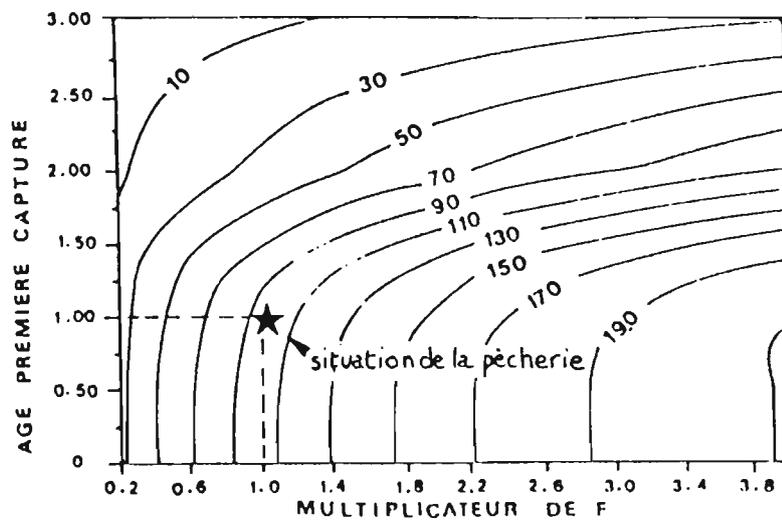


Figure 4: exemple d'isoplèthes de production par recrue calculées par un modèle analytique.

Cette figure montre que la production de la pêcherie donnée en exemple (env. 100.000 tonnes) ne pourrait en aucune cas être augmentée par une réglementation visant à accroître la taille légale des poissons capturés; seule un accroissement de l'effort de pêche (nombre de bateaux) serait susceptible d'augmenter une production que le stock peut supporter

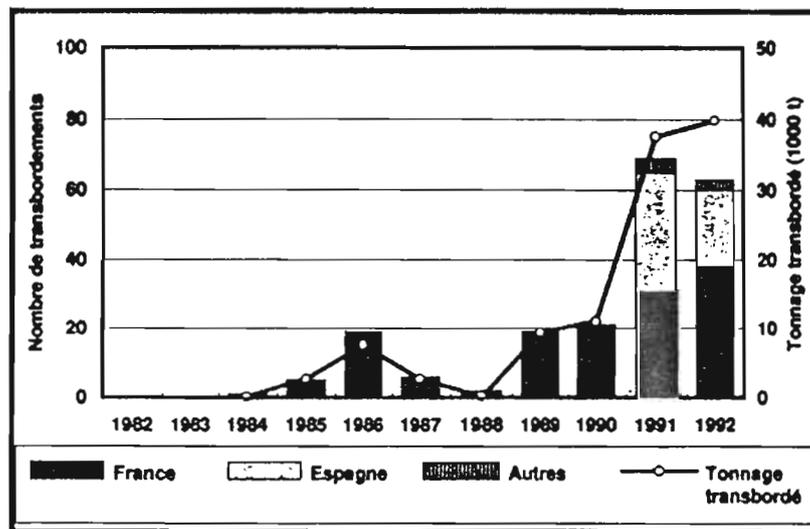
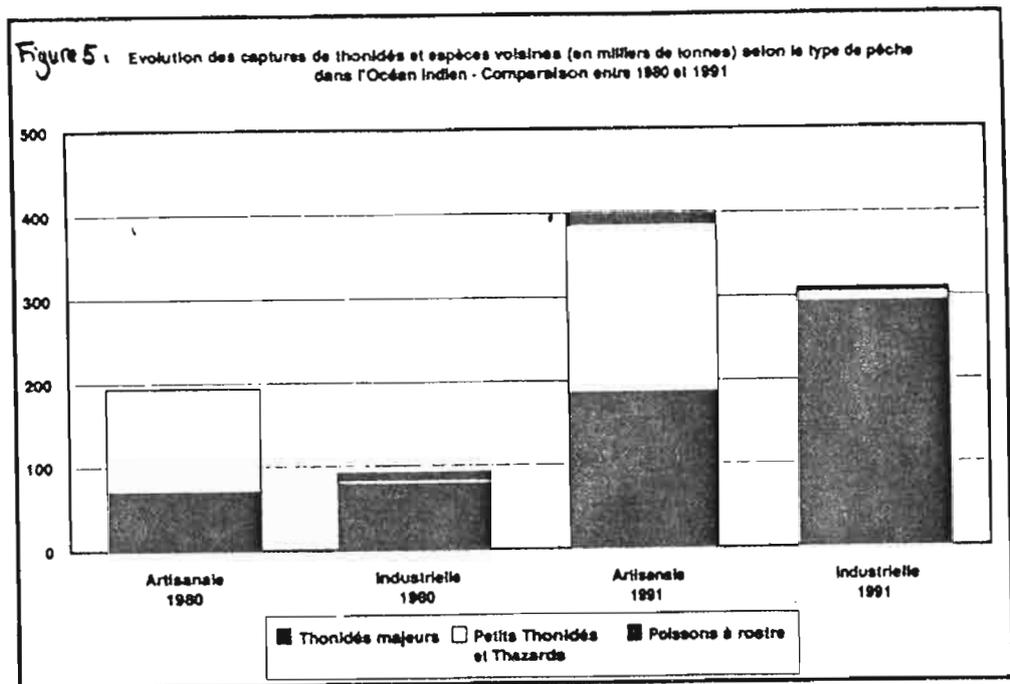


Figure 6 : évolution des débarquements et transbordements de thon au port d'Antsirana

## LES ANTIPALUDIQUES DE LA MER

### Ireo ODY TAZO AVY AMIN'NY RANOMASINA

J.L.RAZANAMPARANY, V.O.ANDRIANASOLO, P.LABOUE, R. JAMBOU,  
Y.RANARIVELO et D.CORTADELLAS.

#### RESUME:

Pour la première fois à notre connaissance, une activité antipaludique a été décelée chez deux Invertébrés marins.

Ces deux Invertébrés, récoltés dans la région de Nosy Be, sont originaux et encore indéterminés. Il ont été confiés aux spécialistes de leurs groupes zoologiques, qui n'ont pas encore rendu leur réponse. En attendant, ils sont nommés SAMP 06 et SAMP 12 : SAMP du nom du programme scientifique qui leur a valu d'émerger (SUBSTANCES ACTIVES MARINES DE MADAGASCAR) ; 06 et 12 parce qu'ils sont le 6ème et le 12ème des 22 organismes marins chez lesquels a été recherchée une activité antipaludique.

Ces 22 Invertébrés, récoltés en plongée sous-marine, ont eux-mêmes été sélectionnés d'après les critères biologiques et bibliographiques.

L'activité antipaludique que nous avons mise en évidence chez SAMP 06 et SAMP 12 est due, dans les deux cas, à un principe actif de nature protéinique, qui a pu être purifié mais n'est pas encore analysé. C'est également la première fois, toujours à notre connaissance, qu'une activité antipaludique est rapportée de substances protéiniques.

Cette activité antipaludique a été mise en évidence "in vivo" sur des souris de laboratoire infestées par *Plasmodium berghei*, parasite murin, et "in vitro" sur des cultures de *Plasmodium falciparum*, parasite humain. Son observation doit être améliorée et confortée au fur et à mesure que nous progressons dans la connaissance de la structure de la substance active responsable dans chacun des cas.

#### FAMINTINANA :

Araky ny fahalalanay dia voalohany izao no nahitana fa misy hery miasa mandresy ny tazo ao amin'ny bibikely tsy misy taolana (invertébrés) ao an-dranomasina ao.

Ireo bibikely roa ireo, izay nalaina tao amin'ny faritry Nosy Be, dia miavaka sy mbola tsy voafaritra. Natolotra ny manampahaizana momban'ny biby izy ireo mba ho sokajiana araka ny toerana misy azy nefa dia mbola tsy nahazoana valiny izany hatramin'izao. Eo ampiandrasana izany dia nomena anarana hoe SAMP 06 sy SAMP 12 izy ireo : ny SAMP dia anaran'ny fandaharan'asa nahitana ny fisian'izy ireo (Substances Actives Marines de Madagascar); ny 06 sy 12 kosa dia satria izy ireo no biby tsy misy taolana faha-6 sy faha-12 amin'ireo biby an-dranomasina 22 nanaovan'ny fandaharan'asa (SAMP) fikarohana momban'ny tazo.

Ireo biby tsy misy taolana 22 ireo koa dia nofidiana araka ny sokajy "biologiques" sy "bibliographiques" misy azy avy.

Ny asa manohitra ny tazo izay nasongadina ao amin'ny SAMP 06 sy SAMP 12 dia vokatra ny toetra misy "protéine" ao aminy ka azo nodiovina nefa kosa mbola tsy voahadiady. Sambany koa, araky ny fahalalanay, no nahitana fa misy hery miasa amin'ny tazo avy amin'ny zavatra misy "protéine".

Io asa manohitra ny tazo natao fikarohana io dia nasongadina tamin-javamananaina (in vivo) avy amin'ny alalan'ny totozy misy otrik'akeritana (parasite murin) "*Plasmodium berghéi*", ary ara-pikarohana (in vitro) tamin'ny voly otrik'aretina (parasite humain) "*Plasmodium falciparum*". Mbola mila fanatsarana sy fanoharana maro, arakaraky ny fahalalana azo momba io hery miasa manohitra ny tazo io ny fandinihina tokony atao.

L'objectif du programme SAMM (Substances Actives Marines de Madagascar) est de chercher des substances antipaludiques à partir d'organismes marins.

Pour réaliser ce programme, un accord a été signé pour trois ans le 31 mai 1991 entre le CNRO (Centre National de Recherches Océanographiques - Nosy Be) et l'ORSTOM.

En fonction de cet accord, l'inventaire de la biodiversité marine, nécessaire à la connaissance des organismes marins étudiés, a été réalisée à Nosy Be. Cependant, les travaux biochimiques et pharmacologiques ont du être effectués à Antananarivo, dans les laboratoires de l'Institut Pasteur de Madagascar ainsi que dans les laboratoires de Biochimie et de Chimie des Produits Naturels de la Faculté des Sciences.

#### I/ BIOLOGIE MARINE

Dans sa communication, remarquablement illustrée, P. Laboute a décrit le milieu marin de la région de Nosy Be et montré sa richesse en Invertébrés marins. Pour la plupart, ces organismes, inféodés au milieu corallien, ne sont pas encore décrits.

Chacun des organismes échantillonnés est répertorié sur une fiche, est photographié "in situ" et est éventuellement mis en collection dans un liquide de conservation approprié.

Parmi les 450 espèces récoltées depuis septembre 1992, 22 ont fait l'objet de recherche d'activité antipaludique. Ces 22 organismes marins ont été sélectionnés selon des critères de nouveauté et d'originalité zoologiques.

Les quantités récoltées pour l'étude pharmacochimique varient entre 0,3 et 3 kg. Les échantillons sont numérotés de 1 à 22 puis dénommés selon un code - SAMM 01, SAMM 02, SAMM 03, etc - en attendant que leur détermination exacte soit donnée par les spécialistes des groupes zoologiques auxquels ils appartiennent.

#### II/ ETUDE PHARMACOCHEMIE

##### A/ EXTRACTION DES SUBSTANCES ACTIVES

Nous avons d'abord réalisé, à partir de ces 22 organismes marins sélectionnés, l'extraction des substances actives. Nous avons utilisé deux méthodes d'extraction à froid, par les solvants organiques d'une part, et par l'eau d'autre part.

##### 1/ EXTRACTION PAR LES SOLVANTS ORGANIQUES

Le matériel animal décongelé est broyé. L'extraction est ensuite conduite selon la méthode classique, à savoir l'utilisation du méthanol à froid puis la méthode de partage liquide-liquide avec des solvants organiques : dichlorométhane, acétate d'éthyle, et enfin n-butanol.

##### 2/ EXTRACTION AQUEUSE

Nous avons opté pour une simple extraction en milieu aqueux à froid, dans un rapport P/V = 3/4.

Ce mode d'extraction ayant pu être réalisé sur place à Nosy Be, les organismes marins ont été broyés frais (et non congelés) ; le broyat est agité pendant 2 heures à 4°C puis centrifugé. Le surnageant résultant, de coloration très foncée (orange ou brune), constitue l'extrait brut (E.B).

##### B/ ESSAIS BIOLOGIQUES

###### 1/ ESSAIS DE TOXICITÉ

Des tests de toxicité ont été effectués sur tous les échantillons en administrant, en une seule injection intrapéritonéale, 0,5 ml d'extrait brut à des souris SWISS pesant 20 +/- 2 g.

Les extraits organiques issus de SAMM 01, 04, 05, 06, 09 et 12 ont été repris avec du DMSO 1%, puis testés biologiquement. Ils n'ont présenté aucune toxicité.

Trois extraits aqueux se sont montrés toxiques et ont provoqué la mort des souris entre 4 et 24 heures. Il s'agit de SAMM 01, SAMM 06 et SAMM 12.

Nous rappelons que les extraits organiques de ces trois mêmes échantillons n'avaient présenté aucune toxicité.

###### 2/ ESSAIS ANTIPALUDIQUES

L'activité antipaludique a été testée "in vivo" sur un lot de 20 souris SWISS selon le protocole suivant :

- à J<sub>0</sub>, les souris sont inoculées par voie intrapéritonéale avec Plasmodium berghei (parasite murin) ; le taux de parasitémie est de 2 %.
- à J<sub>1</sub>, 0,25 ml d'extrait brut dilué au 1/4, ce qui constitue la dose non toxique, sont administrés aux souris "traitées" par voie sous-cutanée.

Les extraits organiques toxiques n'ont révélé aucune activité antipaludique "in vivo".

Des extraits aqueux toxiques SAMM 01, SAMM 06 et SAMM 12 testés "in vivo", seuls SAMM 06 et SAMM 12 sont actifs sur Plasmodium berghei.

L'évolution des parasites a été suivie en effectuant des frottis sanguins (méthode May Grunwald - Giemsa). Les témoins meurent entre 6 et 8 jours avec une parasitémie de 8 %, tandis que les souris traitées résistent jusqu'à 21 jours avec une parasitémie moyenne de 5,3 % (cf. tableau 1).

Les extraits organiques issus de SAMM 01, 06 et 12 n'avaient, nous le rappelons, présenté aucune toxicité.

Par la suite, nous avons délibérément négligé l'étude pharmacochimique des extraits autres que les extraits aqueux de SAMM 06 et de SAMM 12. Nous avons également cessé de récolter de nouveaux organismes marins, préférant approfondir notre étude plutôt que d'effectuer un criblage d'activités superficiel. Notre choix a été déterminé autant par des facteurs matériels (temps et moyens disponibles) que par des critères scientifiques puisque nous avons en effet la chance insigne d'avoir décelé **une activité anti-paludique dans des extraits aqueux d'Invertébrés marins encore inconnus, toutes nouveautés remarquables selon la bibliographie.**

A ce jour, d'ailleurs, la détermination zoologique des Invertébrés marins SAMM 06 et SAMM 12 est toujours à l'étude auprès des spécialistes. Nous savons seulement à quel grand groupe appartient SAMM 12, et que SAMM 06 serait probablement **un symbiote dont un des éléments appartiendrait au même grand groupe que SAMM 12. Ce dernier point est en lui-même d'un**

**grand intérêt scientifique** ; il semble expliquer en partie les comportements pharmacochimiques parallèles de SAMM 12 et de SAMM 06 et la sorte de "compétition" que nous avons pu noter entre ces deux substances au cours de la purification et des essais "in vitro".

Bien évidemment, compte tenu de la nouveauté et de l'intérêt potentiel de notre recherche, nous considérons pour l'instant comme confidentielles les rares indications que nous avons sur l'identité zoologique des Invertébrés SAMM 06 et SAMM 12.

#### C/ PURIFICATION

Nous avons voulu avoir une première idée de la nature chimique du principe actif des extraits aqueux de SAMM 06 et de SAMM 12 en les soumettant à un traitement thermique : l'extrait brut est chauffé à 70°C pendant 15 mn. Le précipité qui se forme est éliminé par centrifugation.

Le surnageant de couleur claire (jaune ou brun) n'est pas actif. Le principe actif est donc un produit thermolabile.

D'autre part, comme les extraits alcooliques de ces deux organismes n'ont révélé, on le sait, aucune toxicité, on peut en déduire que leurs principes actifs sont dénaturés par les solvants organiques.

Pour situer approximativement la masse moléculaire de ces principes actifs, nous avons dialysé une partie aliquotée de la solution. Dans les deux cas, elle n'était pas dialysable. Les substances ont donc une masse moléculaire élevée.

Partant de ces données, nous avons émis l'hypothèse de la nature protéique des substances actives antipaludiques extraites de SAMM 06 et de SAMM 12. Leur purification a été dirigée dans cette voie.

1) Dans une première étape, nous avons précipité les protéines au sulfate d'ammonium à 100 % selon la méthode de William. Le précipité obtenu est dissous dans l'eau, dialysé pendant 72 heures à 4°C, puis concentré. Le concentrat, de couleur foncée, est toxique. Il constitue l'extrait sulfate (E.S.).

2) Dans une deuxième étape, nous avons choisi une méthode de fractionnement suivant les charges en utilisant un échangeur d'anions, le DE 52 (Whatman) :

L'extrait sulfate est déposé sur ce support préalablement équilibré avec du tampon tris-HCl 50 mM pH 7,6 ; deux pics, A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, pour SAMM 06, et un pic, B<sub>1</sub>, pour SAMM 12, correspondant à des substances non retenues par l'échangeur, apparaissent lors du lavage de la colonne avec le tampon précédent (cf. figure 1).

Les substances adsorbées sont éluées avec une solution NaCl 0,3 M dans le tampon d'éluion. Il en sort, pour l'une et l'autre des deux substances, un seul pic, dont les fractions sont fortement colorées.

Toutefois, seuls les pics A<sub>1</sub> et B<sub>1</sub> sont actifs.

Par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en milieu non dénaturant, à pH 4,2, ces deux pics sont encore hétérogènes.

3) Dans une troisième étape, les fractions correspondant à A<sub>1</sub> et B<sub>1</sub> sont rassemblées séparément, dialysées contre du tampon phosphate 10 mM pH 8, puis concentrées.

Le concentrat est déposé sur CM 52 (échangeur de cations) : dans les deux cas, un seul pic apparait lors du lavage, le pic C pour SAMM 06 et le pic D pour SAMM 12 (cf. figure 2).

En effectuant une éluion avec une solution NaCl 0,3 M dans le tampon précédent, les valeurs de densité optique (D.O.) correspondant aux substances adsorbées ne sont pas significatives. Les pics C et D sont cependant actifs.

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide de C et de D ne révèle, dans les deux cas, qu'une seule bande.

A partir de ces résultats sur DE et CM, nous pouvons estimer que le pHi de ces substances est situé entre 7,6 et 8.

4) Dans une quatrième étape, nous avons voulu vérifier l'homogénéité de ces deux produits en effectuant un fractionnement suivant la masse.

Les pics C et D sont déposés successivement sur Séphadex G-50.

Les profils d'éluion par NaCl 9 ‰ montrent deux pics : E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> pour SAMM 06 ; F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> pour SAMM 12 (cf. figure 3).

Seuls E<sub>2</sub> et F<sub>2</sub> sont toxiques.

L'électrophorèse sur gel de polyacrylamide à pH 4,2 montre une seule bande.

Après avoir déterminé le V<sub>0</sub> de la colonne G-50 en utilisant le bleu dextran 2000, nous avons constaté que la sortie de ces deux fractions est située dans le domaine de fractionnement du gel.

Compte tenu de ce résultat et de la propriété non dialysable de ces deux produits, nous pouvons conclure que leur poids moléculaire se situerait entre 12 000 et 30 000. Nous effectuerons ultérieurement une électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de SDS et en utilisant des marqueurs protéiques pour préciser le poids moléculaire de chaque substance.

La figure 4 montre les étapes successives de la purification des substances protéiques actives de SAMM 06 et de SAMM 12.

#### D/ DOSAGE DES PROTÉINES

Nous avons dosé le taux de protéines contenues dans les fractions actives selon la méthode de Lowry.

Au départ, SAMM 06 contient deux fois plus de protéines que SAMM 12.

Au fur et à mesure de la purification, les fractions issues de SAMM 12 contiennent à peu près quatre fois plus de protéines que celles issues de SAMM 06. En effectuant le rapport entre la quantité initiale de protéines et celle obtenue dans le produit final, on montre que le principe actif de SAMM 06 est purifié 131 fois, et celui de SAMM 12 seulement 14 fois (tableau n°2).

Les tests de toxicité ont montré que la fraction pure issue de SAMM 06 est plus toxique que celle issue de SAMM 12 : la DL 50/24 heures est en effet de 3 mg/kg pour SAMM 06 (fraction E<sub>2</sub>) et de 15 mg/kg pour SAMM 12 (fraction F<sub>2</sub>).

Bien que nous ayons obtenu les produits purs, nos tests antipaludiques "in vivo" et "in vitro" ont encore été réalisés sur les fractions de la deuxième étape, c'est-à-dire avec les fractions issues de la DE 52.

#### E/ ESSAIS "IN VIVO"

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau n°1.

## F/ ESSAIS "IN VITRO"

Nous avons effectué les essais "in vitro" pour mettre en évidence la sensibilité de Plasmodium falciparum, parasite humain, aux substances SAMM 06 et SAMM 12.

Le test permet de réduire les variations, dues à l'immunité, de la réponse médicamenteuse "in vivo".

La culture de Plasmodium falciparum à partir de sang prélevé chez un malade en accès palustre est réalisée dans un milieu RPSH constitué par du RPMI et 10 % de sérum humain.

Chacun des 96 puits de la microplaque à fond plat utilisée contient 700 µl de mélange RPSH - culot à 4 % d'hématocrite.

Les concentrations croissantes des fractions actives de SAMM 06 et SAMM 12 issues de la DE 52 sont introduites en triplicate dans les puits.

Trois puits servent de témoins.

La plaque sera ensuite mise en incubation à 37°C, 5 % de CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>.

On laisse les parasites exposés aux substances à tester pendant 24 heures, puis 25 µl d'hypoxanthine tritiée sont introduits dans chaque puits.

La plaque est incubée pendant 42 heures, puis la culture est arrêtée par congélation à - 80°C.

Après décongélation, les échantillons sont collectés par filtration sur des petits disques de papier filtre. Ces papiers filtres sont introduits dans des flacons où ont été versés préalablement 2 ml de liquide scintillant.

L'hypoxanthine tritiée s'incorpore dans le DNA des parasites dont la maturation n'est pas inhibée avant de passer au comptage.

Une inhibition de la maturation des schizontes de la souche en culture est estimée par la diminution de l'incorporation, dans leur DNA, de l'hypoxanthine tritiée présente dans le milieu. Les concentrations inhibitrices sont calculées à partir des concentrations croissantes des substances à tester (cf. figure 5).

On observe par ce procédé qu'une inhibition de la maturation des schizontes de la souche en culture est produite par les

substances SAMM 06 et SAMM 12 qui se fixent sur les hématies parasitées.

## CONCLUSION

Il nous reste encore à réaliser la détermination de la CI 90.

Le test "in vitro" sera refait avec le produit pur.

Nos résultats actuels montrent que SAMM 06 inhibe "in vitro" la maturation du Plasmodium falciparum à 57,11 % ; SAMM 12 inhibe "in vitro" le Plasmodium falciparum à 49,27 % (cf. tableau 3).

Au stade actuel de nos travaux, nous pouvons estimer que ces produits, que nous appelons par extension du même nom de code que leurs organismes marins d'origine, SAMM 06 et SAMM 12, ont une activité antipaludique.

Or nous avons vu que le rapport rendement en substance protéique/activité "in vitro" s'inverse au cours de l'expérience, et que l'organisme le plus purifié contenant le moins de protéines, SAMM 06, s'avère plus actif "in vitro" que SAMM 12.

Nous devons donc dès lors considérer que les substances pures de nature protéinique SAMM 06 et SAMM 12 sont, malgré leur apparent parallélisme, de structures différentes et que cette différence de structure crée la différence d'activité.

Il est essentiel, de notre point de vue, de réaliser, dès que possible et en parallèle avec la confirmation et l'étude approfondie de l'activité antipaludique, l'analyse et la séquence des acides aminés qui composent les substances protéiniques SAMM 06 et SAMM 12.

Nous ne pouvons que regretter que l'ORSTOM ait dû, faute "des compétences requises", se retirer du programme SAMM. Nous espérons que "la qualité (des) travaux" déjà réalisés, qui "n'est nullement remise en cause" et que l'équipe SAMM survivante entend bien faire progresser, retiendra l'attention de la communauté scientifique.

Tableau n°1

EVOLUTION DES FORMES PARASITAIRES  
AU COURS DU TRAITEMENT AVEC LES FRACTIONS ACTIVES  
DE SAMM 06 ET SAMM 12

\*\*\*\*\*

TÉMOINS	<--- SOURIS --->	TRAITÉES
J <sub>1</sub> (Parasitémie 2% (Trophozoïtes jeunes et âgés  (Microgamétocytes jeunes (Schizontes jeunes immatures	J <sub>1</sub>	idem
J <sub>7</sub> (Hématies parasitées éclatée (Microgamétocytes mâles mûrs (Trophozoïtes âgés (Schizontes jeunes immatures (Parasitémie 8 %	J <sub>7</sub>	(Pas d'hématies éclatées (Prédominance de schizontes  (Trophozoïtes + polyparasitis (Parasitémie 4,4 %
MORT DES SOURIS TÉMOINS	J <sub>9</sub>	(Trophozoïtes + polyparasitis (Microgamétocytes mûrs (Schizontes immatures
	J <sub>11</sub>	(Prédominance de schizontes (Microgamétocytes mâles jeunes et mûrs (Trophozoïtes + polyparasitis
	J <sub>12</sub>	(Schizontes mûrs (Schizontes en division (Trophozoïtes jeunes
	J <sub>17</sub>	(Schizontes jeunes et mûrs (Trophozoïtes jeunes et âgés (Macrogamétocytes
	J <sub>21</sub>	(Prédominance de schizontes (jeunes et immatures (Parasitémie 5,3 %
		MORT DES SOURIS TRAITÉES

Tableau n°2

RENDEMENT PROTÉIQUE

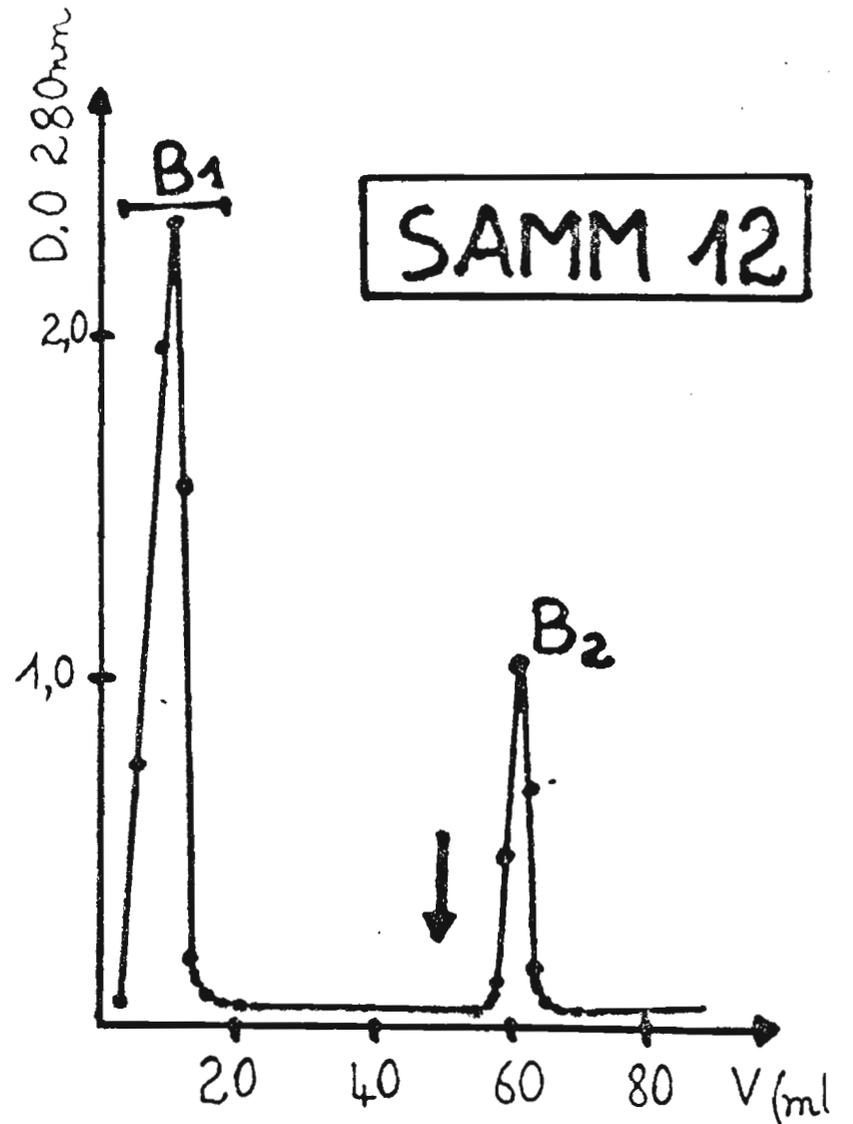
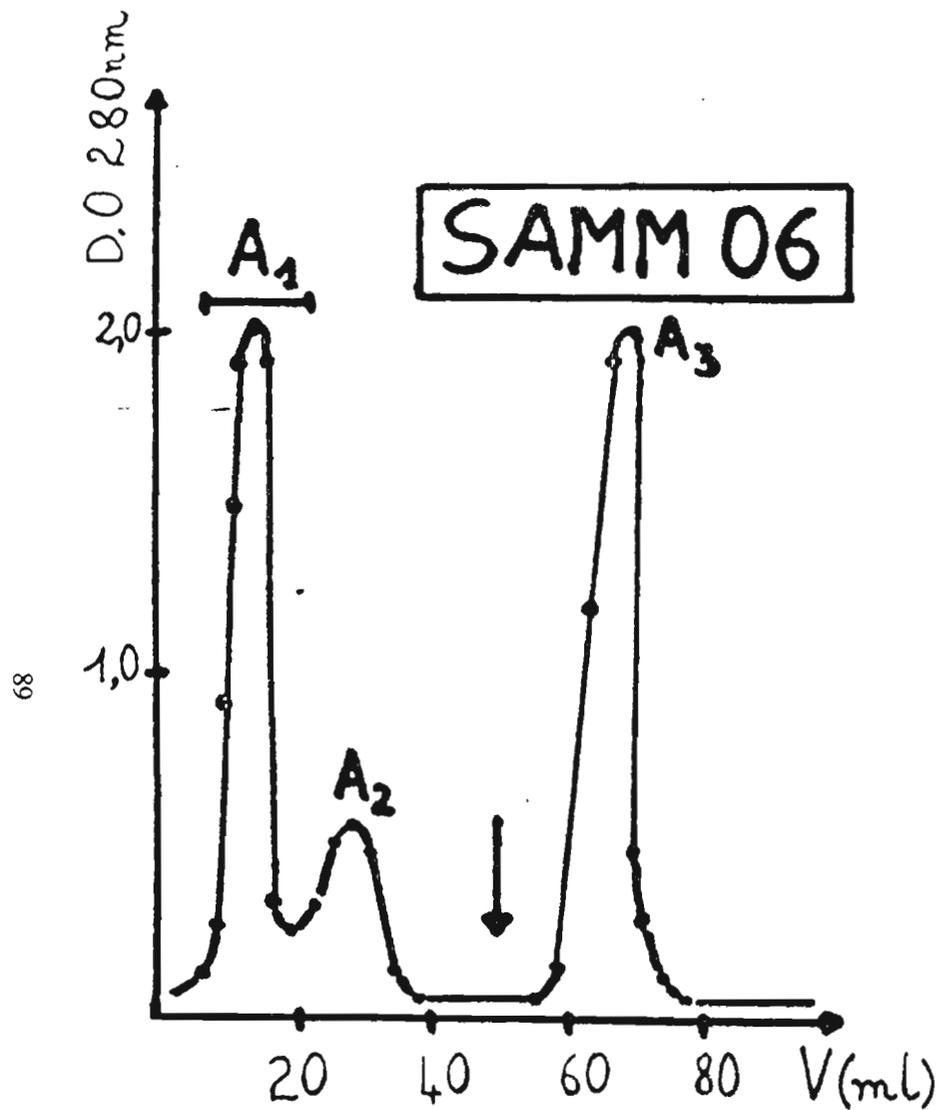
ÉTAPES	VOLUME (ML)	PROTÉINES (MG/ML)	PROTÉINES TOTALES (MG)	%	TAUX DE PURIFICATION
E.S	65,2	SAMM 06 16,25	1053,5	100	X 1
		SAMM 12 7,93	511	100	X 1
DE-52	64	SAMM 06 0,18	11,52	1,1	X 98
		SAMM 12 0,68	43,52	8,5	X 12
CM-52	64	SAMM 06 0,13	8,32	0,80	X 126
		SAMM 12 0,59	37,76	7,36	X 13,5
G-50	64	SAMM 06 0,125	8,0	0,76	X 131
		SAMM 12 0,58	37,12	7,26	X 14

Tableau n° 3

ESSAIS "IN VITRO"

INHIBITION DU PLASMODIUM FALCIPARUM PAR SAMM 06 ET SAMM 12

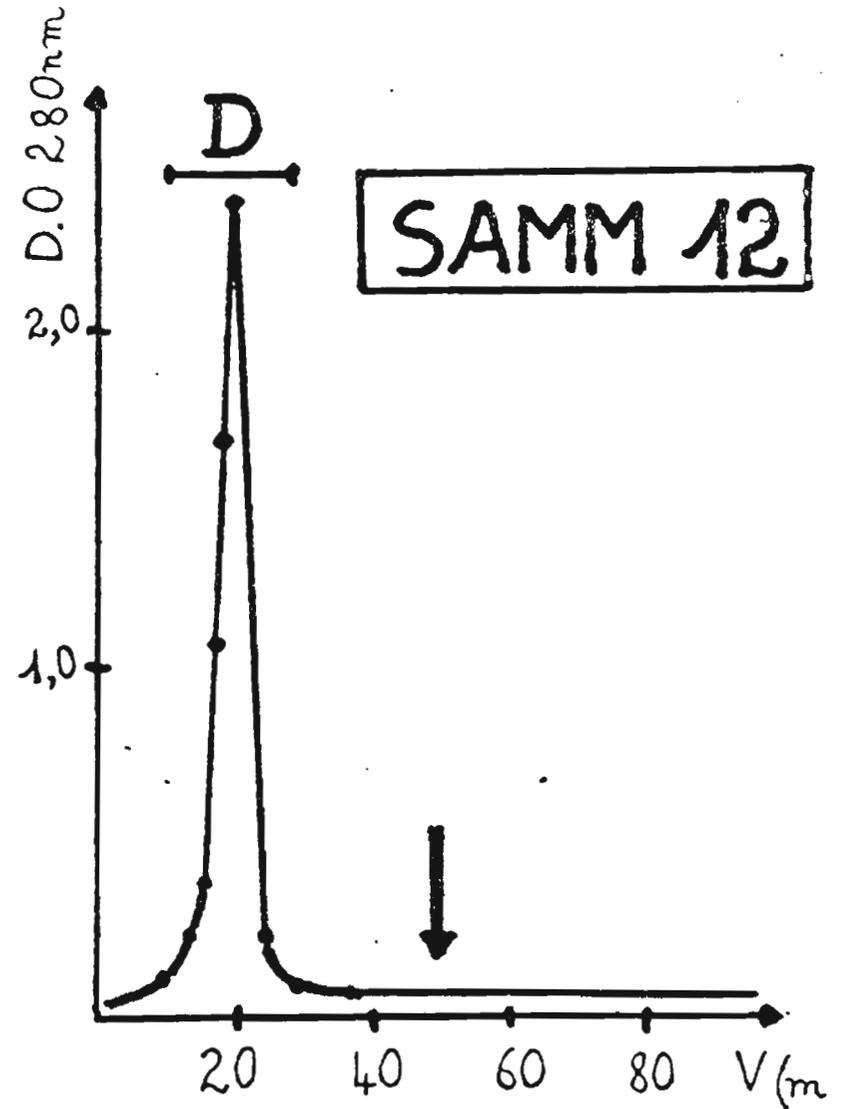
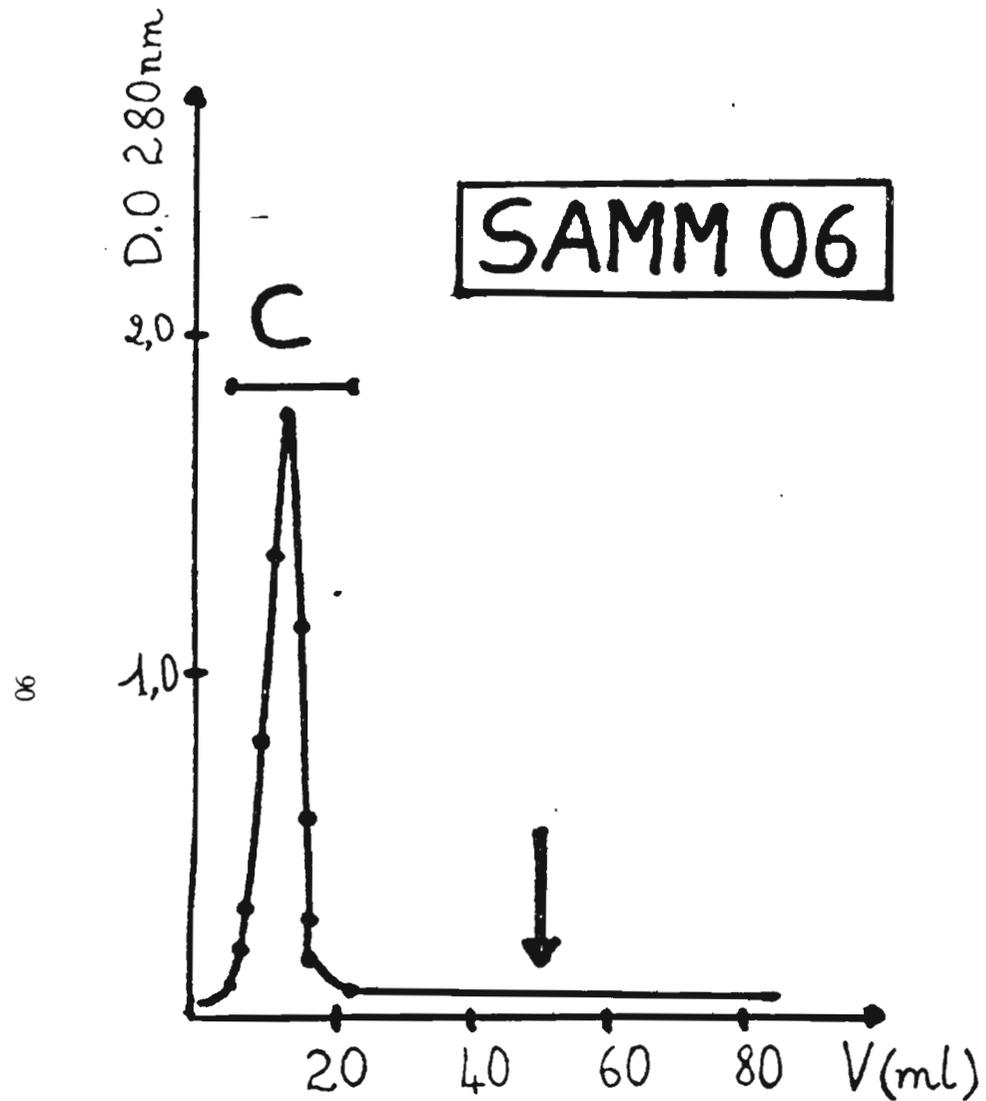
PRODUIT	DOSE (µG/ML)	% PARASITES VIVANTS	% D'INHIBITION
SAMM 06	0 (témoin)	100	0
	$1,25 \cdot 10^{-3}$	74,54	25,46
	$6,25 \cdot 10^{-3}$	69,32	30,68
	$62,50 \cdot 10^{-3}$	56,18	43,82
	$625,00 \cdot 10^{-3}$	42,89	57,11
SAMM 12	0 (témoin)	100	0
	$2,4 \cdot 10^{-3}$	76,35	23,65
	$4,8 \cdot 10^{-3}$	67,90	32,10
	$11,5 \cdot 10^{-3}$	65,35	34,65
	$23,0 \cdot 10^{-3}$	50,73	49,27



CHROMATOGRAPHIE SUR DE 52 A PH 7.6  
DES EXTRAITS SULFATES.

— FRACTION ACTIVE

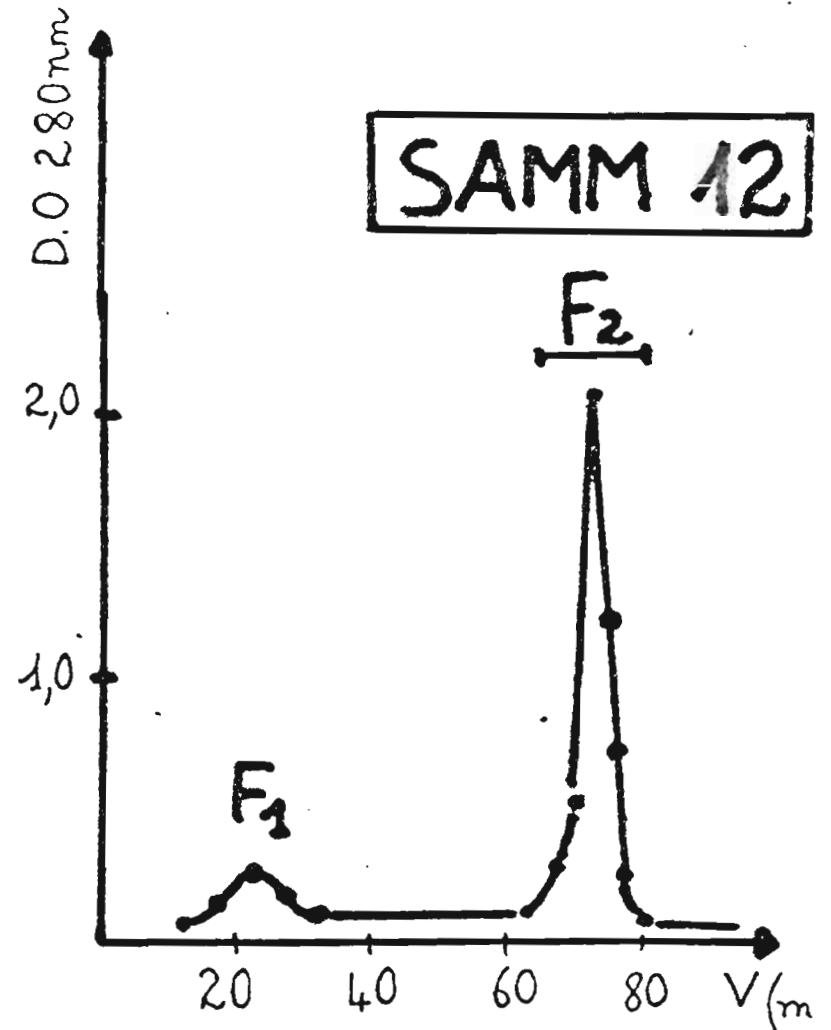
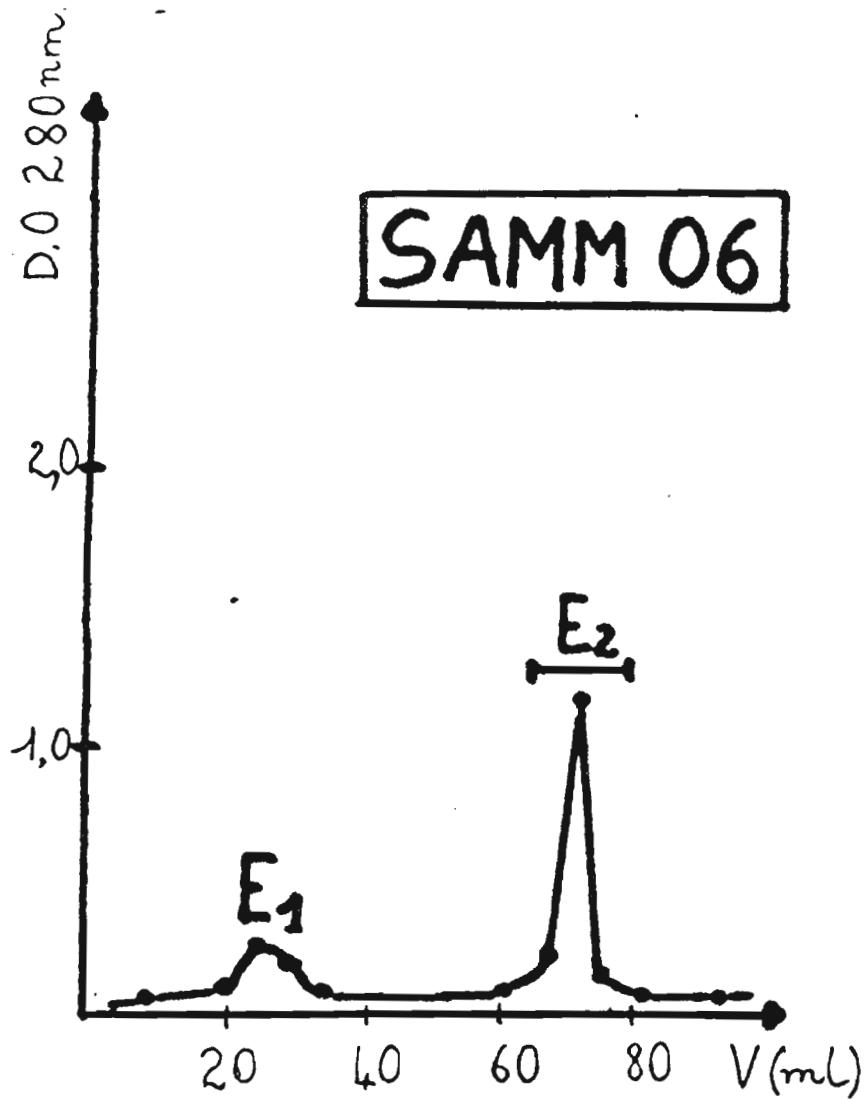
(FIGURE 1)



**CHROMATOGRAPHIE SUR CM 52 A PH 8 DES FRACTIONS A<sub>1</sub> ET B<sub>1</sub>.**

— FRACTION ACTIVE

(FIGURE 2)



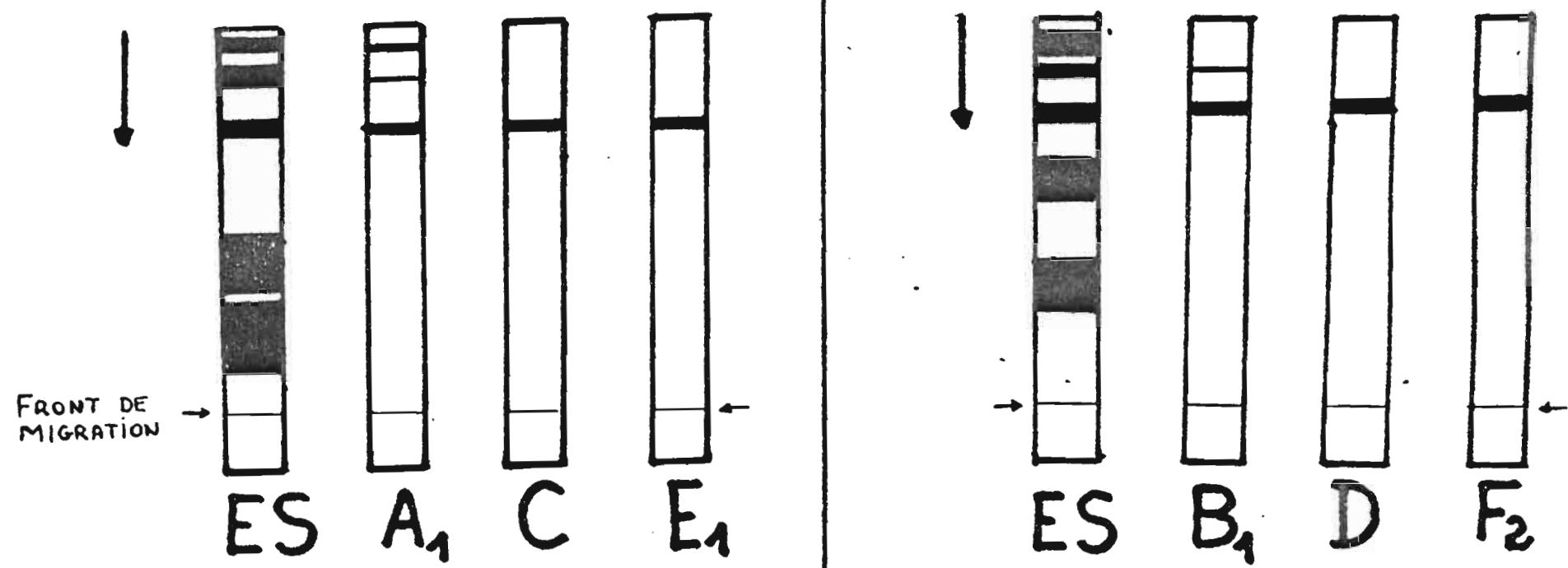
CHROMATOGRAPHIE SUR COLONNE DE  
SEPHADEX G-50 DES FRACTIONS C ET D

— . FRACTION ACTIVE

(FIGURE 3)

SAMM 06

SAMM 12



92

ELECTROPHORÈSE SUR GEL DE POLYACRYLAMIDE EN MILIEU NON DENATURANT A PH 4,2 DES FRACTIONS ACTIVES.

(FIGURE 4)

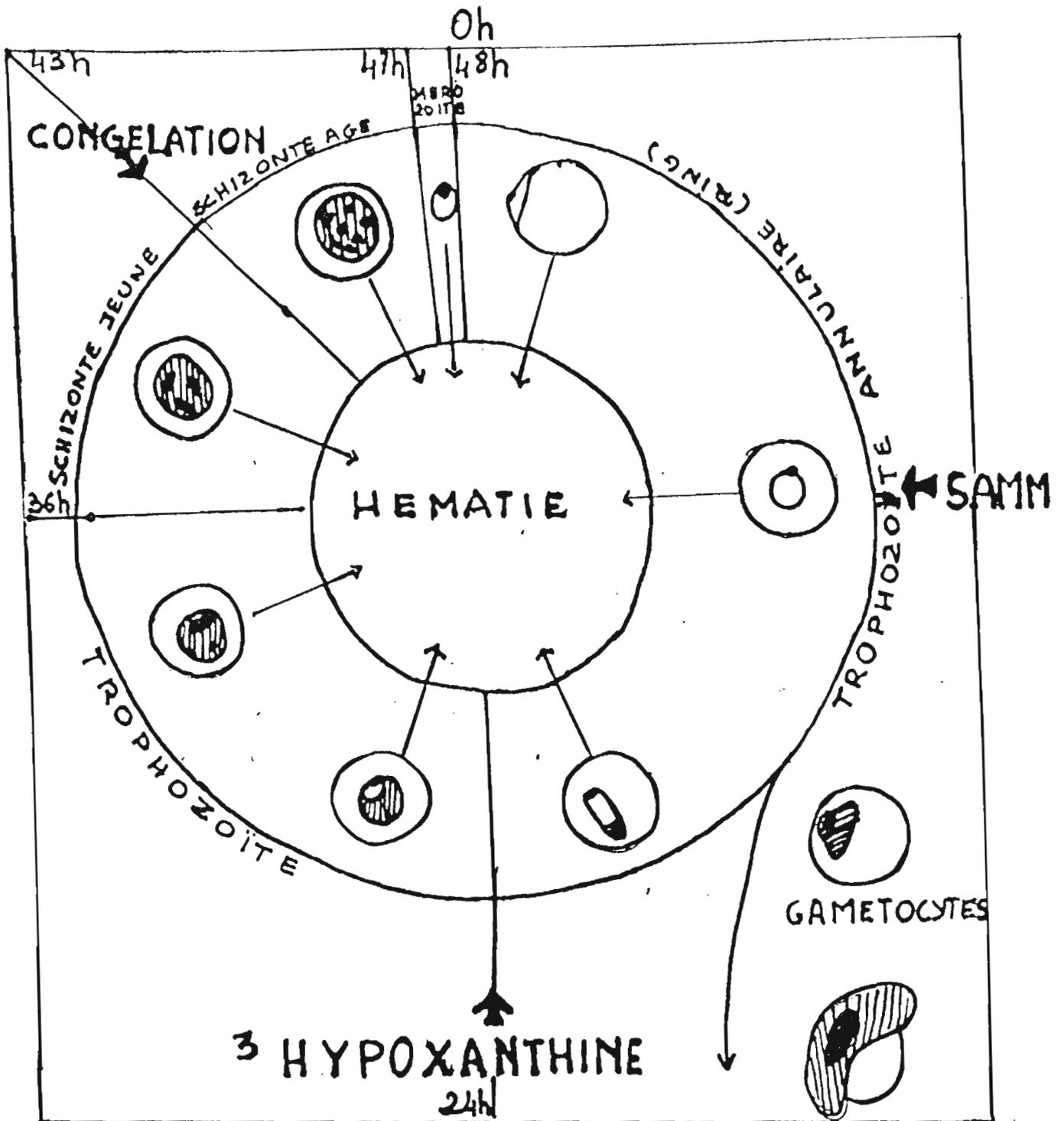


SCHÉMA DU MÉCANISME D'ACTION  
DES SUBSTANCES ÉTUDIÉES SAMM 06 ET 12  
SUR LES HÉMATIES PARASITÉES.

(FIGURE 5)

# 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  $\approx 35$  et 19 ka BP sous un climat plus froid que l'actuel ; le milieu est proche de l'assèchement et peu productif entre  $\approx 19$  et  $\approx 15$  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 CNRS<sup>1</sup>, l'ORSTOM<sup>2</sup> et le CNRE<sup>3</sup> 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 (CO<sub>2</sub>) et en méthane (CH<sub>4</sub>) 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 CO<sub>2</sub> 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.

---

<sup>1</sup>CNRS : 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.

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

<sup>3</sup>CNRE : 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<sup>-1</sup>), légèrement acides (pH = 5,5), et affichent une activité <sup>14</sup>C 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 <sup>14</sup>C de l'échantillon sommital (113,5%) qui traduit l'équilibre avec le CO<sub>2</sub> 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.

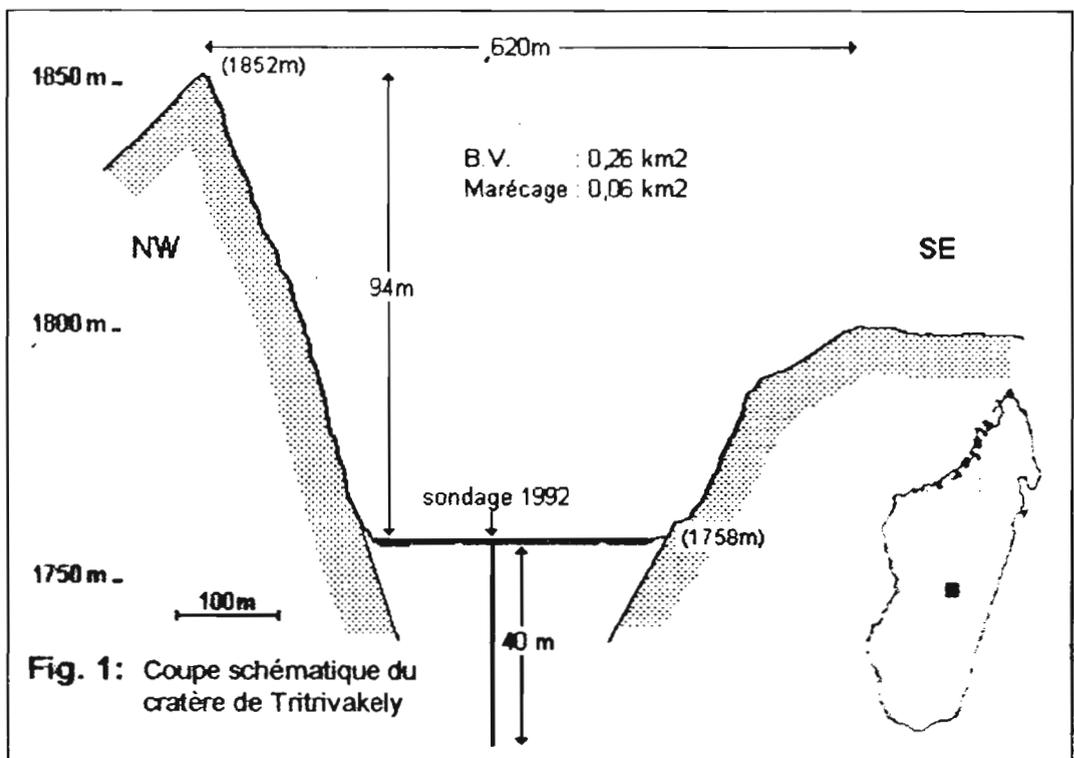
Le lac Tritrivakely a enregistré environ 36 000 ans d'histoire sur les 13 m supérieurs de sédiments. Compte tenu de la composition des sédiments en profondeur, on est en droit d'attendre des 40 m carottés à Tritrivakely un enregistrement continu du premier cycle climatique, soit environ 130 000 ans.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

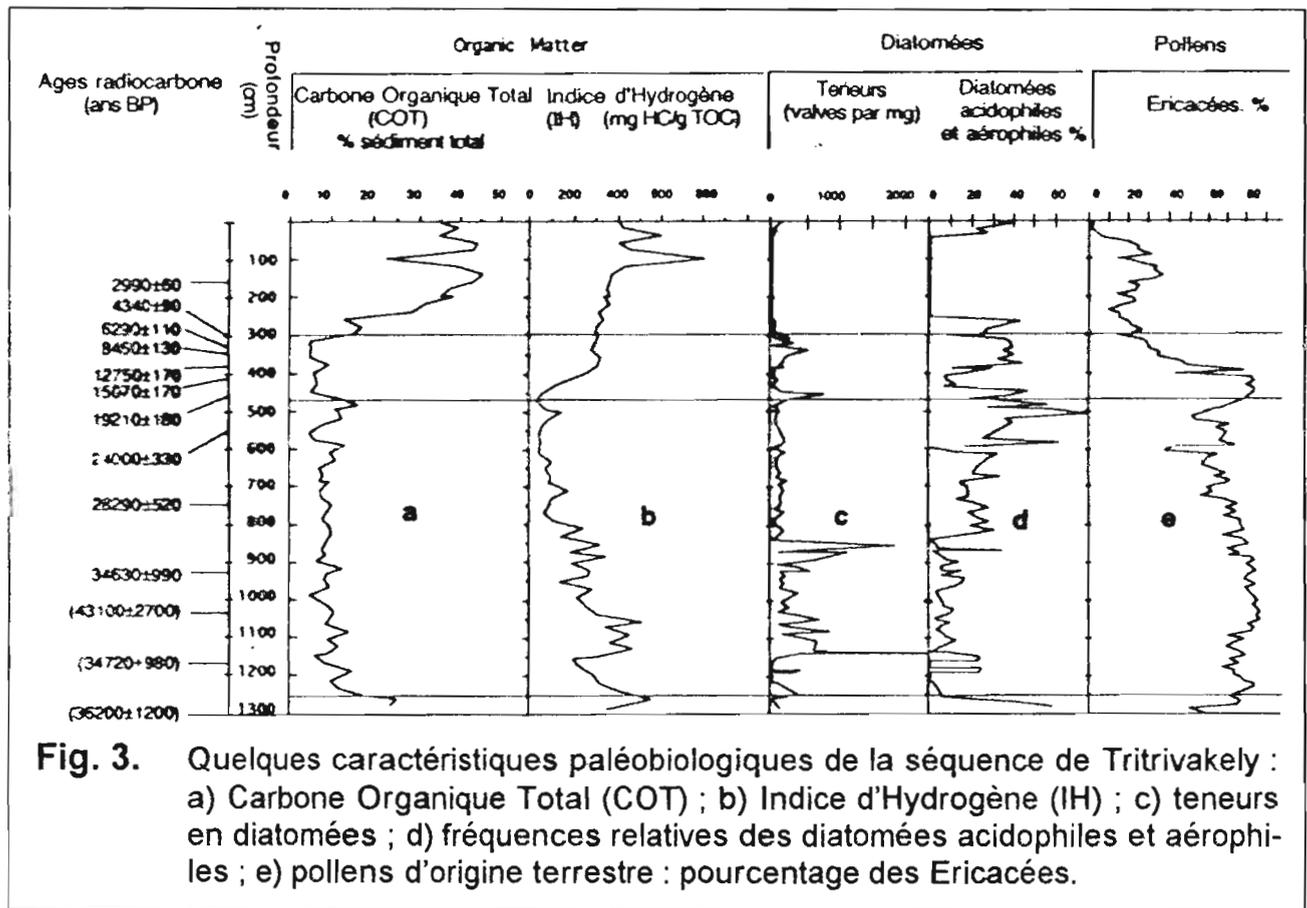
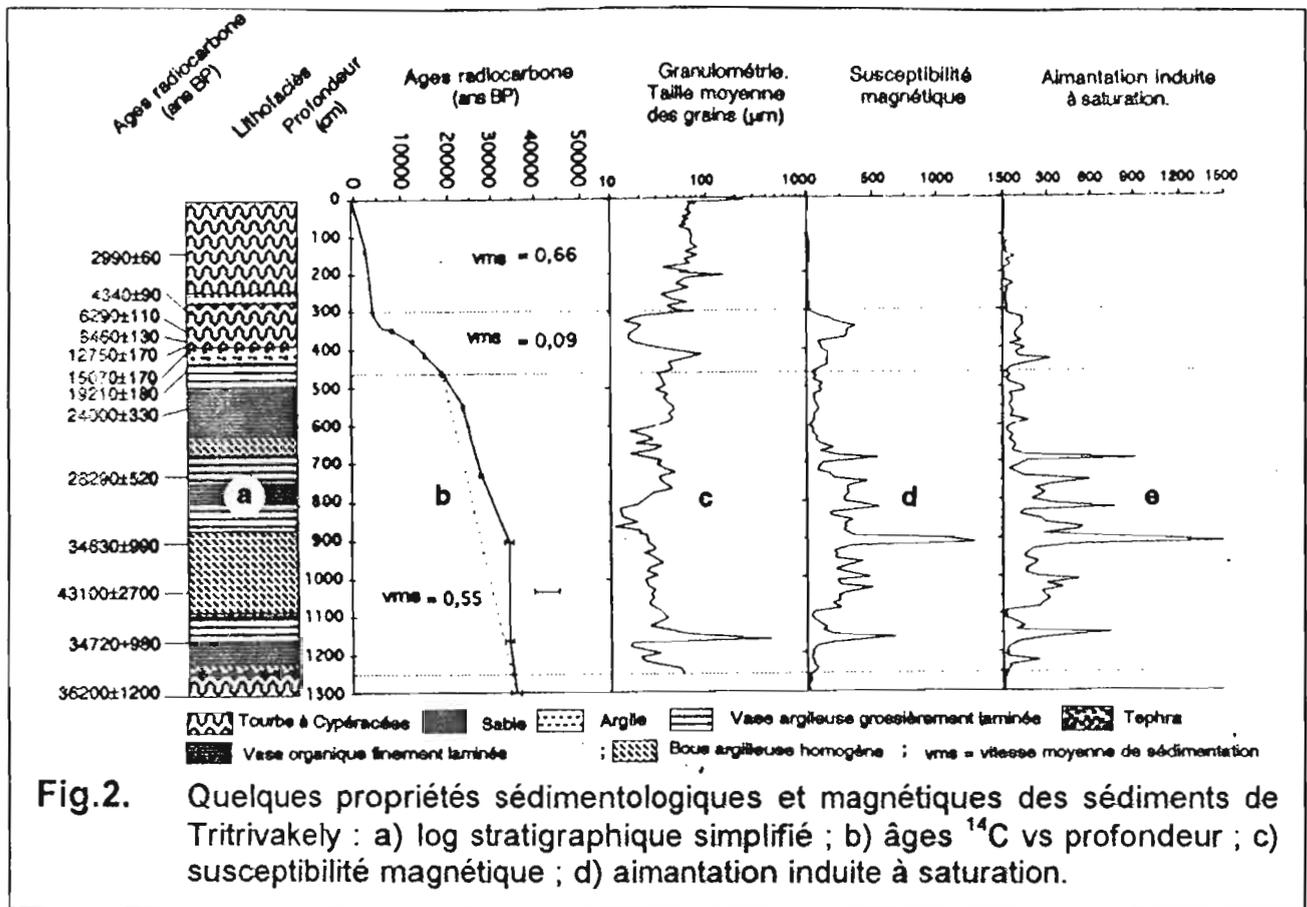
Signalons que l'étude pollinique ne révèle pas l'existence de grandes forêts naturelles sur la région pendant la période étudiée. L'abondance des fragments de charbon de bois dans les sédiments témoignent d'incendies naturels bien avant l'installation de l'Homme sur l'île. Enfin, notons que cette étude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

Echantillon	Profondeur (cm)	Analyse N° LHG	Matériel	Activité <sup>14</sup> C (%)	Age <sup>14</sup> C (ans BP)	δ <sup>13</sup> 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.

**LES TRANSFORMATIONS DES POPULATIONS RURALES DE  
L'ENSEMBLE MERIDIONAL DE MADAGASCAR :  
LES APPLICATIONS DE LA RECHERCHE ANTHROPOLOGIQUE  
FONDAMENTALE AU DÉVELOPPEMENT RURAL.**

**NY FIOVAM-PIAINAN'NY MPONINA AMIN'NY FARITRA  
ATSIMO ANDREFAN'I MADAGASIKARA : FAMPIHARANA NY  
FANDALINANA NY FIAIMPIAIAN'NY OLOMBELONA  
NATAO HO AMIN'NY FAMPANDROSOANA.**

Emmanuel FAUROUX

**RESUME :**

Le comportement des populations rurales de la région obéit à un certain nombre de grandes cohérences qui se sont formées au cours de l'histoire. Ces cohérences ne correspondent pas toujours à celles qui sont retenues dans les projets de développement.

Elle ne signifient cependant pas immobilismes. En effet, les sociétés rurales élaborent des stratégies, parfois complexes, pour s'adapter aux nouvelles conditions imposées par les transformations du milieu ou par des changements d'ordre politique. La connaissance de ces stratégies devrait être l'une des tâches essentielles de l'anthropologie.

**FAMINTINANA :**

Ny fihetsikin'ny mponina eo amin'ny faritra iray misy azy dia manaraka ny fomba sasantsasany hateraky ny fifampikasohana be mitranga mandritry ny tantaram-piainany. Izany fomba fifampikasohana izany anefa dia mandrakariva tsy mifanaraka amin'izay vinavina noheverina ho amin'ny fampandrosoana.

Tsy nampiraviravy tanana ny mponina anefa izany fa kosa nandrisika azy ireo ampiasa tetika maro mba hahafahany mandrindra ny fiainany amin'ireo fomba vaovao hateraky ny fiovana samy hafa na ara-pitantanana izany na ara-politika.

Ny fahalalana ireo tetika maro samy hafa ireo no tokony ho vaintohan-draharahan'ny fandalinana ny fiaimpiainan'ny olombelona (anthropologie).

Toutes les sociétés se transforment, même les plus traditionnelles, même celles qui paraissent les plus attachées aux valeurs du passé.

A partir de 1985, l'Equipe de Recherche Associée CNRE / ORSTOM de Tuléar (ERA) s'est donné pour objectif de décrire et de comprendre, en utilisant les méthodes de l'Anthropologie au sens large (synonyme, ici, de Sciences Humaines) les transformations de longue période subies par les sociétés rurales et l'ensemble méridional de Madagascar.

Cette vaste région correspond à peu près à l'ancien Faritany de Tuléar moins le Fivondronana de Fort-Dauphin. C'est un ensemble très vaste, mais culturellement homogène. Malgré de nombreuses différences locales, on y trouve une réelle unité économique et culturelle. Les groupes autochtones y présentent d'importants traits communs. En particulier, ils accordent tous une place centrale au boeuf dans leurs activités et dans les processus d'accumulation, ainsi que dans les rituels de communications avec les ancêtres. Ces rituels sont marqués par des cérémonies ostentatoires où les lignages s'affrontent dans une compétition pour le prestige dont les vainqueurs conquièrent aussi le pouvoir et le richesse au niveau local.

Mais, il est devenu rapidement clair, pour les chercheurs de l'Equipe, que la connaissance de ces transformations sur longue période, qui est du domaine de la recherche fondamentale, avait nécessairement des applications importantes dans le domaine du développement rural.

Les travaux de l'ERA ont pu montrer, à la faveur de nombreuses applications concrètes, que les résultats de la recherche fondamentale étaient parfaitement et immédiatement applicables dans la pratique du développement.

De façon plus originale, ces travaux ont montré, enfin, que recherche fondamentale et recherche appliquée pouvaient être considérées comme constituant les deux phases d'un seul processus de connaissance.

Il est évidemment impossible, ici, de présenter un résumé exhaustif de l'ensemble de ces travaux. Nous voudrions

seulement souligner quelques acquis généraux portant sur les trois domaines dans lesquels les travaux ont conduit aux avancées les plus significatives :

- . la description et l'analyse des transformations sur longue période,
- . les applications au développement,
- . l'intégration des recherches fondamentale et appliquée dans un processus unique de connaissance.

### **(I). Les transformations de longue durée : les acquis de la recherche.**

Quelques conclusions solidement étayées ressortent nettement de l'ensemble des travaux réalisés par l'ERA depuis 1985

- 1) Sur longue période, les transformations des sociétés étudiées obéissent à des logiques, à des régularités qui ne sont pas toujours perceptibles dans le court terme. Par contre, il apparaît possible, a posteriori, de reconstituer les principaux éléments de ces logiques et de ces régularités.

En fait, au niveau d'une unité locale de base, les mêmes causes tendent à produire à peu près les mêmes effets tant que certaines conditions restent constantes. Lorsque ces conditions changent, on peut identifier des seuils. En-deçà de ces seuils, les effets déjà observés se produisent encore. Au-delà, ils ne se produisent plus, ou se produisent avec des modifications significatives.

Par exemple, dans les villages sakalava du Menabe, tous les nouveaux arrivants qui en faisaient la demande dans les règles traditionnelles étaient facilement intégrés, même lorsqu'ils pratiquaient un système de production différent (la riziculture irrigués, par exemple, dans une région vouée à l'élevage extensif des boeufs). L'intégration s'opérait selon des modalités diverses mais aboutissait toujours à un renforcement du potentiel productif local basé sur la différenciation des activités. A partir d'un certain taux d'occupation de l'espace, qui a été atteint dans les

années quatre-vingts, la tendance s'est inversée. Les nouveaux arrivants ont commencé à être mal accueillis, la complémentarité des systèmes de production a fait place à une situation de concurrence et les relations interethniques, autrefois harmonieuses, ont commencé à devenir conflictuelles.

De même, les vols de boeufs ont toujours existé et constituent l'un des rouages du fonctionnement "normal" du système pastoral extensif tant qu'ils restent à un niveau modéré. D'une part, ils favorisent certaines formes d'accumulation, profondément ancrées dans la culture locale. D'autre part, ils maintiennent dans la précarité toute une catégorie sociale de gens menacés par la pauvreté qui, pour se protéger contre les voleurs, ou pour ne pas rester misérables après avoir été volés, deviennent les "clients" des mpanarivo, des riches propriétaires de boeufs. Mais, lorsque l'insécurité s'aggrave au-delà de certains seuils, comme ce fut le cas au début des années quatre-vingts, le système s'affole et tend à l'autodestruction : les mpanarivo s'appauvrissent eux aussi et n'ont plus les moyens de sécuriser la micro-société qui les entoure.

- 2) Contrairement aux idées reçues qui paraissent trop souvent animer les opérations de développement, la population rurale n'est pas homogène. Elle n'est pas composée d'une seule catégorie d'agents entièrement substituables les uns aux autres. De nombreux clivages séparent les individus. En se combinant, ces clivages permettent de déterminer des catégories d'agents qui mettent en oeuvre des stratégies différentes pour vivre, se reproduire socialement et assurer leur prospérité. L'interaction de ces stratégies au niveau micro-local débouche sur des types de comportements bien différenciés.

Ainsi, les transformations de longue période ne sont pas la somme de mouvements simples dans une même direction, mais la résultante de forces s'exerçant dans des directions différentes à partir des décisions prises par un petit nombre de catégories

d'agents, en vue de réaliser des stratégies souvent contradictoires.

Les clivages séparant les individus entre eux sont nombreux, trop nombreux pour être énumérés ici : Ils portent notamment sur l'appartenance ethnique, sur le statut de tompon-tany (originaire) ou d'arrivant plus ou moins récent, sur l'appartenance lignagère... Au sein d'un même lignage, les lignées sont hiérarchisées en fonction de la place généalogique des ancêtres respectifs. Au sein des lignées, le rang social des individus dépend de l'âge, du sexe... Enfin, la richesse et, surtout, son expression en boeufs, hiérarchisent les groupes et les individus.

Dans cette société extrêmement hiérarchisée et stratifiée, où n'existent pas deux personnes ni deux groupes ayant exactement le même statut, on peut, au prix de quelques simplifications, regrouper les "agents" en un petit nombre de catégories, chaque catégorie étant caractérisée par des stratégies et des comportements à peu près comparables.

Les critères de catégorisation retenus par l'ERA portent d'abord sur les systèmes de production mis en oeuvre, ensuite sur la place occupée par l'agent dans ce système. En simplifiant à l'extrême, on aurait, dans la région, trois grands types de systèmes de production :

- le système localement dominant allie l'élevage extensif et la riziculture avec prédominance, tantôt de la riziculture irriguée ;
- un système allie l'élevage aux cultures sèches : il concerne surtout les migrants Tandroy et Mahafaly ;
- plusieurs systèmes n'accordent qu'une importance nulle ou faible à l'élevage bovin : il s'agit des pêcheurs de mer Vezo, de quelques riziculteurs purs (Betsileo et, parfois, Antesaka), d'agriculteurs des périphéries urbaines - où l'élevage n'a pas sa place - et de groupes marginaux, tels les chasseurs-cueilleurs Mikea ou les Vazimba Bôsy du Bemaraha.

Dans les deux premiers types de systèmes de production, on peut distinguer :

- . les détenteurs du pouvoir local (économique et social, plutôt strictement politique) ; parmi eux, les mpanarivo, (assez riches pour fournir des boeufs à ceux qui n'en ont pas pour leurs cérémonies lignagères, sous forme de vente, de prêts ou de dons), divers notables locaux, les grands ombiasy ... ;
- . les "pauvres", qui ont besoin de s'adresser à des mpanarivo pour remplir leurs devoirs cérémoniels et qui, pour ce faire, tendent à rentrer dans leurs réseaux de clientèle ;
- . les éléments à peu près autonomes qui s'en sortent tant bien que mal, qui ne sont ni riches, ni pauvres ; quelques uns d'entre eux parviendront à émerger pour devenir peut être les mpanarivo de demain, mais la plupart retomberont parmi les "pauvres" en cas de difficultés (mauvaise récolte, troupeau volé, ...) ;

Pour ne pas compliquer le schéma, nous laissons ici de côté les catégories d'agents des systèmes de production sans élevage qui fonctionnent sur des modèles différents.

- 3) Nous entendons ici par "dynamique spontanée" l'ensemble des transformations qui résultent de l'interaction des stratégies et des comportements des diverses catégories d'agents intervenant au niveau micro-local.

La connaissance de ces dynamiques spontanées permet de présenter des hypothèses fines et solidement étayées sur le comportement futur des diverses catégories d'agents micro-locaux.

Pour ne donner qu'un exemple, les Equipes ERA ont suivi, sur longue période, le comportement de plusieurs mpanarivo dans des conditions souvent très différentes. A la longue, on aboutit pourtant à l'idée que, malgré des différences de circonstances, de lieu ..., les comportements des mpanarivo typiques obéissent à un certain nombre de constantes que l'on retrouve un peu

partout : relative clandestinité des activités, tendance à la multiplicité des résidences, utilisation de la polygamie pour placer des épouses et des lignages alliés en divers lieux stratégiques, tendance à l'hégémonie micro-locale qui implique des stratégies cohérentes en vue d'éliminer les rivaux locaux, techniques quasi-uniformes de gestion des réseaux de clientèle...

De même, la plupart des paysans "ni riches, ni pauvres", deviennent souvent "pauvres" par un cheminement identique dont la clé réside principalement dans un endettement imposé par la nécessité de réaliser correctement les cérémonies lignagères.

Les possibilités d'application de ces résultats au développement régional sont nombreuses.

## (II). Les applications au développement.

Une idée naïve semble animer beaucoup de projets de développement. On suppose que les innovations proposées sont reçues pour ce qu'elles sont vraiment, pour leur valeur objective, par un milieu homogène dans lequel les paysans constituent une masse homogène et indifférenciée. On considère alors que la diffusion de l'innovation pose seulement un problème d'éducation et de persuasion. On attribuera l'échec éventuel à un problème de "mentalités", à l'attachement malencontreux que les gens éprouvent à l'égard de leurs anciennes habitudes.

Les suivis d'opérations réalisés par des équipes de l'ERA depuis 1985 suggèrent, que cette idée est largement fautive.

Le succès ou l'échec d'une intervention dépend essentiellement de la façon dont elle est récupérée dans les stratégies des agents locaux et, en particulier, dans les stratégies mises en oeuvre par les vrais détenteurs du pouvoir local. Ces derniers ne sont pas toujours apparents, les mpanarivo étant, dans l'Ouest et le Sud-Ouest, des personnages essentiellement discrets. En fait, toute "opération", qui cherche à intervenir sur une réalité locale, toute innovation introduite de l'extérieur est réinterprétée, réutilisée et, finalement, biaisée, par les diverses catégories d'agents

qui s'affrontent à ce niveau pour faire triompher leurs stratégies.

En particulier, si les détenteurs du pouvoir local sont hostiles à l'innovation parce qu'ils pensent qu'elle est contraire à leurs intérêts, ils utiliseront tous les moyens que leur donne la maîtrise de leurs réseaux de clientèle pour la faire échouer. Ces moyens sont aussi efficaces que discrets.

S'ils y trouvent un intérêt direct, l'innovation a des chances d'avoir des suites positives, mais dans des conditions concrètes que n'avaient probablement pas envisagées les promoteurs du projet. Ce dernier est alors souvent détourné de ses objectifs initiaux au profit d'une petite minorité.

Dans le cas le plus général, les innovations proposées obéissent à des objectifs humanitaires; la terre à ceux qui la cultivent, le progrès pour tous, éliminer les prélèvements parasites sur les réseaux de commercialisation... Elles ont souvent pour objectif de s'attaquer plus ou moins directement à certains privilèges. Les privilèges ne se laissent pas dépouiller sans résistance. D'où, souvent, des difficultés inextricables - et à peu près inintelligibles de l'extérieur qui assaillent, en fait, ces projets et les étouffent progressivement, sans que l'on puisse diagnostiquer correctement ce qui se passe vraiment, car les vrais ennemis du projet avancent masqués.

La recherche anthropologique a, bien évidemment, un rôle essentiel à jouer dans cette situation qui compromet les chances de succès de toutes les opérations entreprises sans une connaissance approfondie des clivages internes qui structurent les populations-cible.

En particulier :

- 1) Elle doit pouvoir faire apparaître clairement l'écart existant d'emblée entre les logiques qui sous-tendent les innovations proposées et les logiques paysannes locales concrètes. Contrairement aux idées reçues, les logiques paysannes se sont souvent révélées, à la lueur des travaux de l'ERA, comme plus massivement cohérentes que les logiques des "développeurs". En effet, les objectifs des opérations successives se contredisent fréquemment et oublient

les aspects parfois positifs et bien adaptés aux situations locales des pratiques autochtones. Il n'est à peu près jamais tenu compte des leçons du passé, de sorte que les mêmes erreurs sont renouvelées à l'infini malgré le scepticisme des populations locales qui, elles, n'ont pas oublié. Le suivi des réalisations n'est pas assuré durablement, et l'hyperactivisme des opérateurs alterne avec de longues phases d'abandon.

- 2) La recherche anthropologique doit pouvoir identifier les principales catégories d'agents qui sont en présence au sein de la population-cible et élaborer des hypothèses précises sur le comportement de chacune de ces catégories. Il convient en particulier, de tenter de prévoir quelles devraient être leurs réactions "normales" dans le cadre de la logique paysanne préalablement identifiée face aux innovations proposées. Il ne s'agit pas là de véritables prévisions, mais seulement d'une fourchette de scénarios vraisemblables toutes choses égales d'ailleurs.
- 3) La recherche anthropologique, enfin, doit pouvoir proposer un suivi rigoureux des opérations en cours de réalisation. Ce suivi ne devrait pas se borner à des constatations d'ordre quantitatif, mais devrait apprécier aussi l'impact qualitatif du projet sur chacune des catégories d'agents. Il conviendrait aussi d'évaluer avec précision les éventuelles transformations subies par les stratégies des diverses catégories d'agents locaux au contact des nouvelles données imposées par la pénétration de l'innovation.

### **(III). Recherches fondamentale et appliquée comme deux phases distinctes d'un même processus de connaissance.**

A la lueur des travaux de l'ERA, il apparaît arbitraire et contre-nature de séparer radicalement - comme on le fait généralement - la recherche fondamentale de ses applications les plus immédiates. En fait, il est clair que les deux démarches sont strictement complémentaires et qu'aucune ne peut fonctionner correctement sans l'apport de l'autre.

- 1) La contradiction la plus grave, entre ce qui devrait constituer les deux branches d'un même processus de connaissance, vient d'un problème de méthode. La recherche fondamentale ne peut éviter d'être très longue ; la recherche appliquée est tenue, notamment pour des contraintes budgétaires, d'être très courte.

La mise en lumière des dynamiques spontanées différenciées par catégories d'agents ne peut se faire en effet, qu'au prix d'un effort de recherche long, beaucoup trop long, en tous cas, pour les besoins d'une "application" qui, au mieux, s'accorde quelques mois (plus souvent, quelques semaines) pour les "études socio-économiques préalables". Il est radicalement impossible dans un délai aussi court, même pour des enquêteurs-chercheurs très expérimentés et de grand talent, de découvrir les clivages fins, les stratégies cachées, les réseaux inavoués d'alliances sur lesquels reposent les dynamiques spontanées concrètes.

Le problème, par contre, ne se pose pas dans les mêmes termes si l'étude appliquée intervient dans une région où des études fondamentales ont déjà largement balisé le terrain. Les travaux de l'ERA, accomplis dans des conditions "fondamentales" longues entre 1985 et 1993, ont pris tout le temps qui leur était nécessaire pour établir des typologies de dynamiques spontanées intégrant, en principe, tous les cas observables dans la région. Il devient alors possible, après quelques jours sur le terrain dans un contexte "appliqué", d'adapter, de préciser, de nuancer le modèle général en fonction de la situation concrète du lieu prévu pour l'intervention. La rapidité de l'enquête n'implique plus, alors, obligatoirement une approche superficielle.

En intervenant après des études fondamentales réalisées dans de bonnes conditions de scientificité, les recherches appliquées peuvent, malgré leur relative rapidité, s'entourer de réelles garanties de sérieux.

- 2) Les résultats des recherches appliquées effectuées dans ces conditions sont directement intégrables dans le corpus de données de terrain qui alimentent la réflexion "fondamentale".

Les modèles de comportement déterminés par la recherche fondamentale ne constituent, en aucun cas, des résultats définitifs.

D'une part, en effet, ils sont imparfaits, incomplets, peut-être partiellement inexacts car les paramètres qui interviennent dans les phénomènes sociaux les plus simples sont d'une extrême complexité. Ils ne constituent et ne constitueront toujours que des esquisses constamment susceptibles d'être améliorées, précisées... Les informations inédites obtenues grâce à la nouvelle étude appliquée permettront de vérifier, d'infirmar ou, simplement, de nuancer, les modèles de comportement attribués aux divers acteurs micro-locaux.

D'autre part, la réalité ne cesse de se transformer et elle aura, nécessairement évolué lors de la nouvelle étude qui intervient quelques temps après les études fondamentales. Dans des conditions "normales", hors intervention extérieure, le changement social se produit avec une lenteur qui constitue un obstacle majeur pour l'observateur des transformations sociales. Dans le cadre d'une "opération", par contre, les choses vont parfois très vite et le modèle initial peut subir des modifications rapides. L'arrivée plus ou moins inopinée de l'innovation provoque un ensemble d'adaptations, des réactions, de tensions, qui débouchent quelquefois sur une situation de crise. Il convient à l'anthropologue d'adopter alors l'attitude qu'aurait un expérimentateur dans les sciences "dures". Tout se passe alors, en effet, comme si on procédait à une expérience de laboratoire, dans laquelle on fait varier les paramètres sur lesquels l'opérateur du développement a choisi d'agir.

On voit alors généralement les agents locaux se mobiliser en fonction de l'innovation introduite par le projet,

pour l'appuyer ou pour l'éliminer. Le mode de mobilisation utilisé qui se place souvent dans le domaine symbolique et cérémoniel, la chronique quotidienne des luttes ainsi engagées, la manière dont les "vainqueurs" assurent leur succès et tentent de le pérenniser ... apportent des enseignements de grande valeur pour corriger le modèle décrivant les dynamiques spontanées.

- 3) L'importance pour la recherche fondamentale d'un suivi minutieux, aussi constant que possible, des opérations en cours, mais aussi, des lieux où il ne se passe rien, qui deviennent alors de zones-témoins, conduit à l'idée de mise au point d'observatoires permanents de la réalité sociale.

Les travaux de l'ERA ne pouvaient éviter de subir ce glissement naturel. Ils ont abouti à constituer, à titre expérimental, deux "Unités d'Observation Permanente" (UOP) à Toliara et Morondava. Ces unités visent, selon deux types de méthodes provisoirement différentes, à enregistrer et à décrire "tout ce qui a bougé" dans une région déterminée au cours d'une année. Le suivi des opérations de développement en cours constitue, bien évidemment, un thème particulièrement intéressant, pour la constitution de ce corpus d'observations nouvelles. Un peu à la manière d'un puzzle, l'UOP tend à rapprocher les multiples observations micro-locales effectuées par les correspondants d'un réseau. Les phénomènes, qui ont un aspect incohérent, chaotique, quand on les observe au niveau le plus "micro", retrouvent leur cohérence et leur signification quand on reconstitue le puzzle et que la réflexion s'opère au niveau de l'ensemble régional.

En guise de brève conclusion :

- La recherche appliquée au développement ne peut se passer notamment pour des problèmes de méthode, de l'apport de la recherche fondamentale. L'analyse qui fait intervenir les dynamiques spontanées

différenciées par catégorie d'agents représente l'un des aspects potentiellement les plus nettement positifs de cet apport.

- La recherche fondamentale sort enrichie par le regard appuyé qu'elle porte sur la réalité transformée par les "opérations" et sur la réalité transformée tout court. Sans en arriver à une "anthropologie expérimentale" que la déontologie condamne encore, le suivi d'opérations sur une base scientifiquement rigoureuse donne au chercheur une magnifique occasion de travailler sur de véritables expérimentations.
- Les observatoires permanents du changement, sous les diverses modalités que l'on peut concevoir, constituent, dans tous les cas, un remarquable instrument apte à enrichir simultanément les démarches fondamentales et appliquées.

Dans l'univers du développement, on ne cesse de souligner la nécessité de transformer les mentalités. Mais ce problème ne se pose pas seulement du côté des paysans et des populations cible.

On le trouve encore, dans les "mentalités" des chercheurs lorsque ceux-ci hésitent à "se salir les mains" dans l'application, ou lorsqu'ils utilisent, pour publier leurs résultats, un langage scientifique inaccessible au commun des mortels et, en particulier, aux opérateurs du développement.

De même, on le trouve encore chez les opérateurs du développement lorsqu'ils ne font appel aux anthropologues qu'après l'échec de leur "programme" pour tenter, a posteriori, de comprendre ce qui s'est passé, alors que les interventions à l'aveuglette, sans connaissance des véritables clivages locaux, comportent d'évidents risques d'échec.

ACADEMIE NATIONALE MALGACHE  
ANTANANARIVO

D. L. 1 / 95

B A N M / N° Sp.

Tirage : 500 exemplaires