

UNIVERSITÉS
FRANÇAISES
D'OCÉANOGRAPHIE
ET DE PÊCHERIE
MÉTÉOROLOGIE
ET CLIMATOLOGIE

Ouvrage collectif
sous la direction de
J. Coudray & M.L. Bouguerra

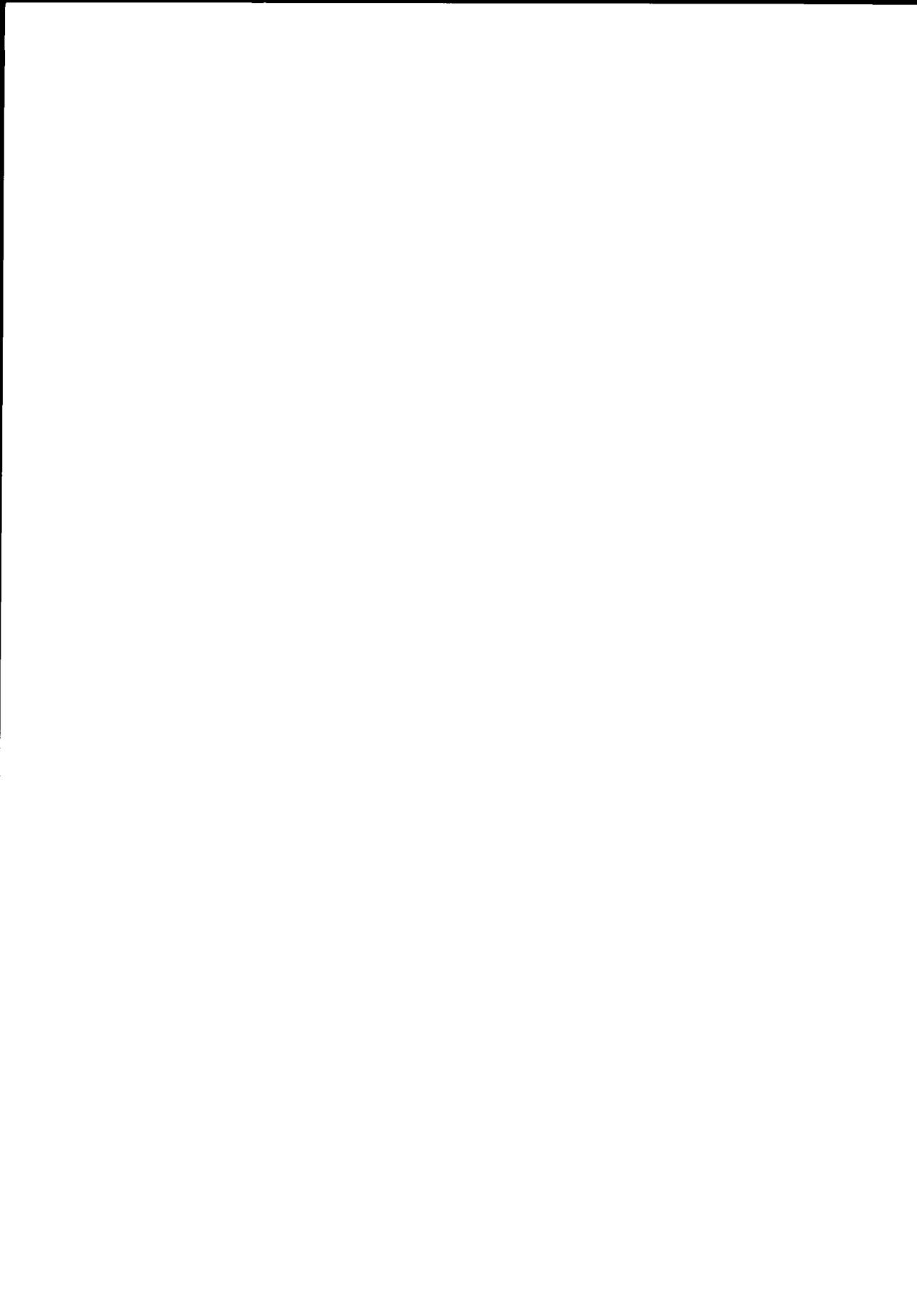
**ENVIRONNEMENT
EN
MILIEU
TROPICAL**



AS

actualité scientifique





Ouvrage collectif
sous la direction de
J. Coudray & M.L. Bouguerra

**ENVIRONNEMENT
EN MILIEU TROPICAL**

Préface de
J. Lascombes

ESTEM
Editions Scientifiques, Techniques et Médicales
5, rue Rousselet, 75007 Paris
Tél. : 33 (1) 42 19 05 11 - Fax : 33 (1) 42 19 05 24

ISBN 2-909455-26-2

©1994 Editions ESTEM

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivant du Code Pénal.

Les collections "*Universités francophones*" de l'UREF: un instrument vital pour l'évolution de l'espace scientifique francophone.

L'Université des réseaux d'expression française (UREF), créée au sein de l'Association des Universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF), est l'opérateur des Sommets francophones pour l'enseignement supérieur et la recherche.

Dans cette perspective, la collection *Universités francophones* que nous avons lancée en 1988 s'affirme aujourd'hui comme l'un des vecteurs essentiels d'une francophonie active et rayonnante.

Plus de 70 titres ont d'ores et déjà été publiés. Ce sont des ouvrages didactiques (manuels), des monographies faisant le point sur la recherche (série *Sciences en marche*) ou des actes de colloques organisés par les réseaux de l'UREF (série *Actualité scientifique*). Tous s'efforcent de répondre à des besoins identifiés dans des domaines prioritaires: santé, droit, sciences, économie, environnement, aménagement linguistique et sciences humaines. Tous abordent également des thématiques intéressant l'ensemble de la communauté scientifique universitaire. Dans ce but, nous nous efforçons de réunir des équipes de rédacteurs à caractère multilatéral.

Enfin ce dispositif éditorial serait incomplet sans une politique de prix réaliste, tenant compte des différentes facettes économiques de la communauté francophone. Ainsi, les ouvrages font-ils l'objet d'une tarification préférentielle dans les pays du Sud.

Aux livres de la collection s'ajoutent trois revues de synthèse (*Sécheresse, Santé, Agriculture*) ainsi que des référentiels utilisant les supports les plus modernes de l'édition (cassette vidéo, vidéodisque, disque compact).

Avec *Universités francophones*, l'AUPELF/UREF contribue efficacement à la circulation de l'information scientifique et technique. Elle apporte sa pierre à l'édification d'une bibliothèque scientifique universelle, dans laquelle la langue française se propose doublement et définitivement comme langue de culture et de science.

Professeur Michel Guillou
Recteur de l'UREF
(Université des réseaux d'expression française)

PRÉFACE

Jean LASCOMBE

Ce sont nos collègues de la Faculté des Sciences d'Antananarivo à Madagascar qui, les premiers, ont émis l'idée d'une Université d'Hiver sur l'Environnement en Milieu Tropical.

La CIRUISEF, qui fédère les Universités et Institutions à dominante Scientifique et Technique d'Expression Française, ne pouvait que reprendre cette idée. En effet sa vocation, outre l'information mutuelle des établissements membres ou la coopération dans le domaine de l'enseignement et de la pédagogie, est aussi de favoriser des collaborations dans le domaine de la recherche et de promouvoir des séminaires de formation pluridisciplinaires. Un tel sujet apparaissait donc correspondre complètement à ces deux derniers objectifs. Il était en outre de nature à fédérer l'action internationale des membres de la CIRUISEF tant ceux du Nord que ceux du Sud. Enfin le récent Sommet de la Terre de Rio sur l'Environnement donnait à cette Université une acuité particulière puisqu'elle s'inscrivait directement dans le cadre de préoccupations reconnues comme prioritaires par l'ensemble des nations. C'est bien d'ailleurs dans l'esprit de l'un des acquis essentiels de Rio, la nécessité d'un lien fort entre la protection de l'environnement et le développement durable, que s'est tenue cette rencontre.

Elle n'a pu le faire que grâce à l'adhésion enthousiaste de beaucoup de partenaires. Il faut citer d'abord les Universités d'Antananarivo et de La Réunion qui en furent les organisateurs principaux largement soutenus par les autorités gouvernementales de Madagascar et par les instances régionales et départementales de La Réunion. Il faut de plus souligner que la qualité scientifique de cette Université d'Hiver doit beaucoup à la participation de l'ORSTOM qui poursuit de nombreuses actions de recherche dans la région et à celle du Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement du CNRS. Enfin un rôle déterminant a été joué par l'AUPELF-UREF, dont la CIRUISEF est membre, qui a favorisé la participation à ce colloque du « Réseau Environnement » (structure interne de recherche et d'animation de l'UREF), qui a contribué pour une part principale à son financement et dont le personnel s'est dépensé sans compter pour son bon déroulement. Que soient également remerciés les Ministères Français de la Coopération et de l'Environnement pour leur aide financière, la Commission de l'Océan Indien grâce à laquelle des représentants des Comores, des Seychelles et de Maurice ont pu se joindre à la rencontre ainsi que l'UNESCO qui nous a accordé son patronage.

Bien évidemment, quelque soit le mérite des institutions, c'est d'abord aux chercheurs et enseignants chercheurs et tout particulièrement à la trentaine d'intervenants d'Universités et Centres de Recherches du Nord et du Sud que l'Université d'Hiver a dû son succès. Mais au delà de la satisfaction de beaucoup de participants, on peut espérer que les liens établis entre eux à l'occasion de cette rencontre seront de nature à en prolonger le succès par de nouvelles coopérations, tant régionales que dans tout l'espace de la Francophonie, visant au développement des actions de recherches et de formations à tout niveau dont le besoin est incontestable. Que cet ouvrage où sont publiées les principales contributions à cette Université d'Hiver constitue un outil pour ces divers développements; qu'il fasse en outre connaître au monde de la Francophonie les besoins, les perspectives et les espérances dans le domaine de l'Environnement d'une région peut-être lointaine mais qui en est pourtant une composante combien attachante.

LIMINAIRE

Mohammed Larbi BOUGUERRA, Jean COUDRAY

Les articles présentés dans cet ouvrage constituent la synthèse des conférences données dans le cadre de l'Université d'Hiver sur l'environnement en milieu tropical qui s'est tenue à la Réunion du 6 au 10 mai et à Madagascar du 11 au 16 mai 1993.

Réponse régionale à quelques-unes des recommandations essentielles du Sommet de la Terre de Rio en juin 1992 : nécessité de lier fortement protection de l'environnement et développement économique, promotion de l'éducation, de l'information et de la formation des formateurs et du publics, cette manifestation avait pour double objectif un enseignement de haut niveau sur les problèmes d'environnement en milieu tropical et une contribution aux actions scientifiques et techniques déjà entreprises dans les différentes îles de l'Océan Indien Occidental.

Les 80 participants, en provenance de France Métropolitaine, de Belgique, du Canada, d'Afrique et des îles de l'Océan Indien Occidental, comprenaient des chercheurs, des enseignants, des étudiants, des ingénieurs, des responsables techniques et administratifs, des représentants d'associations protectrices de l'environnement.

A l'issue d'une introduction générale sur le développement récent de la recherche en matière d'environnement, les thèmes traités au cours de la partie du programme qui s'est déroulé à la Réunion ont été : l'érosion des sols, les écosystèmes coralliens, les écosystèmes forestiers dont la mangrove et la déforestation, autant de domaines particulièrement sensibles dans les îles tropicales et qui sont l'objet, à la Réunion notamment, d'études et de réalisations exemplaires. Chacun de ces thèmes, abordé de façon globale, a été exposée à partir de cas régionaux et illustrés par des sorties sur le terrain. Celles-ci, conduites par des chercheurs de l'Université de la Réunion (laboratoire de géographie physique, sciences de la terre, biologie végétale, écologie marine), du CIRAD et de l'A.P.R. (Association pour la Promotion Rurale) ont conduit les participants à s'intéresser tour à tour au volcan actif de la Fournaise, aux expérimentations menées sur l'érosion et la protection des sols, à la colonisation végétale des coulées volcaniques et la régénération de la forêt réunionnaise, à la protection des plages et récifs coralliens.

A Madagascar, à la suite d'une séance inaugurale sur le Plan National d'Action Environnemental et sur la Convention de Rio, l'accent a été mis sur les enjeux de la biodiversité, les stratégies de conservation, les aspects économiques de la déforestation et enfin, les pesticides chimiques et naturels. Il nous a été montré notamment, comment, dans la Grande Ile, était mise en œuvre une stratégie de réserve de la biosphère au service de la gestion rationnelle des ressources naturelles et de la conservation durable. L'ensemble des conférences a été ponctué par une journée de terrain consacrée à la découverte de la forêt de la Mandraka avec ses faciès de dégradation et de reboisement, de la réserve d'Andasibé avec sa riche végétation tropicale et ses lémuriens, et enfin une collection d'orchidées malgaches et d'un élevage de papillons et de reptiles, appartenant à des particuliers.

Le bilan de cette Université d'Hiver peut être considéré comme très positif, tant sur le plan de la diffusion des connaissances que sur celui des perspectives ouvertes. Elle a permis en outre l'établissement de collaborations scientifiques nouvelles entre chercheurs et enseignants francophones de l'océan Indien, de l'Afrique et de l'Hémisphère nord, en même temps que le renforcement des liens entre les différents partenaires de la région.

Qu'il nous soit permis de remercier les auteurs des textes présentés ci-après et les spécialistes des différents thèmes qui ont accepté de lire et critiquer leurs manuscrits.

LISTE DES PARTICIPANTS

ALZOUMA Inzedane	Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Niamey, Niamey, Niger.
AMANIEU Michel	Professeur, Directeur du Laboratoire d'Écologie marine, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
ANDRIAMAMPINANINA Joseph	Directeur de l'Office National pour l'Environnement, Antananarivo, Madagascar.
APPIAH Siram	Assistant Conservator of Forest, Forestry Service, Curepipe, Ile Maurice.
BACAR DOSSAR Mohamed	Care international, Moroni, Comores.
BACHELERY Patrick	Maître de Conférence, Laboratoire des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
BALLAN Philippe	Conseiller technique à l'Office National de l'Environnement, PNUD, Antananarivo, Madagascar.
BARCELO Alain	Doctorant en Hydrogéologie, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
BARBAULT Robert	Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Directeur du Laboratoire d'Écologie de l'École Normale Supérieure, Paris, France.
BEAUDET Gilles	Doyen de la Faculté des Arts et Sciences, Université de Montréal, Montréal, Canada.
BELLEME Dominique	Étudiante, DESS Télédétection, Saint-Denis, La Réunion.
BERTHERY Daniel	Chargé de mission auprès du Préfet de La Réunion pour la Coopération Régionale dans l'Océan Indien, Saint-Denis, La Réunion.
BONNET Bernard	Maître de Conférences, Directeur du Laboratoire d'Écophysologie, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
BORIE Jean-Michel	Office National des Forêts, Saint-Denis, La Réunion.
BORDERES Michel	Ingénieur en chef du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Directeur régional de l'Office National des Forêts, Saint-Denis, La Réunion.
BOUSNINA Ali	Président de l'Université de Tunis II, Tunis, Tunisie.
BOUGERE Jacques	Maître de Conférences, Directeur du Laboratoire de Géographie Physique, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
BOUGUERRA M.L.	Professeur à l'Université de Tunis, Laboratoire de Chimie Organique et d'Électrochimie Appliquées, Tunis, Tunisie.
BROCHET Michel	Directeur du cycle d'enseignement supérieur en agronomie tropicale du CNEARC, Montpellier, France.
CHABANET Pascale	Doctorante en Biologie Marine, ATER, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
CHABANEAU Colette	Cursan, France.
CHAPERON Pierre	Directeur de Recherches, ORSTOM, Antananarivo, Madagascar.
CLERGUE Guy	Président d'Écologie Réunion, Sainte-Clotilde, La Réunion.
CONAN Chantal	Maître de Conférences, Laboratoire d'Écologie Marine, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
COMPAIN Jean-Denis	Ingénieur Urbanisme, Caue, La Réunion.
COUDRAY Jean	Doyen de la Faculté des Sciences, Directeur du laboratoire des Sciences de la Terre, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
COURTEAUD Michel	Doctorant en Hydrogéologie, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
CUET Pascale	Maître de Conférences, Laboratoire d'Écologie Marine, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
DIOPOH Jacques	Faculté des Sciences de l'Université de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire.
DUPONT Joël	SRPEN, Lycée Leconte de Lisle, Sainte-Clotilde, La Réunion.
DURVILLE Patrick	Étudiant, DEA d'Océanographie, La Saline, La Réunion.
FAURE Gérard	Professeur à l'Université de Montpellier II, Laboratoire de Biologie Marine, Montpellier, France.

FIGIER Jacques	Professeur, Directeur du Laboratoire de Biologie et Physiologie Végétales, Faculté des Sciences, Université de la Réunion Saint-Denis, La Réunion.
FOUILLAUD Mireille	Docteur en Biologie, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
GIRARD Jean-Claude	Ingénieur CIRAD, Saint-Pierre, La Réunion.
ILTIS Jacques	Chargé de Recherches, ORSTOM, Antananarivo, Madagascar.
JEANNODA Vololoniaina	Service de Biochimie et de Biologie Végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
KAMALIDDINE Afraitane	Enseignant de Biologie à l'École Nationale d'Enseignement Supérieur des Comores, Moroni, Comores.
KHALAF Gaby	Faculté des Sciences de l'Université Libanaise, Larcana, Chypre.
LANGLOIS Jean-Yves	Comité de la Culture et de l'Environnement, Saint-Pierre, La Réunion.
LASCOMBE Thérèse	Gradignan, France.
LASCOMBE Jean	Président de la CIRUISEF, Gradignan, France.
LE BAS Jacques	Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université du Havre, Le Havre, France.
LEONARD Willy	Professeur, EESDEGS, Antananarivo, Madagascar.
LIMIER Frantz	Conservatoire et Jardin Botanique de Mascarin, Saint-Leu, La Réunion.
MICHEL Jean-Claude	C/o Division de l'Environnement, Mahé, Les Seychelles.
MOALI Jean	Doyen de la Faculté des Sciences, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, République du Congo.
MUNGROO Yousoof	Scientific Officer, Ministère de l'Agriculture, Réduit, Ile Maurice.
NAIM Odile	Maître de Conférences, Laboratoire d'Écologie Marine, Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.
PETIT Michel	Représentant de l'ORSTOM, Sainte-Clotilde, La Réunion.
PHILOGENE Bernard	Vice recteur de l'Université d'Ottawa, Ottawa, Canada.
PIERRE Jean-Michel	Chercheur, ORSTOM, Antananarivo, Madagascar.
RAHAINGOARIVONY Georges	Doyen de la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAJERARISON Charlotte	Professeur, Service de Biologie Végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAKOTONDRAVONY Daniel	Maître Assistant de Biologie Végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAKOTOMAHANINA-RALAISSOA	Recteur de l'Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.
RAKOTOVAO L.	Professeur, Coordinateur régional du projet FED/COI sur l'inventaire des plantes médicinales et aromatiques, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAKOTOFIRINGA Sylvère	Professeur, Antananarivo, Madagascar.
RAMAMONJISOA Ralalaharisoa	Maître Assistant de Biologie Végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAMAVOVOLONONA	Maître Assistant, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAMANGASON Guy-Suzon	Directeur National du projet MAG/88/007-PNUD, Antananarivo, Madagascar.
RATSIMIALA Isabelle	Assistante de Physiologie végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RATSI FANDRIHAMANANA Lila	Assistante de Géologie, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RATSIVALAKA Simone	Maître Assistante de Géographie, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.
RAZANABOLANA Jeanne	Maître Assistante de Parasitologie Animale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAZAFINDRAVOLLA Jeanne-Virginie	Assistante de Botanique, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAZAFRINDRAZAKA Yolande	Maître Assistante de Géologie, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RAZAFINDRASATA Fidimanana	Maître Assistant d'Entomologie, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
ROGER Edmond	Maître Assistant d'Écologie Végétale, EES Sciences, Antananarivo, Madagascar.
RUELLAN Alain	Directeur du CNEARC, Directeur du Programme Environnement CNRS, Montpellier, France.
SALOMON Jean-Noël	Professeur à l'Université Michel Montaigne, Talence, France.
SEYCHELLES Pascal	Étudiant, DEA de Géographie, Étang-Salé, La Réunion.
SEVERIN Claude	Président de l'Université de Reims-Champagne-Ardennes, Reims, France.
SIKI Ghislain	Doyen de la Faculté des Sciences et de Technologie, Talence, France.
SINGARAVELOU	Directeur du CEGET et Professeur à l'Université Michel Montaigne, Talence, France.

STRASBERG Dominique

Doctorant en Biologie Végétale, ATER à la Faculté des Sciences, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.

TESSIER Emmanuel

Étudiant, DEA d'Océanographie, Faculté des Sciences, La Saline, La Réunion.

TROADEC Roland

Professeur, Lycée de Saint-Paul, La Réunion.

VAN DE VYVER Gyselle

Vice Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique.

ZOUGOULOU Mahamat Abakar

Chef du Département de l'IUT Technique d'élevage de l'Université du Tchad, N'Djamena, Tchad.



TABLE DES MATIÈRES

Recherches environnementales – Aspect méthodologique

- La recherche dans le domaine de l'Environnement (*A. Ruellan*) 1
- Télédétection aérospatiale et développement de l'écologie opérationnelle (*M. Petit*) 7
- Perception de l'environnement par les Malgaches et le Plan National d'Action Environnemental (*J. Andriamampianina*) 21

Érosion

- Dégradation et gestion des sols (*A. Ruellan*) 29
- L'érosion : quantification et moyens de lutte (*J. Bougère*) 39
- Les stratégies de lutte contre l'érosion et l'aménagement des bassins-versants en Haïti (*M. Brochet*) 57
- Problématique de la lutte contre l'érosion hydraulique sur l'île d'Anjouan aux Comores (*M. Bacar-Dossar*) 67
- Fleuves et rivières de Madagascar (*P. Chaperon*) 75

Écosystèmes marins et littoraux

- Principales dégradations de l'écosystème récifal (*G. Faure*) 85
- Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien (*O. Naim*) 99
- Sources et conséquences de l'enrichissement en sels nutritifs de l'écosystème récifal à la Réunion (*P. Cuet*) 105
- Les mangroves : répartition, éléments et fonctionnement du système (*C. Conand*) 111

Forêt

- L'importance de la fragmentation et des invasions biologiques dans la dynamique de régénération de la forêt réunionnaise (*D. Strasberg, J. Figier, C. Thébaud*) 117
- La déforestation à Madagascar : une dynamique inquiétante (*J.N. Salomon*) 127

Biodiversité

- La biodiversité (*R. Barbault*) 139
- La biodiversité animale à Madagascar (*S. Rakotofiringa*) 151
- La préservation de la biodiversité de l'île Maurice (*Y. Mungroo*) 163
- Biodiversité végétale et déforestation à Madagascar (*C. Rajeriarison*) 169

Stratégies de protection de l'environnement

- Pesticides chimiques et pesticides naturels (*M. Bouguerra et B. Philogène*) 175
- La politique de protection des milieux naturels à la Réunion (*M. Borderes*) 181
- Mise en place d'un réseau de réserve de la biosphère (*G.S. Ramangason*) 187

LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT

Alain RUELLAN

A l'époque où tout le monde parle d'environnement, de protection et de meilleure gestion du milieu terre et de ses ressources ; à l'époque où la recherche scientifique se mobilise, dans le monde entier, au service de l'indispensable réussite de l'équilibre, entre le développement des sociétés d'une part, la qualité de l'environnement nécessaire à la santé de ces sociétés, d'autre part ; **s'interroger sur les priorités et sur les démarches de l'acquisition et de la transmission des connaissances, est évidemment essentiel.**

Notre Terre, aujourd'hui, change très vite, plus vite semble-t-il que la normale, la normalité étant celle qui précédait le développement des activités humaines. Ces changements concernent tous les cycles essentiels : celui de l'eau, ceux des principaux constituants de l'atmosphère (carbone, azote, ozone...), ceux des nombreux éléments minéraux déversés en excès dans les eaux et dans les sols. Ces changements concernent aussi, par voie de conséquence, les climats qui se réchauffent, les mers qui remontent, les écosystèmes qui s'appauvrissent et qui fonctionnent autrement. Ces changements concernent encore les ressources qui s'épuisent : les ressources non renouvelables, bien sûr, mais aussi les ressources dites renouvelables qui ont de plus en plus de difficultés à se renouveler au rythme de leur utilisation et de leur dégradation par les activités humaines :

- il en est ainsi de l'eau qui devient de moins en moins disponible, en quantité comme en qualité ;
- il en est ainsi des sols dont les stocks diminuent avec l'érosion, mais aussi dont les fonctions essentielles vis-à-vis des écosystèmes, se transforment : les fonctions biologiques, les fonctions alimentaires, les fonctions filtres ;
- il en est ainsi de la diversité biologique qui se réduit, semble-t-il, considérablement, partout dans le monde où les conséquences des activités humaines font pression forte.

Je ne donne là que quelques exemples, parmi les plus visibles, de ces évolutions actuelles de notre planète ; exemples qui inquiètent, exemples qui sont inquiétants, exemples qui doivent conduire les sociétés humaines à s'interroger sur ce qu'elles font de leur planète.

En effet, par rapport au triple constat :

- 1 - d'une évolution accélérée des constituants et des fonctionnements de notre planète ;
- 2 - de la responsabilité, supposée, probable, voire certaine dans bien des cas, des activités humaines par rapport aux évolutions accélérées ;
- 3 - des dangers, supposés, probables, voire certains dans bien des cas, que comportent ces évolutions vis-à-vis du développement des sociétés humaines ;

Les inquiétudes grandissent, souvent de manière très désordonnée, très individualiste. Le sentiment d'ignorance et d'impuissance est grand, et cela conduit alors à deux attitudes dangereuses :

- celle du protectionnisme excessif : il faudrait tout protéger, tout conserver, au détriment du développement des sociétés humaines ;
- celle, au contraire, du « *tant que rien n'est prouvé, continuons à produire, continuons à gaspiller ; faisons confiance absolue dans la technologie qui résoudra les problèmes au fur et à mesure qu'ils se présenteront.* »

Il est clair qu'aucune de ces deux attitudes n'est acceptable, n'est jouable. On ne peut pas, on n'a pas le droit, d'opposer développement et environnement. La seule attitude raisonnable, mais c'est un immense défi, c'est bien d'accepter que nous serons 12 milliards d'êtres humains avant la fin du siècle prochain ; que la misère doit disparaître ; et que cela ne se fera

pas dans le cadre d'un environnement dégradé qui porte atteinte à toutes les facettes de la santé des individus et des sociétés.

Alors que peut faire la science, que doit faire la recherche scientifique ?

Je souligne tout d'abord l'importance que j'accorde à la démarche du naturaliste, qu'on a eu tendance, ces dernières années, à mépriser, considérant que ce n'était pas de la science : c'est là une très grave erreur ; la démarche scientifique fondamentale du naturaliste compétent est certainement parmi les choses les plus difficiles à réussir.

Il faut rappeler que les problèmes qui concernent l'environnement ont, ces dernières années, complètement changé d'échelle. En fait, ce ne sont pas seulement les problèmes qui ont changé de nature et d'échelle ; il y a surtout eu, récemment, chez les responsables politiques et parmi les ingénieurs et les techniciens, une brusque prise de conscience de l'importance de ces problèmes, la prise de conscience des scientifiques étant plus ancienne.

Pendant longtemps, l'environnement, c'était, principalement, la qualité de la vie quotidienne pour chaque individu, pour chaque groupe social : certes, les problèmes existent toujours à cette échelle ; ils se sont même aggravés, en particulier pour les personnes et pour les populations les plus pauvres ; l'égalité écologique est encore loin d'être atteinte : elle n'est pas encore gagnée dans les pays riches, et l'inégalité écologique est dramatique quand on regarde ce qui se passe dans les pays du Sud.

Mais depuis une dizaine d'années, on prend progressivement conscience, tant du côté des scientifiques que du côté des politiques, des planificateurs, des aménageurs et des producteurs, que les problèmes les plus graves, ceux qui menacent les conditions de vie et de santé de tous, sont surtout des problèmes d'échelle régionale, d'échelle continentale et d'échelle planétaire : la qualité du milieu, dont les sociétés humaines ont besoin pour vivre bien, en bonne santé (dans tous les sens du terme santé), change rapidement et de manière déséquilibrée et ceci en conséquence de leurs propres activités : des cycles essentiels (carbone, eau...) sont modifiés ; des écosystèmes précieux (océans, forêts...) sont dégradés, pollués, détruits ; des ressources renouvelables (sols, espèces animales et végétales...) n'ont plus le temps de se renouveler, voire disparaissent ; des milieux nouveaux (agrosystèmes, villes...) de gestion souvent difficile, se développent. Aux déséquilibres mondiaux socio-économiques s'ajoutent donc, progressivement, des déséquilibres écologiques qui atteignent toutes les populations de la planète, mais encore plus gravement les peuples les plus démunis : déséquilibres socio-économiques et déséquilibres écologiques sont d'ailleurs étroitement dépendants et ceci est vrai pour toutes les échelles d'organisation des sociétés humaines.

La dégradation de l'environnement est donc devenue un problème mondial qui ne peut plus être traité que dans le cadre de démarches internationales : tous les pays sont devenus dépendants les uns des autres ; dorénavant, aucun pays n'a le droit de faire seul des choix technologiques qui risquent de porter atteinte à l'environnement mondial ; aucun pays n'a le droit de continuer à mettre le monde en péril, en refusant d'adopter des mesures reconnues indispensables : ceci est particulièrement vrai pour les pays développés, les pays du Nord, qui sont les principaux responsables de la situation actuelle ; mais c'est vrai aussi pour les pays sous-développés qu'il va falloir soutenir, aider pour qu'ils puissent se développer sans pour autant porter atteinte à leur propre environnement et à l'environnement mondial.

Nous avons donc à faire face à d'énormes défis. Ces défis nous concernent tous, tous les citoyens, mais surtout les responsables, quels qu'ils soient : chercheurs et planificateurs, élus et responsables politiques, ingénieurs et techniciens, producteurs agricoles et industriels, leaders d'opinion écologistes ou productivistes.

Alors, quels doivent être les objectifs de la recherche scientifique, quand on parle d'environnement et de développement ?

Il faut tout d'abord préciser que l'environnement qui doit nous préoccuper est celui des populations humaines, environnement au sein duquel sont immergés et dont vivent les individus et les sociétés, environnement avec ses composantes physico-chimiques, biologiques et écologiques, mais aussi sociales, environnement fortement structuré par la dynamique propre de ses composantes et par l'action, volontaire ou involontaire, directe ou indirecte, de l'homme.

La question peut se résumer ainsi : pour vivre bien, en bonne santé physique et intellectuelle, individus, groupes sociaux et sociétés ont des besoins quantitatifs et qualitatifs, des nécessités biologiques et des aspirations culturelles. Or, ces différentes composantes du « bien-être » individuel et social soit sont menacées, soit nécessitent une autre façon de les appréhender. Les problèmes se posent aux divers niveaux d'organisations biologiques et sociales et aux différentes échelles d'espace et de temps. Aujourd'hui, ces problèmes sont en grande partie la conséquence des activités humaines. Ce sont les menaces qui nous préoccupent le plus immédiatement et que nous devons d'urgence chercher à détecter et à écarter, la question fondamentale étant d'arriver à concilier le mieux être qualitatif et le mieux vivre économique.

Par rapport à ce problème, les objectifs de la recherche scientifique sont de trois ordres :

- 1 – Connaître et expliquer les structures, les fonctionnements, les évolutions, récentes et actuelles, des différents constituants et systèmes du milieu planétaire : les cycles, les climats, les écosystèmes, les ressources renouvelables, les sociosystèmes. Bien comprendre, en particulier, les multiples rôles des sociétés humaines dans les évolutions actuelles, les problèmes essentiels et urgents étant, bien entendu, ceux concernant les pollutions, les appauvrissements biologiques, les désertifications, les relations entre l'état de l'environnement et la santé des individus et des sociétés.
- 2 – Mieux connaître les besoins de l'espèce humaine par rapport au milieu où elle vit, dont elle vit ; mieux connaître les besoins des hommes en fonction de leurs milieux et de leurs cultures ; mieux comprendre comment la santé et le comportement, des individus et des sociétés, se transforment en fonction des évolutions locales, régionales, mondiales des environnements.
- 3 – Dans la mesure où certaines évolutions de l'environnement, où certaines influences anthropiques, se révèlent périlleuses pour les sociétés humaines et pour la diversité vivante de la Terre, mettre au point, avec les acteurs de la société, des stratégies alternatives de développement, qui peuvent être d'ordre technique et d'ordre socio-économico-politique.

Au total, la recherche environnement est donc celle qui se préoccupe de comprendre les relations entre l'homme et son milieu, entre l'homme et ce qui l'entoure : comprendre le présent et le passé pour pouvoir agir intelligemment sur le futur.

Ceci dit, la recherche environnement réussit quand elle répond aux trois exigences suivantes :

- celle de la qualité, de la rigueur d'une recherche de base ancrée dans les disciplines scientifiques ;
- celle de l'interdisciplinarité, imposée par la complexité des problèmes posés par l'environnement, une interdisciplinarité réalisée par des équipes qui sont chacune excellente dans leur domaine de spécialité, mais qui savent que la confrontation, la collaboration avec les autres disciplines, sont indispensables pour découvrir et résoudre les problèmes ; en France, cette interdisciplinarité de qualité nécessite, presque toujours, l'inter-institutionnalité ;
- celle de relations opérationnelles entre la recherche et les acteurs de la société ; la recherche se doit d'être à l'écoute des demandes, mais elle doit aussi faire comprendre que la société se doit d'être à l'écoute des résultats et des doutes des chercheurs ; ces relations opérationnelles concernant à la fois l'identification des problèmes, les décisions d'action pour résoudre les problèmes, mais aussi les stratégies de formation à l'environnement.

Ceci étant, il faut aussi dire que l'environnement est une grande chance pour la science, pour la réflexion scientifique. Une chance à saisir vite et bien, à cause de l'urgence et de la gravité des problèmes, mais aussi à cause des coups de fouets que les recherches environnement peuvent donner aux démarches scientifiques. D'ailleurs, les chercheurs et les équipes scientifiques ne s'y trompent pas : tout le monde veut « faire de l'environnement », comme on dit ; pas toujours pour des raisons très avouables : certains pensent que l'environnement est une bonne vache à lait ; mais beaucoup ont compris que l'enjeu est autre, que l'enjeu scientifique est considérable, que l'occasion donnée par les problèmes à résoudre en matière d'environnement est exceptionnelle pour aller enfin vers de nouvelles démarches que l'on peut qualifier de « démarches systémiques interdisciplinaires ».

Il y a 10 ans, un autre problème, tout aussi grave que celui de l'environnement aujourd'hui, m'avait conduit à réfléchir sur l'interdisciplinarité opérationnelle : ce problème était celui du développement des pays du Tiers Monde. C'est de cette réflexion qu'est née, à l'époque, la réforme scientifique de l'ORSTOM que j'ai eu la responsabilité de construire, avec création, volontariste, de départements et d'unités de recherches interdisciplinaires. De cette expérience, de la façon dont elle a été réalisée et réussie, trois leçons essentielles me semblent devoir être retenues :

- l'interdisciplinarité n'a de sens, n'est productive de démarches et de résultats nouveaux, que si elle se fait entre chercheurs et entre équipes qui sont les bons de leurs disciplines scientifiques ; l'interdisciplinarité ne peut être celle de chercheurs isolés, en rupture de leurs disciplines ; l'interdisciplinarité la plus productive, la plus riche, est celle qui associe des équipes ;
- l'interdisciplinarité ne se réussit pas du jour au lendemain ; la réflexion théorique et méthodologique doit accompagner, au jour le jour, la décision d'essayer d'approfondir ensemble un problème scientifique : il ne suffit pas de décider de travailler ensemble, côte à côte, sur un même objet et d'échanger les résultats ; il faut que chaque discipline scientifique fasse l'effort de comprendre l'autre ; il faut que chaque équipe accepte de voir ses résultats discutés par les autres ; il faut prendre le temps de mettre en commun sans perdre son identité : ce n'est pas facile, d'autant moins que les démarches d'évaluations scientifiques des chercheurs, en place dans les EPST, ne les poussent pas dans ce sens ; ce n'est pas facile, d'autant moins que la culture scientifique des chercheurs est étroite ;
- d'où la troisième leçon : il faut construire les moyens du dialogue, les moyens de l'échange interdisciplinaire ; il faut que chacun apprenne à parler son langage scientifique d'une façon compréhensible, acceptable, par d'autres disciplines ; c'est dans ce but que nous avons mis en route la nouvelle revue « Natures, Sciences, Sociétés » qui se veut à la fois de très haut niveau scientifique et complètement interdisciplinaire.

Tout ceci me conduit alors à insister encore sur deux autres perspectives : celle de l'inter-institutionnel et celles de l'international :

- Pour ce qui est de la France, je crois profondément que notre recherche concernant l'environnement se doit de dépasser le cadre de chacune des institutions scientifiques, et vous savez qu'elles sont nombreuses ; aucune institution, même le CNRS, n'a en son sein toute la diversité scientifique nécessaire à une bonne recherche environnement interdisciplinaire ; nous nous employons actuellement à développer cette inter-institutionnalité : c'est difficile, mais je suis optimiste.
- Pour ce qui est de l'international, il est clair que la bataille de la connaissance au service de l'environnement ne peut être gagnée que dans le cadre d'une vaste coopération internationale. A condition cependant qu'il s'agisse bien d'une coopération dont aucun pays ne doit être exclu. Or on n'en est pas là, de loin pas. La coopération scientifique entre les pays riches se développe vite, très vite, mais elle ignore, trop souvent, une bonne partie des pays du Sud où la recherche, il faut le dire, est encore peu développée. Je crois que l'on doit dire ceci :
 - . il n'y a coopération scientifique internationale que dans la mesure où chaque pays a quelque chose à mettre à la disposition des autres ;

- . par ailleurs, chaque pays devrait pouvoir, par la recherche scientifique et par l'échange d'informations, disposer des capacités d'expertises qui lui permettent de négocier les décisions internationales et d'éviter de se voir imposer des politiques inadaptées ou des contraintes absurdes ;
- . il faut donc faire le nécessaire pour aider les pays du Sud, qui sont gravement concernés par les problèmes d'environnement, sans en être vraiment responsables, à développer leurs propres moyens d'observation, de recherche, d'application de la recherche, dans le domaine de l'environnement.

La Francophonie se doit, dans ce domaine, de faire œuvre pionnière.

Ceci m'amène alors, naturellement, à m'interroger sur les questions de formation.

Je suis Professeur de Science du Sol. Je dirige le CNEARC, le Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes ; je préside aux destinées de l'IEDES, l'Institut d'Etudes du Développement Economique et Social. Par les responsabilités que j'assume, en outre, comme Directeur du Programme Environnement du CNRS et par mes engagements associatifs et militants dans le cadre d'ONG de développement — la Cimade en particulier — je me trouve donc en situation clairement interdisciplinaire et multi-objectifs, ce qui facilite mes réflexions et mes actions au service du développement et de l'environnement des pays des régions chaudes.

Ce sur quoi je voudrais insister, c'est sur la nécessité qu'il y a, mais aussi sur la difficulté qu'il y a, à construire des systèmes intégrés de formation qui vont de la recherche à la production ; de la recherche la plus fondamentale à la production la plus élémentaire, c'est à dire celle des petits producteurs agricoles, celle des artisans, celle des PME. Ceci est nécessaire partout, pour tous les pays, mais c'est bien sûr particulièrement vital pour les pays en développement.

On doit s'interroger sur l'universalité ou non des connaissances. Je suis de ceux qui sont persuadés :

- que cette universalité n'existe pas vraiment ;
- que la tendance à l'anglicisation de la production et de la diffusion des connaissances est un phénomène appauvrissant ;
- que la francophonie ne jouera elle-même pleinement son rôle que si elle sait mettre en valeur les potentiels, la diversité des potentiels culturels des peuples qui ont adopté le Français comme langue première complémentaire ;
- que d'une façon générale, tout doit être fait pour diversifier les lieux culturellement différents de production scientifique ; tout doit être fait pour que la diffusion des connaissances respecte les langues et les cultures.

Je m'interroge souvent : nous nous honorons en France, à juste titre, d'avoir formé des milliers et des milliers de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens, d'Afrique et d'ailleurs ; nous nous honorons d'avoir réussi à transférer, dans bon nombre de pays, nos systèmes éducatifs, avec nos programmes d'enseignement ; mais quel bilan faisons-nous de tout cela ? Oui, nous avons formé, très bien. Oui, nous avons transféré des connaissances, très bien. Mais qu'est-ce qui est fait de tout cela, sur le terrain ? Avons-nous réussi à transférer non seulement des connaissances, mais aussi l'enthousiasme, mais aussi la conviction que ces connaissances doivent être utilisées, diffusées, au service des populations ?

Je n'en suis pas sûr et cela m'inquiète ; et en tant que Directeur du CNEARC et Président de l'IEDES, je demande à mes collaborateurs et à tous ceux qui travaillent avec nous, que l'on réfléchisse à la pédagogie de l'enthousiasme, une pédagogie qui ne se contente pas de transférer des connaissances, mais une pédagogie qui convainc, une pédagogie qui rapproche les intellectuels de leurs peuples et non l'inverse. C'est facile à dire ; ce n'est pas facile à faire. Mais je dis que c'est possible : mon expérience brésilienne de travailler, moi-même, directement avec des petits producteurs agricoles, souvent analphabètes, m'a

convaincu. Un scientifique pur-sang peut apprendre à transférer lui-même, à condition qu'il n'ait pas peur d'essayer de comprendre les contextes économiques, sociaux, politiques, donc d'être un peu interdisciplinaire... et un peu subversif, scientifiquement, j'entends.

Je suis profondément persuadé, et je dis cela sur la base de mes connaissances scientifiques et de mes expériences pédagogiques, que les efforts scientifiques et éducatifs qui doivent être faits pour une meilleure utilisation durable des milieux, utilisation durable qui est vitale pour le bon développement de sociétés humaines en bonne santé biologique et culturelle, doivent l'être dans le cadre d'une approche naturaliste, d'une approche morphologique, d'une approche systémique. Et croyez bien que c'est bien cette approche là, celle de la réalité des choses, qui mobilise le mieux les intelligences de ceux qui sont « sur le terrain » ; la pédagogie de l'enthousiasme est bien celle-là.

L'homme naît naturaliste, observateur, assoiffé de comprendre ce qu'il voit. L'éducation de ces dernières décennies, l'information et la publicité, ont eu tendance à vouloir faire de lui un analyste simpliste. Il en est d'ailleurs de même de la recherche : je m'élève fortement contre cette sélection scientifique qui privilégie les recherches et les publications très analytiques, au détriment de celles qui s'attèlent au difficile problème de la compréhension des relations, problème qui ne peut d'ailleurs être résolu que par l'interdisciplinarité.

Vous avez, je pense, compris que ma préoccupation première est bien, qu'à cette époque où nous prenons brutalement conscience que nous maltraitons notre planète, et que cela risque de compromettre l'avenir de l'ensemble des sociétés humaines, il est temps de redonner, en matière de recherches, en matière d'enseignements, en matière d'actions pour le développement, priorité absolue aux approches interdisciplinaires et systémiques, aux approches qui permettent à chacun de nous, de comprendre où nous vivons et ce que nous vivons.

La recherche et l'enseignement doivent faire de chacun de nous, de chaque homme et de chaque femme de ce monde, quelqu'un de capable de comprendre et d'agir. L'approche naturaliste est, dans ce but, indispensable. Elle est, de mon point de vue, la seule qui puisse remobiliser les enthousiasmes et les responsabilités, parce qu'elle peut permettre à chacun de comprendre et donc de participer aux décisions : ce n'est qu'à cette condition que la vraie démocratie, de citoyens responsables, peut vraiment fonctionner.

TÉLÉDÉTECTION AÉROSPATIALE ET DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCOLOGIE OPÉRATIONNELLE

Michel PETIT

Étymologiquement, l'écologie c'est le discours sur la maison, c'est-à-dire la science du lieu où nous vivons, autrement dit encore l'étude de notre planète. En soi, c'est un terme plus séduisant que « environnement » qui, lui, signifie ce qui est autour et, de ce fait, a tendance à exclure l'homme de l'étude. Souvent cependant, les faits montrent que l'écologie se réduit à l'étude de la maison au travers d'une toute petite fenêtre (Fig. 1)...

La télédétection aérospatiale est un outil puissant de l'écologie et nous essayerons de montrer qu'elle contribue à la rendre opérationnelle. Mais sa force essentielle pour cela réside dans sa capacité intrinsèque d'étudier la planète dans sa totalité par un continuum spatio-temporel d'observation et d'échelle d'observation de la surface terrestre.

PROBLÉMATIQUE

Rapide bilan des acquis et des problèmes de l'écologie moderne

Avant d'introduire le concept d'écologie opérationnelle, il est nécessaire de dresser un tableau bref, voire schématique, des mécanismes qui président aux études d'écologie et des méthodes d'établissement de diagnostic.

Dès qu'une activité humaine s'avère rentable pour une société, selon les critères de la dite société, sont identifiés une ressource ou un produit et des producteurs. Les réactions des producteurs, plus ou moins encouragés par l'inefficacité des règlements, restant les mêmes que par le passé, l'exploitation de la ressource ou de l'idée se fait encore souvent de façon anarchique. Ceci n'avait pas grande importance tant que le stade artisanal n'était pas dépassé. Or, depuis le siècle dernier, pour beaucoup d'activités, le stade industriel a été atteint et le contrôle de l'activité est devenu dépendant d'un nombre de paramètres interactifs trop nombreux pour être intégrés par une personne ou un groupe de personnes. Et, dans beaucoup de cas, faute de cette intégration, apparurent des problèmes dans la production ou d'environnement qui, généralement, engendrèrent (1) les premières mesures réglementaires sans fondement scientifique, (2) une demande de recherche scientifique à pouvoir uniquement consultatif et, éventuellement, (3) une nouvelle réglementation d'après les résultats des recherches (Fig. 2).

Figure 1 : Première carte connue de la région de Madagascar, dressée par le géographe arabe Edrisi au XII^e siècle. En savons-nous réellement plus sur l'écosystème planétaire ?

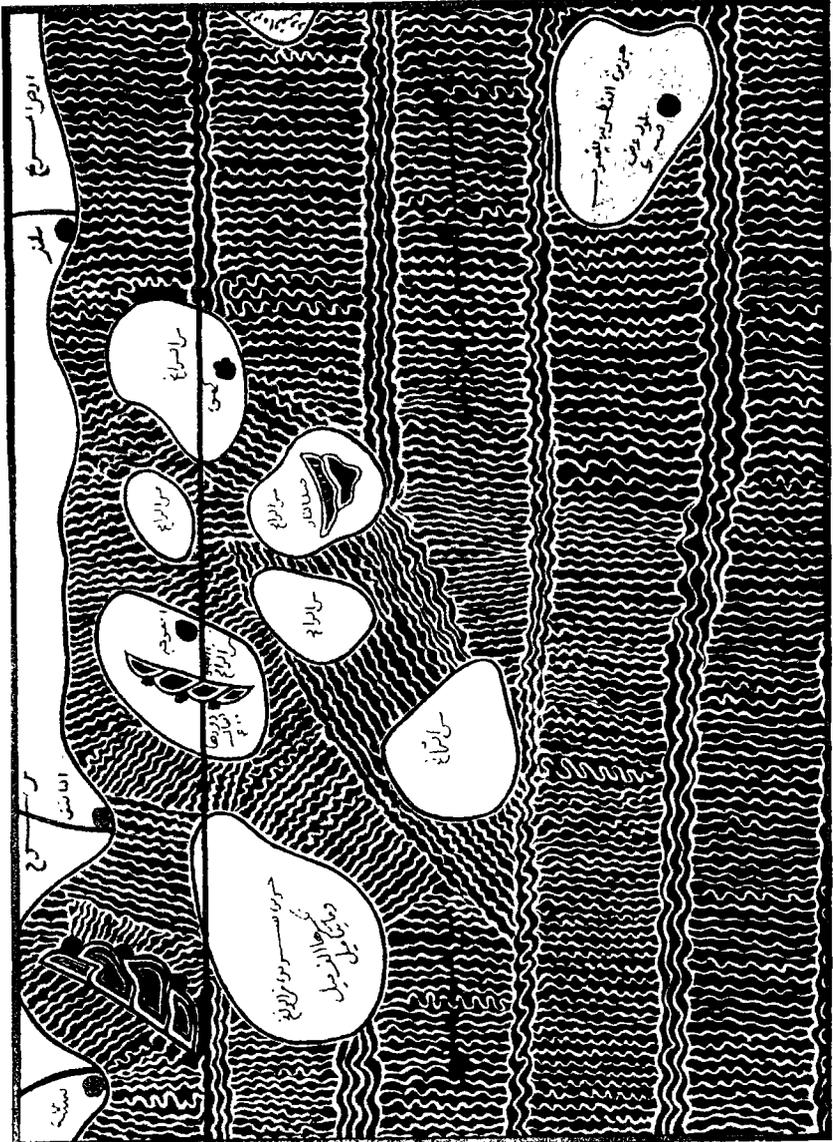
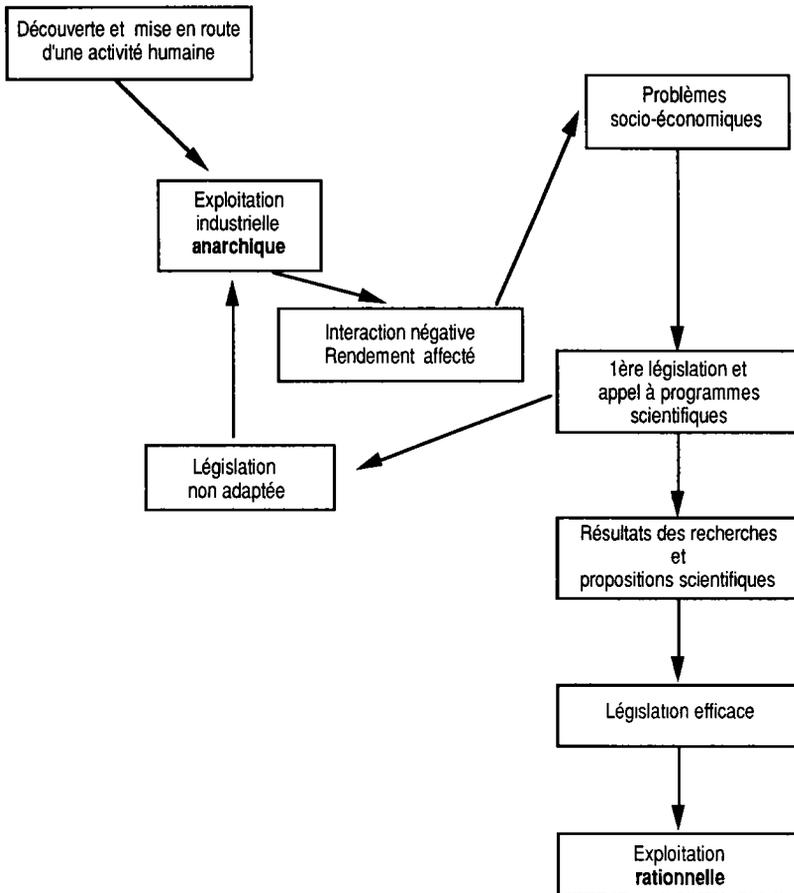
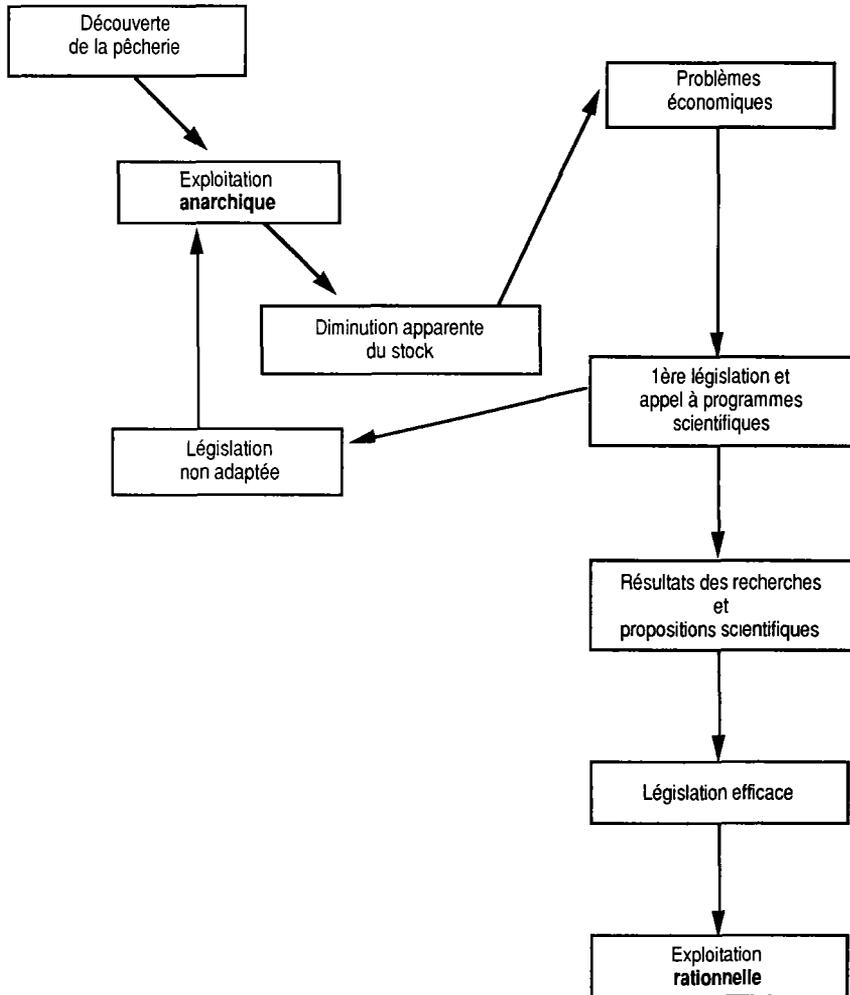


Figure 2 : Schéma de l'évolution classique de l'activité humaine depuis le milieu du XIX^e siècle

Exemples d'application :

Remarquons que ce schéma, bien que dépouillé à l'extrême, n'en reste pas moins général et bien réel. Il peut s'appliquer tel quel dans de nombreux domaines. A titre d'exemple, prenons celui de l'halieutique ; on obtient la figure 3 :

Figure 3 : Schéma de l'évolution classique de l'exploitation d'une pêcherie au cours de la seconde moitié du XX^e siècle



Les pêcheries dont la gestion est suivie dès le début par les scientifiques sont rares (cas des crevettes dans le golfe Persique ou de la langouste dans l'Ouest australien), relativement récentes et dans des zones traditionnellement inexploitées pour l'espèce considérée.

Par analogie avec les lois qui régissent les écosystèmes terrestres, il a été possible de trouver les paramètres — les « symptômes » — de l'état des pêcheries, en tenant compte des caractéristiques propres au milieu marin (mortalité naturelle élevée, nombre d'œufs souvent considérable...). La finalité des recherches étant d'évaluer le stock, afin de proposer la « posologie », les dynamiciens ont élaboré le concept d'unité de pêcheries ou population, relativement indépendante d'événements extérieurs (critère d'isolement) et ne renfermant pas de sous-populations à caractéristiques très différentes les unes des autres (critère d'homogénéité). Pour procéder à l'évaluation d'abondance de cette population, il est alors nécessaire de connaître ou d'estimer les données suivantes que l'on peut répartir en trois groupes.

Le premier groupe comprend l'aire de répartition de l'espèce et les données statistiques sur les prises, l'effort de pêche et la composition par taille (âge). Il s'agit ici de s'assurer qu'à deux aires différentes de répartition correspondent bien deux populations et qu'une même population n'est pas exploitée dans deux pêcheries.

Le deuxième groupe affecte surtout les caractéristiques biologiques et physiologiques dont la localisation des zones de ponte.

Enfin, l'étude du comportement de l'espèce dans son environnement fournit les données du dernier groupe.

Dans chacun de ces trois groupes, une dynamique de recherche propre a généré un certain cloisonnement entre les études... et les experts. Ainsi, depuis trente ans, l'investigation mathématique et les techniques informatiques ont donné la faveur aux modèles qui tentent de trouver une expression (E) pour traduire la relation entre le recrutement, la croissance, la mortalité naturelle et par pêche. Pour cela, on utilise surtout les statistiques de pêche et quelques expériences de marquage. Comme toute recherche nouvelle, la dynamique des populations a fourni des résultats remarquables et permis le diagnostic de l'état des pêcheries en activité.

De leur côté, les études de biologie se sont poursuivies classiquement, fournissant secondairement des éléments d'estimation de certains paramètres de l'expression mathématique (E).

Quant aux études de comportement et d'évaluation directe de stock (comptage), elles ont été délaissées compte tenu de la difficulté d'obtention de données, difficultés quasiment rédhibitoires, jusqu'il y a peu, pour les espèces pélagiques.

La pêcherie de ces pélagiques, en particulier celles des thonidés de surface, a suivi, avec ses spécificités propres, une évolution comparable à ce qui est décrit précédemment jusqu'à la fin des années 70.

En effet, les problèmes se sont déplacés pour différentes raisons. Tout d'abord, si du point de vue de l'industrie des pêches, il est intéressant d'avoir des prévisions de stock pour chaque année, depuis l'augmentation spectaculaire des coûts d'exploitation, la prévision des zones de pêche est devenue une nécessité pour maintenir un rendement énergétique acceptable (matière vivante récoltée par unité d'énergie dépensée).

En second lieu, la gestion internationale a fait place à une responsabilisation par pays avec la création des zones économiques exclusives (ZEE) diminuant ainsi l'influence des organismes internationaux ICCAT¹, IATTC², CPS³. Pour s'en convaincre, il suffit d'étudier les débats parus dans la conférence électronique organisée sur le réseau EIES (Telenet) par la CPS, suite au texte de R. HILBORN et J. SIBERT : « Is international management of tuna necessary ? ».

Tableau 1 : bouleversements de la répartition mondiale des pêches thonières au début des années 80

	1977	1983
Océan Atlantique	160 Mt (95S*)	200 Mt (89 S)
Océan Indien	0 Mt (0 S)	12,5 Mt (6 S)
Pacifique Est	290 Mt (202 S)	190 Mt (130 S)
Pacifique Ouest	35 Mt (18 S)	290 Mt (120 S)
Mt : Quantités exprimées en milliers de tonnes		
* Nombre de senneurs commerciaux de plus de 200 t de capacité ayant participé à ces captures		

1. ICCAT : International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas.

2. IATTC : Inter-American Tropical Tuna Commission.

3. CPS : Commission du Pacifique Sud.

Enfin, pour faire face à des problèmes de restructuration technologique (Japon), de géopolitique (USA, Mexique) ou d'affaiblissement de stock (flottille franco-ivoiro-sénégalaise), il est apparu indispensable de prospecter et surtout d'évaluer les stocks en région vierge de toute pêche donc de statistiques de pêche. Sans ces dernières, il a donc fallu développer les études d'environnement et de comportement. Déjà dans ce contexte, la télédétection aérienne et spatiale a fourni un outil de premier ordre pour mettre au point des méthodes de prévisions de pêche et d'évaluation directe du potentiel de pêche avec les opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans le Pacifique Sud et l'exploitation des données satellitaires dans le cadre du Bureau d'Aide à la pêche d'Abidjan créé dès 1978.

Un autre thème pourrait être longuement exposé, toujours en suivant le schéma initial (Fig. 2) dans le domaine de la déforestation et la mise en place des réserves. L'usage de la télédétection est ici des plus classiques. Un premier exemple sera donné plus loin dans le cours avec l'évolution des zones de mangroves à Madagascar (Fig. 4).

Un deuxième exemple est pris au travers de la station SEAS (Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellites) mise en place par l'ORSTOM à La Réunion. Cette station comporte un système de réception haute résolution des satellites NOAA qui est pleinement opérationnel avec :

- l'acquisition et l'archivage des données des satellites selon la norme de l'ESA ;
- une aire d'acquisition conséquentes (Fig. 5) et un nombre relativement élevé d'orbites acquises (7 à 12 par jour) ;
- le traitement et l'extraction en temps réel de la température de surface de la mer, avec algorithme intégrant l'angle de visée, la correction atmosphérique et les spécificités régionales (Fig. 6), et de l'indice de végétation (Fig. 7).

Depuis l'océan Indien, la station SEAS participe, dans le cadre d'accord avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) à l'effort de coopération internationale pour intégrer toutes les données provenant des capteurs des satellites NOAA dans un réseau coordonné. Ce réseau est soutenu par les principaux programmes de recherches internationaux sur l'environnement : TREES, ASEAN RS, Global Change... Une des applications consiste pour nous à fournir et traiter des données pour le test « Global Land AVHRR 1 km data set experiment », projet commun à l'ESA et la NASA. Le produit final en sera, après deux années d'expérimentation, la cartographie de l'indice de végétation sur l'ensemble de la zone intertropicale.

Figure 4 : Image spot de la région de Belo (Madagascar)
traitee pour évaluer les superficies de Mangroves et forêts (en rouge)



Figure 5 : Ellipse d'acquisition des données satellitaires NOAA depuis la station SEAS de l'ORSTOM à la Réunion

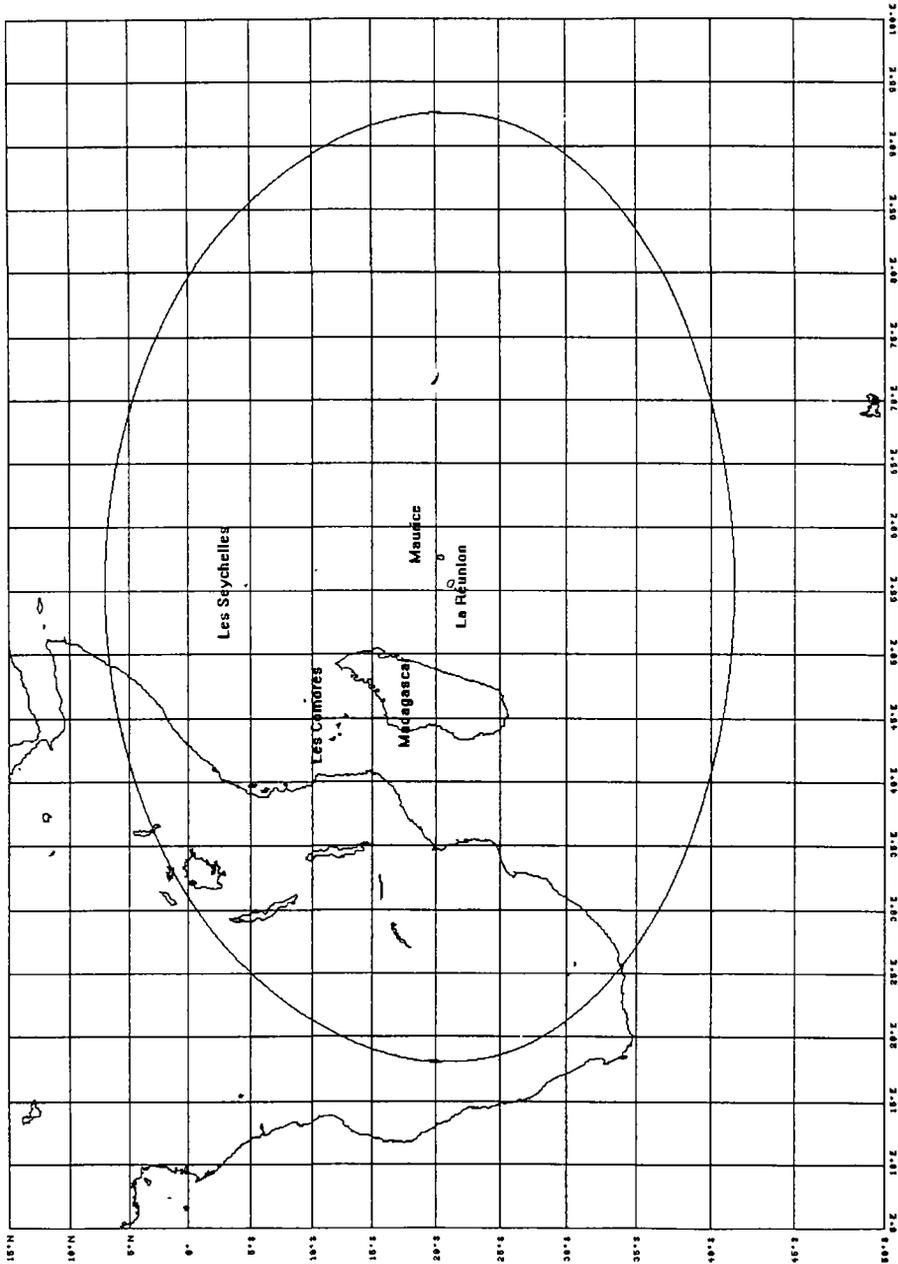
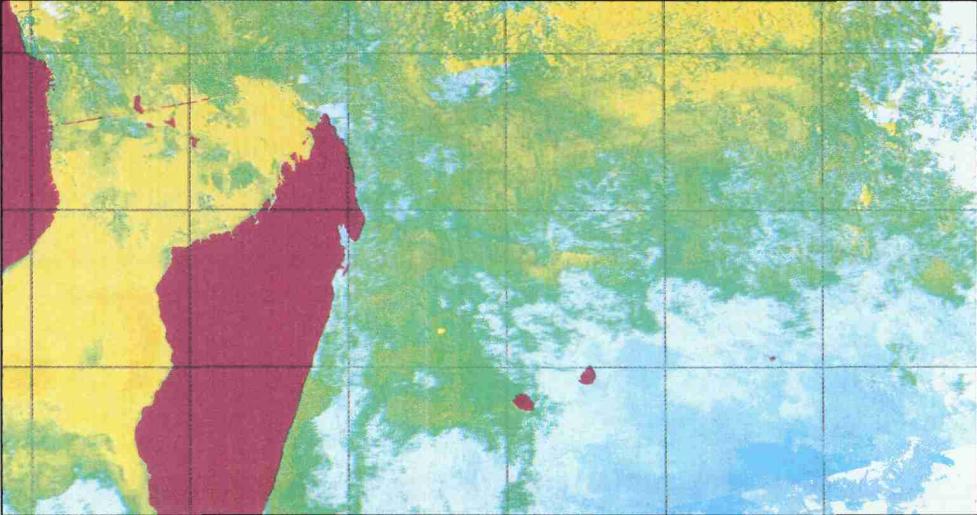


Figure 6 : Température de surface de la mer calculée à partir des données NOAA reçues quotidiennement sur la station SEAS de l'ORSTOM à la Réunion

Le jaune clair correspond à 26°C, le bleu foncé 23°C, chaque teinte vaut un demi-degré celsius. La partie (b) est un détail sur le sud malgache mettant bien en évidence la formation de tourbillon liée à la circulation de surface et aux remontées d'eaux froides.

a-



b-

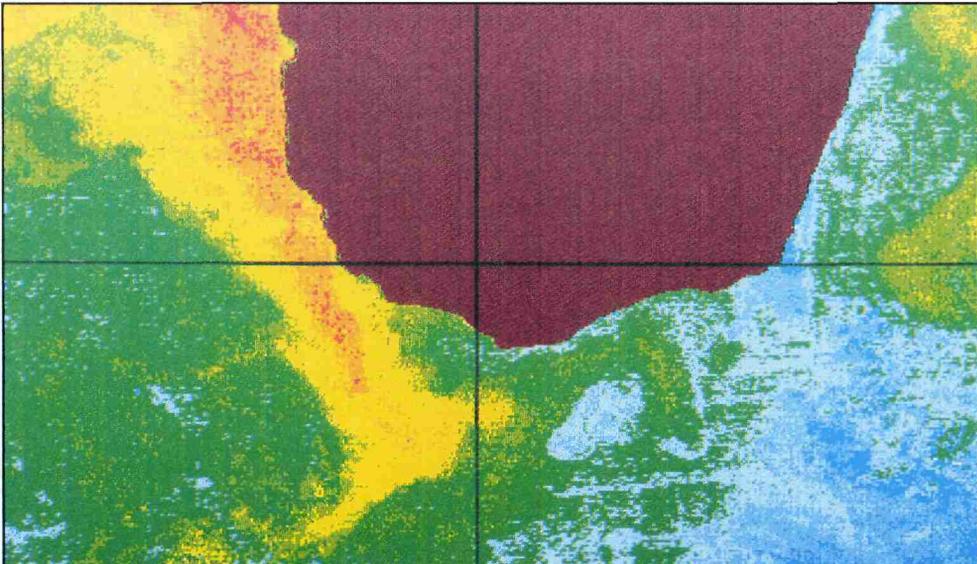
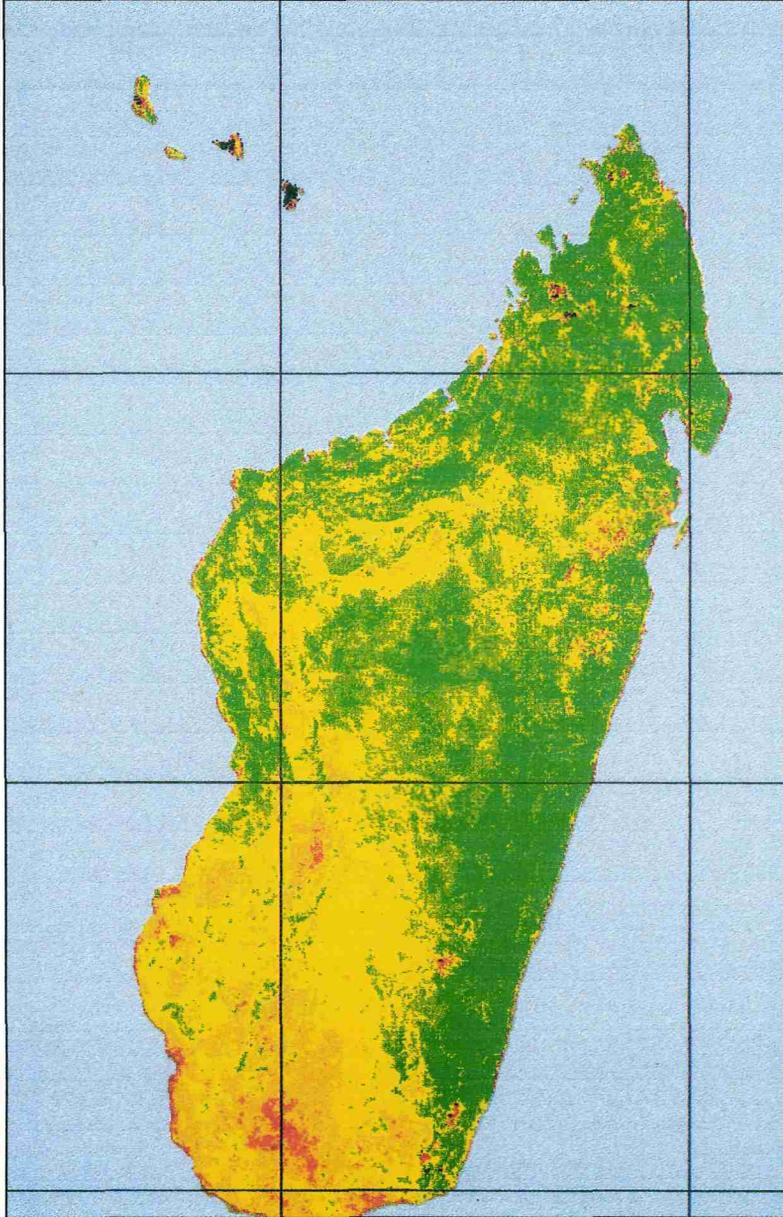


Figure 7 : Indice de végétation calculé à partir des données NOAA reçues quotidiennement sur la station SEAS de l'ORSTOM à la Réunion

Les régions vertes sont celles où le couvert végétal est le plus dense, les zones rouges correspondant au sol nu.



ANALYSE DES POTENTIALITÉS ET LIMITES DE LA TÉLÉTECTION AÉROSPATIALE

Bien entendu la télétection aérospatiale n'est pas et ne peut pas être la panacée qui devrait résoudre tous les problèmes. De par sa méthodologie propre, la télétection permet rarement d'avoir des données directement utilisables. C'est là que la notion de modèle prend toute sa valeur, modèle où sont analysées simultanément les données principales et secondaires recueillies en temps réel et les données historiques. Cette intégration se fait de façon opérationnelle en météorologie et doit désormais prévaloir en écologie. Il s'agit donc seulement de contribuer à l'étude de l'environnement global, terrestre ou marin, par la surveillance des paramètres de surface à l'échelle spatiale la plus adéquate et en temps quasi réel (3 à 5 jours).

Aux modèles de type procédure devraient, d'ici peu, se substituer des modèles intégrant, dans leur application, les techniques de l'intelligence artificiel dont, certains systèmes experts pourraient être en place à bord même des futurs satellites.

La bonne adéquation des échelles spatiales entre la zone d'étude et les moyens actuels de la télétection d'une part, le potentiel d'évolution de cette technique et son adaptation aux problèmes posés d'autre part, constituent les principaux atouts de la télétection pour une écologie opérationnelle. Les deux exemples pris dans la première partie sont désormais des études des plus classiques. Nous allons maintenant essayer de montrer au travers d'exemples originaux les propriétés d'évolution de cette technique, son adaptation aux problèmes posés et finalement son potentiel à catalyser l'émergence d'une écologie opérationnelle.

Exemple 1 : La télétection hyperfréquence

Au contraire des capteurs optiques, les capteurs micro-onde ou hyperfréquence permettent de traverser la couverture nuageuse. Les capteurs hyperfréquences actifs tels que les radars ont été développés dans le domaine civil dans les années soixante pour l'étude de la zone tropicale. Outre cette avantage « accès tout temps », la télétection radar, en particulier celle qui fait appel aux techniques dite de synthèse d'ouverture, donne une vision nouvelles des sites liée à la nature physique des objets et au fait que la résolution soit indépendante de la distance vecteur-sol et fonction des caractéristiques de la source, parfaitement contrôlée en fréquence et polarisation. A partir des différentes caractéristiques physiques possibles, un bilan des avantages considérables de l'outil travaillant dans cette fenêtre du spectre électromagnétique est établi au travers d'exemples de données traitées issues du satellite européen d'environnement ERS-1. Il en ressort que les études du domaine hyperfréquence devraient permettre une avancée dans l'usage de la télétection et un apport en écologie jamais réalisés jusqu'ici. Les thèmes abordés vont de la glaciologie à l'interférométrie en passant par le parcellaire agricole ou l'environnement côtier (Fig. 8).

Exemple 2 : L'expérience TOPEX POSÉIDON et le phénomène El-Nino

Un rappel du phénomène El-Nino et de ses conséquences socio-économiques est fait. Les recherches faites au cours la dernière décade ont mis en évidence le rôle primordiale de la circulation océanique. La mesure de la pente de la surface océanique par les altimètres du satellite franco-américain TOPEX POSÉIDON est la seule technique existante d'observation de la circulation océanique sur une base permanente et globale (Fig. 9).

Figure 8 : La première image acquise par ERS-1

Nord-ouest de la Hollande a immédiatement démontré les grandes possibilités du radar à ouverture embarqué (SAR). Villes, chemin de fer, routes comme bateaux, ondes internes et vagues sont facilement identifiables (documentation ESA).

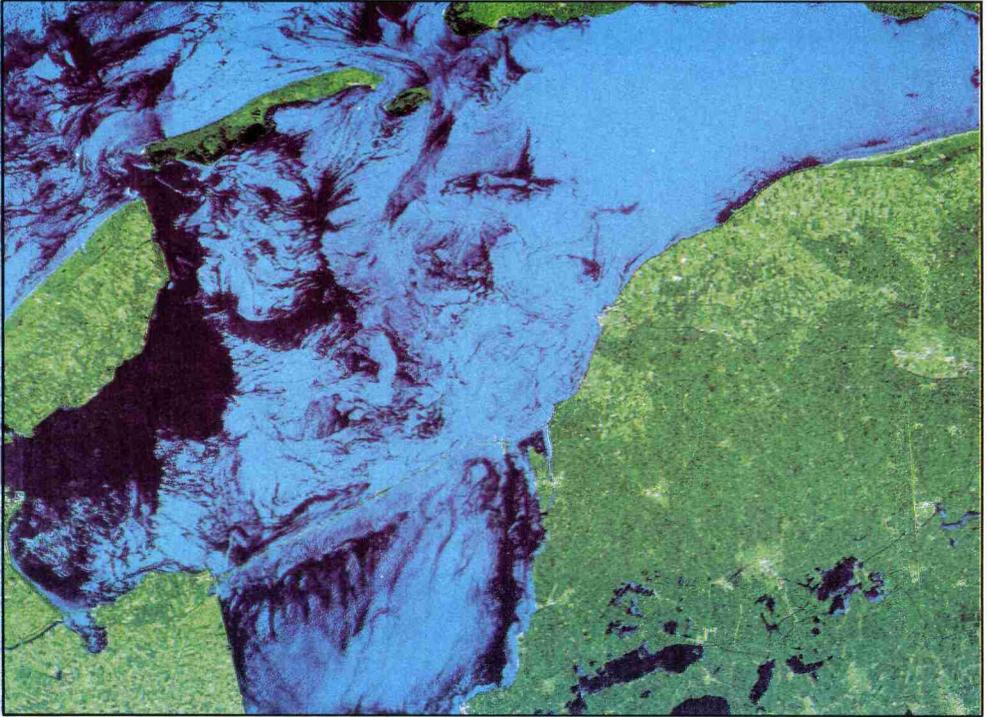
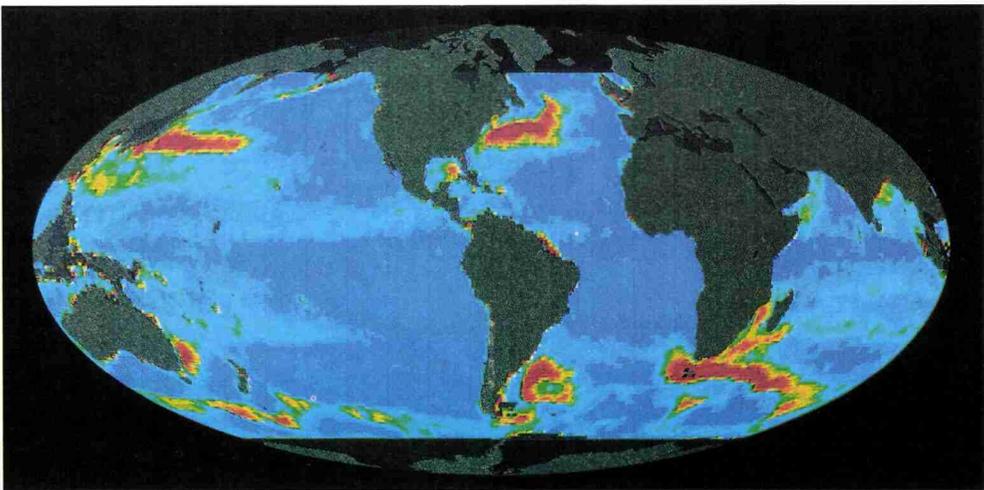
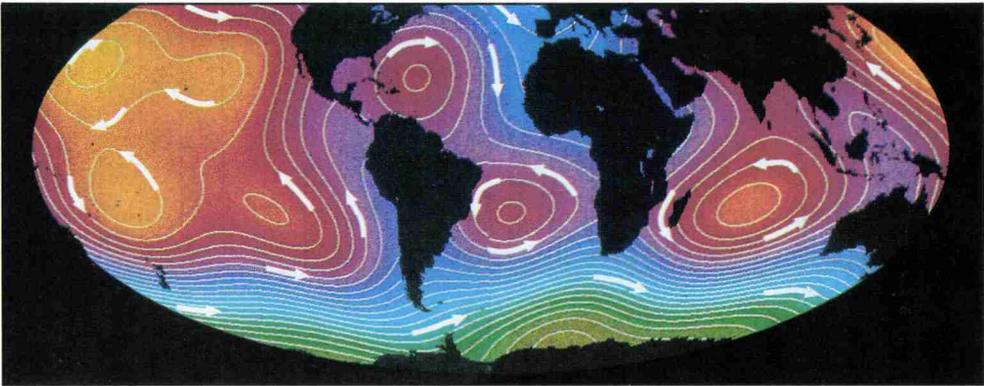


Figure 9 : Le satellite TOPEX POSÉIDON, à 1336 KM, mesure en permanence sa distance à la surface de l'océan avec une précision absolue de trois centimètres

Par le traitement de ces données, en cours, on obtiendra des cartes de topographie et de la circulation de l'océan qui feront ressembler ces documents à la carte d'Edrisi (Fig. 1). Documentation CNES-NASA.

Haut : trois années de mesures altimétriques GEOSAT ont déterminé la TOPOGRAPHIE DYNAMIQUE MOYENNE de la surface due à la circulation. Les courants circulent autour de ce système global de bosses — en rouge — et de creux — en bleu.

Bas : LA VARIABILITÉ DE LA CIRCULATION est liée au changement climatique. On la met en évidence par des mesures altimétriques répétées sur les mêmes points. Les fortes variations (flèches) se rencontrent en bord ouest de l'océan.



SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Par le choix des exemples précédents, nous avons voulu montrer que la télédétection aérospatiale est un outil précieux dont il faut savoir se servir non seulement avec habileté mais en plus avec imagination et qu'alors seulement elle peut quantifier et « visualiser » certains concepts essentiels de l'écologie. Elle doit, de ce fait, concourir à leur surveillance spatio-temporelle.

Dans la prochaine décade seront lancés plusieurs satellites très largement destinés à l'environnement. Il semble donc qu'avec les moyens spatiaux, une nouvelle ère s'ouvre, à très court terme, à l'écologie planétaire.

Cependant, pour devenir réellement opérationnelle, celle-ci devra reconsidérer les stratégies d'informations et de transferts des données et de leurs traitements des pays propriétaires des lanceurs et des vecteurs vers les pays utilisateurs notamment de la zone intertropicale.

Il est classique de dire que le satellite est le premier moyen d'étude à l'échelle d'un océan ou d'un continent et qu'il peut voir pour prévoir. Au-delà de cette assertion, nous pensons que l'outil télédétection contribuera à observer pour gérer bien au-delà des limites sociales, économiques ou politiques traditionnelles. Les prémices d'un tel espoir : l'année internationale de l'espace (1992) consacrée à l'unanimité à l'environnement (mission « Planète Terre ») et la Conférence de RIO.

SOURCES

- Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco, numéro spécial 6 (1990).
- Cours GDTA Télédétection Radar (Michel PETIT, 1989).
- ERS1, 500 days in orbit, documentation ESA.
- TOPEX POSÉIDON, Mission franco-américaine, documentation CNES.

PERCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT PAR LES MALGACHES ET LE PLAN NATIONAL D'ACTION ENVIRONNEMENTAL

Joseph ANDRIAMAMPIANINA

Lorsque les organisateurs de cette Université d'hiver m'ont invité à parler dans ce Colloque de la perception de l'environnement par les Malgaches et de notre Plan d'Action Environnemental (PAE), je leur ai répondu favorablement avec plaisir, non seulement en ma qualité de Directeur Général de l'Office National de l'Environnement, mais encore et surtout en tant que faisant partie du corps professoral de l'Université d'Antananarivo. C'est aussi en tant qu'enseignant que j'ai lu avec satisfaction, dans le prospectus qui nous a été distribué, que les principaux objectifs de ce Colloque sont de donner un enseignement sur les problèmes d'environnement en milieu tropical en insistant sur ceux qui posent concrètement aux îles de l'Océan indien, et tout particulièrement à la réunion et à Madagascar, et d'apporter une contribution aux actions spécifiques et techniques déjà entreprises visant les problèmes d'environnement, en particulier à celles qui s'inscrivent dans le cadre du Plan National d'Action environnemental de Madagascar.

Mais avant de parler de ce Plan National d'Action Environnemental qui, signalons-le de suite, est le premier du genre en Afrique, je voudrais tout d'abord vous dire que ce Plan n'aurait pu voir le jour sans une analyse de la perception de l'environnement par les différentes couches de la société malgache.

Mais qu'est-ce à dire exactement ?

D'emblée, disons qu'il s'agit de la manière dont les Malgaches sentent et comprennent leur environnement sous l'influence de facteurs sociaux et culturels. Mais comme cette perception dépend d'une part de la façon dont on voit son environnement naturel et d'autre part des buts qu'on s'est fixés en utilisant, transformant et créant des milieux susceptibles de satisfaire ses désirs et ses besoins, nous allons voir successivement, pour ne pas entrer dans des considérations trop complexes :

- la perception de l'environnement par les paysans malgaches qui forment les 80 % de la population ;
- ensuite la perception de l'environnement par les différents responsables à tous les niveaux ;
- et enfin, la perception des solutions aux problèmes d'environnement de Madagascar, ce qui me conduira à faire état du Plan National d'Action Environnemental.

PERCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT PAR LES PAYSANS MALGACHES

Comme la plupart des paysans du monde, le paysan malgache se voit lui-même un élément de son environnement naturel, environnement qui constitue son terroir, son « tanindrazana », c'est-à-dire la terre où ses ancêtres ont élu domicile et ont choisi de se faire enterrer, et où ses restes devront aussi reposer.

Quelque soit la nature de ce terroir, le paysan malgache s'y adapte techniquement et cette adaptation commence très tôt : elle constitue le principe de l'éducation au village. C'est dans ce terroir qu'il reçoit progressivement la connaissance intime des composantes de son environnement.

Très tôt, en effet, l'enfant de la région du Lac Alaotra peut reconnaître sans les voir, les oiseaux de son environnement par leurs cris ou de par les bruits provoqués par les battements de leurs ailes. Très tôt aussi, l'enfant de la région forestière zafimaniry est capable de nommer sur la vue des feuilles mortes tombées, ou de graines gisant sur le sol, un grand nombre des essences forestières que l'on rencontre, et il peut trouver immédiatement les arbres ou les lianes qui les ont produites.

A travers ce dernier exemple, on peut se demander s'il existe chez les paysans malgaches une notion de classification des éléments de leur environnement. A proprement parler, il n'en existe pas, mais ils reconnaissent de grandes catégories de formes ou d'usages qui les ont amenés à distinguer des groupes souvent très proches des groupes taxonomiques. C'est ainsi que le genre *Weinmannia* est désigné par le mot « lalona » auquel s'ajoutent des adjectifs particuliers pour nommer chacune des espèces qui lui appartiennent.

C'est aussi, rivé à son terroir avec l'aide de ses techniques que le paysan malgache demande à la terre de la fécondité qui assure sa subsistance et sa survie. Vit-il sur les falaises betsimasarakana ? Il juge de l'avenir et de son existence à l'échelle de ses parcelles de « tavy » ou de cultures sur brûlis. Habite-t-il le Moyen-Ouest ? Son environnement doit se constituer de vastes étendues herbeuses où il peut faire paître ses troupeaux. Est-il des hautes terres du massif central ? Il perçoit son environnement comme devant être une succession de rizières étagées sur les versants.

Dans la pratique, son droit à l'espace est régi par des droits coutumiers qui correspondent à une propriété d'usage familial, transmissible de génération en génération. Les « bornes » cadastrales peuvent n'être constituées que de diguettes, de lignes de pierre ou d'arbres isolés. Ce cadastrage « de fait », n'est cependant pas systématique quand il s'agit de territoire à usage pastoral.

Élément de son environnement naturel, comme je l'ai dit tout à l'heure, le paysan malgache voit en son environnement un ensemble de forces qui s'équilibrent et qu'il ne domine pas. Certes, il agit et il a un pouvoir de décision qui dirige ses actes, mais aucun de ses actes n'est indépendant du monde environnant. Il s'efforce de se conformer à tout un ensemble de règles, constituées selon DEZ « par des usages hérités des ancêtres, des rites transmis de génération en génération, des préceptes recommandant telle ou telle attitude, des interdits qui en déconseillent d'autres ».

Ces règles varient cependant selon le type d'activité prédominant, le milieu écologique, ou encore les rapports spirituels entretenus avec les puissances occultes.

C'est grâce à ces rapports que les forêts situées sur les sommets de hautes montagnes sont le plus souvent préservées de leur dégradation car leurs riverains les perçoivent selon leurs croyances, comme les demeures électives de nombreuses puissances. Il en est de même des baobabs ou de gros tamariniers qu'on laisse intacts sur les parcelles de « tavy » car ils doivent être réservés aux divinités forestières. Ajoutons que dans le Centre, d'innombrables modestes bosses de terre sont souvent « fady », c'est-à-dire interdits à

tout usage car ce sont des sépultures de Vazimba, ces ancêtres lointains dont les âmes peuvent faire du mal à ceux qui osent y toucher.

Toujours d'après DEZ « toutes ces règles sont le produit d'une expérience humaine plusieurs fois séculaire qui a estimé devoir tirer de la succession de certains faits à certaines actions, des conclusions de cause à effet et pouvoir édicter des principes en conséquence ».

Ainsi, si nous revenons aux régions betsimisaraka, le défricheur de forêt ne doit commencer son travail que lorsque le « Taotaokafo », oiseau de la famille des Cuculidées, commence à signaler sa présence aux environs de septembre par son cri caractéristique. Pourquoi se fie-t-on plutôt à cet oiseau qu'au calendrier moderne ? Fulgence FANONY l'explique par le fait que le « Taotaokafo » est la voix mystérieuse de la forêt qui rappelle aux travailleurs leur devoir de défricher les collines s'ils veulent avoir le riz, base de leur nourriture. Commencer à défricher avant que le taotaokafo ne chante, c'est attirer sur soi toutes les malédictions ».

Il est prouvé en effet que si on défriche avant que cet oiseau ne chante, le riz mûrira trop vite et de nombreux prédateurs (rats, sangliers) s'abattront inéluctablement sur la récolte ; si au contraire, on brûle son « tavy » trop tard, l'atmosphère perturbée par la fumée provoque de la pluie et empêche le feu de prendre.

Un autre exemple peut être donné par le fait qu'un feu mis dans une forêt de « tapia » (*Uapaca bojeri*) provoque l'augmentation du rendement de cette forêt en cocons de ver à soie sauvage. L'explication peut être donnée scientifiquement : la chenille du bombyx qui fournit la soie sauvage peut être en effet parasitée par une fourmi noire qui niche dans les « tapia » si cette fourmi n'est pas éliminée préalablement ; mais pour les riverains de la forêt, même s'ils n'ignorent pas l'existence de cette fourmi, le seul principe auquel ils tiennent est celui de leurs ancêtres admettant que l'amélioration du rendement en cocons de ver à soie sauvage ne peut être obtenue que par le feu et uniquement par le feu.

Mais l'exemple le plus frappant est celui des feux de brousse qui, chaque année, ravagent les collines et exacerbent l'érosion. Riziculteurs chevronnés, les paysans savent depuis toujours que plus tôt leurs rizières sont inondées, moindre sera le risque d'une mauvaise récolte. Mettre le feu à la végétation des collines, c'est stimuler le ruissellement vers les vallées où se trouvent les rizières ; voilà comme l'explique le chercheur forestier Jean-Louis RAKOTAMANANA, l'une des raisons de la tradition. Il en est une autre plus souvent citée : les collines sont des terres de vaines pâtures où le feu est le moyen de stimuler le regain.

Après les quelques exemples que je viens de citer, on peut se demander à quoi est due cette pyromanie des paysans malgaches. Est-certainement leur fatalisme séculaire devant le respect des traditions qui persiste, ou les techniciens se trompent-ils en accordant une importance exagérée à l'action néfaste des feux ?

A première vue, l'usage du feu semble provenir d'un esprit de routine. « Aza mitsipadoha laka-nitana » dit un adage bien connu, « ne repousse pas du pied la pirogue qui t'a fait passer ». C'est là une image incisive. De tout temps, les ancêtres ont brûlé la brousse et les forêts, ils ont toujours su en tirer profit, pourquoi essaierait-on d'agir autrement ?

De plus, certains paysans semblent ne pas bien mesurer encore les inconvénients du feu : les menus avantages qu'ils en retirent leur cachent ses effets destructeurs. Faire quelques hectares de défrichement dans une forêt, qui apparemment ne leur rapporte rien et qui ne semble être qu'une entrave à la culture et au libre parcours du bétail ne leur paraît pas dommageable, car la forêt environnante à leur échelle villageoise leur est vaste et inépuisable. On ne doit pas s'étonner si le dicton « na ho lany aza ny ala atsinanana » va jusqu'à comparer tout ce qui est inépuisable aux forêts de l'est. Il fut sans doute une

époque où ce dicton avait une certaine valeur intrinsèque, mais qui en serait encore convaincu aujourd'hui ?

Je vous prie de ne pas trop m'en vouloir si j'ai beaucoup parlé des traditions, car comme vous avez pu le constater, ces dernières jouent un rôle important dans la manière dont les Malgaches perçoivent leur environnement.

Face aux autres interdits, mais cette fois-ci non plus imposés par les traditions mais par la législation officielle, on peut dire que l'attitude du paysan malgache peut varier d'un endroit à l'autre et aussi d'un moment à l'autre.

En effet, si dans certaines régions, les Aires Protégées et notamment les Réserves Naturelles font encore l'objet d'un certain respect, dans d'autres on n'accorde plus de l'importance aux prescriptions édictées pour la conservation de ces territoires. Les raisons en sont nombreuses : mauvaise interprétation des mesures prises par l'Administration, de la notion de liberté maintes fois évoquée après l'indépendance du pays, poussée démographique de la population qui redoute de manquer d'espace pour ses cultures, etc.

L'interdiction légale des feux de brousse a été même considérée par certains habitants comme une obligation pour eux à se cacher pour les allumer et à ne pas contrôler leur propagation.

De tout ce qui précède, on peut dire que la perception de l'environnement par les paysans malgaches est d'abord culturelle et fait partie des stratégies de survie, stratégies qui sont le fruit d'une adaptation entre l'homme et son milieu.

PERCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT PAR LES RESPONSABLES À TOUS LES NIVEAUX

Jusqu'à une époque assez récente, le mot « environnement » a été perçu par beaucoup de Malgaches comme synonyme de forêts défrichées, d'incendie de brousse, d'espèces animales et végétales en voie de disparition. Seuls quelques initiés avaient une notion élargie du concept « environnement ». Il a fallu la Conférence de Stockholm de 1972 pour bien comprendre que l'environnement ne concerne pas uniquement l'exploitation néfaste des ressources naturelles. L'expression « tontolo iainana » inventée après cette Conférence pour désigner l'environnement et qu'on peut traduire littéralement par « le monde duquel dépend la vie » montre que pour les responsables malgaches à tous les niveaux, l'environnement ne devrait plus être considéré comme un secteur déterminé, mais comme l'ensemble des éléments naturels et artificiels qui constituent le cadre de la vie d'un individu.

Une autre perception de l'environnement a donc pris naissance, c'est celle de la prise en considération de ce cadre de vie à travers un développement économique et social durable, ce qui implique la perception de l'ensemble particulier des facteurs sociaux, culturels, biologiques, physiques, économiques et la perception des problèmes majeurs existants.

Plus que jamais, les atouts et potentialités de l'environnement malgache sont mis en exergue par les responsables, mais on ne néglige pas pour autant la régression quantitative des ressources naturelles, le déséquilibre entre la croissance démographique et la croissance économique, les changements de l'administration publique, les mauvaises conditions de vie des populations rurales et urbaines, le déficit du bilan énergétique, les problèmes fonciers, la détérioration constante des termes commerciaux et surtout la perception de l'environnement par les paysans, telle que je viens de la décrire.

Je ne voudrais pas m'étendre longuement sur toutes les sortes de perception que les responsables ont actuellement de l'environnement. Disons qu'elles doivent être les mêmes que dans les pays où la pauvreté et le sous-développement sont les sources principales de la problématique de l'environnement.

Si problématique il y a, quelles ont été les solutions préconisées pour la résoudre ? La dernière partie de mon exposé tâchera de répondre à cette question.

LA PERCEPTION DES SOLUTIONS AUX PROBLÈMES DE L'ENVIRONNEMENT ET LE PLAN NATIONAL D'ACTION ENVIRONNEMENTAL

Comme la recherche d'une meilleure maîtrise de l'environnement nécessite en premier lieu la connaissance des données permanentes de ses composantes : l'homme, la terre, le sous-sol, les écosystèmes, la flore, la faune ainsi que la connaissance des processus de dégradation des ressources naturelles, la décision de faire une approche plus globale et plus intégrée de tous les problèmes environnementaux a été prise en 1987. Ce fut le point de départ de la formulation du Plan National d'Action Environnemental (PNAE), qui constitue actuellement le fondement de toute action dans ce domaine.

Lors de sa préparation, quelques 150 techniciens nationaux représentant un large éventail de disciplines, dont plusieurs enseignants de cette Université d'Antananarivo, appuyés par des spécialistes étrangers, ont été mobilisés pour analyser les principaux problèmes de l'environnement et pour proposer ensemble les solutions qu'il faudrait y apporter. A cet effet, la perception de l'environnement par les habitants, leurs visions des priorités en matière de développement et de qualité de la vie ont été étudiées avec le plus d'attention.

Par la suite, une vaste campagne de sensibilisation a été menée dans les Provinces avec une large participation des autorités et des communautés locales, qui de ce fait, ont pu faire connaître également leur perception de l'environnement.

Ce Plan National d'Action Environnemental présente les caractéristiques suivantes :

1. L'accent y est mis sur le caractère unique de l'île quant à la biodiversité et le fort degré d'endémisme de la faune et de la flore, mais aussi sur le risque de perdre irrémédiablement cette richesse si la « spirale de dégradation » n'est pas enrayée.
2. Ce Plan National d'Action Environnemental est un plan d'impulsion, présenté sous l'angle du profit pour les communautés de base, plutôt que sous celui des contraintes, d'où l'importance attachée aux actions de formation, d'éducation et de sensibilisation, comme nous le verrons plus loin.
3. Sa mise en œuvre a été prévue pour une durée de 15 ans à partir de 1991, pour permettre la continuité des actions et l'internalisation progressive de leurs financements. Cette durée est divisée en trois programmes :
 - . le Programme Environnemental 1 (ou PE1) de 1991 à 1995 dont le principal objectif est le démarrage du PNAE ;
 - . le Programme Environnemental 2 (ou PE2) de 1996 à l'an 2000, qui devrait être une intensification des actions menées lors du PE1 ;
 - . le Programme Environnemental 3 (ou PE3) de 2001 à 2005, où toutes les actions devraient se faire automatiquement et naturellement aux niveaux des Ministères, des ONG et des collectivités rurales.
4. Pour sa réalisation, plus d'une dizaine de bailleurs de fonds se sont manifestés dans le but de soutenir financièrement Madagascar.
5. En tant que plan d'action des orientations nationales, ses principaux éléments ont été inclus dans la Charte de l'Environnement Malgache, qui a été publiée en 1990 sous forme de Loi.

Si telle sont ses principales caractéristiques, son objectif principal est de « réconcilier la population avec son environnement », c'est-à-dire, d'amener la population à garder les traditions qui permettent l'amélioration de l'environnement et à abandonner celles qui conduisent à sa dégradation. Dans cet esprit, les objectifs spécifiques suivants ont été proposés :

- le développement des ressources humaines pour permettre à tous les citoyens d'avoir une meilleure connaissance de l'environnement et une meilleure prise de conscience de sa protection ;
- la promotion d'un développement durable par la meilleure gestion des ressources naturelles et plus particulièrement du patrimoine biologique exceptionnel du pays ;
- l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et urbaines en aidant ces dernières à mieux gérer et à mieux équiper le cadre de leur environnement.

De par ces objectifs spécifiques, le Plan National d'Action Environnemental est donc appelé à jouer un rôle important, non seulement dans l'amélioration de l'environnement, mais aussi dans le redressement économique du pays.

Si nous ne parlons que de sa première phase quinquennale, des mesures y ont été prises pour appuyer certaines institutions publiques et le Programme d'Ajustement Structurel.

L'appui aux institutions publiques consiste en renforcement de quelques Ministères et Services en équipements et matériels, mais surtout dans la formulation et la mise en œuvre de politiques sectorielles durables, compatibles avec la gestion de l'environnement, par exemple dans les secteurs des mines, de l'énergie, de l'industrie, du tourisme et des routes.

Quant à son intégration dans le processus du Programme d'Ajustement Structurel, ce Plan adopte comme principe l'engagement de l'État dans le domaine de conception et son désengagement dans le domaine des opérations et de l'exécution des projets.

C'est ainsi que l'Office National de l'Environnement, qui est un établissement public, est chargé de développer les politiques environnementales, et de coordonner l'ensemble du Plan d'Action, il appartient aux Agences d'Exécution : l'ANGAP (Association Nationale pour la Gestion des Aires Protégées) et l'ANAE (Association Nationale pour les Actions Environnementales), toutes deux, des associations de droit privé de faire exécuter et de coordonner les actions sur le terrain :

- la première en confiant à des opérateurs privés ou à des ONG l'aménagement et la gestion des aires protégées, le développement de leurs zones périphériques ainsi que la promotion de l'écotourisme ;
- la deuxième en confiant aussi à des ONG ou aux associations villageoises la réalisation de mini-projets de conservation des sols, d'agroforesterie, de protection de bassins-versants, de reboisement et d'autres actions de développement rural dans les zones préalablement classées comme prioritaires.

Toujours dans le cadre d'appui du Programme d'Ajustement Structurel, le PNAE vise à la promotion d'un programme-cadre intégré touchant la femme et l'enfant, renforcé par des programmes d'éducation, de formation et de sensibilisation en matière d'environnement, ou en matière de planning familial afin de revenir à un taux de croissance démographique compatible avec un développement durable des ressources.

Ce Plan vise aussi à améliorer la balance des paiements extérieurs en allégeant le service de la dette par des rachats de dettes privées et publiques, accompagnés de projets de conservation et de développement, en favorisant l'équilibre des finances internes et externes par la valorisation rationnelle des ressources naturelles de l'environnement, de manière à ce que ce dernier soit plus un éternel utilisateur, mais aussi un générateur de revenus.

Enfin, le PNAE est un excellent outil de décentralisation car il permet notamment aux collectivités de base concernées de prendre en main la réalisation des aspirations de leurs propres populations.

Pour illustrer les retombées socio-économiques de ce Plan National d'Action Environnemental, je voudrais vous citer quelques données :

- le coût annuel de la dégradation de la nature malgache, résultant des effets du brûlis et de l'érosion des sols représente un manque à gagner de 5 à 15 % du Produit Intérieur Brut de Madagascar : les programmes du PNAE se proposent de manière induite à combler ce manque à gagner au bout de 15 ans par les projets que j'ai déjà cités, par des mesures préventives et par des politiques dissuasives ou d'incitation ;
- les bénéficiaires directs des premières interventions sont estimés à environ 100 000 familles, dont 70 000 dans les zones périphériques des aires protégées et 30 000 dans les zones les plus durement touchées par l'érosion ;
- le PE1 peut générer la création de 1 000 emplois directs dans la réalisation des projets sur terrain et de 5 000 emplois indirects dus à la promotion de l'écotourisme, de l'agriculture et de l'artisanat ;
- les dépenses dans les zones périphériques des aires protégées estimées à 7 millions de dollars et celles dans les bassins-versants prioritaires d'environ 3 millions de dollars, peuvent induire une forte monétarisation des revenus et une accélération de la transition de l'économie de subsistance vers l'économie monétarisée ; toutefois pour y arriver, il faudra envisager des mesures de limitation des facteurs de fuite des revenus vers les villes ;
- les revenus tirés par l'État par la valorisation des ressources naturelles, la révision et la collecte des redevances forestières, l'amélioration foncière et la rentrée de taxes fiscales supplémentaires sont estimés à quelques 3 millions de dollars par an.

Qu'en est-il de la situation actuelle de ce Plan National d'Action Environnemental ?

Il n'est pas dans mon propos de vous relater ici d'une manière détaillée son état d'avancement depuis son démarrage en 1991. Disons seulement que la conjoncture politique qui prévalait en cette année, n'a permis qu'un fonctionnement partiel des Agences d'Exécution et la réalisation de quelques mini-projets de conservation, malgré la mise à disposition de financements par certains bailleurs de fonds.

D'une manière générale, c'est à partir de 1992 que la mise en œuvre des composantes du PE1 a connu un développement, certes d'une manière inégale, mais leur interdépendance et leur harmonisation ont été prises en compte à travers des concertations entre les Agences d'Exécution pour assurer un enchaînement logique des activités.

Pour ces Agences d'Exécution, il s'agit maintenant de poursuivre et de finaliser les actions déjà commencées dans les zones jugées prioritaires, de les reprendre dans d'autres régions non encore bénéficiaires, de démarrer les projets qui viennent d'être financés, ou dont la réalisation a encore nécessité soit des enquêtes ou des études préalables, soit l'acquisition d'équipements adéquats.

Quant à l'Office National de l'Environnement, il donnera la priorité :

- à la formulation des politiques environnementales, de concert avec les Ministères les plus concernés par les problèmes d'environnement ;
- à la mise en œuvre des procédures d'études d'impact sur l'environnement par l'élaboration de textes et de mesures d'accompagnement en application d'un décret sur la mise en comptabilité des investissements avec l'environnement ;
- au lancement des projets de recherches en matière de conservation de la biodiversité marine et terrestre, projets pour lesquels le concours des universitaires est ardemment sollicité ;

- au démarrage des projets d'éducation, de formation et de sensibilisation avec l'intervention des différents Ministères concernés, dont le Ministère des Universités ;
- à l'élaboration de « l'Agenda 21 » national, ce programme issu du Sommet de la Planète Terre de Rio de Janeiro en Juin dernier, qui aborde les problèmes urgents d'aujourd'hui et cherche à préparer le monde aux tâches qui l'attendent au cours du XXI^e siècle.

Enfin, je voudrais souligner que depuis la mise en œuvre de ce Plan National d'Action Environnemental nombreux ont été les groupements, institutions, associations et même partis politiques qui ont vu le jour et qui font de l'environnement leur leitmotiv. Il s'agit là d'une prise de conscience nationale très louable, et il nous faut maintenant nous efforcer à les coordonner avec souplesse, vu le large éventail de leurs programmes d'activités.

Si un tel succès a été enregistré, la mise en œuvre de ce Plan d'Action n'est pas sans difficultés, comme vous devez déjà l'imaginer. Parmi celles-ci, citons en particulier :

- l'instabilité des institutions d'exécution, due aux changements successifs de leurs Ministères de tutelle ;
- les lourdeurs administratives tant du Gouvernement que des bailleurs de fonds ;
- l'éloignement des centres de décision de ces derniers, qui devient le plus souvent une cause du blocage du système ;
- l'insuffisance et l'inadéquation des allocations de fonds de contrepartie pour certaines composantes ;
- la méfiance de la population pour certaines opérations telles que le cadastrage.

Cependant, malgré ces difficultés inhérentes à tous les programmes de grande envergure, le Plan d'Action Environnemental malgache constitue pour le pays un pari qu'il faudra gagner.

J'ai dit, au début, que Madagascar a été le premier pays d'Afrique à avoir établi son Plan National d'Action Environnemental ; il doit rester un des premiers à l'appliquer, et surtout à en tirer le profit qu'il est en droit d'en attendre, et que le monde entier attend de lui.

Notre principal espoir dans sa réalisation réside dans le développement d'un sentiment national qui progresse de façon très sensible. Un courant puissant tend actuellement à mettre en relief ce qu'il y a de plus original dans le pays. Le « bien de la nation », et l'« essence typiquement malgache » sont souvent évoqués, le patrimoine naturel y figure en bonne place, à côté des valeurs historiques et artistiques.

De plus, la volonté commune de s'entraider pour un développement durable lié à l'environnement vient d'être mise en exergue entre les pays francophones de la sous-région de l'Océan Indien, lors d'une rencontre organisée par l'Agence de Coopération Culturelle et Technique, il y a deux semaines à Antananarivo. Puisse prospérer ce généreux courant renforcé à la Réunion lors de cette Université d'hiver, repris et développé cette fois-ci à Antananarivo par vous tous, hommes de sciences, qui êtes les plus qualifiés pour apprendre comment sauvegarder notre environnement et comment l'utiliser au mieux de sa vocation, et aussi pour rechercher un rapprochement permanent entre la Réunion et Madagascar à travers des échanges culturels, techniques et scientifiques.

DÉGRADATION ET GESTION DES SOLS

Alain RUELLAN

QUELQUES RAPPELS

Le sol est une ressource renouvelable

Il se fait à partir de la roche sous-jacente (le granite, le calcaire, le basalte, le grès, le schiste...) : cette « roche-mère » s'altère, se transforme sous l'effet des actions conjuguées de la vie animale et végétale, de l'eau, de l'air.

La qualité du produit, c'est-à-dire la richesse, la fertilité, la potentialité du sol par rapport à la vie, sont le résultat de la richesse des roches, de l'agressivité des climats (humidité, température) qui appauvrissent plus ou moins vite les sols, mais aussi des érosions naturelles qui régénèrent, rajeunissent en permanence les sols appauvris par la vieillesse (il s'agit là de l'effet positif des érosions).

Le sol et la couverture pédologique se modifient en permanence

Au gré des saisons annuelles, le sol change d'aspect et de fonctionnement et, d'année en année, les sols naissent, puis mûrissent, c'est-à-dire s'enrichissent, puis vieillissent, c'est-à-dire s'appauvrissent.

De par leurs activités, les sociétés humaines influencent fortement ces dynamiques : interventions directes, par exemple de l'agriculteur qui défriche et cultive ; mais aussi, interventions indirectes par le canal des modifications climatiques, par le canal des modifications de la composition de l'atmosphère et de leurs conséquences sur les activités biologiques.

Pour les sociétés humaines, le sol est source de vie.

Par l'intermédiaire des plantes, des animaux, de l'eau, le sol nourrit les hommes : leur santé en dépend.

Et pourtant, constat étonnant, le sol n'est pas, ou est fort mal connu des hommes, y compris de ceux qui l'utilisent directement.

Partout dans le monde, chacun sait, très jeune, reconnaître, décrire, comprendre une plante ou un animal ; mais rares sont ceux qui savent en faire autant pour un sol.

Ainsi s'explique, en partie, la dégradation accélérée des sols par l'homme : les sociétés humaines ont déjà bien du mal à ne pas détruire les milieux et les ressources qu'elles connaissent ; alors, quand il s'agit de protéger une ressource inconnue... !

Cette situation est d'autant plus paradoxale que la découverte des sols, la compréhension de leurs fonctionnements et de leurs fertilités, n'est pas chose difficile. La seule difficulté, en fait, est d'ordre profondément culturel ; elle est de l'ordre du tabou.

En effet, pour connaître et comprendre le sol, il faut l'ouvrir, le creuser, y faire des trous profonds (1 à 2 mètres), descendre dans ces trous, y regarder avec soin les couleurs, les mottes, les porosités... comme on regarde avec soin les feuilles, les fleurs et les fruits d'une plante, les yeux, la bouche, les pattes, le sexe d'un animal.

Or faire des trous dans le sol, cela sent le sacrilège et la mort... !

Ce verrou culturel, présent dans toutes les sociétés, fait que l'approche visuelle, morphologique, naturaliste du sol, de ses propriétés, de ses potentialités, n'est que

rarement enseignée. La relation intelligente de l'homme avec son sol en souffre considérablement, le sol n'étant vu par l'homme que par sa surface et au travers d'analyses chimiques faites sur des échantillons prélevés à l'aveuglette à l'aide de sondes.

LES FONCTIONS DU SOL

Par rapport à la vie en général et, plus particulièrement, par rapport aux besoins et à la santé des hommes, la couverture pédologique assume quatre groupes de fonctions essentielles :

- des fonctions biologiques ;
- des fonctions alimentaires ;
- des fonctions d'échanges et de filtres ;
- des fonctions de matériaux et de supports.

Les fonctions biologiques

Le sol abrite, partiellement ou complètement, de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, incluent le sol qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes.

On peut dire que la diversité biologique des espèces terrestres est étroitement liée à la pédosphère.

Par ailleurs, l'activité biologique du sol est essentielle à sa construction, à son fonctionnement, à sa fertilité (agrégation, porosité, disponibilité des éléments nutritifs...).

Le sol n'existe pas sans activités biologiques abondantes et diversifiées.

Les fonctions alimentaires

Le sol produit, contient, tous les éléments nécessaires à la vie (calcium, potassium..., fer... azote, gaz carbonique... eau, air) ; il accumule, puis met à la disposition des plantes et des animaux, la majeure partie de ces éléments, y compris l'air et l'eau.

Le sol joue, en somme, le rôle de garde-manger qui, selon les cas, est plus ou moins grand et plus ou moins rempli ; de même, il retient l'eau qu'il rend aux plantes en fonction de leurs besoins.

Au total, une grande partie de ce que les plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol ; et pas seulement des 10 ou 20 cm supérieurs du sol : les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

L'homme, qui se nourrit des plantes et des animaux, est donc bien totalement dépendant des potentialités des sols.

Les fonctions d'échanges et de filtres

Le sol est un milieu poreux ; il est en permanence traversé par des flux hydriques et gazeux, flux qui échangent leurs composants minéraux et organiques avec ceux du sol.

L'eau des puits, des sources, des rivières, a préalablement traversé le sol ; la porosité du sol en influence l'alimentation.

Par ailleurs, le sol est un filtre, un système épurateur : l'eau, en le traversant, se transforme ; la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols.

Au total, l'hydrologie, la chimie, la biologie des eaux, celles des nappes, des sources, des rivières, dépendent des constituants et des systèmes poreux de la couverture pédologique.

De même, la pédosphère est en échange constant avec l'atmosphère.

A ces trois groupes de fonctions vitales, s'ajoutent les rôles matériaux et supports que jouent les sols.

Le sol est souvent matériau de construction (sable, argile, cuirasse ferrugineuse, croûte calcaire). Il est à la fois support et matériau de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux..., de poteries.

Beaucoup de minerais viennent du sol (et non des roches) : bauxite (aluminium), fer, or.. ; ces minerais sont présents, en faible quantité, dans les roches : l'altération fait qu'il se concentrent dans les sols.

LES DÉGRADATIONS DES SOLS

Le sol est donc essentiel aux hommes, les usages qu'ils en font pouvant être d'ordre agricole, forestier, industriel, urbain, mais aussi d'ordre écologique. Il n'y a pas de développement des sociétés sans utilisation des sols.

Ceci dit, tout est question d'équilibre, entre les capacités fonctionnelles et de renouvellement des sols et la pression anthropique : l'avenir est à l'équilibre entre les potentialités du sol et la pression des activités humaines et cet équilibre n'a de chance d'être respecté que si l'homme apprend à connaître le sol.

Or, à travers le monde, les exemples de sols gravement modifiés, gravement blessés, suite à leur mise en valeur, sont trop nombreux : érosion des sols ; tassement superficiel ; salinisation des sols irrigués ; appauvrissement en matière organique.

En effet, le développement des activités humaines influence de plus en plus fortement, et partout dans le monde, les fonctionnements et les propriétés des sols. En retour, ces modifications anthropiques de la pédosphère influencent les autres sphères avec lesquelles elle est interpénétrée : lithosphère, hydrosphère, atmosphère, biosphère.

La couverture pédologique occupe donc une place centrale, charnière, par rapport à l'ensemble des changements locaux, régionaux, globaux que connaît la Terre.

Selon les cas, les modifications anthropiques des dynamiques, des constituants, des structures, des propriétés des sols sont plus ou moins rapides, plus ou moins rapidement perceptibles (depuis l'échelle de la minute jusqu'à celle du siècle) : un tassement superficiel, par le passage d'un tracteur trop lourd sur un sol humide, est l'affaire d'une seconde ; la chute des activités biologiques et des teneurs en matières organiques d'un sol forestier qui vient d'être défriché pour être cultivé, est l'affaire de quelques mois ; la naissance d'un horizon subsuperficiel compacté par l'irrigation n'est perceptible qu'au bout de quelques années ; l'appauvrissement en éléments fins argileux des horizons superficiels d'un sol cultivé n'est perceptible qu'au bout d'une ou plusieurs décennies.

Par ailleurs, modification des sols ne signifie pas toujours dégradation. Dans ses relations avec les sols, l'homme n'a pas fait que dégrader. Certaines modifications, provoquées par l'homme, influencent positivement les fonctions des sols par rapport aux besoins des sociétés humaines... : la construction de terrasses ; l'épierrage ; l'irrigation et le drainage ; l'épandage de fumier ; la fabrication et l'utilisation de composts... sont autant de démarches et de techniques que les sociétés humaines ont inventé pour survivre dans des régions où les sols étaient une ressource rare ou pauvre.

Traditionnellement, les sociétés agraires savent qu'il n'y a fertilité des sols que s'ils sont profonds, bien drainés, bien structurés, riches en matière organique, capables de stocker l'eau et les éléments nutritifs. Elles ont souvent su travailler dans ce sens : voir, par exemple, les paysages aménagés des Iles Canaries où on recouvre les sols d'une mince couche de graviers, de façon à les protéger de l'évaporation et de la destructuration ; voir aussi les sols plaggen du Nord-Ouest de l'Europe, sols organiques construits au cours des siècles par apports intensifs de matières organiques en partie prélevées sous les forêts ;

voir encore les sols enrichis en matières organiques des oasis, voir les rizières aménagées dans certaines régions montagneuses de l'Asie ; etc.

L'agriculture traditionnelle, moderne mais enracinée dans l'histoire, c'est à dire celle qui a su se perpétuer en permettant le développement des sociétés, est une agriculture qui a su, soit conserver les sols et leur fertilité, soit les construire. Cette agriculture était, ou est, diversifiée en fonction de la variété des milieux.

L'agriculture dite moderne, qui prétend rompre avec l'histoire, veut procéder de manière identique à travers le monde entier, prétendant faire abstraction des diversités des milieux et en particulier des diversités des sols : elle ramène le sol à l'étroite perception du matériau, qu'il n'est pas ; cette agriculture fragilise et détruit les sols, marginalise et expulse les agriculteurs : c'est l'histoire récente de la France.

Aujourd'hui, en Europe, ceux qui veulent rester agriculteurs savent qu'ils ne réussiront qu'en reprenant la voie de la diversification de la production en fonction de la diversité des milieux ; ils savent qu'il doivent reconstruire la fertilité morphologique et biologique de leurs sols : pour cela ils doivent réapprendre à découvrir leurs sols.

Il y a dégradation des sols quand leurs fonctions, vis à vis des besoins, vis à vis de la santé des hommes, vis-à-vis, d'une façon plus générale, de la vie animale et végétale, sont atteintes.

Le sol est une ressource renouvelable : le sol se constitue, en permanence, à partir de la roche ; s'il n'y a pas d'érosion de la surface du sol, la couverture pédologique s'épaissit, lentement mais sûrement (selon les cas, de l'échelle de la décennie à celle du millénaire) ; par ailleurs, les propriétés des sols utilisées par les besoins des hommes ont la capacité de se renouveler, naturellement ou avec l'aide des hommes. Il y a dégradation quand l'érosion va plus vite que la formation du sol à partir de la roche (le sol perd ses couches superficielles les plus fertiles et s'amincit) ou quand les propriétés biologiques et physico-chimiques des sols, utilisées par les besoins des hommes, n'ont plus le temps de se renouveler naturellement ou ne sont pas renouvelées artificiellement par l'homme : les sols s'épuisent.

Les principales manifestations de la dégradation des sols, qui peuvent se produire à diverses profondeurs et pas seulement dans les premiers centimètres superficiels, sont de deux ordres :

- celles qui concernent, actuellement, tous les sols directement utilisés par l'homme : il s'agit, d'une part, de l'appauvrissement biologique et de la diminution des taux de matière organique, d'autre part, du tassement des sols ;
- celles plus localisées, qui ne concernent, pour l'instant, que des surfaces relativement limitées : hydromorphie (excès d'eau), salinisation et alcalinisation, acidification, appauvrissement en particules fines et en éléments nutritifs, érosion, pollution (avec ses conséquences sur la qualité des eaux et des produits agricoles), disparition des surfaces de sol pour des besoins urbains, industriels, miniers.

L'appauvrissement de la diversité et de l'activité biologiques, et la diminution des taux de matière organique

Ces deux phénomènes atteignent pratiquement tous les sols cultivés du monde.

- L'appauvrissement de la diversité biologique (le nombre d'espèces diminue) et la diminution de l'activité biologique des sols, suite à leur défrichement, ainsi que la baisse des taux de matière organique dans les sols, sont inéluctables : on ne peut les empêcher, les systèmes cultivés étant biologiquement beaucoup moins diversifiés que les systèmes naturels et étant prédateurs. Mais on peut apprendre, ou réapprendre, à maintenir dans les sols (par des apports de fumiers et de composts, par des enfouissements d'engrais verts, c'est à dire de cultures que l'on ne récolte pas, par des rotations de cultures associant des plantes d'enracinement différent...) le minimum

d'activité biologique et de matière organique indispensables à leur bon fonctionnement et à leur fertilité vis à vis des productions agricoles : une agrégation fine et arrondie, une porosité abondante et bien répartie, des matières organiques et des éléments minéraux régulièrement renouvelés, traduisent cette fertilité.

- La matière organique est également source d'une bonne agrégation, fine, poreuse, stable, et d'une bonne porosité indispensable à la circulation des eaux et des gaz, à la pénétration des racines, à l'activité biologique ; en outre, elle est source et réservoir de nombre d'éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, calcium...).

Soulignons encore que l'appauvrissement en matière organique des sols, dû à la suppression de leur couverture végétale naturelle et à leur utilisation par l'homme, a déjà libéré dans l'atmosphère des volumes importants de CO₂, contribuant ainsi à l'effet de serre. En effet, la quantité de carbone stockée dans les sols, sous forme de matières organiques, est, en moyenne au niveau mondial, deux à trois fois plus grande que celle stockée dans la végétation, naturelle et cultivée ; en milieu équatorial, il y a autant de carbone dans le sol que dans la forêt qui le surmonte ; dans les milieux couverts de prairies et de cultures, il y a dix fois plus de carbone dans les sols que dans la végétation. Lors des opérations de mise en valeur des sols par l'homme, une grande partie de cette matière organique (jusqu'à 80 %) est très rapidement, en quelques années, détruite, le CO₂ étant libéré dans l'atmosphère.

Le maintien d'un minimum organique (du point de vue fertilité des sols, on estime ce minimum à 1 à 1,5 % de carbone dans les horizons superficiels) est donc un objectif important, trop souvent oublié, de l'agriculture moderne. Il est impensable, dans l'état actuel des connaissances techniques et des situations économiques, d'envisager de retrouver les taux de quelques % de carbone (jusqu'à 10 % et plus), répartis profondément, qui sont ceux de bien des sols sous végétation naturelle, forestière et steppique : mais 1 à 1,5 %, selon les régions, semble jouable (par les méthodes déjà citées ci-dessus : fumier, compost, engrais vert...) et suffisant (du point de vue agricole). De ce point de vue, la matière organique est, à l'échelle de l'homme, une ressource renouvelable.

Sur ce double problème, de l'activité biologique et de la matière organique des sols cultivés, l'effort scientifique nécessaire doit être amplifié, en particulier, en France où cette recherche a été négligée. Ceci est d'autant plus urgent que, d'une part, le restockage de la matière organique dans les sols est un bon moyen de lutte contre l'effet de serre et que, d'autre part, quelques recherches récentes démontrent l'importance des activités biologiques dans la genèse, non seulement des structures et des propriétés, mais aussi des constituants minéraux des sols : la vitesse d'altération des roches, donc d'approfondissement des sols, donc de renouvellement des sols, dépend de la qualité, du dynamisme de leurs activités biologiques.

Le tassement des sols, principalement dans leurs premiers centimètres superficiels

L'une des expressions les plus graves de la dégradation des sols est certainement la modification de leurs systèmes poreux, la baisse de leur porosité.

Tous les sols ont une porosité naturelle, conséquence de leurs constituants (argiles, limons, sables), de leurs agrégations (plus ou moins développées et stables), de leurs activités biologiques. Cette porosité gère tout le fonctionnement hydrologique des bassins versants ainsi que les fonctions nutritives et épuratrices des couvertures pédologiques.

Or on constate, partout dans le monde, que les sols utilisés par les sociétés humaines se tassent, perdent une partie de leur porosité, et ceci sur des épaisseurs qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

On comprend facilement que le tassement des sols soit un phénomène normal de l'après-défrichement des terres que l'on met en culture : la suppression de la végétation

naturelle provoque des baisses d'activités biologiques ; il s'en suit que les tubulures et les cavités, créées et recrées en permanence par les racines, par les vers de terre, par les fourmis... et autres termites se refont moins souvent ; de même les taux de matières organiques, qui facilitent la formation des agrégats, des mottes, diminuent fortement : les structures, donc les porosités s'effondrent.

Quand les systèmes de cultures sont bien conçus, adaptés aux sols : alternances de cultures, outils agricoles utilisés aux bonnes humidités, rotation correcte des animaux qui pâturent..., cette compaction peut rester acceptable sans conséquences trop graves ni sur les circuits hydologiques ni sur la pénétrabilité des sols par les racines.

Mais tel n'est pas le cas, n'est plus le cas aujourd'hui, dans la plupart des systèmes agraires, qu'ils soient intensifs ou non, où de nombreux facteurs contribuent à la compactation des sols qui devient de plus en plus grave :

- utilisation d'outils agricoles trop lourds (tracteurs, récolteuses, remorques...), mal réglés ou mal adaptés (charrues...), sur des sols trop humides ou trop secs ;
- animaux laissés trop longtemps sur des pâturages trop humides (tassement par piétinement) ;
- engrais ou amendements mal adaptés qui vont déstabiliser, faire éclater, les agrégats ;
- non utilisation des fumiers, composts, et autres engrais organiques ;
- irrigations mal conduites qui destructurent et tassent les sols par excès alterné d'humidité et de sécheresse ;
- abus de la monoculture ;
- sols laissés nus trop longtemps, soumis ainsi à la destructuration par la sécheresse et par impact des pluies ;

Comme les baisses des taux de matières organiques, le tassement des sols est un phénomène qui atteint ou menace tous les sols cultivés et pâturés du monde. Il peut conduire à l'abandon des terres (voir, par exemple, les abandons en zones sahéliennes ; ou en Amazonie après destruction de la forêt et pâturage extensif pendant quelques années...). Les mécanismes de tassement commencent à être scientifiquement assez bien connus, résultats de recherches entreprises depuis une trentaine d'années ; cependant, les résultats de ces recherches restent, pour l'instant, difficiles à prendre en compte par les agronomes et les agriculteurs qui ne font, généralement, pas beaucoup d'efforts pour regarder leurs sols de près.

Sauf s'il y a eu tassement des vides les plus fins, la compaction est réversible, en quelques années. Encore faut-il prendre conscience de l'importance de la porosité pour la fertilité des sols et de la gravité des dégradations actuelles : cette prise de conscience commence à se faire actuellement, tout doucement, principalement sous la pression des évidences économiques (baisse des rendements des cultures, en particulier sur les sols des régions tropicales et équatoriales, malgré les augmentations de doses d'engrais).

Il faut encore souligner que la mise en valeur agricole n'est pas la seule responsable des baisses de porosités des sols. Il faut citer aussi les utilisations non biologiques des sols.

Croissances des villes et des bidonvilles, des complexes industriels et commerciaux, des zones touristiques. Intensification des réseaux routiers, multiplication des aéroports. Constructions de barrages hydroélectriques. Intensification de l'exploitation des ressources minières superficielles.

Ce sont autant de surfaces tassées, bouchées, bétonnées.

Plusieurs dizaines de milliers d'hectares sont ainsi, chaque année, soustraits définitivement, sans espoir de retour, aux fonctions biologiques, alimentaires, d'échange et de filtre de la couverture pédologique.

Plusieurs dizaines de milliers d'hectares, ce n'est peut-être pas grand chose en soi ; sauf que, dans la majorité des cas, ce sont les sols les plus fertiles qui disparaissent, sous le

béton, ou sous la misère des urbanisations sauvages : les villes, en grandissant, ne sautent pas par-dessus les périphéries agricoles qui les ont nourries pendant des siècles ; elle les rongent, les font disparaître ; les routes sont plus faciles, plus « économiques » à construire en terrain plat : ce sont des terres fertiles ; les riches terrasses alluviales des vallées sont convoitées par les industriels qui recherchent la proximité de sources d'eau...

La porosité d'un sol, la stabilité, la solidité de cette porosité, sont l'expression de l'état de santé du sol.

- La porosité exprime la richesse biologique et organique du sol ; elle exprime l'accessibilité des éléments nutritifs présents dans le sol. Le tassement rend inutilisable par les plantes une bonne partie des éléments nutritifs du sol, y compris ceux apportés par l'homme, sous la forme d'engrais minéraux.
- C'est également de la porosité de la couverture pédologique que dépend le bon fonctionnement des circuits hydrologiques. Les tassements gênent les pénétrations verticales des eaux, donc l'alimentation des nappes phréatiques ; ils favorisent les circulations latérales, et superficielles : le circuit de l'eau est ainsi raccourci, ce qui la rend moins disponible pour les besoins des sociétés humaines. Ceci a encore deux autres conséquences graves :
 - . le sol joue beaucoup moins son rôle filtrant, épurateur des eaux ;
 - . les eaux pénétrant moins profondément dans les sols, il y a ralentissement de l'altération des roches, donc de la formation des sols.

L'érosion

Parmi les conséquences des appauvrissements biologiques, des baisses de taux de matière organique et des tassements, il y a le double développement de l'érosion des sols (entraînement latéral, par l'eau ou par le vent, de matériaux sol situés en surface : particules d'argiles, de limons, de sables) et de l'appauvrissement interne des sols en particules fines.

L'érosion a pour origine un double phénomène :

- la destruction des agrégats, par appauvrissement organique et biologique, libère les particules argileuses, limoneuses et sableuses, qui seront ainsi plus facilement entraînées latéralement, soit en surface par érosion hydrique ou éolienne, soit en profondeur (vers quelques centimètres ou dizaines de centimètres) par migration latérale des eaux (cette migration interne ne concerne que les particules les plus fines, argileuses) : ainsi naissent, à la surface des sols, des horizons appauvris, en argile et en éléments nutritifs, qui seront ensuite plus facilement érodés ;
- le tassement des horizons pédologiques facilite également, bien sûr, l'érosion, conséquence d'un ruissellement, superficiel ou sub-superficiel, d'une eau de pluie qui ne pénètre plus dans le sol. La plupart des érosions actuelles naissent ainsi.

L'érosion est un phénomène naturel, normal... et utile. C'est en effet grâce à un bon équilibre entre la formation du sol, à partir de la roche, et l'érosion, que de nombreux sols du monde ne s'épaississent pas trop : de ce fait, ils restent naturellement fertiles, car régulièrement alimentés à leur surface, par le biais des activités biologiques animales et végétales, à partir des éléments libérés en profondeur par altération des roches. Les sols trop épais, fréquents en régions tropicales, sont chimiquement pauvres, en partie à cause de leur épaisseur qui éloigne leur surface de l'alimentation en éléments minéraux à partir de l'altération en profondeur de leur roche-mère.

Ceci dit, quand l'érosion va trop vite, c'est à dire quand elle va plus vite que l'épaississement du sol et que la reconstitution régulière des horizons organiques et biologiques de surface, elle devient dangereuse ; c'est ce qui se passe dans de nombreuses régions du monde : voir les sols amincis de la Champagne et de l'Espagne (les charrues y ramènent à la surface du sol la roche blanche calcaire sous-jacente : le paysage est envahi

par les couleurs claires qui remplacent les couleurs brunes ou rouges ou noires des sols peu érodés) ; voir les ravines profondes qui entaillent les paysages d'Algérie, ou de Madagascar, ou de l'État brésilien de Sao Paulo, ou de la région de Delhi... ; voir les ravines qui se développent dans les pays bocagers de l'Ouest de la France après le remembrement qui a eu pour conséquence de détruire haies et fossés qui protégeaient les sols contre l'érosion ; etc.

Les données concernant l'érosion actuelle des sols sont nombreuses ; elles manquent souvent de précision, mais elles sont malgré tout suffisamment claires pour causer l'inquiétude. Une donnée parmi d'autres : au niveau mondial, les quantités d'éléments nutritifs entraînés chaque année, avec la terre érodée, donc perdus pour la production agricole, ces quantités sont équivalentes à celles apportées par les engrais minéraux épandus chaque année ; et ceci sans compter les énormes pertes de matière organique, les horizons régulièrement érodés étant toujours les plus riches en matières organiques. Une autre donnée (JUDSON, 1968) : l'érosion pré-agricole des sols, au niveau mondial, serait de $9,3 \times 10^9$ tonnes par an ; en 1968, l'érosion mondiale aurait été de 24×10^9 tonnes. D'après BROWN 1984, l'érosion mondiale aurait augmentée de 50 % en 18 ans ; et si on tient compte de l'augmentation de la population mondiale, ceci voudrait dire que de 1968 à 1984 la perte de sol par tête d'habitant serait passée de 4,0 à 4,8 tonnes par an. BROWN estime le « réservoir sol » à $3,5 \times 10^{12}$ tonnes ; sans compter la vitesse à laquelle ce réservoir se reconstitue, on en perdrait chaque année 0,7 %.

La lutte contre l'érosion est donc une priorité, encore mal prise en compte par de trop nombreuses sociétés, rurales et péri-urbaines. Les stratégies et les techniques de lutte contre l'érosion sont nombreuses et diverses (cultures en terrasses ; labours et travaux agricoles selon les courbes de niveaux ; plantations de lignes d'arbres ; aménagement des rigoles naturelles d'écoulement des eaux ; remembrements parcelles en tenant compte de l'existence de bassins versants...), souvent bien imaginées... mais mal réalisées. Les drames sont particulièrement fréquents dans de nombreux pays des régions chaudes. Nous ne pouvons insister que sur un point : le sol est fait pour produire et pour nourrir ; c'est à dire que la lutte contre l'érosion n'a pas de sens si elle se fait au détriment de la production, en particulier de la production agricole. La lutte contre l'érosion, la protection des sols, doivent être intégrées dans des stratégies de production et non de mise en réserve de surfaces de sols : les sols productifs doivent être protégés contre l'érosion, ce qui ne veut pas dire qu'on doit, sous prétexte de les protéger, empêcher les agriculteurs de les cultiver...

Bien d'autres dégradations, d'origine anthropique, atteignent les sols

Certaines dégradations existent depuis longtemps. Il s'agit, en particulier des phénomènes d'**hydromorphie** (excès d'eau), de **salinisation** (excès de sels solubles, tel le chlorure de sodium), d'**alcalinisation** (excès de sodium), qui se développent, en quelques années, dans les périmètres irrigués mal gérés (irrigations excessives ; drainages non entretenus ; besoins en eau des cultures mal calculés donc non respectés : on met trop ou pas assez d'eau). Actuellement, sur les 200 millions d'hectares irrigués du monde, 50 % seraient atteints par ces dégradations (sans compter les autres dégradations qui peuvent s'y surimposer) ; 10 millions d'hectares irrigués sont abandonnés chaque année.

Aujourd'hui, ce qui est inacceptable, c'est que ces phénomènes se poursuivent, voire s'amplifient, alors qu'ils sont parfaitement prévisibles et évitables ; les sols atteints peuvent même être guéris : mais cela coûte très cher (voir les travaux en cours dans la vallée de l'Euphrate, en Syrie ; dans divers périmètres irrigués de l'Algérie) et, de toutes façons, ne peut être réussi que si on apprend enfin à tenir compte de l'histoire et des comportements des sociétés concernées. L'irresponsabilité, des politiques et des ingénieurs, est, dans ce domaine comme dans bien d'autres, très grande et condamnable.

D'autres dégradations sont plus nouvelles, voire très nouvelles : ce sont toutes les conséquences de la **pollution**. Pollutions d'origine industrielle via l'atmosphère et les pluies ; pollutions d'origines industrielle, urbaine, agricole, via les épandages de déchets et les abus d'utilisation des engrais et des pesticides. Ces pollutions ont toutes sortes de conséquences :

- **acidification** des sols : fréquente dans les régions industrielles, elle a pour conséquence, rapidement perceptible (en quelques années ou dizaines d'années), un appauvrissement en éléments essentiels pour les plantes (calcium, magnésium, potassium...) accompagné, éventuellement, de la mobilisation de métaux lourds (qui pourront migrer et polluer les eaux phréatiques) et de modifications structurales (pertes de stabilité structurale) ; en Scandinavie, par exemple, en 30 ans, une acidification importante s'est développée, affectant non seulement les horizons superficiels des sols, mais aussi les horizons profonds ; cette acidité a provoqué l'apparition dans les sols de produits toxiques, en particulier l'aluminium qui provoque une baisse de la fertilité agricole des sols ; à ceci s'ajoutent des phénomènes à plus long terme de transformations biologiques et géochimiques : quand une couverture pédologique perd progressivement, en quelques décennies, une à deux unités pH, on peut imaginer que les conséquences à moyen terme seront importantes : modification des constituants, des structures, des dynamiques ;
- **accumulation dans les sols de métaux lourds, de pesticides, de matières organiques toxiques, d'hydrocarbures, d'éléments radioactifs...** : les conséquences de ces accumulations sur le comportement des écosystèmes et sur la santé des plantes, des animaux, des hommes, restent encore mal connues ; les recherches, dans ce domaine, se développent rapidement.

L'homme détruit ses sols.

Dans de nombreuses régions, il le fait encore par ignorance... ; parce qu'il faut bien survivre, on cultive n'importe comment. Dans d'autres régions, c'est la course à la production, associée à une ignorance voulue, qui détruit : l'utilisation excessive, inadaptée, de certains matériels agricoles lourds, de certains engrais, de pesticides, de certaines méthodes d'irrigation... se fait au détriment de la fertilité des sols et des milieux ; les sols produisent plus... mais sont de plus en plus malades ; les milieux produisent plus, mais sont de plus en plus pollués.

Tout ceci est fragile : l'appauvrissement biologique et structural des sols est partiellement masqué par des apports artificiels, chimiques et mécaniques ; mais beaucoup des irrégularités de la production d'un champ sont en fait liées à cela.

Les nécessités de la protection de l'environnement vont nous obliger à retrouver, progressivement, une agriculture moins artificielle, moins polluante ; mais cette agriculture n'existera que si elle peut s'appuyer sur des fonctions pédologiques naturelles, retrouvées. C'est, dans la plupart des cas, encore possible.

Cette agriculture sera moins « productive à l'hectare » ; mais il est déjà prouvé, dans certains cas, qu'elle sera économiquement plus rentable tout en étant plus respectueuse de l'environnement : qualité des produits, qualité des eaux, qualité de l'air... **qualité de la vie**.

L'ÉROSION

Jacques BOUGÈRE

LES CONTRAINTES NATURELLES EN MILIEU INSULAIRE TROPICAL

De fortes pentes sur les matériaux hétérogènes des îles volcaniques

Les pentes externes des deux volcans de La Réunion (Piton des Neiges, 3069 m - Piton de la Fournaise, 2633 m) ont un modelé convexe dont la pente générale moyenne est de 15-18 %. Localement, ce modelé peut être plus accentué à haute et moyenne altitude, plus atténué ou passant à des concavités à basse altitude, notamment sur la côte ouest. Dans les secteurs centraux de l'île (« cirques » et grandes vallées) les concavités dominent (BOUGÈRE, 1983) ; elles sont particulièrement spectaculaires et leur rajeunissement constant est entretenu, dans les matériaux hétérogènes et instables qui les sous-tendent (HAURIE, 1987 ; CHEVALLIER, 1979) par les écoulements abondants de pluies cycloniques.

En bordure des zones à convexités atténuées ou subhorizontales, près des grands « remparts » d'« îlets » ou de vallées très encaissées, un réseau de fissures d'appel au vide facilite les écroulements rocheux. Le déblaiement continu des dépôts de bas de pentes dissèque les versants en « badlands » que la végétation conquiert à grand peine, tout en étant incapable de les stabiliser.

Sur des coulées récentes de la Fournaise (BACHELERY, 1981) les pentes encore plus fortes (entre 20 et 30 %) sont plus homogènes, variées cependant par des émissions fissurales actuelles (BOUGÈRE, 1986b ; STIELTJES, 1986). Ces fortes pentes, ces modelés contrastés entraînent un drainage radial, mal hiérarchisé, à temps de réponse très bref (ROBERT, 1986), accentuant la rapidité de l'écoulement et l'efficacité du ruissellement générateur d'érosion lorsque le sol est préalablement dérangé.

L'Archipel des Comores présente aussi de fortes pentes à dominante convexe pour Moroni, sub-rectiligne pour Anjouan et Mohéli, franchement concave pour Mayotte, ceci en fonction de leur évolution chronologique.

Les modelés mahorais se réduisent à deux types principaux : crêtes et croupes, les premières au Nord et au Sud sur volcanisme ancien, les secondes sur volcanisme intermédiaire au centre ; ce volcanisme intermédiaire ayant été adouci par des émissions de cendres récentes (STIELTJES, 1988). Là aussi le drainage est radial : une succession de bassins-versants élémentaires au réseau hydrographique peu hiérarchisé s'organise autour de l'épine dorsale de l'île, constituée par les sommets. Les ruptures de pentes sont souvent marquées par des « padzas », arrachements d'érosion ou de glissements (LATRILLE, 1977, 1981), façonnés en « badlands ». Ce type d'évolution a conduit certains secteurs de Mayotte et d'Anjouan à une stérilité presque totale dont les superficies ne cessent de s'agrandir sous l'influence de divers facteurs (cf. infra).

Intensités et durées exceptionnelles des séquences pluvieuses

L'appartenance au domaine bioclimatique tropical confère à ces îles des caractères pluviométriques exagérés, renforcés par la présence d'un océan tiède (température moyenne annuelle entre 20 et 30°C). L'essentiel des processus d'ablation est dû à l'action conjointe des quantités d'eau précipitées et à leurs intensités ; souvent brèves, les valeurs de pluies efficaces pour l'érosion peuvent dépasser en quelques jours les moyennes annuelles des stations de mesure (Tableau I) ; cet exemple de Janvier 1980 avait été dépassé par Cilaos en 1952 (2 500 mm les 15 et 16 mars) où en cumulant les précipitations, nous obtenons 4 130 mm du 11 au 19 mars 1952 (Météorologie Nationale) ; à la station Commerson, il est tombé 6 527 mm en janvier 1980. En février 1993 des quantités équivalentes ont été relevées.

Tableau 1 : Précipitations moyennes et précipitations lors du cyclone Hyacinthe en 1980

Station	Altitude	Précipitations moyenne sur 20 ans	Précipitations du 16 au 27-01-1980
Le Port	11 m	660 mm	987 mm
La Possession	10 m	750 mm	1137 mm
Aurère	940 m	2047 mm	2978 mm
St-Gilles	5 m	558 mm	931 mm
Vue Belle	450 m	977 mm	1405 mm
Cilaos	1197 m	2294 mm	3936 mm

(DURET, 1982).

Ceci implique des intensités également fortes : en trente minutes les intensités relevées (Tableau II) sur les années précédentes montrent des valeurs élevées (Intensités maximales relevées par épisodes pluvieux en trente minutes). Sur nos stations (depuis 1982) nous avons pu constater une opposition entre le versant « au vent » et le versant « sous-le-vent » (Tableau III).

Tableau II : Intensités maximales en trente minutes

Station	Année	1 30'
St-Denis	1965	153 mm
Savannah	1961	91 mm
Aurère	1980	151 mm
Cilaos	1964	413 mm
Gillot	1955	121 mm
Menciol	1975	146 mm

(DURET, 1982)

Tableau III : Exemples d'intensités à La Réunion

Station	Situation	Année	Intensités 30'
Ste-Marie	« au-vent »	1983	198
Ste-Marie	« au-vent »		96
Trois-Bassins	« sous-le-vent »	1987	184
Trois-Bassins	« sous-le-vent »	1988	220

(A. GOPAL, 1992 ; J. BOUGERE, 1990).

Depuis l'installation des stations à Mayotte en 1989, les intensités relevées sont nettement inférieures (Tableau IV) probablement influencées par la nuance plus équatoriale de son climat, mettant l'archipel des Comores à l'écart des trajectoires cycloniques ; des références plus anciennes (RAUNET M, 1992) donnent des chiffres moins élevés.

Tableau IV : Intensités à Mayotte

Station	Date	Intensités 30'
Dzoomogné	1973	31
	1974	50
Coconi	1990	72
	1990	63
	1991	33
	1991	37

(BOUGERE, 1991 ; RAUNET, 1992).

Les pluies cycloniques ont rarement un caractère violent, la durée des précipitations prenant alors le relais des fortes intensités instantanées (3 semaines en janvier 1980 lors du cyclone Hyacinthe, la même durée en système dépressionnaire en février 1993) : les intensités sont inférieures à 35 mm en une heure (Tableau V).

Tableau V : Caractères des précipitations cycloniques à La Réunion - Stations Trois-Bassins

Cyclones	Date	Précipitation totale	l mm/h
Célestina	14-20/1/85	601 mm	16 mm
Gérémina	18-25/1/85	443 mm	17 mm
Clotilda	16-17/2/87	710 mm	32 mm

(BOUGERE, 1986a ; 1988).

Les conséquences des pluies cycloniques sont généralement plus spectaculaires : l'ensemble de l'île est concerné par le phénomène alors que les pluies sans grand système aérologique organisé (notamment en saison fraîche) ne concernent que des aires plus restreintes.

Mis en évidence par nos stations, le caractère orageux des pluies de début et de fin de saison humide (Fig. 1) déclenche, souvent en milieu de journée, des précipitations de quelques heures où les intensités dépassent 50 mm / h (Fig. 2) pendant trois jours de suite, comme en février 1988 : l'efficacité de ces événements est dévastatrice (cf. infra Tableau VII).

Les modifications de sociétés rurales en mutation rapide

A La Réunion, à la tendance amorcée au XX^e siècle (uniformisation des productions) (figure 3), succède une volonté de diversifier les productions tant pour échapper au risque de chute des cours que pour satisfaire les besoins alimentaires. L'exemple de la côte ouest est significatif. Le Plan d'Aménagement des Hauts de l'île, outre la mise en valeur et l'animation de groupes de petits agriculteurs favorise l'installation de familles sur des terres récupérées sur les friches anciennes (plus de vingt ans- après règlement des partages successoraux) ; ce plan a entrepris également, face aux fluctuations du cours de l'essence de géranium, la revalorisation des revenus par la production de produits maraîchers et d'élevage auxquels la consommation locale assure des débouchés. Cette politique ne présente pas que des facilités.

La diversification, mise en œuvre par une volonté politique, se fait surtout avec des jeunes, nouveaux venus souvent, à la pratique agricole. Il leur faut obtenir une production rentable rapide, pour assurer d'une part la subsistance de la cellule familiale nouvellement implantée et d'autre part avoir la possibilité de commencer à rembourser les prêts divers qui vont grever, des années durant, le budget de l'exploitation.

Ceci impose donc une disponibilité immédiate de l'espace cultivable impliquant des choix de préparation technique pas toujours en faveur de la protection des milieux naturels (cf. infra).

Si la nouvelle orientation de mise en valeur remplace une structure ancienne (pratique du colonat ayant abouti à une érosion généralisée des terres à géranium sur andosols) on peut espérer que, par une prise de conscience aujourd'hui sensible, grâce aux associations, les nécessités de conservation du sol ne seront pas oubliées. La leçon à retirer de la figure 3 ne doit pas être occultée non plus : c'est par une polyculture sans jachère que la côte ouest a été stérilisée par décapage superficiel.

A Mayotte les observations sont aussi inquiétantes. La culture sur brûlis pour la production du riz de montagne n'est plus itinérante : la jachère, encore de 2 - 3 ans en 1987 est inférieure à 2 ans actuellement ; certains échanges sont cultivés en permanence : d'un système de culture et d'élevage extensifs on est passé à un système de production en continu où la reconstitution du stock de matière organique, si important pour ces sols fragiles est pratiquement impossible, amorçant ainsi le processus d'érosion-stérilisation.

Une carte récente (RAUNET, 1992) montre l'extension des « padzas » depuis 1981 : ils ont doublé et la densité démographique semble accélérer les besoins de terre de production agricole ; sans atteindre les densités anjouanaïses (500 h/km²), la population mahoraise pourrait être de 528 h/km² cultivable en l'an 2000, (RAUNET, 1992). La superficie cultivable par ménage est passée de 2 ha en 1978 à 0,7 en 1991 (ibid. p. 48). Les problèmes démographiques concernent aussi l'érosion en zone construite qui concourt également à l'appauvrissement du milieu et à la dégradation des conditions de vie des lagons.

MESURES D'ÉROSION À LA RÉUNION

Dix années de mesure sont maintenant disponibles à partir de stations équipées de façon classique. Elles fournissent des enseignements sur les modalités d'érosion et sur les aspects particuliers qu'elle prend à La Réunion ; en même temps ces données permettent de déterminer les facteurs principaux de l'érosion et certains seuils critiques qui serviront pour l'aménagement.

Le dispositif de mesures

A partir du protocole classique de WISCHMEIER et SMITH (1960), des parcelles ont été installées en des sites variés : TROIS-BASSINS et NOTRE-DAME DE LA PAIX (côte ouest), BEAUMONT (côte est). Les parcelles sont limitées par des tôles de bordure et débouchent à l'aval sur des cuves recueillant l'eau de ruissellement et les sédiments qu'elle transporte (Planche 3, 1 et 2). Un autre dispositif d'études ponctuelles consiste en un simulateur de pluie construit selon le modèle ORSTOM (VALENTIN, 1980) (Planche 3, 3) ; ces expérimentations sont menées avec le CIRAD - RÉUNION et une aide du Conseil Général et Régional.

Les mesures sont effectuées avec une périodicité fixe et les résultats publiés dans des rapports régulièrement présentés ; les étudiants sont associés à ces travaux.

Les résultats des mesures

Résultats généraux

Les résultats fournis par ces dix années concernant surtout les sols andiques au-dessus de 900 m d'altitude : c'est dans le cadre du Plan d'Aménagement des Hauts de La Réunion (1976), que nous avons trouvé les financements nécessaires. Les trois sites équipés fournissent des informations sur les deux situations de versants réunionnais : « au vent » et « sous-le-vent ». Ils présentent néanmoins une franche disparité concernant le travail du sol, les parcelles de la côte-est n'ayant jamais été travaillées. Sur les quatre parcelles de la côte ouest, une activité agricole a été pratiquée depuis l'origine permettant de juger l'agressivité de la pluie en fonction du travail du sol : manuel, sillonnage et labour profond.

Les quantités totales d'érosion sont considérables, même si la densité des andosols est faible (proche de 1). Les différences de valeurs d'érosion proviennent surtout des années avec ou sans dépressions cycloniques (Tableau VI).

Tableau VI : Érosion en tonnes / hectare / an

Année	Beaumont	Trois-Bassins
1985	19,56	20,26
1986	29,94	48,20
1987	61,63	176,20
+ cyclone		

(A. GOPAL, 1990) (J. BOUGERE, 1988)

Diversité régionale

L'érosion est beaucoup plus forte sur la côte ouest que sur la côte est, malgré une grande disparité dans les chiffres totaux de précipitations (au moins deux fois plus de pluies sur la côte au vent) ; ceci tient essentiellement aux différences d'intensité des précipitations (Tableau III) et à l'état de la surface du sol : sur la côte ouest, sensible au dessèchement fréquent, la structure superficielle perd ses qualités de cohésion ce qui facilite l'ablation lors des pluies les plus intenses.

Variations annuelles

Du point de vue répartition annuelle, l'érosion apparaît seulement pendant les mois d'été sur la côte ouest (janvier à mars- tandis que sur la côte est seuls quatre mois, juillet à octobre, n'ont que des valeurs très faibles, montrant que si une forte quantité de pluie n'est pas nécessairement productrice d'érosion, la saturation du sol peut être un facteur d'ablation significatif.

Importance des façons culturales

L'érosion vient en premier lieu des volumes de sols dérangés et mis à la disposition de l'énergie de la pluie : le tableau VII montre, s'il en est besoin, l'importance de ce facteur, ici relié à la pente.

Tableau VII : Érosion en tonnes / hectare suivant les façons culturales à Trois-Bassins

Date	P totale	30'	Type de travail du sol		
			manuel 11°5	sillonage direct 11°5	labour 9°5
14-20/1/85	601,2	16,0	0,008	0,197	0,071
28-29/2/85	75,0	24,0	0,018	3,590	(pas de données)
8-12/12/86	168,5	29,5	0,100	18,770	1,248
12-19/1/87	65,5	29,0	0,000	32,448	4,703
16/02/1987 (cyclone)	710,5	32,0	14,508	30,420	120,04
28/01/1988	179,5	49,0	0,000	0,609	(pas de données)
22/02/1988 (orages)	234,0	42,0	36,08	421,200	(pas de données)

(J. BOUGERE, 1986-87-88-89).

L'importance de l'érosion (dernière ligne du tableau VII) lors des pluies orageuses de février 1988 vient, en plus, d'une récolte de pommes de terre effectuée la semaine précédente, équivalant à un labour sur au moins 30 centimètres : en certains endroits du champ, l'ablation a dépassé vingt centimètres d'épaisseur. Les formes sont en elles-mêmes spectaculaires, (Planche 1, 1-2-3) et les conséquences à long terme peuvent avoir des effets irréversibles (Planche 2).

Nature des produits transportés

Une observation majeure mise en évidence lors des études réside dans la granulométrie des produits transportés : les sédiments recueillis dans les cuves se présentent, dans une proportion de 75-85 %, sous forme d'agrégats de tailles variées, depuis les nanoagrégats (< 0,5 mm) jusqu'aux macroagrégats (> 20 mm). La figure 4 montre leur répartition au cours de l'année 1986. La présence des méso et macro-agrégats provient toujours du travail du sol à une date peu éloignée (sarclage, désherbant, sillonage, récolte), l'inverse étant provoqué et proportionnel à la densité et au pourcentage de recouvrement en mauvaises herbes : celles-ci jouent un rôle protecteur, bien que concurrençant la production.

Les études menées avec le simulateur de pluie ont confirmé, pour une étude qui portait sur l'effet « splash » (désagrégation du sol sous l'effet de l'intensité des précipitations (ADAM DE VILLIERS, 1990)), avec essais sur quatre parcelles à Trois-Bassins :

- que le temps de réponse des parcelles est d'autant plus bref que l'humidité du sol précédant la pluie est plus importante ; le ruissellement commençant moins de 5 minutes après le début de la pluie ;
- que le facteur « pente » (Tableau VII) était, après régression multiple, prépondérant.

Ces diverses manifestations, jointes à certaines pratiques pastorales (Planche 1, 4 - 5 et 6) peuvent avoir des effets pervers car peu visibles au début mais aboutissant à une perte difficilement compensable à court terme : bien que matériau « renouvelable », le sol ne se reconstitue que lentement ; de toutes façons, la pédogénisation d'altérites par brunification, (Planche 2, 3 et 4) ne se fait qu'à partir d'altérites largement désaturées, le climat actuel ne permettant pas toujours une hydrolyse totale aussi rapide qu'au cours de certaines périodes paléoclimatiques.

La carte de sensibilité à l'érosion résume nos observations et les enseignements tirés de nos mesures (Fig. 5).

STRATÉGIES ANTI-ÉROSIVES À LA RÉUNION

Les constatations faites par les études menées et par les utilisateurs du sol eux-mêmes ont permis, notamment par l'intermédiaire d'associations, d'entreprendre une information sur les méfaits de l'érosion due à la non-protection des sols (= perte de l'outil de travail) et de développer des stratégies plus ou moins lourdes, déjà expérimentées ailleurs, en milieu tropical. Mais les techniques ne suffisent pas : la formation et l'information sont aussi des outils privilégiés pour compléter l'arsenal qui permettra la conservation du patrimoine pédologique tropical.

Des moyens techniques d'aménagement de versants : du simple au plus sophistiqué.

Les bandes d'arrêt

Deux types de bandes d'arrêt (ou andains) existent à La Réunion. Les uns sont en matériaux vivants (plantes) les autres constitués de produits d'épierrage ou de bois morts. Leur mise en place peut se faire soit à la main soit à l'aide d'engins lourds (Planche 3, 2, 5).

- Aménagement au « bull »

Lors du défrichage au bull, les végétaux sont entassés perpendiculairement à la pente ; l'aspect chaotique joint aux arbres en général tordus laissent de nombreux « trous » dont certains dépassent le m² : on voit mal comment limiter le ruissellement et par conséquent l'érosion corrélative, sauf dans le cas où l'horizon humifère a été raclé avec tapis végétal ; il faut alors reconstituer cet horizon et la partie la plus intéressante du sol est alors stérilisée par le brûlage des andains. En effet, ces andains sont souvent perçus comme une contrainte et vécus comme une réduction notable de la surface cultivée ; ils sont accusés de favoriser le repousse d'espèces inutiles : larges de plusieurs mètres à la base et constitués de la meilleure terre ils favorisent la plante pionnière la plus rapide (bringellier marron) qui gêne ensuite les cultures par l'ombre qu'elle porte. Les andains sont aussi parfois une gêne pour une culture mécanisée ; ils gênent la circulation avec un tracteur surtout si la pente est forte. Il faut en effet rectifier le profil du versant en fonction de la dénivellation : mettre des andains tous les trois mètres de dénivellation revient à faire des marches larges de seulement quelques mètres ou seule la culture manuelle est possible : la charge de travail (et la main d'œuvre) est considérée comme trop contraignante.

– Aménagement manuel en banquettes cultivées

De nombreux aménagements ont été réalisés à La RÉUNION, à ANJOUAN et à MAYOTTE, avec des songes, du maïs, de la patate douce, des artichauts, des ananas, des marguerites, (Planche 3) de la canne fourragère, du vétyver, du tabac, ou des associations variées au goût de l'agriculteur ; sur pentes fortes il existe d'autres techniques comme les cultures intercalaires (Planche 3, 4) dans le géranium (tomates, maïs, haricot, pomme de terre arachides) ou en cultivant des céréales comme l'avoine pour en coucher la paille lors des premières pluies entre les rangs de maraîchage (Planche 3, 6). Avec les tiges de maïs il est aussi possible de faire des fascines qui peuvent être végétalisées ou maintenues par les repousses des végétaux utilisés (goyavier). Sur pentes faibles et demandant moins de travail que les banquettes, des essais réussis de couverture intercalaire avec des graminées non consommables ou des cultures consommables (arachides notamment), ne venant pas en concurrence directe tant du point de vue racinaire, que du point de vue consommation d'éléments nutritifs du sol, ont été faits à La RÉUNION ; ceci a nécessité des essais répétés sur sites expérimentaux et chez des agriculteurs. La CIRARD-IRAT / RÉUNION a commencé à vulgariser cette technique assez sophistiquée où des désherbants sélectifs, n'endommageant pas les cultures principales, sont nécessaires.

Le problème d'inefficacité observée sur les andains (trous, passages d'eau, ravinements) vient de ce que les andains ne sont pas en plantes pérennes, mais en plantes récoltées ou arrachées (cas des patates douces notamment, des songes) ; il faut dès lors concilier rentabilité et efficacité. Un autre inconvénient est provoqué par les andains ou banquettes qui démarrent correctement sur un versant ou champ, perpendiculaires à la pente, mais une fois la première direction prise, elle est conservée quelle que soit la configuration du terrain : on arrive au bout de quelques mètres à des banquettes parallèles à la pente, et le résultat est l'inverse de ce qu'on attend avec beaucoup de travail (= temps) perdu. Enfin, le problème principal réside dans l'aménagement du versant pris comme un tout : aménager des parcelles avec un impluvium en amont ne sert à rien, surtout lorsqu'il y a une route et un espace construit en amont des parcelles sans qu'une évacuation des eaux soit prévue. A ce moment-là, tout ruisselle dans les champs sous une forme déjà concentrée et l'érosion est inévitable, venant à bout des meilleurs aménagements (Planche 1, 1).

Lutte anti-érosive et reconstitution du stock de matière organique

Lorsque le défrichement ou la reprise d'un sol temporairement abandonné s'effectue, il importe de déranger le moins possible la structure superficielle, sous peine d'avoir ensuite à la refaire, ce qui est beaucoup plus long et généralement très coûteux. La pratique du défrichement mécanique rend souvent nécessaire ce genre de travail, car l'horizon superficiel, souvent tronqué par un cycle de culture antérieur (Planche 2, 1c), est emporté avec le bull ; l'agriculteur se trouve avec un horizon A2 ou B1 auquel il faut redonner une structure pour une meilleure aération du sol et enrichir à nouveau par la fumure (lisier de porc, fumier de bœuf, écume de canne ou fumier géranium).

En plus de son coût très élevé (entre 1 200-1 500 F le camion, soit 200-375 F la tonne) cette opération a la mauvaise réputation de véhiculer des parasites, comme le « pourridier » à partir de l'écume de canne ou de graines qui introduisent ensuite dans les cultures des mauvaises herbes.

Lutte anti-érosive et drainage

En raison des importantes chutes de pluies accompagnant les dépressions tropicales à La Réunion, il est nécessaire de drainer en bordure des ouvrages de protection des terres, mêmes si la capacité de filtration est importante. Ce problème est résolu dans le cadre des aménagements lors de l'épierrage en particulier dans la région de St-Benoît : les andains de pierre guident l'eau vers la ravine la plus proche ; ceci implique que cette dernière ne soit pas comblée par les produits de défrichement.

Les bordures de routes sont généralement bordées d'un fossé du côté amont : ce fossé est censé d'empêcher le ruissellement de la route sur les terrains en contrebas. En réalité le fossé est souvent à contre-pente et l'impluvium constitué par la route entraîne des ravinements dans les cultures situées au-dessous. Lorsque ce fossé existe et lorsque la pente de la route se dirige vers lui, il arrive fréquemment que son entretien laisse à désirer et qu'il soit comblé, ce qui annule son efficacité (Planche 1, 1). Enfin, les problèmes les plus graves se posent aux virages : il manque toujours les passages-à-grille qui permettraient à l'eau de franchir la route sans dommage pour les champs environnants.

Les chemins d'exploitation sont eux aussi démunis de toute protection : sans fossés de drainage sur leurs bordures, le chemin devient lui-même axe de drainage où le ravinement est marqué dès les premières pluies ; des entailles de plusieurs dizaines de centimètres ont ainsi pu être observées.

Lutte anti-érosive et parcellaire foncier

Pendant longtemps dans la zone du géranium, la lutte anti-érosive n'a pas été le souci majeur, tant du propriétaire que du colon ; il fallait surtout faire « rendre » le plus possible pour l'un sur une terre qui n'appartenait pas à l'autre.

Les propriétaires fonciers, ayant souvent peu de lien avec la terre (emploi en dehors du secteur primaire), sont pratiquement inopérants vis-à-vis de l'érosion. Au fil des années ces propriétaires sont en indivision par suite des partages successoraux ; les opérations de restructuration foncières ne peuvent se faire qu'à la faveur des récupérations de terres non cultivées depuis plus de vingt ans avec des rachats (par la SAFER jusqu'à une époque récente, par la DAF actuellement). Ces propriétaires sont indifférents aux façons culturales.

La lutte anti-érosive ne peut par ailleurs se faire individuellement : c'est un versant entier qu'on aménage, et en commençant par le haut : s'il se trouve un propriétaire de mauvaise volonté en travers de la pente, les efforts de protection et de drainage seront nuls.

Lutte anti-érosive et charge de travail

Lorsqu'il s'agit d'aménager une pente, il faut considérer, en dehors de toute considération technique, deux soucis principaux. Aux yeux de l'agriculteur, ils ont une place prépondérante : le coût financier de l'opération et le temps nécessaire. Ce qui représente parfois une charge ressentie comme insupportable sur le plan financier et une perte de temps qui pourrait être utilisé ailleurs.

Le défrichage mécanique nécessite une douzaine d'heure par hectare et a été pendant longtemps la seule méthode subventionnée ; ce type de défrichage a, de plus, l'avantage de débarrasser le terrain des souches d'arbres et d'offrir à l'exploitant une surface utilisable, mécanisable dans les limites indiquées plus haut.

Le défrichage à la main nécessite entre 60-100 jours de travail selon les difficultés du terrain et les moyens matériels mis en œuvre ; il est subventionné depuis 1989 seulement, les résidus de travail doivent être évacués avec les moyens traditionnels et les souches ne sont pas retirées du champ. S'il faut, en plus, y pratiquer des banquettes ou des murettes, le temps de travail peut être facilement doublé.

Devant cette alternative, le choix est simple et facile à faire ; on va au plus vite afin d'obtenir une récolte dans les meilleurs délais, d'autant plus que la situation financière en début d'installation est parfois préoccupante et presque toujours précaire.

Lutte anti-érosive et formation

La lutte contre l'érosion peut partir des constatations faites par les agriculteurs eux-mêmes (« la tèr lé pli bon... », « la tèr i par ek lo... »). Leur perception du résultat est nette et assez bien répandue ; ce qui l'est moins, ce sont les mécanismes et encore moins les facteurs d'érosion. En particulier l'agressivité de certaines pluies leur échappe, notamment celle des pluies orageuses de début et de fin de saison humide ; par contre ils attribuent aux pluies

cycloniques une efficacité qu'elles n'ont pas. En effet le ruissellement est très important pendant les dépressions tropicales et c'est cette impression de fort écoulement qui domine ; une forte érosion leur est exceptionnellement liée. Trois groupes de personnes peuvent être visés par une formation en matière de lutte anti-érosive : les artisans de l'aménagement (encadreur, conducteurs), les agriculteurs et les jeunes pendant leur scolarité.

Les artisans de l'aménagement

Les conducteurs d'engins de défrichement sont déjà informés par divers organismes et services (SAFER, SUAD, Sicaprocane et promocanne, etc.), mais il semble que certains abus soient fréquents sur les terrains défrichés (non-respect du piquetage de départ, défrichements sur des pentes trop fortes, encombrement des ravines par les blocs ou végétation désouchée) ; certaines précautions pourraient être prises également à la phase finale du travail lorsque le bulldozer quitte le champ, de ne pas faire une longue trace dans le sens de la pente qui va guider le ruissellement à la première pluie.

Les encadreurs du SUAD ou des associations (APR, etc.) sont sensibles au problème, mais il reste beaucoup à faire pour leur donner les moyens et le minimum technique indispensable d'efficacité, notamment par un temps de présence suffisant auprès des agriculteurs.

Les agriculteurs

Plusieurs exemples ont montré qu'une information bien comprise entraînait deux conséquences : l'application des techniques reçues et l'explication des raisons qui motivaient cette mise en œuvre, que ce soit chez un ancien de la SAKAY (Madagascar) soit chez un agriculteur ayant bénéficié d'un stage et du suivi par des encadreurs. La notion de long terme est difficile à admettre, surtout lorsqu'on attend la première récolte et que la pluie n'est pas abondante, justement, cette année-là. Le raisonnement est alors au « tant qu'il ne se passe rien, on y va... » La conséquence logique est dans les habitudes introduites chez les agriculteurs : s'il y a des dégâts on ira chercher la subvention pour calamités agricoles, pour peu que la commune soit déclarée sinistrée à la prochaine dépression. L'absence de politique agricole à long terme est la cause de cette crise géomorphologique. Tant que les revenus sociaux combleront les inconvénients de la politique à courte vue qui règne depuis 48 ans, il ne faut pas espérer un comportement différent de la part des utilisateurs du sol qui auraient bien tort de ne pas profiter de la situation et de façon fort habile.

Les jeunes pendant leur scolarité

Sans vouloir faire des adultes des gens incorrigibles et sans scrupules, il semble que l'effort de formation doive être largement tourné vers les jeunes. Le rôle des habitudes dans le comportement humain est bien connu, l'avantage des réflexes acquis pendant la période de formation induit un comportement qui sans être irraisonné doit conduire à se poser un certain nombre de question avant de réagir devant un problème.

Par les moyens audio-visuels il y a un grand nombre de ressources qui sont à la portée de tous les niveaux d'enseignement sans compter sur les possibilités d'observations directes que, malheureusement, offrent presque tous les terroirs de l'île dans le domaine de l'érosion. Il faut aussi souhaiter que dans un proche avenir les exemples de protection des sols seront aussi nombreux.

C'est pourquoi nous avons travaillé à produire des outils de formation utilisables dans les classes et dans les réunions de formation :

- une pochette de 24 diapositives sur l'érosion et les moyens de lutte (plusieurs documents sont reproduits sur les trois planches), (BOUGERE, 1991a) ;
- une pochette de 24 diapositives sur les méfaits du feu de brousse, (BOUGERE, 1991b) ;
- des posters ;
- une affichette sur le feu ;
- une carte (jointe) sur les zones sensibles à l'érosion à La Réunion, (BOUGERE, 1989a).

La CIRAD-IRAT a aussi présenté en 1991 une carte morphopédologique (RAUNET 1991) ; il en a été réalisé aux Comores (LATRILLE 1977) à Mayotte (LATRILLE 1981) et à Madagascar (CTFT).

Plus les moyens d'information seront variés, plus ils seront capables de toucher toutes les sensibilités ; l'Association pour la Promotion en Milieu Rural a fourni aussi une cassette vidéo (« Les Blessures de la Terre ») dont parlera Alain HEBERT ; aux Comores un dépliant a été réalisé, suite au séminaire d'Anjouan en 1989 : tous ces moyens montrent l'importance du problème et l'intérêt qu'on y porte laisse espérer une meilleure gestion des terres cultivées, même si les problèmes convexes sont complexes.

CONCLUSION

La lutte contre l'érosion des sols repose sur une bonne connaissance des processus et de l'efficacité des agents d'érosion : l'évaluation d'une érosion moyenne annuelle doit être faite de manière scientifique, sans perdre de vue que les pratiques culturales et l'inventaire des sols et des paysages, dans les trois dimensions, soit réalisé : ceci est une affaire de spécialistes, comme l'a rappelé A. Ruellan ; la fragilité des sols tropicaux nécessite des soins appropriés.

Pendant l'artisan principal de cette conservation des sols reste l'utilisateur quotidien du terrain : c'est par la connaissance de sa perception et de son rapport sociologique voire affectif et culturel avec le sol que passe la stratégie anti-érosive à mettre en œuvre, à condition qu'il en perçoive l'utilité, l'intérêt pour le futur et qu'il puisse dominer techniquement l'arsenal de lutte nécessité par l'état initial (cf. l'intervention de M. Brochet). Si l'agriculteur n'est pas convaincu, c'est en vain que peine l'aménageur professionnel.

Enfin à La Réunion, comme dans toute les îles de l'Océan Indien, un problème majeur déjà sensible aux Comores est en train d'apparaître, comme en Haïti (M. Brochet) : celui de la disponibilité de terre qui pousse à une surexploitation des sols : le problème démographique est peut être le problème primordial à résoudre pour dominer celui de l'érosion des terres agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM DE VILLIERS C., « Etude de l'effet splash. », *Mém. DEA Univ.*, Nice, 102 p.
- BACHELERY P., « Le Piton de la Fournaise, Etude volcanologique, structurale et pétrographique. », *Thèse Spéc. Univ. de Clermont-Ferrand*, 1981, 215 p.
- BOUGERE J., « Aspects de l'érosion dans le Cirque de Mafate, Ile de La Réunion. », *O.N.F.-Réunion*, 1983, 6 p.
- BOUGERE J. « Rapport Erosion. », *Programme Eaux Superficielles et Souterraines à La Réunion*, 1986a, 60-131.
- BOUGERE J., « L'activité volcanique à La Réunion : l'éruption de mars 1986 : mesures et cartographie. », *Bull. du Lab. de Géographie Physique*, 1986b, 86-1, 3-22.
- BOUGERE J., « Rapport Erosion 1986-1987. », 1988, 65 p.
- BOUGERE J., « Carte de sensibilité à l'érosion : REUNION. », 1989a.
- BOUGERE J., « Rapport Erosion 1988. », 1989b, 45 p.
- BOUGERE J., « L'Erosion, faits et mesures, moyens de lutte, notice et pochette de 24 diapositives. », *CNDP*, St-Denis, 1991a.
- BOUGERE J., « Halte au feu, notice et pochette de 24 diapositives. » *CNDP*, St-Denis, 1991b.

- CHEVALLIER L., « Structures et évolution du volcan Piton des Neiges (Ile de La Réunion) ; leurs relations avec les structures du Bassin des Mascareignes, Océan Indien Occidental. », *Thèse U.S.T.M. de Grenoble*, 1979, 167 p.
- DURET M., « Pluies génératrices de crues à La Réunion D.Dép. de l'Equipement - Réunion. », *S.H.S.* 1982,, 95 p.
- GOPAL A., « Rapport Erosion 1989-1990. », 1990, 65 p.
- GOPAL A., « Recherches en géomorphologie dynamique actuelle à La Réunion : le ruissellement et l'érosion pluviale sur parcelles expérimentales et bassins-versants. », *Thèse Université de Nice*, 1992, 484 p.
- HAURIE J.L., « Géodynamique des Cirques de La Réunion : implications géotechniques et stabilité des versants. », *Thèse U.S.T.M. de Grenoble*, 1987.
- LATRILLE E., « Propositions d'affectations des terres, exploitation de données 1965-1977. », *IRAT*, 1977, 361 p.
- LATRILLE E., « Inventaire des terres cultivables et carte morphopédologique de Mayotte, 1/50 000e. », 1991, 21 p.
- RAUNET M., « Carte morphopédologique, Ile de La Réunion 4 cartes au 1/50 000e. », *IRAT*, 1991.
- RAUNET M., « Les facteurs de l'érosion des terres et l'envasement du lagon. », *Dir. de l'Agriculture, Mayotte*, 1992, 68 p.
- ROBERT R., « Climat et Hydrologie à La Réunion. », *Thèse N.I.D.*, St-Denis, 1987, 438 p.
- STIELTJES L., « Carte des coulées historiques du volcan de la Fournaise, (Ile de La Réunion). », *BRGM-AGM*, St-Denis, carte au 1/25 000e, 1986.
- VALENTIN M., « Propositions pour un simulateur de pluie simplifié. », *Doc. interne, ORSTOM*, Abidjan, 1980, 42 p.
- WISCHMEIER W.H. et SMITH (D.D.), « An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. », *7 th Intern. Cong. Soil Science*, 1960, I : 418-425.

Figure 1 : Pluviogramme des 15-16-17/02-1988, Trois-Bassins

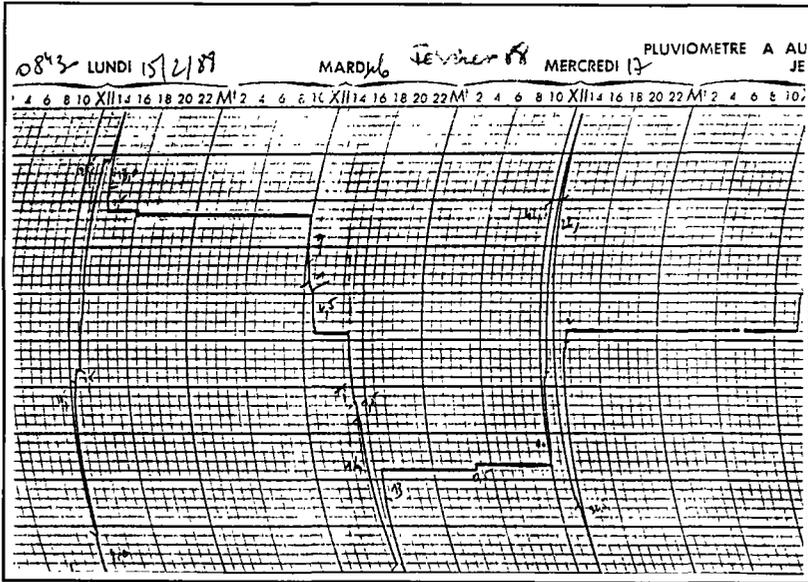


Figure 2 : Hyétogramme des 14 et 15 février 1988, Trois-Bassins

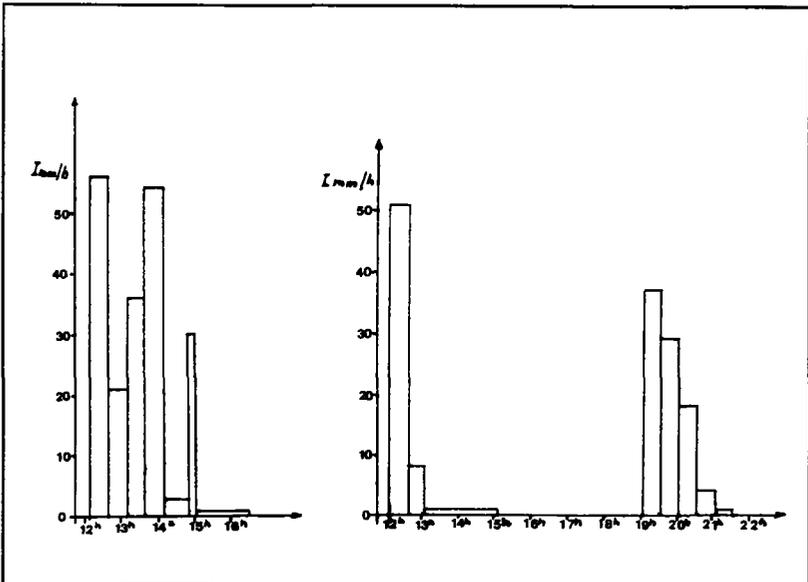


FIGURE 3 : Activités agricole de la Côte Ouest, Ile de la Réunion Atlas CEGET, 1975.

On constate au fil des ans qu'une opération « simplification » des activités rurales s'est faite : des huit activités de la première période (1665-1790) on passe à 7 (1790-1810), puis à trois pour la suivante (1815-1925) et actuellement deux : avec d'innombrables aléas doublés de difficultés et de misère que l'on devine, on est passé d'une économie vivrière à celle de la culture d'exportation largement subventionnée. Dans le même temps cette région a vu son potentiel pédologique décliner ; les régions littorales, sous-le-vent, produisant des légumes, du maïs, pratiquant une polyculture associée à l'élevage sont passées en friche dès le début du XVIII^e siècle (30 ou 40 ans environ) et ont évolué en savane très dégradée à épineux où le feu ne fait qu'accroître la stérilité. La monoculture de la canne à sucre et l'introduction du géranium (1850 ou 1870), nécessitant beaucoup de main-d'œuvre temporaire, règne sur cette région qui a perdu beaucoup de sa richesse rurale et de son intérêt économique lié à la polyculture. On peut constater qu'au début du XVIII^e on y faisait déjà de l'élevage bovin.

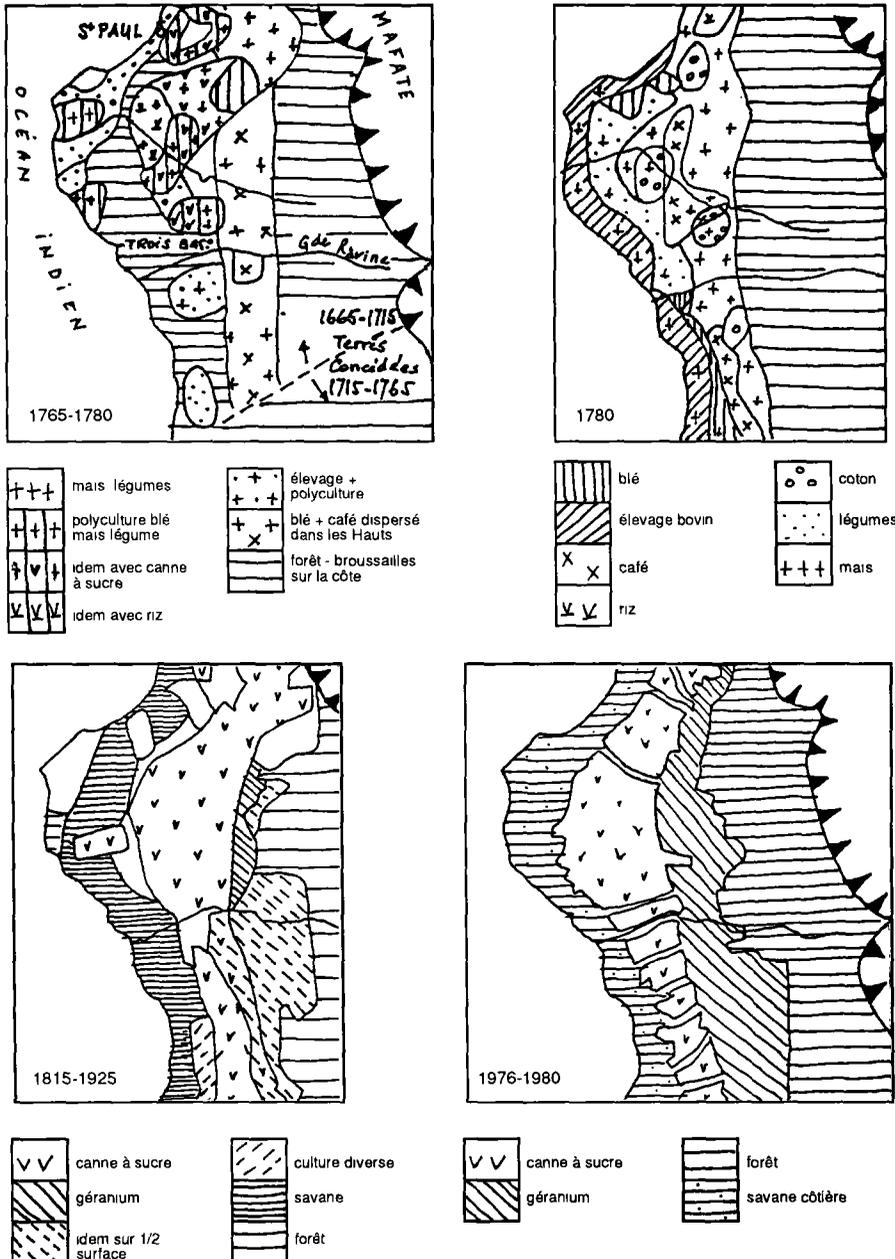


Figure 4 : Granulométrie des agrégats recueillis dans les cuves d'érosion

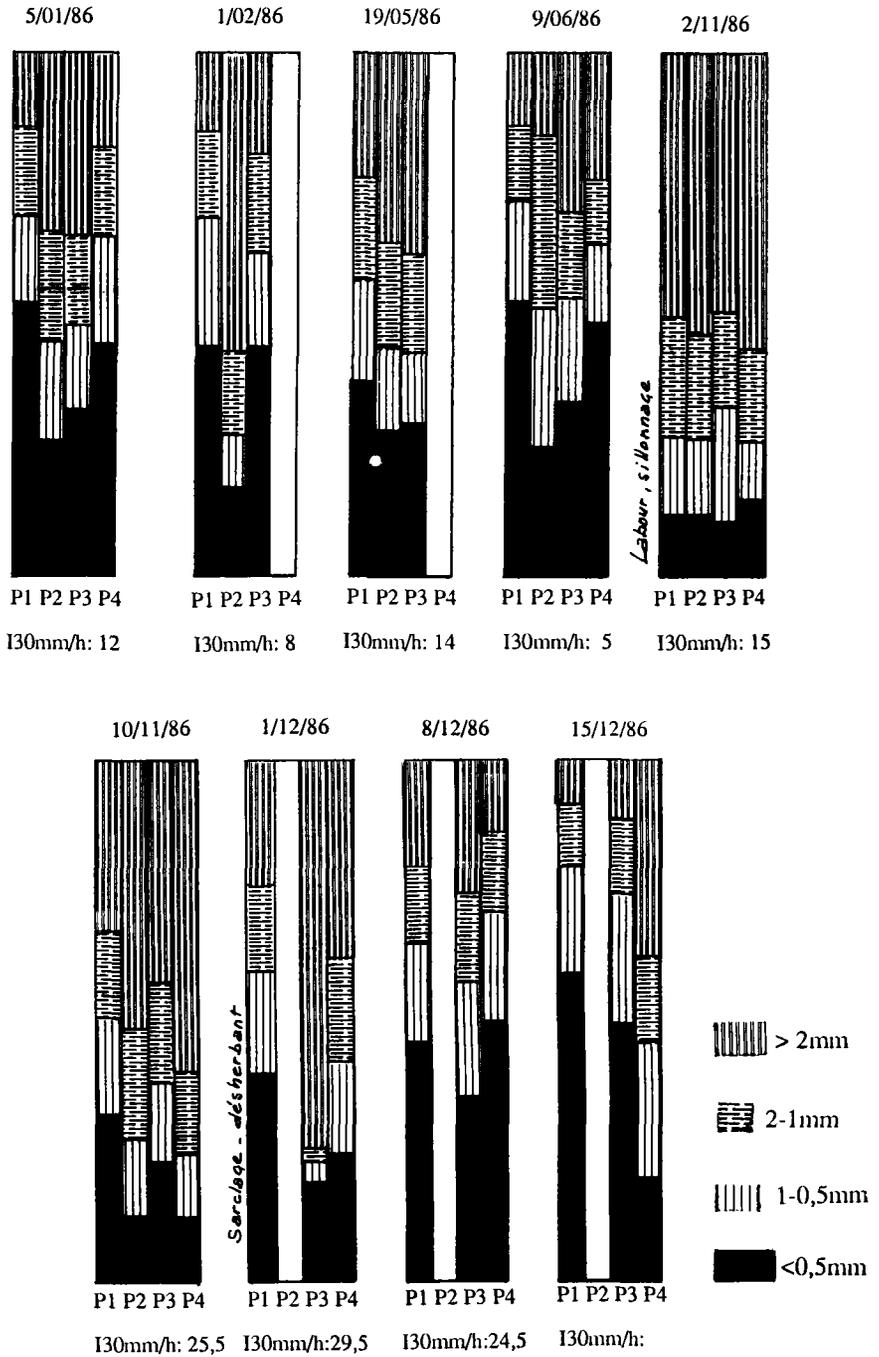


Figure 5 : La Réunion : Sensibilité à l'érosion

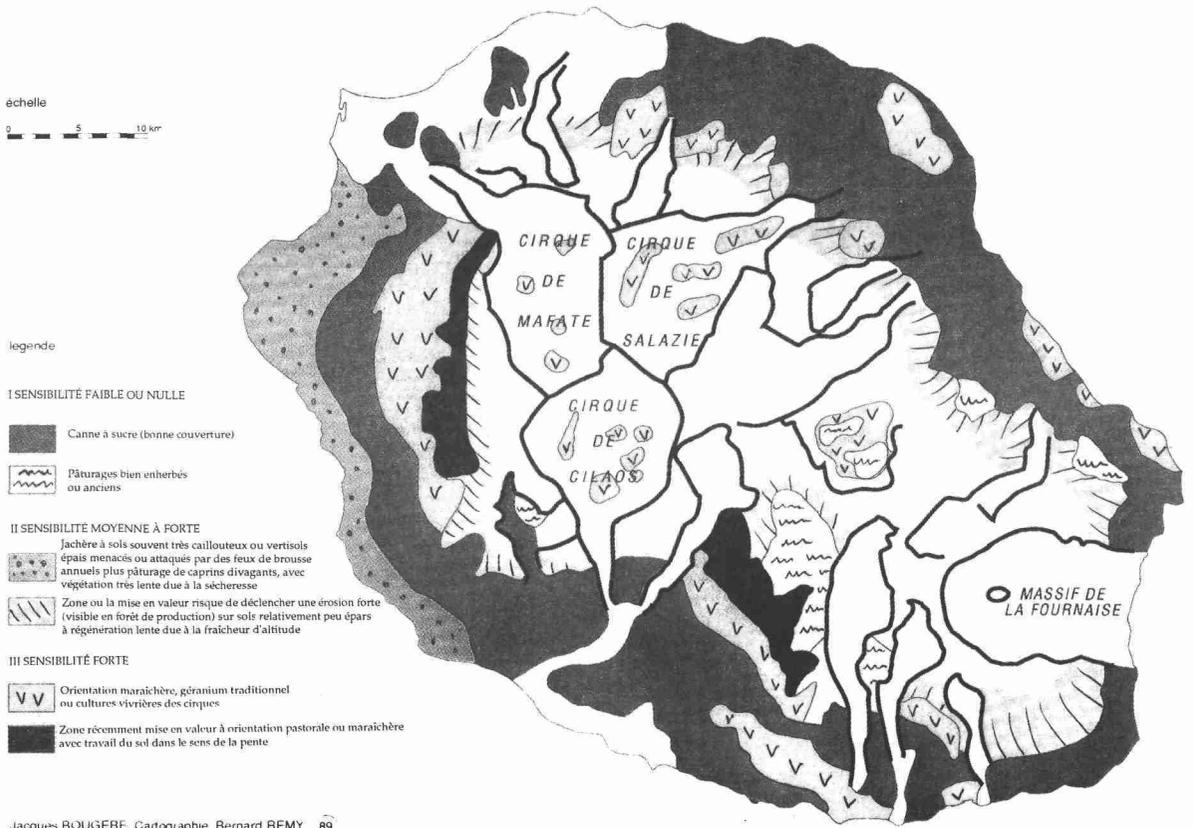


PLANCHE 1 : FORMES D'ÉROSION

Empreinte d'érosion :

- 1 ravinement généralisé sur forte pente non aménagée
- 2 ravinements en rigoles sur pente fraîchement labourée
- 3 décapage de l'horizon A par élargissement de rigoles sur l'horizon B structural



1



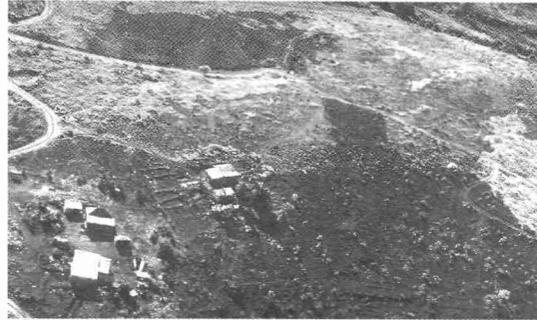
2



3



4



5a



5b

Utilisation du milieu sans ménagement : un paysage ravagé et stérile

PLANCHE 2 : EFFETS DE L'ÉROSION

Résultats apparents de processus érosifs :

1 érosion sur pentes non aménagées : décapage superficiel : le profil original (a) évolue en profil « tronqué » (b) en surface cela se traduit par des taches claires révélant l'affleurement de l'horizon B ou, cas plus grave, celui des altérites (c), avec disparition de l'horizon organique

2 érosion sur pente par supétiement : sol récemment défriché, mécaniquement, non stabilisé sous tapis herbacé fragile (« kikuyu ») (a) ; culture sur champ non aménagé (« tavy ») (b), provoquant le décapage de surface et l'apparition des roches du substrat (c).



1a



2a



1b



2b



1c



2c

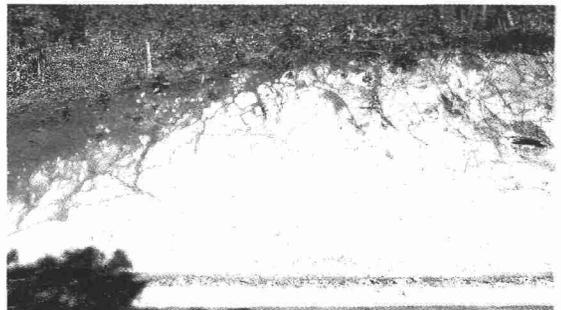
Nouvelle pédogenèse :

3 sur sol complètement décapé : un lithosol très pauvre

4 sur altérites encore épaisses, une brunification peut se développer



3



4

PHOTOS : J. BOUGERE

PLANCHE 3 : MESURES ET MOYENS ANTI-ÉROSIFS



1

Mesures de ruissellement-érosion
 1 parcelles d'érosion-ruissellement
 2 cuve de réception à l'aval des parcelles
 3 surface de base pour l'étude de l'érosion et du ruissellement avec simulateur de pluie



3



Lutte anti-érosive : moyens simples

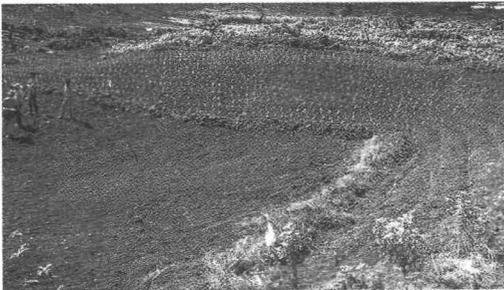
- 1 culture en courbes de niveaux
- 2 talus et andains d'épierrage
- 3 rigoles de drainage suivant la pente secondaire
- 4 couverture intercalaire
- 5 bandes d'arrêt
- 6 maintien sur place des résidus de culture



1



4



2



5



3



6

PHOTOS : J. BOUGERE

LES STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION ET L'AMÉNAGEMENT DES BASSINS-VERSANTS EN HAÏTI

Michel BROCHET

RÉSUMÉ

En Haïti, depuis plus de trente ans, des projets de conservation des sols, de lutte contre l'érosion et de reboisement interviennent sans résultats significatifs sur les processus de dégradation des milieux. Plusieurs approches ont été tentées :

- politiques de mise en défens et de reboisements forestiers autoritaires ;*
- programmes d'agroforesterie où l'arbre et les ligneux à croissance rapide sont considérés comme cultures de rente renouvelables.*

Ces politiques sectorielles, en considérant la protection des ressources naturelles comme une fin en soi, n'ont pas créé les conditions socio-économiques favorables permettant d'intéresser les agriculteurs et d'améliorer leurs revenus. D'autre part, les pratiques bureaucratiques des appareils de vulgarisation n'ont pas créé les espaces de liberté favorisant l'innovation et la créativité nécessaire pour une gestion différenciée de la diversité des milieux.

Un programme de recherche-développement initié par le projet de coopération Franco-Haïtien de Salagnac a testé une démarche qui vise à réaliser des diagnostics préalables permettant de comprendre l'évolution et la transformation des systèmes agraires, afin de mieux prendre en compte les intérêts socio-économiques de l'ensemble des agriculteurs gestionnaires de leurs espaces.

En Haïti, la forêt et la gestion de l'arbre ont fait l'objet de nombreux mythes qui se sont renouvelés à chaque époque en fonction des discours officiels.

Les projets sectoriels de reboisement, de lutte contre l'érosion (D.R.S.), de bois de feu n'ont jamais atteint les objectifs qu'ils s'étaient fixés : tout au plus, sont-ils venus renforcer les imprécations sur la conservation des ressources naturelles et sur la dégradation de l'environnement ; ils ont même parfois contribué à la mise en œuvre de mesures coercitives à l'encontre des paysans des morne¹ faisant figure d'accusés.

Le mythe fondateur en matière d'environnement, est celui de la « perle des Antilles » que découvrit Christophe Colomb en 1492, tel qu'il est enseigné à tous les Haïtiens dans leurs manuels d'histoire, dont l'évocation est transcendée par les peintures naïves contemporaines qui mettent en scène les paradis « agroforestiers » de l'époque précolombienne.

Dans ces manuels, il n'est pas fait mention des techniques de défriche-brûlis qui étaient utilisées par les Indiens pour cultiver leurs champs ; pratiques qui n'étaient sans doute pas déjà sans conséquences sur l'environnement de l'île !

La deuxième « évocation » a trait à l'époque coloniale qui a brisé ce premier « équilibre écologique » en défrichant sur de grandes surfaces les pentes des collines pour y planter des cultures de café sous des arbres de couverture tels le sucrin (*Inga vera*) et le bois trompette (*Cecropia seltata*). L'interprétation de ces facteurs de déséquilibre devrait cependant être faite avec prudence car il est fréquent d'entendre lors d'enquêtes auprès des anciens, qu'avant le cyclone Flora en 1963, un cavalier pouvait se déplacer toute une journée sans voir le soleil tellement il y avait de café dans le pays d'Haïti !

1. Morne : terme créole désignant une colline

Il est cependant indéniable que les défrichements, le tracé de routes et les concessions pour l'exploitation des bois précieux comme l'acajou, le gayac, le campêche et plus récemment les résineux, ont fortement contribué à la dégradation accélérée du milieu.

Tous les écrits anciens et contemporains dénoncent les contrats de type « SHADA² » qui ont permis l'exploitation minière des ressources naturelles.

Ces constats sur la destruction des éco-systèmes forestiers, avec leurs conséquences sur la dégradation des sols et les accidents climatiques, furent à l'origine des projets de reboisement anti-érosifs qui suscitérent la mise en place de réglementations instituant de nombreuses interdictions sur l'exploitation des ressources ligneuses :

- classification des sols en fonction des pentes et avis de mise en défense;
- interdiction de vaine pâture dans le plateau central et de divagation du bétail ;
- taxations à l'abattage des arbres : taxations des planches, des fours à chaux et du charbon de bois.

Ces conceptions sur la « mise en défens » ont été également invoquées par certains pour remettre en cause l'ouverture de routes secondaires et de chemins ruraux afin d'éviter l'extension du commerce du bois de chauffage pour les distilleries et la fabrication du charbon de bois.

Ces politiques de mise en défens des années 60 et 70 n'offrant pas d'alternatives réalistes aux paysans n'eurent pas de résultats sur les processus de régression du couvert ligneux comme le montre l'étude des séries de photos aériennes de 1957 à 1976.

Par contre, elles offrirent un cadre « légal » aux divers agents des projets et des administrations pour taxer les paysans et générer de nombreux abus selon la tradition du « caporalisme agraire ».

En 1976, un anthropologue américain, Gérald Murray, dénonça ces conceptions qui créaient de nombreux blocages et proposa de considérer l'arbre comme une culture génératrice de revenus puisque telles étaient les pratiques, notamment celles de paysans producteurs de charbon de bois dans les zones qu'il étudiait³.

Plutôt que d'interdire ou de restreindre l'exploitation des arbres, pourquoi ne pouvait-on pas la généraliser tout en favorisant l'organisation de la gestion, de sorte que les revenus de l'exploitation des ligneux pourraient se substituer à ceux des cultures vivrières traditionnelles comme le haricot, le maïs et le sorgho qui étaient considérées comme des cultures favorisant l'érosion des terres de montagne ?

Ces observations pragmatiques sur les pratiques paysannes s'arrêtèrent malheureusement à ce premier constat ; et les responsables des projets reprirent le concept de l'arbre culture de rente pour définir une politique d'échanges commerciaux privilégiant les avantages comparatifs.

Quant aux techniciens, ils adoptèrent ce concept agroforestier pour lutter contre l'érosion des sols et aménager les bassins versants en se servant des référentiels techniques comme « l'alley cropping » et les essences forestières exotiques à croissance rapide.

2. SHADA : Concession Nord Américaine qui a détruit des plantations de café pour y substituer de l'hévéa dont la production fut un échec.

3. Les études de G. Murray ont porté essentiellement sur le Nord-Ouest et les pourtours de la plaine du cul de sac, zones sèches où les paysans pratiquent l'élevage de cabris et la fabrication du charbon de bois avec des prosopis ; G. Murray, Terraces, trees and the Haitian peasant : an assesment of 25 years of erosion control in rural Haïti Port au Prince - USAID 1979.

Le rapport Berg (USAID - 1982) illustre les propositions faites à l'époque dans le cadre du C.B.I. (Caraïbean Bassin Initiative), à savoir :

- développement dans des zones franches d'industries d'assemblage utilisant la main d'œuvre locale bon marché ;
- importation des céréales aux cours mondiaux pour nourrir les villes ;
- remplacement de l'agriculture vivrière dans les zones de montagne par des productions fruitières et forestières plus respectueuses de l'environnement et intensification des productions irriguées dans les plaines de nouveau protégées des phénomènes érosifs.

C'est dans ce contexte que des projets de type « bois de feu » et agroforestiers virent le jour.

Il est à noter que les premiers à appliquer ces principes furent des exploitants particuliers⁴ disposant de grandes surfaces sur lesquelles ils plantèrent des essences à croissance rapide telles que le Neem et le Leucaena.

En 1981, la Fondation Pan-Américaine pour le Développement (P.A.D.F.) avec des financements de l'USAID, mit en œuvre un important projet d'agroforesterie sur l'ensemble du pays en généralisant la distribution de plantules d'arbres (7 millions par an) auprès de plus de 60 000 paysans en 10 ans.

Ainsi, durant la décennie des années 80, sommes nous passés de stratégies d'interdictions et de taxations à des stratégies de diffusion large, d'espèces exotiques à croissance rapide, voire à une saturation du milieu avec la liberté pour les paysans d'exploiter librement les arbres et d'en faire éventuellement du charbon.

Par ailleurs, les bailleurs de fonds ont utilisé durant cette période, directement et pleinement, le canal des organisations non gouvernementales⁵.

Notre propos, dans cet article, ne concerne pas l'évaluation du projet Pyebwa (Pied-bois) de la PADF, mais plutôt, compte tenu de son large impact dans le pays et de l'adoption de sa démarche par la plus grande majorité des ONG, de montrer les limites d'une approche sectorielle considérant la lutte contre l'érosion et l'agroforesterie comme une fin en soi.

Les projets de défense et restauration des sols sont sécurisants pour les services de programmation et de suivi des projets, car on ne manque pas de critères quantitatifs pour rédiger des rapports d'activités pour les bailleurs de fonds : nombre de plantules distribuées, pourcentage de reprise, kilomètres ou mètres cubes de terrasses ou diguettes réalisés...

Par contre, les évaluations sur la pérennité des structures mises en place et leur impact sur l'amélioration des revenus des agriculteurs ne permettent pas de se satisfaire de ces pratiques actuelles des projets.

Les lacunes ou les insuffisances portent le plus souvent sur :

- l'absence d'une approche spatiale prenant en compte les paysages et les systèmes de culture et d'élevage ;
- la déficience du raisonnement agronomique pour rechercher une adéquation sol-climat-plante dans l'écosystème ;
- la non prise en compte des stratégies et des intérêts des agriculteurs dans les calculs économiques ;
- des transferts techniques tronqués qui ne permettent pas la fonctionnalité et la reproductibilité de celles-ci.

Ces aspects sont le plus souvent obérés par le caractère sectoriel, voire idéologique des démarches.

4. Double Harwest - Pasteur - W. Turnbull

5. Le projet PADF en 1990, travaillait avec 77 ONG, ce qui représentait 971 agents et techniciens agroforestiers et une distribution de 7 millions de plantules par an.

LES TERROIRS

L'étude des paysages et du fonctionnement des systèmes de culture et d'élevage devrait permettre la définition de principes directeurs pour réaliser des actions de reboisement ou d'embocagement.

Actuellement, la plupart des projets réalisent encore des aménagements et des plantations de manière indifférenciée par rapport à l'espace.

Les principes qui guident le plus souvent ces aménagements sont la plantation en ligne et en courbe de niveau avec seulement deux ou trois essences exotiques à croissance rapide.

Cependant, les principes qui déterminent les modes de mise en valeur et d'occupation des sols en Haïti ont fait l'objet de plusieurs études qui mettent en évidence une grande diversité de situations en ce qui concerne :

- les modes de tenure des terres et la sécurité foncière pour l'investissement ;
- la répartition de l'habitat ;
- la topographie et la nature des sols.

On peut ainsi distinguer plusieurs zones, avec leurs propres règles de fonctionnement, et en dégager des principes d'aménagement :

Le Lacou, ou aire résidentielle entourée d'un verger étagé, mixte⁶

C'est l'endroit où l'on trouve un système boisé planté, multi-étagé composé principalement de caféiers, de bananiers, de citrus, d'avocatiers et d'essences forestières. Cette composition et la proportion des espèces varient avec l'âge de la plantation et le niveau socio-économique de l'unité de production agricole⁷.

Ces parcelles sont des îlots de biomasse qui remplissent pleinement un rôle de protection du milieu tout en assurant un bon niveau de production⁸. Leur extension et généralisation dans l'espace contribuerait à résoudre les problèmes d'érosion et de baisse des rendements de la production agricole. Malheureusement, les études réalisées par les agronomes du projet Madian-Salagnac montrent une diminution de ces surfaces résidentielles boisées : leur superficie moyenne d'un ha en 1910, est tombée à 4 000 m² en 1930, et ne cessa de se réduire pour passer de 1 000 m² par famille en 1960, à 500 m² en 1970 et 300 m² en 1980.

Ces réductions de surfaces devraient être prises en compte par les projets pour rechercher avec les agriculteurs des voies d'intensification et proposer notamment des variétés améliorées d'espèces fruitières : citrus greffés, avocatiers de contre-saison ; or, les espèces proposées sont essentiellement des essences forestières telles que : *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Leucaena diversifolia* !

Les jardins vivriers clôturés par des haies vives

Ils sont attenants aux « Lacous » et sont cultivés sur la même parcelle en propriété. Ce sont des endroits ayant un bon niveau de fertilité car ils bénéficient de transferts de matières organiques importants grâce au bétail.

Ces surfaces de 300 à 1 000 m² sont occupées par des cultures associées : maïs, haricots, ignames et maraîchage : elles ne sauraient être plantées par les essences forestières citées précédemment. Au plus, pourrait-on proposer des essences susceptibles d'y renforcer les haies vives.

6. Espace rural et sociétés agraires - in recherches Haïtiennes n° 2 - décembre 1980 Port au Prince - Institut Français d'Haïti .

7. N. Garrigue - Etude des jardins boisés dans le bassin de petite Rivière de Nippes Haïti - Montpellier - CNEARC - septembre 1990 .

8. R. Pierlot - J.L. Sabatier - Jardins agroforestiers du Nord-Vietnam : analyse architecturale et socio-économique - Montpellier - GRET - CIRAD - CNEARC novembre 1991.

Actuellement, c'est dans ces parcelles que sont plantées 50 % des essences forestières proposées par les projets qui entrent ainsi en compétition avec les cultures vivrières.

Les espaces ouverts, communément appelés « terres savanes »

Ce sont des parcelles déboisées, avec un faible degré de sécurité foncière du fait de l'indivision. Elles sont difficiles à surveiller, car éloignées de l'habitat, ce qui favorise généralement le surpâturage du gros et petit bétail et les prélèvements répétés de biomasse.

Les projets interviennent peu sur ces parcelles car, pour réaliser des investissements de type agroforestier, il est indispensable qu'il y ait préalablement des baux à complant entre les différents propriétaires ayant-droit et les exploitants, pour redéfinir les conditions de mise en valeur et pour sécuriser les investissements des acteurs.

Les ravines ou « fonds frets »

Ce sont des endroits qui ont conservé, malgré les phénomènes de dégradation, d'assez bonnes potentialités, car ils allient de bonnes ressources hydriques et une fertilité correcte grâce aux accumulations de colluvions et de matières organiques.

Ces zones sont à aménager en priorité car ce sont de petits oasis propices à l'intensification. S'il n'y avait pas de difficultés de surveillance à cause de l'éloignement des habitations, ces sites pourraient être cultivés comme les vergers mixtes et les jardins vivriers dans les aires résidentielles.

Les racks

Les Racks-bois sont généralement des zones de recrû ligneux s'apparentant à du maquis. Les principales essences sont le bayahonde (*Prosopis juliflora*), le bois cabrit (*Cassia émarginata*), le campêche (*Haematoxylum*) et le goyavier pour les zones de moyenne altitude.

Ce sont des terres indivises, parfois gérées communautairement sur des sols peu profonds (rendzines, encroûtements calcaires), exploitées par des charbonniers et des éleveurs de chèvres et de bovins. Ces racks représentent des espaces relativement importants et constituent dans les terroirs des espaces pionniers ou des zones de parcours et de prélèvements de bois pour les communautés : ils correspondent aux zones sylvo-pastorales et nécessiteraient des aménagements en tant que tels.

Alors que la plupart des projets proposent des essences forestières dans les zones de cultures décrites précédemment, ils devraient en priorité travailler sur ces espaces pour tenter d'y améliorer les productions de bois et les ressources fourragères, en multipliant et diffusant, par exemple, des essences locales comme le bois d'orme (*Guazuma ulmifolia*) très apprécié du bétail.

Malheureusement, ces espaces sont souvent les moins accessibles, donc moins spectaculaires. Cependant, ils sont importants pour la régulation de la conduite des élevages et pour la gestion des transferts de fertilité à l'échelle du terroir.

Il est vrai que leur statut foncier (fort pourcentage d'indivision), et leur mise en valeur par plusieurs catégories d'acteurs (charbonniers, éleveurs, paysans recherchant de la terre) font que les modalités d'intervention y seront forcément complexes et nécessiteront de perpétuelles négociations.

Comme nous venons de le décrire brièvement, au niveau d'un même finage, tous ces paysages sont présents. Il faut de plus tenir compte du gradient altitudinal et de l'exposition des versants, et savoir qu'en Haïti, les agriculteurs cultivent, dans des conditions de tenure variées, des micro-parcelles dans chacune de ces situations.

Face à cette diversité de situations, on est surpris de constater que la plupart des projets, faute d'un diagnostic préalable, ne modulent pas leurs programmes d'aménagements et de reboisements en fonction des paysages, et des systèmes de cultures et d'élevage.

LE DIAGNOSTIC AGROPÉDOLOGIQUE

Un tel diagnostic est indispensable pour permettre une bonne adéquation des espèces plantées avec l'écosystème environnant.

Mettre en place une culture pérenne implique des conséquences sur le long terme qui se révèlent coûteuses lorsque l'on se trompe d'espèces ou de variétés.

Lorsque l'on a choisi la parcelle et le type de peuplement que l'on souhaite mettre en place, il reste en effet à trouver l'espèce ou la variété la mieux adaptée au sol, au climat et au système de culture.

Le sol

On constate en Haïti que, malgré les conditions sévères de déforestation, il y a des zones qui restent mieux boisées que d'autres : les ravines, les sols bruns calcimagnésiens sur calcaires marneux et les vertisols.

D'une manière générale, ce sont les sols qui présentent de bonnes réserves hydriques.

Des profils pédologiques et l'observation des formations arbustives devraient être des préalables indispensables à tout programme agroforestier afin d'avoir des informations sur la profondeur des sols, la nature de la roche mère et sa pédogenèse. Ainsi, on ne trouverait pas d'Eucalyptus végétant sur des régosols ni d'Anacardiés plantés dans des bas-fonds avec risques d'hydromorphie prolongée.

Le climat et l'altitude

En situation insulaire, il y a une très grande diversité de micro-climats qui se combinent avec les gradients altitudinaux.

Ainsi, au-delà de 500 à 600 mètres d'altitude, les manguiers ne fructifient plus ; et pour réaliser des haies vives, on préférera par exemple, l'Hibiscus au *Glyricidia sépium* dont la croissance devient très lente.

L'observation et le recueil des expériences des paysans sont alors de la plus grande utilité.

Les systèmes de culture

Les cultures associées sont des pratiques très répandues en Haïti ; il faut donc discerner les variétés à planter impérativement en lisière de parcelles et les essences qui peuvent être complantées avec une densité appropriée dans des parcelles destinées aux cultures annuelles.

Ainsi, les Cedrella en altitude et les Tavernon sont deux espèces à bois précieux dont le système racinaire et le feuillage ne nuisent pas aux cultures annuelles de haricots ou d'ignames alors que l'acajou concurrencerait sévèrement ces mêmes cultures.

Les paysans connaissent généralement bien les propriétés et comportements de ces arbres et ils acceptent volontiers de les planter.

Dans les programmes agroforestiers, les arbres fourragers sont généralement peu diffusés alors qu'ils pourraient améliorer les ressources alimentaires pour les animaux en période de soudure.

Compte tenu de tous les paramètres agro-écologiques qui viennent s'ajouter à la diversité des systèmes de culture, on ne comprend pas pourquoi, dans presque toutes les situations de projet, on ne propose aux paysans qu'une demi-douzaine d'espèces pour réaliser des aménagements agro-forestiers quand ce n'est pas une ou deux seulement comme au Rwanda et au Burundi.

On peut considérer que les cinq espèces suivantes : *Azadirachta indica*, *Eucalyptus Camaldulensis*, *Leucaena diversifolia*, *Cassia siamea* et *Casuarina equisetifolia* ont représenté 60 % des 50 millions de plantules distribuées en 10 ans par un des plus importants projets

d'Haïti⁹, bien que ce dernier ait progressivement fait un effort pour intégrer des essences locales dans ses programmes de pépinières.

Il faut donc se demander pourquoi ne profite-t-on pas plus de la diversité biologique pour cette science des localités qu'est l'agriculture ?

Un premier élément de réponse vient du caractère bureaucratique des systèmes de vulgarisation qui ne sont pas l'exclusivité de Haïti.

En effet, pour contrôler et gérer des services de vulgarisation, on simplifie, on normalise les tâches et les programmes. Outre l'aspect coûteux de ces dispositifs de vulgarisation, ils ne sont pas à l'évidence compatibles avec la créativité nécessaire pour réaliser ces types d'aménagements.

LES CONDITIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES REQUISES POUR L'AMÉNAGEMENT DES BASSIN-VERSANTS ET L'INSTALLATION DE SYSTÈMES AGRO-FORESTIERS

Nous avons montré concrètement que, faute de diagnostic précis sur les systèmes de culture et d'élevage, les démarches des projets étaient peu appropriées pour initier avec succès des aménagements de types agroforestiers. Cependant, en supposant que ces hypothèses soient levées, on comprend que de tels aménagements ne peuvent être imposés par une structure extérieure

Outre les capacités professionnelles requises pour les cadres et techniciens, il faut que ces aménagements représentent un réel intérêt pour que les agriculteurs participent avec responsabilité et créativité à leur gestion.

Malheureusement, le plus souvent, les cadres et les techniciens tiennent un discours qui relève d'une idéologie environnementaliste : il faut protéger la nature et les sols de l'érosion en pratiquant des aménagements de bassins versants avec des structures physiques ou biologiques. A la limite, il faut mener ces actions malgré les paysans, d'où :

- les politiques coercitives de taxation et de mise en défens ;
- les programmes de plantations d'arbres « indestructibles » comme l'Eucalyptus ;
- les réalisations de diguettes et de canaux de contour à marche forcée.

La recherche de référentiels techniques est certes passionnante compte tenu de la grande diversité des conditions de milieu et des matériels biologiques. Les exemples Indonésiens, Vietnamiens ou Cévenoles nous montrent des systèmes de culture performants, économes et « soutenables » dans des contextes climatiques agressifs. Cependant, bien qu'ils soient séduisants, ils ne sont que des « modèles » techniques.

La question de fond est de savoir :

- Comment, dans le contexte actuel, installer un système de culture agroforestier avec et pour une paysannerie en crise ?
- Comment investir sur le moyen terme alors que beaucoup de paysans ont déjà des difficultés avec leurs budgets hebdomadaires ?
- Comment passer des systèmes d'élevages avec des pratiques agro-pastorales sur jachères, mettant à mal toutes les tentatives d'embocagement, à des systèmes d'élevage en stabulation progressive ayant une sécurité d'affouragement et une régularité d'abreuvement ?
- Enfin, en tenant compte des différents statuts fonciers, généralement peu favorables aux investissements, comment favoriser la conception et l'élaboration de nouveaux contrats sociaux pour permettre de nouvelles modalités de gestion du milieu ?

En Haïti, au Centre de Salagnac, un projet d'aménagement intégré de bassins versants, le PRATIC¹⁰ a conduit des « expérimentations négociées » avec des groupes d'agriculteurs. L'ensemble des questionnements exposés ci-dessus émergent du quotidien des actions conduites avec ces agriculteurs.

Les résultats sont clairs et sans ambiguïté : lorsque les agronomes du projet tiennent un discours sur la protection de l'environnement et sur l'aménagement des bassins versants, les paysans répondent à leur manière : « développement »¹¹.

Grâce à l'analyse des pratiques et des stratégies de ces agriculteurs face aux protocoles d'aménagements qui leur sont proposés, il est possible de dégager les principaux moyens et conditions nécessaires à l'évolution et la transformation de leurs systèmes agraires vers ces référentiels agroforestiers¹².

La gestion différenciée de l'espace est une constante à respecter : cependant les stratégies des aménageurs et des agriculteurs sont souvent contradictoires.

En matière d'aménagement, les agriculteurs n'accordent pas le même intérêt à toutes leurs parcelles ; ils font généralement porter leurs efforts en priorité sur celles qui ont conservé les meilleures potentialités et ils réaliseront des aménagements plus légers et demandant moins de travail sur celles qui sont moins productives et souvent les plus fragiles vis-à-vis de l'érosion.

Les projets ont souvent une approche inverse : ils veulent « corriger » les effets de l'érosion sur des parcelles dégradées sans étudier la productivité du travail et la rentabilité des investissements. Cependant, le principe à mettre en application consiste à améliorer les rendements sur les surfaces ayant les meilleures potentialités pour diminuer les prélèvements sur les zones fragiles.

La gestion différenciée de l'espace nécessite d'individualiser les parcelles, notamment vis-à-vis de la conduite du bétail. L'enclosure ou la stabulation semi-permanente doivent donc être envisagées : ce sont des changements qui entraînent de nombreuses modifications des systèmes d'élevage. Le projet de Salagnac, en construisant des citernes pour l'abreuvement du bétail, a commencé à introduire des éléments de changement pour la conduite du bétail.

La gestion différenciée de l'espace a également pour conséquence que les agriculteurs ont besoin d'avoir accès à toutes les catégories de parcelles qui, en réalité, présentent des complémentarités pour la gestion des systèmes de production. Or, sous prétexte de rationaliser les contenus de la vulgarisation, certains projets proposent des remembrements identiques aux zones de « paysannat » du Rwanda qui vont tout à fait l'encontre d'une gestion diversifiée du milieu.

L'intensification de la production nécessite un système de crédit performant et une assurance minimale contre les risques climatiques.

Afin de diminuer les prélèvements vivriers sur les zones fragiles, l'intensification des productions s'impose dans les zones ayant de bonnes potentialités.

Les principales techniques pour l'amélioration des rendements consistent à :

- utiliser des variétés améliorées à cycles courts ;
- utiliser prioritairement des fumures organiques ;
- utiliser de manière raisonnée, des fertilisants et des produits de traitements phytosanitaires.

10. M. Brochet - Projet de recherche appliquée sur l'aménagement intégré des terroirs insulaires Caraïbes - Rapport de mission - Paris Ministère de la Coopération - juillet 1990.

11. St-Jules Claucy, agriculteur à Salagnac : interview rapport de stage ANDAH-AUPELF - Mai 1991.

12. B. Smolkowski - L'aménagement de bassins versants : quelles stratégies pour Haïti ? - Mission française de coopération en Haïti - Avril 1989.

L'ensemble de ces dépenses représente une avance de trésorerie pour laquelle la majorité des agriculteurs haïtiens doit avoir recours au crédit.

Enfin, quand toutes ces actions sont engagées, un déficit hydrique, même passager, risque de compromettre les recouvrements des investissements.

Il faut donc sécuriser ce nouveau système de culture par une irrigation d'appoint.

C'est ainsi que les projets PRATIC et Salagnac, au lieu de consacrer tous les crédits dans la lutte contre l'érosion en réalisant des structures d'infiltration pour les eaux de ruissellement, ont préféré construire des citernes¹³ et de petites retenues collinaires pour stocker et différer l'emploi de ces eaux de surface à des irrigations d'appoint, permettant ainsi de sécuriser les cultures maraîchères rentables pour les agriculteurs.

Pour réaliser des aménagements efficaces, il faut conduire simultanément plusieurs politiques dont les effets sont complémentaires et différés dans le temps.

Les projets de lutte contre l'érosion et les actions de reboisement n'ont pas d'effets immédiats sur l'amélioration des revenus de l'agriculteur à moins qu'il ne bénéficie d'un salaire. Ces actions revêtent des objectifs à caractères généraux tels que le rechargement des nappes phréatiques, la protection des infrastructures en aval... bref, peu de résultats susceptibles de motiver, dans l'immédiat, les agriculteurs qui se débattent avec des problèmes de décapitalisation et de famine.

En ce qui concerne la participation et l'intéressement des paysans, il y a souvent confusion entre les tâches destinées aux aménagements d'intérêt général pour la collectivité (infrastructures routières, exutoires...) pour lesquels il faut rémunérer le travail, et celles qui relèvent de la seule responsabilité de l'agriculteur sur sa parcelle.

Les reboisements ont des impacts souvent trop différés dans le temps. C'est pourquoi il faut chercher à raccourcir les délais en pratiquant par exemple, en arboriculture fruitière, le surgreffage, et en menant de front des améliorations dans les cultures vivrières. Les baux à complants ou agro-arboricoles concilient très bien les intérêts à court et moyen termes.

Les aménagements agroforestiers doivent s'inscrire dans des filières technologiques et commerciales complètes et cohérentes.

En ce qui concerne les filières technologiques deux aspects sont insuffisamment développés :

- l'outillage pour la taille, le greffage, la conduite des arbres, et la récolte des fruits, n'est pas étudié et adapté. On se contente trop souvent de la seule machette ;
- la transformation des fruits et des bois est également insuffisamment développée. Ce sont pourtant des aspects essentiels pour élargir les débouchés et récupérer de la valeur ajoutée.

Enfin, les routes d'accès pour les transports des fruits qui sont des produits pondéreux et périssables sont des aménagements déterminants pour la mise en marché.

Tous ces aspects que nous venons d'exposer font partie des moyens et conditions du développement dont les agriculteurs haïtiens ont besoin pour gérer leurs terroirs de manière reproductible sans être obligés d'entamer leur patrimoine pour survivre.

La gestion de la fertilité, la gestion conservatoire des eaux, l'agroforesterie, bref l'environnement sont des thèmes actuels susceptibles de relancer les utopies des pays industrialisés pour renouveler les aides au développement.

Cependant les expériences conduites en Haïti montrent bien les limites des approches sectorielles dans ces domaines. Des efforts de recherche importants restent à entreprendre pour comprendre quels ont été les conditions et les facteurs qui ont présidé aux transformations et à l'évolution de systèmes agraires agroforestiers anciens dont nous pourrions nous inspirer.

13. Centre de Madian-Salagnac - Amélioration des conditions d'approvisionnement en eau dans le cadre de l'exploitation agricole - Port au Prince - Mission française de coopération en Haïti - 1980.

PROBLÉMATIQUE DE LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION HYDRAULIQUE SUR L'ILE D'ANJOUAN (COMORES)

Mohamed Bacar DOSSAR

PROBLÉMATIQUE DE L'ÉROSION À ANJOUAN

Le facteur relief

Les îles Comores comme la plupart des autres îles de l'Océan Indien sont d'origine volcanique.

Il est couramment admis suite aux travaux du géologue J. DE SAINT-OURS que les Comores ont commencé à être édifiées à la fin du Tertiaire (Miocène). Cette édification se serait produite en trois phases. La première dite de volcanisme inférieur, au Miocène-Pliocène, correspond à l'édification de volcans boucliers basaltiques de type hawaïen. La seconde, dite de volcanisme intermédiaire, au Pliocène, aurait ajouté des nouvelles structures ; cette phase se serait prolongée au début du Quaternaire. Vraisemblablement au cours de cette phase, Anjouan et Mohéli se modifient et s'augmentent, respectivement ;

- des trois pointes de Jîmilimé, Nioumakélé et Sima à Anjouan (Fig. 1) ;
- du plateau de Djandro à Mohéli.

La troisième phase, qui se prolonge encore en Grande Comore, est celle dite de volcanisme supérieur. Elle est marquée par des manifestations stromboliennes. Elle est à l'origine des coulées actuelles et récentes ainsi que des pouzzolanes.

Cette activité volcanique aboutit à quatre types de relief.

Le premier de ces reliefs n'est présent qu'à la Grande Comore : c'est celui qui caractérise les dômes du « Karthala », volcan encore en activité, et celui de la « Grille », massif sans activité volcanique. Cette construction de dômes surbaissés correspond à la phase volcanique supérieure.

Le deuxième type de relief se trouve représenté dans le « Badjini » (massif Sud de la Grande Comore), dans la partie orientale de Mohéli (plateau de Djandro), dans les trois pointes d'Anjouan et dans deux petits reliefs de Mayotte (îlots de Pamandzi, et relief sur lequel s'appuie le village de Mamoudzou).

Si ces reliefs sont déjà marqués par l'érosion, leurs formes restent cependant massives. Ils correspondent à la phase volcanique intermédiaire.

Au troisième type de relief, il faut rattacher la chaîne centrale de Mohéli et son prolongement occidental, ainsi que le massif central d'Anjouan. Ce type de relief ne se rencontre ni à la Grande Comore, ni à Mayotte. Les formes restent jeunes mais ont déjà une allure « alpine » : « arêtes aiguës, bassin de réception de torrents en pentes subverticales [...], vallées profondes ».

Le quatrième type de relief est celui de « maturité » des formes où « les différences de reliefs sont dues à la différence de résistance des roches à l'érosion ».

Au cours des périodes de repos qui s'intercalent entre les périodes de volcanisme actif, les cirques du centre d'Anjouan (cirques de Patsy et Bambao M'trouni) sont dûs probablement à des mouvements tectoniques ; effondrement ou explosion (Fig. 1).

La combinaison de ces phases volcaniques, ainsi que des différents types de reliefs qui en résultent, a donné des allures générales différentes aux îles Comores selon que l'on considère

la Grande Comore ou Anjouan et Mohéli. La Grande Comore apparaît massive avec des pentes relativement douces alors qu'Anjouan et Mohéli présentent une allure tourmentée. Les conséquences sur la susceptibilité de ces îles à l'érosion est considérable.

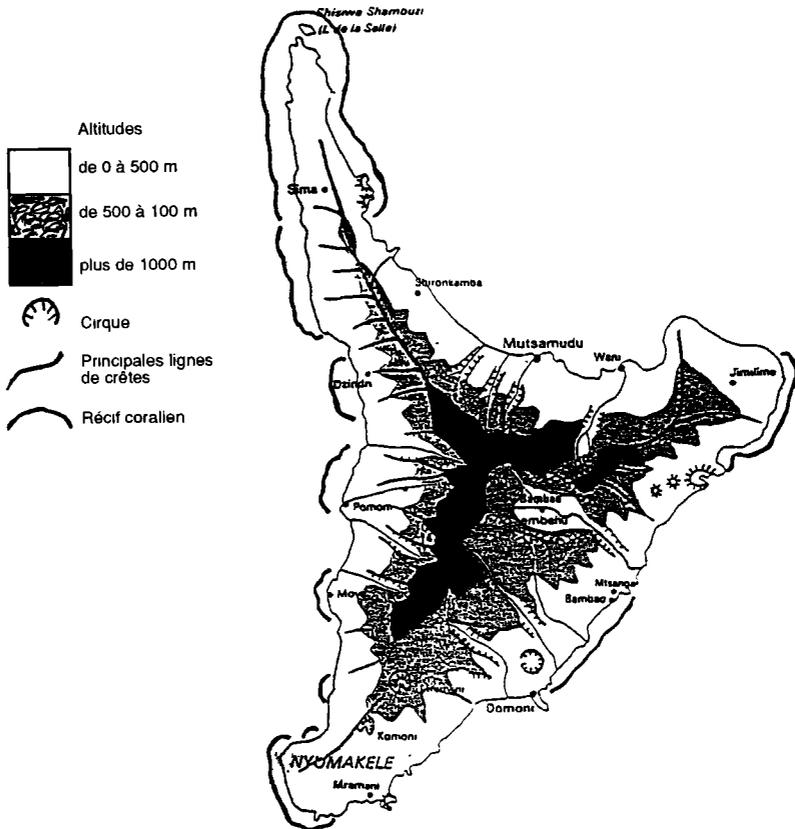
Les autres facteurs contribuant à l'érosion sur l'île d'Anjouan

Le relief à lui seul ne permet pas d'expliquer l'ampleur du phénomène d'érosion sur l'île d'Anjouan. Il faut aussi considérer :

- une pluviométrie importante, jusqu'à 3 200 mm sur les versants au vent, caractérisée par des précipitations violentes ;
- une température moyenne annuelle de 25° C à proximité de la mer, avec un maximum à 32° C pendant la saison chaude et un minimum de 19° C pendant la saison sèche ;
- des sols volcaniques ayant subi les processus d'altération et l'abondance des sols bruns vertiques à argiles gonflantes ;
- une densité de population importante, 470 habitants au km² en moyenne à Anjouan avec des pointes de 800 habitants/km² dans la région de Nioumakélé. Cette forte densité est accompagnée d'une très rapide croissance démographique (3,2 % par an) ;
- une pratique agricole traditionnelle basée sur la jachère et le brûlis.

Les conséquences de la forte pression démographique et de la pratique agricole traditionnelle sont la recherche de nouvelles terres de culture se traduisant par le déboisement des terres les plus sensibles à l'érosion et la quasi-disparition de la jachère.

Figure 1 : Carte : Le relief d'Anjouan



Interaction entre démographie et érosion

En dehors des facteurs physiques liés aux conditions morpho-pédologiques et climatiques de l'île, l'inadaptation des pratiques culturelles traditionnelles, par suite de l'explosion démographique, est certainement le facteur le plus déterminant dans la problématique de l'érosion hydrique à Anjouan.

En effet l'île de Mohéli, dont nous avons vu que le faciès est semblable à celui d'Anjouan, reste peu affectée par l'érosion du fait de sa faible densité de population (89 habitants au km² contre 470 habitants à Anjouan), malgré que dans cette île aussi les pratiques traditionnelles aient peu évolué.

La pression démographique ne peut, intrinséquement, être considérée comme responsable de l'érosion, mais jouerait plutôt ce rôle dans des situations où la pratique agricole traditionnelle n'a pas évolué au même rythme que la population, ou n'a pas eu le temps de s'adapter à la nouvelle situation créée par l'explosion démographique. Il s'agit donc d'une situation de rupture d'équilibre.

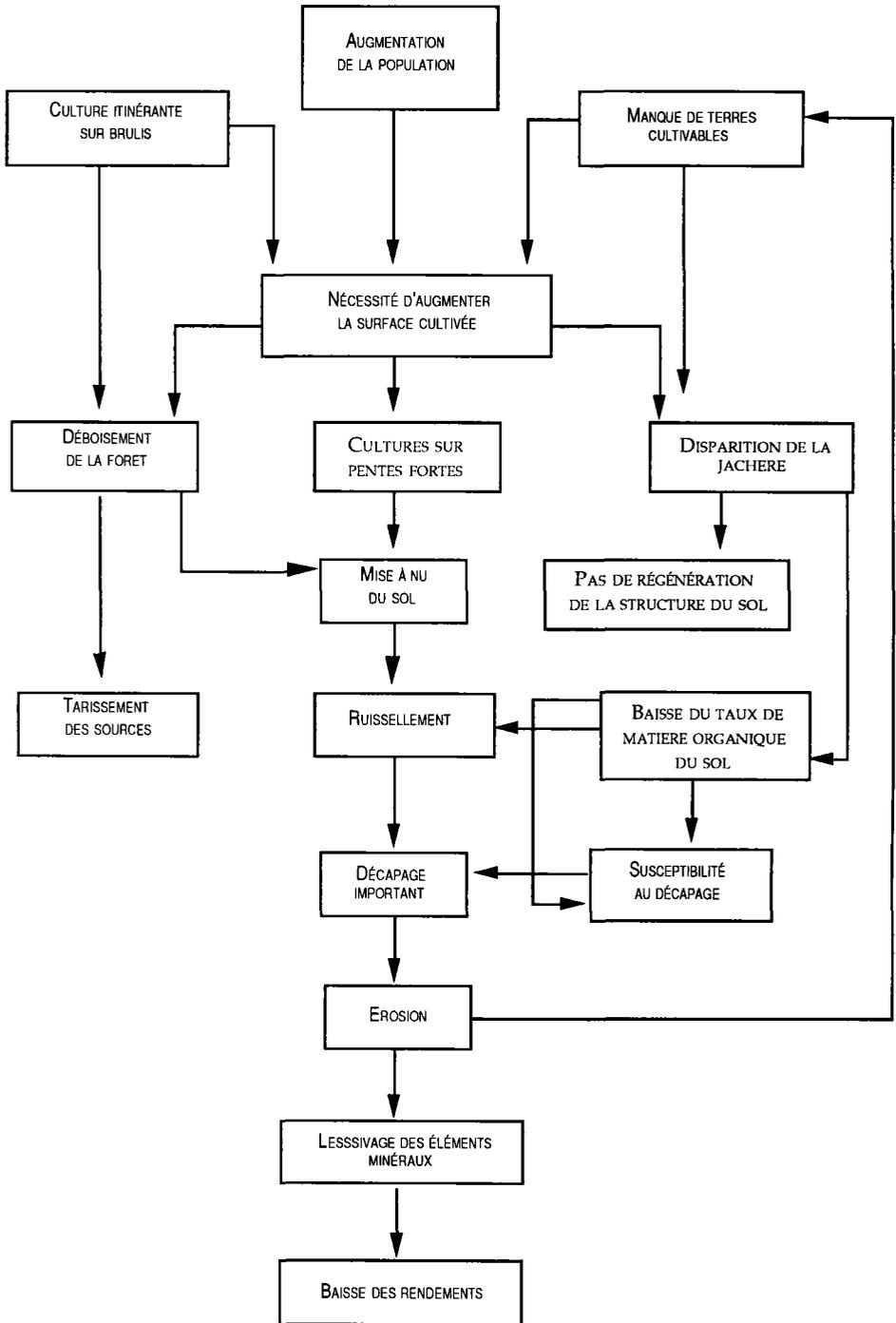
Dans le cas d'Anjouan, (Fig. 2), la conséquence immédiate de la pression démographique et de la pratique culturelle traditionnelle est la nécessité d'augmenter les surfaces cultivées dans un contexte de manque de terre.

Il en résulte donc une mise en culture des terres marginales : forêts et pentes fortes, ainsi que la disparition de la jachère. Les terres sur pentes fortes étant mises à nues et soumises au brûlis, sont rapidement sous l'emprise du ruissellement et du décapage.

La disparition de la jachère prive le sol de son système traditionnel de régénération. Le sol privé de son humus voit sa capacité de rétention en eau diminuer tandis que le ruissellement s'accroît.

La principale conséquence de l'érosion est la baisse de la fertilité des terres cultivées donc la chute des rendements qui entraîne la pauvreté des populations rurales. Il s'agit d'un cercle vicieux dans lequel érosion et pauvreté s'alimentent mutuellement.

Figure 2 : Interaction entre démographie et érosion



ÉVOLUTION DES INTERVENTIONS EN MATIÈRE DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION À ANJOUAN *(Tableau)*

La lutte contre l'érosion est relativement récente aux Comores. Les premières interventions datent des années 50, juste après le grand cyclone qui avait ravagé toute l'île. Déjà à cette époque le Bureau pour le Développement de la Production Agricole (BDPA) lançait un paquet technique basé sur des terrasses radicales et des Lignes Anti-Erosives (LAE). Le BDPA vulgarise aussi des étables fumières et le maraîchage.

L'approche reste très volontariste et basée sur quelques paysans pilotes. Les terrasses radicales et les étables fumières ne sont que faiblement adoptées par les paysans. Les terrasses radicales sont trop difficiles à construire. Les étables fumières exposent le bétail au vol quand elles sont en plein champ ou impliquent que le paysan transporte le fumier vers son champ quand elles sont dans le village. La terrasse radicale peut dans certaines situations de sols peu profonds faire apparaître l'horizon B peu fertile. Le maraîchage se heurte aux habitudes alimentaires et aux problèmes de commercialisation.

Cependant cette action initiale met au point bon nombre de thèmes techniques qui sont à la base de la modification du paysage à Nioumakélé (appropriation et adoption progressives des techniques par les paysans).

Vers les années 80, le Centre Fédéral d'Appui au Développement Rural (CEFADER), avec ses structures décentralisées au niveau des régions, les Centres d'Appui au Développement Rural (CADER), débute des interventions au niveau des Sites de Développement Intensif (SDI).

L'objectif du SDI est surtout démonstratif : il s'agit de concentrer l'intervention au niveau d'un bassin versant afin qu'elle ait la visibilité suffisante qui amènera à l'adoption de ses différentes composantes par les agriculteurs.

Cette politique, quoique évitant un certain saupoudrage des interventions, est restée essentiellement centrée et limitée à la DRS.

Les techniques de l'agroforesterie vont finalement être introduites avec la culture en couloir et l'embocagement.

Toutes les actions sont largement supportées par le Programme Alimentaire Mondial (PAM). L'intervention du PAM dans le programme de reboisement et de lutte contre l'érosion va induire un énorme malentendu entre techniciens et paysans, ceux-ci ayant tendance à se considérer comme des ouvriers du CADER. La gestion des vivres PAM est lourde et délicate. Une évaluation de l'impact de la distribution de vivres tels le riz, l'huile, les sardines, le maïs etc. sur la production vivrière locale n'a jamais été faite.

Chaque CADER possède une équipe de vulgarisateurs agricoles. Le niveau de formation de ces agents, leurs relations avec les paysans, leur niveau de connaissance du milieu paysan vont jouer un rôle considérable dans le degré d'adoption des thèmes vulgarisés.

La distribution du matériel végétal (boutures, semences et plants) ainsi que des intrants agricoles reste concentrée au niveau des CADER.

Vers 1989-90, on commence à se poser des questions sur la lenteur de la diffusion des actions entreprises au niveau des SDI. La question de la « durabilité » des interventions est posée. Les premières évaluations vont permettre de réviser la méthodologie.

Actuellement les orientations principales vont vers une meilleure prise en compte des besoins exprimés par les paysans. Il convient de placer la lutte contre l'érosion dans une approche globale qui prend en compte les éléments essentiels du terroir villageois, c'est-à-dire aussi bien les champs que la forêt ou le boisement, et les ressources en eau. Il faudrait trouver le moyen de réconcilier l'élevage et le reste des activités agricoles.

L'approche recentrée sur l'homme et son milieu devrait se préoccuper de la production mais aussi de l'amont de la production (intrants, crédits...) et de l'aval de la production (transformation, commercialisation...).

Tableau : Évolution des interventions en matière de lutte contre l'érosion à Anjouan

Années	Acteurs	Approches méthodologiques	Éléments du paquet technique
1950-1960	BDPA et Services de l'agriculture	Paysans pilotes, Coopératives	<ul style="list-style-type: none"> - Terrasse radicale - Lignes anti-érosives (LAE) - Étables fumières - Maraichage
1982	CEFADER / CADER et Projets agricoles	Vulgarisation au niveau des sites de développement intensif	<ul style="list-style-type: none"> - Défense et restauration des Sols (DRS)
1989-1993	Projets	Comités de sites, vulgarisation. Intégration sectorielle	<ul style="list-style-type: none"> - DRS - Fertilisation - Embocagement - Agroforesterie
1994-	Projets	Participation communautaire, Intégration spatiale	<ul style="list-style-type: none"> - Plan d'aménagement du terroir villageois

ANALYSE CRITIQUE DES APPROCHES MÉTHODOLOGIQUE ET LES PROBLÈMES RENCONTRÉS

Les paysans pilotes

L'approche basée sur les paysans pilotes part du principe selon lequel dans une communauté il existe toujours des leaders et des progressistes qui adhèrent aux innovations avant les autres. Cette approche a évidemment l'avantage de permettre de concentrer les efforts sur les éléments les plus dynamiques de la communauté.

Le danger réside dans le risque qu'il y a de « déconnecter » ces leaders du reste de la communauté, pour en faire finalement des marginaux.

En fait, si l'expérience réussit, ils sont enviés ; si elle rate, ils sont plaints ou deviennent la risée du village.

En outre en matière de lutte contre l'érosion il est difficile techniquement d'isoler une parcelle du bassin versant.

Les SDI (Bassin versant ou Site de Développement Intensif)

En concentrant l'action au niveau du bassin versant, les contraintes techniques liées à la nécessité de considérer l'ensemble du bassin versant sont levées. Cependant il reste que tous les problèmes qui ne sont pas directement et physiquement présents dans le bassin versant sont ignorés par l'intervention.

En outre la préoccupation majeure reste la lutte contre l'érosion, les autres problèmes liés à la gestion globale du terroir ne sont pas abordés. Il se pose alors, étant donné que forcément la participation communautaire sera limitée, le problème de la « durabilité » des actions.

Gestion du terroir

Cette approche globale recentre l'action sur l'homme et son milieu. Du fait de sa globalité, elle est complexe et nécessite donc une équipe pluridisciplinaire et des ressources financières conséquentes.

LES OBSTACLES DE LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION

- a) *Le problème foncier* : A Anjouan il n'existe pas de cadastre digne de ce nom. D'ailleurs s'il devait être réalisé il soulèverait de nombreux problèmes dont une grande partie viendrait des paysans eux-mêmes.
Beaucoup d'agriculteurs occupent des parcelles qui ne leur appartiennent pas ou dont ils ne sont pas sûrs de toujours garder la jouissance : terres de métayage, réserves villageoises distribuées par les autorités, terrains domaniaux occupés, etc. Dans cette situation on voit mal l'agriculteur consentir à des efforts d'aménagement.
- b) *L'élevage* reste marginal par rapport aux autres activités agricoles avec lesquelles il entre souvent en concurrence. Il y a souvent divagation du bétail qui peut alors détruire les cultures.
- c) *Le Programme d'Ajustement Structure* négocié par le gouvernement avec le FMI et la Banque Mondiale implique une réduction des effectifs des fonctionnaires dans tous les Ministères y compris et surtout celui de l'agriculture.
- d) *Les intrants agricoles* (outils agricoles, engrais, produits phytosanitaires) sont trop taxés à l'entrée du pays et sont mal distribués. C'est le CEFADER qui a assuré ce rôle, jusqu'alors, avec les dons reçus de la Coopération Internationale.
- e) Il n'existe aucun institut de recherche agronomique qui pourrait permettre d'avancer dans le domaine de l'analyse des terroirs locaux.

On pourrait encore ajouter de nombreux autres problèmes et obstacles tels que :

- la concurrence entre produits vivriers et denrées importées ;
- la nécessité de reconvertir les terres consacrées aux principales cultures, d'exportation que la chute des cours pousse les paysans à éliminer. Le giroflier pose un sérieux problème en matière de reconversion des terres sur lesquelles il était installé.

CONCLUSION

Malgré le caractère d'urgence qu'elle peut revêtir, la lutte contre l'érosion est à replacer dans une approche globale et intégrée. Il convient que les paysans soient convaincus que nous autres, techniciens, agronomes et chercheurs, nous nous préoccupons de leurs vrais problèmes. Ce n'est que par un dialogue permanent qu'on y arrivera. D'ailleurs n'est-ce pas une marque de respect que de donner la parole à ceux dont les intérêts vitaux sont en jeu ? Accepter à chaque fois de nous remettre en question est une marque d'humilité et d'intelligence.

FLEUVES ET RIVIÈRES DE MADAGASCAR

RELATION AVEC L'ENVIRONNEMENT

Pierre CHAPERON

Les problèmes de l'environnement sont à l'ordre du jour, et de façon pressante, tant est aiguë la prise de conscience, amplifiée par les médias, des modifications à l'échelle planétaire, et à un rythme jusqu'ici inconnu, entraînées par l'explosion des activités humaines.

D'une façon classique, la notion d'environnement est largement anthropocentrée ; il s'agit de la représentation que se fait l'homme de ses rapports avec son (ou plutôt ses) biotope et des modifications positives ou négatives, réversibles ou irréversibles, apportées au milieu naturel, inerte ou vivant, par les aménagements qu'il met en œuvre pour la satisfaction de ses besoins.

Le concept d'environnement peut cependant être élargi à l'ensemble des organismes vivants (mais évidemment sans prise de conscience) puisque dès l'apparition de la vie sur notre planète, il n'est pas d'organisme (qu'il appartienne au règne animal ou végétal) qui n'ait pas modifié — et qui continue à le faire — ses biotopes, créant de façon continue des équilibres plus ou moins temporaires avec ses commensaux : colonisations, tentatives d'extinction des espèces concurrentes, exploitation éventuelle des espèces utiles sont les lois de la nature depuis l'origine de la vie.

Il n'est pas jusqu'au monde physique qui ne connaisse une évolution continue, à une autre échelle de temps bien entendu. Les climats n'ont cessé de changer : refroidissement et réchauffement en alternance, les matériaux géologiques eux-mêmes échappent à l'immuable : mouvements tectoniques, éruptions, sédimentations, métamorphismes.

Cette évolution interactive concerne donc l'ensemble de notre milieu global, la planète Terre et cette ronde incessante des cycles biogéochimiques a pu susciter le concept d'une recherche instinctive (boucle stabilisante) des conditions les plus favorables à la reproduction et au développement des organismes vivants : la théorie de « Gaia » (LOVELOCK, 1987, cité par J.C. DUPLESSY et P. MOREL, in : « Gros temps sur la planète », 1990).

C'est dans cet esprit que je présenterai, en premier lieu, les relations des systèmes aquatiques continentaux (fleuves et rivières) avec leur environnement, puis, les relations des hommes avec cet élément essentiel de leur environnement, les systèmes aquatiques. Cela dans le cadre géographique malgache, en m'appuyant sur une synthèse hydrologique récente « Fleuves et Rivières de Madagascar » (ORSTOM-DHM-CNRE, 1993).

LES SYSTÈMES AQUATIQUES CONTINENTAUX ET LEUR ENVIRONNEMENT

Les bassins versants des cours d'eau sont des unités fonctionnelles naturelles (parfois modifiées par les activités humaines, ce que nous verrons dans la deuxième partie de cet exposé) organisées en système complexe.

Au « signal » d'entrée constitué par les précipitations, transformé par les interactions des différents facteurs conditionnels de l'interface de réception et de son environnement climatique, correspond un « signal » de sortie, décrit par les caractéristiques du régime hydrologique : apports annuels moyens (et leur variabilité inter-annuelle), distribution saisonnière des écoulements, débits maximaux de crue (moyennes et paroxysmes) et débits minimaux de basses eaux (moyennes et paroxysmes).

Les régimes hydrologiques sont par conséquent nettement régionalisés selon la distribution géographique des facteurs conditionnels climatiques et physiographiques.

Les facteurs conditionnels climatiques et physiographiques sont déterminés par la situation de l'île de Madagascar en regard des grands centres d'action météorologiques du sud-ouest de l'Océan Indien, ainsi que par la distribution des grands ensembles géomorphologiques, orographiques, pédologiques et végétaux. Ces facteurs conditionnels, s'il est souvent possible de reconnaître leur influence spécifique sur les régimes des cours d'eau, sont en grande partie interdépendants.

Les précipitations, pour leur abondance et leur irrégularité inter-annuelle ainsi que pour leur distribution dans l'année, dépendent avant tout de l'activité des grands centres d'action météorologique : cellule océanique de hautes pressions de l'Océan Indien et zone de basses pressions intertropicale, puis secondairement les perturbations d'origine polaire. Mais la répartition spatiale des précipitations est fortement influencée par l'orographie. Les alizés de secteur est affrontent transversalement Madagascar et réagissent en fonction des différentes lignes de relief qu'ils rencontrent. Au contact de la côte orientale, l'arrivée du flux d'alizés détermine une abondante pluviométrie qui s'atténue légèrement sur les cinquante kilomètres de l'étroite plaine littorale. La première ligne de falaises, plus ou moins continue, entraîne un soulèvement des masses d'air humide et une recrudescence très nette de la pluviométrie ; puis, cet obstacle franchi, la diminution des précipitations est très sensible. Brutal sur les dépressions orographiques situées « sous le vent » de la ligne de falaises ou des premiers massifs (dépression de l'Alaotra-Mangoro, contreforts ouest de l'Anosy, etc.) où l'on observe des gradients décroissants rapides, cet effet est plus progressif sur les hauts-plateaux et les régions sédimentaires de l'ouest. Mais dans ces zones, on peut observer des remontées sensibles de la pluviométrie au niveau des zones de reliefs, qu'elles soient importantes (Tsaratana, Ankaratra, Andringitra) ou beaucoup plus modestes (Tampoketsa du KAMORO ou falaises du BEMARAHA dans l'ouest, par exemple). Les apports d'air humide venant de l'ouest (contre-alizée au nord de MAHAJANGA) ou du sud (invasions polaires) viennent compliquer ce schéma.

Les températures (qui, avec l'humidité de l'air) déterminent principalement la reprise potentielle par évapotranspiration sont assez directement liées à l'altitude, beaucoup plus qu'à la latitude. Relativement modérées sur la côte est (20 à 25°C en moyenne annuelle) en raison de l'influence maritime, elles s'abaissent sensiblement sur les hauts-plateaux (moins de 20°C) en raison de l'altitude moyenne supérieure à 1 000 m et encore davantage sur les grands massifs. L'effet de continentalité, renforcé par l'effet de fœhn, à peine modéré par la proximité du canal de Mozambique, est sensible à l'ouest et au sud de l'île, où, avec des altitudes moyennes beaucoup plus faibles, les températures moyennes annuelles dépassent 25°C. L'évapotranspiration potentielle varie comme les températures, l'évapotranspiration réelle étant évidemment liée aux disponibilités hydriques.

La géomorphologie intervient en second lieu. Les formations géologiques (qui ont déterminé les reliefs : mouvements tectoniques, résistance des roches à l'érosion, etc.) peuvent, lorsqu'elles ne sont pas ou peu altérées, jouer un rôle direct important sur les conditions de ruissellement : régions cristallines, plus ou moins imperméables du sud de l'île et de certaines parties des bassins des hauts-plateaux, calcaires, parfois karstifiées et grès perméables des bassins du sud-ouest et des bassins inférieurs de l'ouest, sables grossiers des bassins sud, ainsi que formations basaltiques fissurées et perméables de l'ANKARATRA et surtout de la montagne d'Ambre.

Les reliefs (déterminés par les lignes structurales et la nature des formations géologiques), outre leur influence sur les précipitations, jouent un rôle déterminant sur la concentration et la propagation des écoulements en crue. Sur le socle ancien et ses bordures, les pentes des cours d'eau sont généralement fortes et correspondent à des formes de crues aiguës (bassin du TSARATANANA, du sud et de la côte est). Si la pente moyenne des grands cours d'eau

des hauts-plateaux reste forte, l'alternance de rapides et chutes et de biefs tranquilles détermine un amortissement partiel des crues (par exemple : bassin de l'Ikopa). Cet effet sur la forme des crues est encore plus notable dans certaines zones dépressionnaires où peuvent se développer des lacs, étangs et marécages (cuvettes de l'Ankaizina, de l'Alaotra, du Betsiriry, etc.).

Les sols jouent un rôle considérable dans la distribution mensuelle des écoulements et le soutien des étiages. Là où (en raison d'une forte pluviométrie) ils ont pu constituer des formations latéritiques de grande épaisseur (bassins de la côte orientale, et des hauts-plateaux) ils constituent d'importants magasins où peuvent être stockées en saison des pluies des réserves considérables qui fournissent l'essentiel pour le versant occidental ou une bonne partie pour la côte est des écoulements de saison fraîche.

Pour la végétation naturelle, aux influences édaphiques (faciès cristallins, calcaires, sableux, volcaniques, etc.) s'ajoutent des influences climatiques déterminantes : forêts ombrophiles des secteurs à forte pluviométrie ou formations xérophiles et « bush » du sud-ouest par exemple. Le couvert végétal joue un rôle notable sur les conditions de ruissellement et d'infiltration. Lorsqu'il est dense (forêt des falaises de l'est par exemple), il freine le ruissellement et favorise l'infiltration et le stockage des précipitations (humus, chevelu racinaire, ameublissement des sols...), peut abaisser l'évapotranspiration potentielle (effet de microclimat frais et humide sous le couvert forestier) mais entraîner pour la satisfaction des besoins de la végétation, une forte évapotranspiration réelle (augmentation du rapport ETR/ETP). A l'inverse, le recouvrement lâche des savanes et prairies ne joue qu'un rôle insignifiant sur la concentration des eaux fluviales et faible sur la transpiration.

A Madagascar, la distribution régionale des régimes hydro-pluviométriques se présente de la façon suivante :

Extrême nord et montagne d'Ambre

La zone se situe en climat perhumide avec des précipitations annuelles fortes (de 1500 mm à 3300 mm au sommet), avec des températures annuelles de l'ordre de 20 à 25°C et une évapotranspiration potentielle annuelle comprise entre 900 et 1300 mm. Les lames écoulées annuelles sont comprises entre 6 et 700 mm. L'important déficit d'écoulement (1500 à 1900 mm) se répartit entre l'évapotranspiration réelle (1000 à 1100 mm) et les pertes par infiltration profonde (500 à 800 mm) dans les basaltes fissurés. Les eaux ainsi infiltrées sont plus ou moins récupérées par drainage dans les biefs du piémont.

Les crues sont généralement aiguës et de courte durée. Pour les précipitations moyennes, les débits de pointe restent modérés (100 à 300 l/s/km²) en raison de la perméabilité des pentes, du couvert forestier et de l'encombrement des lits par des blocs basaltiques. Pour les très fortes précipitations, l'effet de pente devient prédominant et des débits spécifiques élevés peuvent être observés (5700 l/s/km² sur la SARAHENANA au passage du cyclone ISIS en 1973).

Les débits d'étiage médians sont assez soutenus (5 à 6 l/s/km²).

Le massif du TSARATANANA et ses bordures

D'organisation moins simple que sur la montagne d'Ambre, les cours d'eau du TSARATANANA correspondent à un dispositif rayonnant sur les formations cristallines altérées qui constituent la plus grande partie du massif. Les pentes sont fortes (20 à 30 m/km jusqu'au recouvrement sédimentaire où la rupture est brutale (quelques m/km jusqu'au littoral). Les bassins sont encore assez largement recouverts de forêt humide dense.

L'ensemble appartient principalement au domaine climatique perhumide par les fortes précipitations annuelles (2000 mm sur les premières pentes et, probablement, jusqu'à 3 à 4000 mm sur les sommets). L'altitude modère les températures.

Les lames écoulées annuelles sont de l'ordre de 1500 à 1800 mm sur les flancs est et ouest du massif, et entre 1100 et 1600 mm sur les flancs nord et sud (coefficients d'écoulement : 50 à 60 %). La distribution saisonnière des écoulements est, pour une pluviométrie comparable, plus contrastée que sur le versant oriental de l'île, en raison de la moindre abondance de la saison fraîche et en dépit du soutien des aquifères latéritiques.

Le déficit d'écoulement (850 à 1200 mm) correspond à une réduction de l'ETR sur l'ETP en raison de la « sécheresse » relative de la saison fraîche.

En raison des fortes pentes, les débits de crue sont élevés (médiane : 400 à 800 l/s/km², décennale : 1000 à 2000 l/s/km²).

Les débits de basses eaux sont soutenus (3 à 7 l/s/km² pour l'étiage médian).

Le versant oriental

Délimité à l'ouest par le rebord oriental des hautes terres (falaises de l'ANGAVO, de BETSIMISARAKA et de TANALA), l'ensemble regroupe des bassins de faible extension, en général, situés essentiellement à l'aval des falaises. Les bassins supérieurs des plus grands cours d'eau (MANINGORY, MANGORO, MANANARA du sud) appartiennent au domaine des hautes terres.

Les bassins reposent, en majeure partie, sur les formations du socle cristallin profondément altérées en latérites. Les formations basses sédimentaires ne sont représentées que sur l'étroite plaine littorale. Sur les reliefs, la végétation est représentée par la forêt dense ombrophile, très souvent dégradée en « savoka ».

La zone se rattache au climat perhumide avec de fortes précipitations annuelles supérieures à 2000 mm et pouvant, dans les secteurs les mieux arrosés, dépasser les 3000 mm. Les saisons sont assez peu contrastées ; en saison fraîche, les précipitations mensuelles restent égales ou supérieures à 100 mm. Avec des températures moyennes comprises entre 20 et 25°C, l'évapotranspiration potentielle est comprise entre 1000 et 1300 mm.

Avec ceux du TSARATANANA, les apports annuels sont les plus abondants de l'île (lames écoulées médianes comprises entre 1300 et 2000 mm, coefficients d'écoulement compris entre 50 et 70 %). L'évapotranspiration potentielle est presque toujours satisfaite (sols saturés la majeure partie de l'année) ; le déficit d'écoulement est de l'ordre de 1100 à 1200 mm. L'irrégularité saisonnière des écoulements est peu marquée (sauf dans l'extrême sud du versant) en raison du soutien des abondants aquifères latéritiques et des apports pluviométriques encore soutenus de saison fraîche.

En dépit du couvert forestier dense et en raison des fortes pentes sur les falaises, les débits de pointe sont très élevés (300 à 1200 l/s/km² pour les médianes, 1000 à 2700 l/s/km² pour les décennales).

Bien soutenus par le drainage des puissants aquifères latéritiques, gorgés d'eau en fin de saison chaude, ainsi que par les précipitations de saison fraîche, les débits de basses eaux sont les plus élevés de l'île (13 à 30 l/s/km² pour les étiages médians).

Les hautes terres centrales

L'unité regroupe les bassins des grands fleuves malgaches (BETSIBOKA, TSIRIBIHINA, formateurs nord du MANGOKY). Elle repose entièrement sur les formations du socle ancien altérées en sols ferrallitiques cependant moins épais que sur le versant oriental. La forêt n'est plus qu'à l'état résiduel et la savane constitue le couvert végétal prédominant. Les marécages et périmètres rizicoles occupent des superficies relativement importantes.

Le domaine climatique correspond à la région humide : précipitations annuelles moyennes comprises entre 1200 et 1500 mm (mais parfois inférieures à 1000 mm dans les zones dépressionnaires : plaine d'ANTANANARIVO, ALAOTRA...). L'altitude modère les températures : inférieures à 20°C en moyenne, parfois beaucoup moins sur les massifs (ANKARATRA, ANDRINGITRA).

La saison sèche commence à être bien différenciée (entre 10 et 50 mm/mois, la moitié de l'année). L'évapotranspiration réelle ne représente plus que 50 à 80 % de l'évapotranspiration potentielle.

Les apports annuels restent relativement abondants (beaucoup moins cependant que sur le versant oriental) : lames écoulées annuelles comprises entre 500 et 1000 mm (coefficients d'écoulement compris entre 30 et 50 %). L'irrégularité saisonnière tend à s'accroître avec une saison « sèche » plus accusée.

Les pentes moyennes des cours d'eau (biefs de faible pente rompus par des rapides et des chutes) sont beaucoup plus modérées que sur le versant oriental.

Les débits spécifiques de crues sont compris entre 120 et 300 l/s/km² (médianes), parfois beaucoup moins quand, en amont, la présence de bas-fonds marécageux et de rizières contribue fortement à l'écrêtement des crues (bassins supérieurs de l'IKOPA, par exemple).

En raison du moindre développement des aquifères latéritiques et de la pluviométrie réduite en saison fraîche, les débits de basses eaux sont nettement moins soutenus que sur le versant oriental (3 à 8 l/s/km²). Les prélèvements pour l'irrigation peuvent amputer ces débits (haute IKOPA).

Les hautes terres méridionales

Cette unité rassemble les formateurs sud-est du MANGOKY, ceux de l'ONILAHY et les bassins supérieurs de la MANANARA du sud. Les bassins reposent sur la partie sud du socle cristallin, moins profondément altéré en raison de la pluviométrie plus réduite. Avec une altitude moins élevée, le relief général reste accusé.

La région se rattache au climat sub-humide à semi-aride avec des précipitations annuelles comprises entre 800 et 1000 mm et des températures moyennes plus élevées qu'au nord (23 à 25°C). L'évapotranspiration potentielle est assez forte (1200 à 1600 mm) mais l'ETR ne représente plus que la moitié de l'ETP avec six à huit mois « secs ».

Les apports annuels sont nettement plus faibles que sur les hautes terres centrales (350 à 700 mm en lames annuelles). L'irrégularité saisonnière est accusée.

En raison du relief et de la faible densité du couvert végétal, les débits de crue sont élevés (100 l/s/km² à près de 600 l/s/km² au sud de l'ANDRIGITRA).

Les étiages, mal soutenus par des aquifères peu développés, sont assez faibles (de l'ordre de 1 l/s/km²).

Les régimes de la zone présentent un caractère de transition entre ceux de l'est, des hautes terres centrales et du sud-ouest.

Les pentes occidentales du nord-ouest et de l'ouest

L'unité correspond aux bassins du versant occidental situés sur les bordures du socle ancien à une altitude inférieure à 1000 m et sur la couverture sédimentaire. On y retrouve les bassins inférieurs de la SOFIA et de la BETSIBOKA, la MAHAVAVY du sud, le MANAMBOLO et le bassin inférieur de la TSIRIBIHINA.

Les zones climatiques correspondent à l'est, au climat humide mégathermique, à l'ouest au climat sub-humide mégathermique. Les précipitations annuelles sont comprises entre 1800 mm à l'est et 1300 mm à l'ouest (1000 à 1200 mm sur les régions côtières). Les températures moyennes sont élevées (25°C) et le mois le plus frais reste voisin de 20°C. L'évapotranspiration potentielle est élevée (1200 à 1500 mm) mais, en raison de la sévérité de la saison sèche, l'ETR ne représente plus que 50 à 60 % de l'ETP.

En dépit d'une information plus réduite, on peut estimer les apports annuels entre 350 mm dans le sud de la zone et pour les petits fleuves côtiers et 900 mm pour les tributaires du BEMARAHY. À l'est, sur les TAMPOKETSA, les apports sont plus élevés (1100 mm). L'irrégularité saisonnière est accusée.

Les débits maximaux de crue, très variables, dépendent de facteurs locaux (relief, présence ou non de zones marécageuses). Les valeurs observées sont comprises entre 100 l/s/km² (MAEVARANO) et 850 l/s/km² (ISINKO, Tampoketsa du KAMORO).

A l'exception des cours d'eau du BEMARAHA et des TAMPOKETSa (2 à 4 l/s/km²), les débits de basses eaux sont peu soutenus (1 à 2 l/s/km²).

Le Sud-ouest

A l'ouest du plateau de l'HOROMBE, cette région réunit la basse MORONDAVA, le bassin sédimentaire du MANGOKY et le bassin moyen de l'ONILAHY. Ces bassins sont, pour l'essentiel, situés sur des formations sédimentaires, sous climat semi-aride mégathermique. Les précipitations annuelles sont comprises entre 500 et 800 mm, les températures moyennes élevées (plus de 25°) et l'évapotranspiration potentielle est forte (1500 à 1800 mm). La sévérité de la saison sèche est très accusée et l'ETR est de l'ordre de la moitié de l'ETP.

Les apports annuels sont assez peu abondants (100 à 200 mm en lame écoulée annuelle avec des coefficients d'écoulement de l'ordre de 10 à 20 %). L'irrégularité saisonnière est forte.

Les crues peuvent atteindre, sur les petits et moyens bassins, des débits de pointe élevés (de l'ordre de 100 l/s/km²). Pour les grands bassins, l'atténuation de la pente et les débordements en nappe entraînent un écrêtement des crues (40 à 80 l/s/km² sur l'ONILAHY).

Pour la plupart des petits cours d'eau, entièrement situés dans la zone, les débits de basses eaux s'annulent ou restent extrêmement faibles. Font exception les cours d'eau issus de l'ISALO, qui bénéficient de résurgences importantes (4 à 6 l/s/km²).

Le Sud

Ce domaine regroupe le bassin inférieur du MANDRARE (à l'est), ceux du MANAMBOVO, de la MENARANDRA et de la LINTA ainsi que l'ONILAHY en aval de l'ISALO. Tous ces bassins reposent sur l'extrémité méridionale du socle ancien, sur les formations sédimentaires du KAROO à l'ouest, ainsi que, en auréole externe, sur les formations sédimentaires marines tertiaires et quaternaires. L'altération est peu prononcée. A l'exception de lambeaux forestiers sur l'ANOSY, la végétation dominante est représentée par la savane sèche et le « bush ».

Le climat est aride avec des précipitations annuelles comprises entre 350 mm (littoral) et 600 mm (nord et est) et avec des températures moyennes élevées (20 à 25°C).

L'évapotranspiration potentielle (1200 à 1300 mm) est moins forte que dans l'ouest de l'île en raison des apports humides d'origine polaire mais, en raison de la sévérité et de la durée de la saison « sèche », l'ETR ne représente plus que 25 à 30 % de l'ETP.

Les lames écoulées sont parmi les plus faibles de l'île (50 à 150 mm, soit quelques l/s/km²) avec une forte irrégularité inter-annuelle. L'irrégularité saisonnière est très prononcée et la quasi-totalité de l'écoulement est concentrée sur 2 à 3 mois.

Les crues sont très brutales, avec des variations extrêmement rapides des plans d'eau. Les débits de pointe peuvent atteindre ou dépasser les 1000 l/s/km².

Les débits de basses eaux sont extrêmement faibles. Ne dépassant pas le l/s/km² sur les parties amont des bassins, il s'annule pour les petits bassins et sur les formations sédimentaires de l'aval des grands bassins (sables roux en particulier) où l'on observe cependant un inféro-flux notable.

Ces régimes ont pu être rapprochés de ceux des cours d'eau sahéliens dont ils se distinguent cependant par l'occurrence de précipitations sporadiques en saison froide.

Les plus grands fleuves malgaches (BETSIBOKA, TSIRIBIHINA, MANGOKY...) sont caractérisés par des régimes « mixtes » résultant de la composition des régimes propres des différentes fractions élémentaires des bassins globaux.

Si les régimes hydrologiques caractéristiques peuvent être considérés comme le produit de l'interaction des facteurs conditionnels climatiques (précipitations, évapotranspirations) et des facteurs physiographiques (géomorphologie, sols, végétation), les cours d'eau, en retour, par l'intermédiaire d'un processus érosion-transport-sédimentation, modifient de façon lente et continue, la géomorphologie de leurs bassins, à la recherche d'un profil d'équilibre, étape ultime de la régulation.

Sur les parties jeunes de leurs bassins (forts reliefs), les eaux de ruissellement et d'infiltration destructurent les sols altérés, principalement là où le couvert végétal les protège assez mal (sols des hautes terres centrales sous savane). L'érosion se produit en nappe ou de façon linéaire.

En nappe, elle tend à arracher les particules meubles et après transport, à combler les dépressions.

Linéairement, elle crée des ravines parallèles aux lignes de plus grande pente et peut aboutir à des formes spectaculaires d'excavation, les « lavakas » caractéristiques des hautes terres et du moyen ouest. Selon d'autres thèses (ARTHAUD, GRILLOT, RAUNET 1989), ces « lavakas » pourraient être provoqués par une morphodynamique d'origine tectonique avec réajustements de l'équilibre hydro-dynamique. Il est probable que les deux causes se conjuguent.

L'ablation moyenne peut atteindre 1 cm par décennie (bassin de la BETSIBOKA).

Les transports solides sont en conséquence importants. Il suffit d'observer, après une forte pluie, la coloration des cours d'eau chargés de latérite. Les charges solides peuvent atteindre 2,2 kg/m³ sur l'IKOPA, 4 kg/m³ sur le MANGOKY et jusqu'à 11 kg/m³ pour les fortes crues de la BETSIBOKA. Les valeurs annuelles du transport solide ont pu être évaluées à 100 à 360 tonnes par kilomètre carré sur le MANGOKY, 560 t/km² sur l'IKOPA et 1660 t/km² sur la BETSIBOKA. Les transports solides globaux doivent être supérieurs à ces valeurs puisqu'elles ne correspondent qu'aux seuls transports en suspension, à l'exception des transports par saltation et charriage, non mesurés.

Dès que les pentes s'atténuent à l'aval des grands bassins, sur les formations sédimentaires, les charges solides se déposent (sédimentation) et contribuent à caractériser le paysage hydrographique : méandres, formations de bras morts et de mares ou étangs marginaux, deltas anastomosés parfois envahis par la mangrove.

Les formations de bourrelets de rives, parfois repris par l'érosion, ainsi que les modifications des profils hydrographiques, peuvent ainsi aboutir à des transformations du réseau hydrographique par des mécanismes de capture.

La plus connue de ces captures intéresse le cours de la MAHAJAMBA (versant nord ouest) dont une partie des eaux est dérivée vers la BETSIBOKA, par l'intermédiaire du KAMORO. Cette capture est assez récente puisqu'elle ne s'est stabilisée qu'en 1903. Elle pourrait être réversible puisque le lit du KAMORO a tendance à s'exhausser en raison de l'alluvionnement.

De façon plus problématique, il est possible que sur le versant oriental, l'ITOMAMPY et l'IONAIVO, affluents actuels de la MANANARA du sud aient été jadis affluents de l'IHOSY (bassin du MANGOKY).

L'HOMME ET LES SYSTÈMES AQUATIQUES CONTINENTAUX

L'eau est un élément essentiel pour la satisfaction des besoins physiologiques de l'homme (alimentation en eau potable) et intervient dans un grand nombre d'activités socio-économiques (irrigation des cultures, abreuvement du bétail, usages industriels, utilisation de l'énergie hydraulique, transport par voie d'eau, récréation...).

Si dans un premier temps les collectivités humaines ont pu satisfaire leurs besoins en s'établissant à proximité des ressources naturelles (les vallées des grands fleuves peuvent

être considérées comme les premiers foyers de la civilisation), plus ou moins rapidement, en fonction de la démographie et du développement du niveau économique, un déséquilibre s'est établi entre la satisfaction de la demande sociale et les ressources naturelles en eau locales. Les collectivités humaines ont par conséquent été amenées à aménager les systèmes aquatiques en stockant, dérivant ou prélevant en périphérie les ressources nécessaires. Outre ces équipements qui concernent les biefs naturels, l'aménagement du territoire et les différents processus d'occupation des sols (défrichements, drainages...) ont contribué à modifier les facteurs conditionnels physiographiques des bassins versants.

L'anthropisation des paysages peut être considérée comme positive lorsque les bénéfices réalisés dépassent assez largement les inconvénients (prélèvements sur la ressource renouvelable, artificialisation des cycles...); elle est par contre négative lorsque les bénéfices immédiats ont pour conséquence une destruction à terme des équilibres naturels.

Le processus d'artificialisation des systèmes aquatiques est déjà très prononcé dans les régions à forte densité de population et à développement économique avancé. En Europe occidentale, par exemple, on peut considérer que l'artificialisation des systèmes aquatiques concerne la quasi-totalité des cours d'eau.

A Madagascar, et à l'exception du sud de l'île, la nature a été suffisamment généreuse pour que la satisfaction des besoins en eau ne soit pas, en moyenne, déséquilibrée. Cependant, l'homme ne vit pas que d'eau et les concentration de population se sont faites également en fonction des potentialités des sols et des sites, des facilités de communication et selon, aussi, un certain volontarisme historique. Des déséquilibres régionaux sont ainsi apparus et ont conduit à la réalisation d'aménagements, comme par exemple, les aménagements hydrauliques des périmètres agricoles d'ANDAPA, du lac ALAOTRA, les usines hydro-électriques du versant oriental (ANDEKALEKA sur la VOHITRA, MANDRAKA, NAMORONA...). Une des régions les plus anthropisées est le haut bassin de l'IKOPA, autour d'ANTANANARIVO.

Il y a déjà un quart de siècle, les aménagements suivants étaient en place sur le bassin supérieur de l'IKOPA, pour une superficie qui ne dépassait pas 4300 km² :

- les retenues de Mantsoa (construite en 1938) et de TSIAZOMPANIRY (construite en 1955) ;
- les centrales hydro-électriques d'ATELOMITA (en amont d'ANTANANARIVO) construites en 1909 (ATELOMITA I) et 1928 (ATELOMITA II) qui, dès 1952, utilisaient un débit dérivé voisin de 30 m³/s pour une puissance installée de 7800 km ;
- les aménagements à usage hydro-agricole (irrigation) de l'IKOPA et de ses affluents (prise du barrage de TANJOMBATO, canal d'ANDRIAMBONY) qui devaient assurer, dès 1950, la fourniture d'environ 150 millions de m³ (soit un débit dérivé équivalent de 15 m³/s) ;
- les équipements de prélèvements d'alimentation en eau potable de l'agglomération d'ANTANANARIVO (20 millions de m³ en 1955).

Depuis, la demande, en raison de l'accroissement de la population résidante et du développement des industries, n'a cessé d'augmenter, ce qui ne manquera pas de poser, dans un proche avenir, un déséquilibre entre les besoins et la fourniture et des risques de conflit d'usage.

Dans ce secteur, le régime de l'IKOPA est déjà assez nettement artificialisé.

Cependant, l'ensemble de ces aménagements, en raison de l'amélioration des conditions socio-économiques, peut être considéré comme une anthropisation positive et incontournable.

Il n'en va pas de même pour la déforestation intensive et mal contrôlée qui, sous la pression d'une demande croissante en bois et charbon végétal de chauffage, affecte les régions forestières.

Nous avons vu ci-dessus le rôle important joué par le couvert végétal forestier dans la partie terrestre du cycle de l'eau : protection des sols, infiltration favorisée permettant la réalimentation des aquifères d'altérites et le soutien naturel des basses eaux, freinage de la concentration des eaux de ruissellement et écrêtage naturel des pointes de crue.

La déforestation progressive entraîne les effets négatifs suivants :

- diminution de l'infiltration et de la réalimentation des aquifères entraînant l'accroissement de l'irrégularité saisonnière et la diminution des débits de basses eaux en saison fraîche. Ce qui aura pour conséquence un effort relativement coûteux de construction de réservoirs de stockage pour les divers besoins de saison sèche ;
- modifications importantes de la distribution statistique des débits de crue. En clair, à période de retour équivalente, les débits de pointe à évacuer seront de plus en plus importants ou, de façon équivalente, les débits à risques seront de plus en plus fréquents. Cela se traduit dès maintenant par une augmentation sensible des destructions ou endommagements des ouvrages de franchissement et des routes ;
- plus grave encore, les défrichements sauvages renforcent les processus d'érosion-transport-sédimentation. L'ablation des sols les plus fragiles va s'accélérer et cela peut-être d'une façon irréversible si un effort important de protection n'est pas mis en œuvre. De même, l'augmentation des transports solides dans les cours d'eau va modifier les biotopes aquatiques. Les conséquences les plus immédiatement visibles, car dues à une concentration des sédimentations dans les biefs et dépressions topographiques, seront, et sont déjà constatées, dans l'ensablement des ouvrages de prise, l'envasement progressif des plans d'eau et l'envahissement stérilisant par les matières transportées de certains périmètres agricoles.

Il est donc du devoir des scientifiques concernés par ces problèmes de dresser l'inventaire de ces phénomènes et de ces mécanismes et de les porter à la connaissance du public. Il appartiendra aux collectivités et aux responsables politiques et économiques de mettre en place les remèdes préventifs.

PRINCIPALES DÉGRADATIONS DE L'ÉCOSYSTÈME RÉCIFAL

Gérard FAURE

RÉSUMÉ

L'écosystème récifal est un équilibre très complexe donc très fragile. Une dégradation dans une portion récifale, dans un niveau trophique, dans un groupe d'espèces, est très souvent irréversible et, dans le meilleur des cas, la régénération est très longue.

Les dégradations observées sont : soit naturelles et accidentelles (cyclones, crues...), soit naturelles et permanentes (rôle des facteurs édaphiques : courants violents, turbidité de l'eau, diminution de l'éclairement avec la profondeur), enfin il peut s'agir de dégradations liées à l'activité de l'homme. Quelle que soit leur origine, elles se manifestent au niveau des peuplements coralliens, par des perturbations plus ou moins importantes, assimilables à des faciès.

On peut ainsi définir 3 types principaux de faciès qui ne constituent pas le plus souvent de véritables entités, mais une série évolutive :

- les faciès de dégradations naturelles et accidentelles ;
- les faciès de dégradations naturelles édaphiques ;
- le faciès de pollution ;

S'y ajoutent depuis 1983 principalement, les phénomènes de blanchissement qui intéressent l'ensemble des formations Indopacifique et Atlantique, et qui font l'objet de la dernière partie.

FACIES DE DÉGRADATIONS NATURELLES ET ACCIDENTELLES

Faciès de dégradations dus à des agents physiques

Les cyclones

Analogues comme mécanisme originel aux dépressions des zones tempérées, ils ne doivent leur violence qu'à leur position en latitude Sud équatoriale qui en resserre le diamètre et en augmente la vitesse de rotation.

Dans le S.W. de l'Océan Indien, par exemple depuis 1848, sur l'ensemble des cyclones qui ont intéressé les Mascareignes (Réunion, Maurice, Rodrigues) :

- 24 % sont venus d'une direction comprise entre l'Est et le Nord-Est ;
- 36 % sont venus d'une direction comprise entre le Nord-Est et le Nord ;
- 32 % sont venus d'une direction comprise entre le Nord et le Nord-Ouest ;
- le reste (soit 8 %) d'une direction comprise entre le Nord-Ouest et l'Est.

Les vents tourbillonnaires engendrés par ces cyclones ont des vitesses de l'ordre de 180 à 250 km/h. Ils donnent naissance à de fortes houles de 5,6 voire 10 m de hauteur.

Par exemple sur les 185 cyclones mentionnés dans les chroniques réunionnaises de 1657 à 1945, 45 ont engendré des « raz de marée » désastreux, capables de perturber profondément les formes du relief littoral (intense érosion mécanique des parties antérieures des édifices récifaux). A l'échelle récifale, cette érosion mécanique répétée a pour conséquences d'importantes dissymétries entre les secteurs préférentiellement soumis aux cyclones (N et E), et ceux plus abrités (S. et W.). Ainsi s'explique, par exemple, la disparité géométrique des formations récifales de l'île Rodrigues, où par rapport et en opposition avec les secteurs

Ouest et Sud, les zones Nord-Est du complexe récifal se singularisent par :

- l'exiguïté de l'édifice récifal, 50 à 80 m ;
- l'état de dépérissement des platiers récifaux fortement nécrosés ou à éléments dispersés ;
- l'absence ou l'extrême étroitesse (1 à 10 m de large) de l'ensemble post-récifal.

Sur le plan bionomique, la dégradation de type « abrasion-destruction » se traduit par une baisse importante du taux de recouvrement (< 20 %) sur la pente de 0-20 m, le front récifal (<10 %), le platier externe (< 5-10 %). Par ailleurs, les dépressions cycloniques exercent un effet sélectif à l'intérieur des peuplements de Madrépores, en éliminant en premier lieu, les espèces les moins adaptées (par leur forme, la surface d'attache etc.), et au contraire, en favorisant l'apparition de morphoses de résistance (écomorphes).

Pluies

Les dépressions cycloniques s'accompagnent de précipitations extrêmement abondantes (200 à 2000 mm de pluies enregistrées en 24 heures). Outre la désalure qui est néfaste aux coraux, les eaux sont souvent chargées de particules sédimentaires terrigènes en suspension, matériel qui, au cours de sa sédimentation finit par recouvrir les colonies madréporiques et colmater les mécanismes ciliaires susceptibles de débarrasser les colonies de ces apports étrangers, provoquant une véritable asphyxie. Par ailleurs, les algues unicellulaires symbiotes (Zooxanthelles) indispensables à la vie des coraux (elles permettent, pour l'essentiel d'évacuer l'excès de CO₂ des colonies, de fixer le CO₃Ca utilisé pour l'édification du squelette, et de fournir des produits de synthèse comme les sucres), abandonnent les Madrépores soumis à la surcharge en particules minérales des eaux environnantes. Les colonies blanchissent alors rapidement sur place, se nécrosent et servent alors de support éventuel à l'invasion des Alcyonaires et des Algues (voir chapitre blanchissement).

- La vitesse de destruction est très variable suivant la forme des colonies et des calices. Les colonies massives, sub ou héli-sphériques, ayant des calices superficiels (*Porites*) constituent la meilleure forme de résistance à ce type de dégradation. A l'inverse, les formes tabulaires ou en bouquets, dont les calices sont étroits et profonds (*Acropora*) sont très vite colmatées et submergées par le matériel sédimentaire (FAURE et al. 1984).
- Les entreprises humaines telles que la déforestation accélèrent encore le lessivage des pentes insulaires et renforcent l'action néfaste de la dégradation naturelle due aux pluies. C'est ainsi, que les accumulations sédimentaires terrigènes constituent des épandages de plusieurs km² dans les lagons de Rodrigues et de Mayotte, d'où sont exclus les Scléractiniaires, suite à la destruction des forêts.

Dégradations dues à des agents biologiques

Au sein des communautés récifales s'établit un équilibre d'une part, entre les organismes bioconstructeurs dont les Madréporaires constituent l'élément essentiel, et les biodestructeurs. L'équilibre entre les bioconstructeurs et biodestructeurs peut être détruit à la suite d'un déséquilibre trophique entre espèces (rapport proies-prédateurs), provoquant le développement explosif de l'une d'entre elles. L'infestation des récifs australiens à partir de 1960 environ par l'Astéride *Acanthaster planci*, brouteuse de colonies de Madrépores, est due à la raréfaction du mollusque *Charonia tritonis* prédateur naturel de l'*Acanthaster*, et plus spécialement sans doute suite à des apports en éléments nutritifs (lessivage des sols nus) qui favoriseraient l'explosion des stocks de stades larvaires de cette même espèce. A Moorea (Polynésie Française) la destruction observée au cours des 10 dernières années, imputable à l'*Acanthaster* représente 50 à 80 % de la couverture globale des communautés coralliennes entre -20 et la surface (FAURE, 1989).

Le niveau de destruction varie essentiellement avec la composition spécifique des communautés concernées. En effet, l'Astéride exerce une prédation sélective sur les coraux (FAURE, 1989). Les espèces les plus généralement soumises à la prédation appartiennent aux genres *Acropora*, *Montipora*, *Pocillopora*. En conséquence, la connaissance de la stratégie de prédation et celle de la composition spécifique des Madrépores d'une aire récifale donnée,

permettant d'expliquer l'importance prise par cette étoile brouteuse lors de dégradations déjà anciennes, et de comprendre le statut actuel des écosystèmes récifaux en cas d'infestation (diminution de la couverture corallienne globale ; modification de la composition spécifique). Certaines Drupes (Mollusques) présentent une stratégie de prédation tout à fait semblable.

Conclusions

D'une façon générale, après destruction des communautés de Madrépores par les houles cycloniques, les pluies importantes ou l'*Acanthaster planci*, il existe 2 possibilités :

Soit, le plus rarement, une recolonisation par les coraux, à condition que la périodicité des destructions ne s'accélère pas. Par ailleurs, cette recolonisation est longue (10-30 ans). Elle est le fait, à l'origine, d'espèces opportunistes à vitesse de croissance rapide et à large distribution.

Soit le plus souvent une installation compétitive des peuplements de substitution à dominance de Zoanthaires, Alcyonaires, Actiniaires ou d'Algues engendrant une phase régressive dans l'évolution des formations récifales.

LES FACIES ÉDAPHIQUES

L'équilibre des composantes écologiques peut être localement perturbé par l'action prépondérante d'un ou plusieurs facteurs édaphiques (hydrodynamisme intense, courants violents, hypersédimentation, turbidité de l'eau, réduction importante de l'éclairement), qui provoquent un déséquilibre au sein des peuplements de Scléractiniaires. A l'inverse des facies de dégradations naturelles et accidentelles, ils présentent une grande stabilité dans le temps. Ils sont cependant très liés à ces derniers dont ils constituent souvent un aspect secondaire, irréversible, d'installation récente ou lointaine.

Les facies à éclaircissement réduit

Les variations qualitatives et quantitatives au sein de peuplements de Scléractiniaires, en fonction de l'abaissement de l'éclairement qui se développent tout au long de la pente externe, se traduisent par une diminution de la couverture corallienne et par l'apparition d'importantes populations de Spongiaires, puis de Gorgonaires et d'Antipathaires (FAURE, 1982).

Les *éponges* constituent l'un des groupes zoologiques les mieux adaptés à l'occupation du substrat disponible et peuvent, par leur abondance, nuire à l'installation, voire éliminer d'autres organismes sessiles.

Au-delà de 35 m et jusqu'aux limites de la zone bathymétrique étudiée (-50, -60 m), on observe une diminution qualitative et quantitative des Eponges.

La dalle sert alors de support à d'importantes communautés de Gorgones et d'Antipathaires, qui deviennent localement dominantes et assimilables à un vrai facies, d'où sont exclus les Madrépores à l'exception des plus sciaphiles (Récif Pointe des Aigrettes, La Réunion - 40 m).

Signification et valeur des facies à base de Spongiaires, Gorgonaires et Antipathaires :

Ce sont des peuplements à tendance sciaphile qui ont une valeur indopacifique dans la limite de la zone intertropicale. Ils doivent être dissociés des peuplements atlantiques à tendance photophile.

Facies à éclaircissement réduit et courants de fonds

Localement, la partie la plus profonde de la pente externe est envahie par des épandages détritiques organogènes grossiers qui constituent des fonds à nodules de mélobésiées ou rhodolithes. Sur la pente externe, les fonds à nodules apparaissent entre -30 et -60 m, chaque fois que se réalisent deux conditions essentielles : conditions hydrodynamiques ou

courantologiques de mode battu, courant de marées, de décharge, de vent dominant, conditions d'éclairement réduit.

Dans les Mascareignes ils sont constitués par des Mélobésiées appartenant aux genres *Lithophyllum* associé à *Lithothamnium*, *Dermatholithon*, *Hydrolithon*, *Lithoporella*. S'y ajoutent, en alternance avec les corallinacées, précitées, des Foraminifères encroûtants (*Maniacina*, *Carpenteria*). Ces nodules sont généralement dissymétriques avec, à la surface supérieure, quelques rares Madrépores et, à la surface inférieure, des Bryozoaires et des Serpulides. D'après MONTAGGIONI (1978), la période séparant 2 retournements de nodules est de 12 à 18 mois. Par ailleurs, BOUCHON (1978) signale qu'une forte houle de 4 à 5 m d'amplitude, associée à une grande longueur d'onde, est suffisante pour mettre en mouvement les nodules jusqu'à une profondeur de 40 m. En dehors de la houle, les nodules ne peuvent être déplacés que sous l'action de courants de fond liés aux marées et aux vents rapides > 2 m/s : les datations effectuées au C14 sur un petit nombre de nodules donnent des âges compris entre 80 et 800 ans environ, la vitesse de croissance varie entre 0,3 et 0,8 mm/an.

Le peuplement de Scléractiniaires apparaît comme très appauvri au niveau des épandages de Rhodolithes. BOUCHON (1978), sur une radiale mentionne la présence de 39 espèces pour une couverture de 2,6 % environ. Ils correspondent à un faciès d'appauvrissement des peuplements de Scléractiniaires, dont ils limitent le développement en occupant l'essentiel du substratum, n'étant pas eux-mêmes (à l'exception des plus grands) colonisables de façon permanente.

Faciès liés au mode

Les parties frontales et supérieures de la pente externe (0-2 m), la plateforme supérieure des éperons (Chapitre I), en mode battu, sont caractérisées par une réduction importante des Madréporaires au profit des algues calcaires qui proviennent de 2 stocks différents : d'une part, les préférentielles de la plateforme supérieure des éperons telles que *Porolithon* *Peyssonellia* (qui en mode battu à très battu représentent 80 % de la couverture du substratum, pourcentage qui peut atteindre 100 % sur les atolls de Bikini et Enewetok (îles Marshall), ou sur certains atolls de la Polynésie Française) ; d'autre part, sur les flancs ombragés des sillons, les préférentielles des biotopes d'éclairement réduit comme *Litophyllum*, *Lithothamnium*.

Faciès lié à la température

Des températures moyennes faibles (19-21°C) sont susceptibles de freiner la vitalité et la calcification des bioconstructeurs comme les Madrépores ainsi que l'installation de genres à fort pouvoir constructeur comme *Porites* et *Synarea*. Il en résulte une absence de véritable édifice récifal comme à Rapa et Marotiri situées à l'extrême Sud (27°30' - 28°) de la Polynésie Française (FAURE, 1985) ou à Lord Howe Island (31°30') en Australie (VERON & DONE, 1979).

LES FACIÈS DE POLLUTION

À côté des nuisances naturelles, le récif fait l'objet d'agressions multiples liées à l'intervention humaine qui, soit renforcent les dégradations naturelles déjà évoquées, soit présentent de nouvelles manifestations et de nouveaux faciès qualifiés de faciès de pollution.

Les premières sont essentiellement d'ordre physique (extraction des coraux, des sables coralliens, pêche à la dynamite...); les secondes, d'ordre chimique (eaux domestiques usées, eaux usées industrielles, hydrocarbure...). Cependant, il n'existe pas, là non plus, de véritables frontières entre les deux. Certains rejets comme ceux des usines sucrières se situent à la limite des dégradations physiques (surcharge des eaux en suspension) ayant pour effet : d'augmenter la turbidité de l'eau provoquant une baisse d'irradiance lumineuse ; de colmater les mécanismes ciliaires de nettoyage et de nutrition des coraux) et chimiques (augmentation de la teneur en matière organique et sels dissous, variation du pH...).

Dégradations d'ordre physique

Extraction des colonies madréporiques

- L'extraction des colonies et agrégats coralliens vivants, à des fins industrielles (fabrication de la chaux nécessaire à la neutralisation de l'acidité des jus de canne à sucre ; construction de routes, de pistes et aménagements aéroportuaires, a fait l'objet à la Réunion (arrêté préfectoral juin 1969) et à Maurice, d'une stricte réglementation. Cette nuisance peut être considérée dans les Mascareignes comme stoppée actuellement. Les dégradations qu'elle a entraîné cependant, sont toujours visibles (région de Saint-Leu à La Réunion) et se traduisent au niveau de la dalle mise à nu par un développement préférentiel des peuplements de substitution (voir dégradations naturelles). Cette extraction demeure cependant active actuellement au Comores, aux Maldives, en Indonésie (Célèbes), malgré les nuisances qu'elle induit.
- L'usage de la dynamite à des fins de pêche, outre les dégâts occasionnés dans les populations de poissons, détruit également de nombreuses colonies de Madrépores qui servent alors de substratum à la faune et à la flore associées. Par ailleurs la majeure partie des poissons tués par ces explosions demeure sur le fond et reste hors d'atteinte.
- L'usage de la barre à mine dans la recherche et la collecte de coquillages, produit des effets analogues.

Extraction des sables coralliens

Ce type d'extraction est fréquent en Polynésie Française (« soupe de corail » de Moorea, Tahiti), à Mayotte (Comores), à l'Ile Maurice... Il provoque la destruction des Coraux par rejet des algues symbiotiques, dépigmentation des parties molles, entraînant finalement la nécrose des colonies. La remise en suspension et l'hypersédimentation qui en résulte modifient également la composition spécifique des Mollusques, Echinodermes, Poissons. Elle détermine également une expansion des peuplements algaux avec parfois début d'eutrophisation, des masses d'eau. La déforestation déjà évoquée provoque une augmentation de la sédimentation fine des lagons et récifs, ayant les mêmes effets que les dragages.

Les centrales thermiques

L'installation de centrales énergétiques en milieu corallien est néfaste aux récifs et aux communautés marines par leur construction même et par le déversement d'effluents à haute température et toxiques à l'occasion. Les pertes énormes d'organismes engendrés par entraînement dans la prise d'eau et la filtration n'ont pas été observées dans les centrales situées sous les tropiques comme dans le cas des centrales des régions tempérées.

Les effets thermiques sont dûs aux déversements des eaux de refroidissement des centrales. Une élévation de 3 à 4°C, détermine les rejets des Zooxanthelles symbiotes et blanchiment des coraux parfois lethal, ainsi qu'une diminution du taux de croissance. Une élévation de 4 à 6°C déclenche une mortalité complète des Madréporaires.

Les déversements toxiques résultent

- 1) de l'utilisation des biocides pour détruire les organismes obstruant les canalisations ;
- 2) d'écoulement divers (fluides, métaux lourds) ;
- 3) de fuites de combustibles ;
- 4) de l'infiltration de substances toxiques issues du système de refroidissement.

Les impacts dus aux systèmes de refroidissement peuvent être atténués en diminuant le nombre d'organismes entraînés dans la prise d'eau et en diminuant la mortalité de ceux qui le sont.

Les effets néfastes liés à la construction de la centrale précédent de plusieurs années son fonctionnement. En revanche, le déversement d'effluents continuera tout au long de son fonctionnement. L'étendue du récif dégradé par les effets thermiques dépendra du volume d'eau de refroidissement utilisé, de la répartition et de l'abondance des espèces et de

plusieurs paramètres physiques et chimiques. L'impact thermique durera tant qu'il y aura production d'énergie. La reconstitution des zones récifales endommagées ne commencera qu'après l'arrêt des déversements. Comme en général les effluents ne détruisent pas la structure même des récifs, les surfaces sont propices à une recolonisation par les coraux après l'arrêt de la centrale. Il semble raisonnable d'espérer un rétablissement de ces communautés récifales (nombre d'espèces) dans les 20 années qui suivent l'arrêt de la centrale, ce qui fait que les effets de la centrale s'étendent sur 50-60 ans.

Bien que la mise en place des structures de prise et d'évacuation des eaux de refroidissement en eau profonde soit onéreuse, elle peut apporter de grands avantages techniques, économiques et environnementaux. La prise d'eau profonde permet d'obtenir des eaux plus froides avec une biomasse d'organismes susceptibles de se fixer dans les canalisations plus faibles qu'en surface.

Les tirs nucléaires (BABLET & PERRAULT, 1987)

Une explosion nucléaire libère une quantité de chaleur considérable et engendre des effets mécaniques particulièrement destructeurs. L'importance relative de ces manifestations est fonction du type de bombe et du lieu d'explosion.

Au cours d'un tir aérien outre la pollution radiologique, une très grande quantité de chaleur est libérée. Les espèces mal abritées sont atteintes directement et une explosion à marée basse détruit plus d'animaux et de végétaux qu'elle ne le ferait à marée haute. Les espèces vivant émergées sur le platier externe et dans le lagon sont détruites ou transformées en chaux sur la face exposée (Madréporaires, Gastéropodes). Les espèces tapies sous les blocs coralliens ou dans l'eau à faible profondeur sont peu ou pas atteintes. Les effets mécaniques se traduisent par une onde de choc et un souffle très violent. L'onde de choc frappe la surface de l'eau ou du sol, une partie est réfléchiée, une autre provoque la formation d'un cratère sur le fond sédimentaire, zone dans laquelle toute vie libre ou fixée est instantanément détruite. Des vagues sont formées qui détruisent les formes coralliennes fragiles, provoquent l'exondation des poissons situés à proximité du rivage et remettent en suspension du sable de fond de lagon ce qui induit une mortalité importante chez certaines espèces et notamment chez les Madréporaires. Dans l'eau la propagation de l'onde de choc tue les poissons ou brise les coraux dans un rayon limité autour du point de tir.

Au cours des tirs sous-marins le dégagement thermique est vite absorbé par le milieu et n'a qu'une portée très limitée. Tout est néanmoins détruit dans les environs immédiats de l'explosion. La propagation de l'onde de choc et la projection d'une colonne d'eau s'élevant à la verticale engendrent une série de vagues concentriques se déplaçant à grande vitesse. Les fonds marins de l'atoll sont modifiés par creusement d'un cratère sur un large diamètre avec dépôts secondaires d'une fine sédimentation vaseuse pouvant atteindre plusieurs mètres. Les conséquences mécaniques et thermiques varient comme pour une explosion aérienne en fonction de la puissance et de la distance.

Dans les tirs souterrains avec confinement de l'explosion dans le socle basaltique, une grande partie de l'énergie est libérée localement. La chaleur n'a aucune action directe sur le biotope corallien. En se réfléchissant à la surface sédiment-air, l'onde de choc provoque la formation d'une écaille qui en retombant engendre un tassement des roches carbonatées sur plusieurs dizaines de centimètres. Elle occasionne des destructions par éboulement ou fracturation des pates coralliennes, dont l'importance dépend de la puissance et de la profondeur du tir. Les formes madréporiques fragiles sont brisées, les formes massives restent intactes ou étant simplement fendues en place, mais le plus souvent provoque des éboulements abrasifs (analogue aux avalanches) sur le flanc des pates. Les sédiments des zones ébranlées sont soulevés et se déposent sur les formes filtrantes qui peuvent mourir par asphyxie.

En conclusion, quelque soit le type d'explosion, la principale conséquence d'un tir nucléaire sur le milieu corallien est de provoquer un important déséquilibre écologique, d'autant plus

marqué qu'on est plus près du point zéro. Ce déséquilibre, après avoir favorisé certaines espèces et notamment les espèces nécrophages s'atténue progressivement. Un état normal se réinstalle par migration de larves ciliées nageuses ou de nouveaux géniteurs, ou par régénération des coraux à partir des individus demeurés intacts. Cette normalisation est lente et demande de longs mois ou années ou parfois des décennies suivant l'importance des dégradations subies.

Dégradations d'ordre chimique

Hydrocarbures

Il est admis que les principaux effets des hydrocarbures sur les peuplements coralliens sont de 3 types :

- 1) destruction in situ des colonies ;
- 2) modification des propriétés physiques de la surface du substratum ;
- 3) perturbations dans la reproduction (diminution de l'émission des gamètes, moindre résistance des *Planula*) et dans le recrutement des jeunes.

Eaux usées d'origine industrielle

Les eaux usées industrielles entraînent des dégradations qui entrent dans le cadre général des eaux usées (voir ci-après) et dans celui des dégradations par surcharge des eaux, en suspensions (voir suspensions). Cependant, on ne connaît pas encore complètement l'impact spécifique de chaque type d'industrie (rejets à dominante organique, acides aminés, lipides, hydrocarbures, à dominante d'ions métal). Des études effectuées sur deux espèces communes, *Montipora verrucosa* et *Pocillopora damicornis* montrent qu'une concentration en cuivre de 0,1 mg/l détermine la mortalité de ces 2 espèces dans un délai inférieur à 6 jours.

Eaux usées d'origine domestique

L'urbanisation intensive et anarchique dans les zones péri-lagonaires, à des fins touristiques, de résidences principales ou secondaires, a entraîné une importante élévation de la consommation en eau. En l'absence de collecteurs d'eaux usées, ces dernières finissent par percoler au travers des sédiments jusqu'au bas des plages où elles constituent un « horizon des sources » riches en ions phosphate, nitrates et en détergents.

Eaux de ruissellement

Les cultures (exemples : canne à sucre, ananas, le maraichage) nécessite l'utilisation (souvent abusive) d'engrais et de pesticides. Le lessivage des sols (eaux de pluies, irrigations) constitue un apport important en ions phosphate et ammonium dans les eaux lagonaires.

Comportement de l'azote inorganique dissous et du phosphore dans les eaux lagonaires

(voir communications de P. CUET et O. NAIM pour plus de détails).

L'azote inorganique dissous (N.I.D.)

Les deux formes principales de l'azote inorganique dissous en milieu aquatique sont l'azote ammoniacal (ou ammonium) et nitrique (ou nitrates). Aux alentours des Seychelles, les concentrations de surface sont de l'ordre de 0,2 à 0,8 micromoles d'azote inorganique dissous par litre (mM.1-1 N.I.D. dans les eaux océaniques).

L'azote ammoniacal (NH_4^+) provient des excréations animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par les algues comme source d'azote, et oxydé en nitrates par les bactéries nitrifiantes.

En eaux côtières non polluées, et en milieu océanique, les concentrations de surface sont généralement inférieures à 1mM.1-1. Dans les estuaires, les concentrations augmentent, traduisant ainsi l'influence de rejets urbains ou agricoles. Lorsqu'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs dizaines de mM.1-1 et l'ammonium devient un bon traceur de la pollution.

L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. En milieu océanique, c'est le support principal de la croissance du phytoplancton (NO_3^- — — — NH_4^+ — — — matière organique — — — NH_4^+ — — — NO_3^-).

Les eaux douces souterraines qui percolent en milieu marin peuvent enrichir celui-ci en nitrates : ce phénomène commence à être documenté en milieu récifal, et peut avoir une origine anthropique ou naturelle (l'azote ammoniacal résultant de la décomposition des organismes végétaux, oxydé à la surface du sol par les bactéries nitrifiantes, pénètre dans l'aquifère à la faveur des pluies).

Les phosphates

Le phosphore est un élément nutritif dont la forme minérale majoritaire (ion orthophosphate PO_4^{3-}) est indispensable à la vie aquatique.

Les concentrations de surface en phosphates sont normalement assez faibles en milieu océanique et en milieu côtier non pollué (de 0,20 à 0,27 mmol l^{-1}) dans les eaux océaniques superficielles.

Dans les estuaires, des concentrations très élevées peuvent être atteintes (plusieurs dizaines de mmol l^{-1}), et ces fortes concentrations, indice d'un enrichissement d'origine domestique (détergents) et agricole, sont considérées comme à l'origine du phénomène d'eutrophisation.

Un enrichissement même modéré en nutriments se traduit dans un premier temps par une augmentation de la production primaire benthique et phytoplanctonique : il peut nuire aux organismes coralliens de manière indirecte, en favorisant la mise en place des algues benthiques, qui vont coloniser les communautés coralliennes et affecter la nutrition, la croissance et la survie des coraux, en bloquant la lumière et en piégeant les particules sédimentaires.

Lorsque des percolations d'eaux douces enrichissent en azote des eaux récifales, l'eutrophisation peut être entraînée par une contamination — même minime — du milieu par des effluents d'origine domestique, typiquement riches en phosphore.

Par ailleurs, des teneurs en phosphates importantes (de l'ordre de 2 mmol l^{-1}) sont réputées néfastes au métabolisme corallien (inhibition de la calcification).

De plus, ces sources d'éléments eutrophisants interviennent comme adjuvant actif dans les détergents. Les peuplements de lagons sont alors soumis à une importante compétition de la part des organismes secondaires associés, tels que les Eponges, les Alcyonaires et les Algues. Trois principaux types de faciès peuvent apparaître :

- Faciès à base de Spongiaires.

À La Réunion les premières manifestations du développement anormal d'une espèce d'éponge datent d'une quinzaine d'années. Cette éponge (*Cliona* sp.) n'attaque les colonies madréporiques que très rarement ; par contre, elle colonise (grâce à une vitesse de croissance supérieure à celle des coraux) entre 40-50 % du substratum disponible, empêchant la fixation de larves et l'édification de nouvelles colonies de coraux. Filtreuse comme l'ensemble des éponges, elle peut en outre utiliser la matière organique dissoute. Dans le lagon elle se développe de façon préférentielle au voisinage des zones de percolation des eaux souterraines.

- Faciès à base de Zoanthaires, Alcyonaires, Actiniaires.

Ces faciès s'observent dans les eaux turbides riches en suspension minérale ou organique. L'installation de ces communautés (dont les colonies de certaines espèces sont de taille plurimétriques à décimétriques) à vitesse de croissance supérieure à celle des Madrépores, marque une phase de régression dans l'édifice récifal.

- Faciès à bases d'algues.

Les faciès algaux de pollution apparaissent principalement durant la saison chaude qui est marquée par une augmentation sensible de la température des eaux des lagons (pouvant atteindre 28-29°C), un défaut de circulation des masses d'eau (chute d'alizés).

Les facies algaux de pollution se substituent aux peuplements de Madrépores dont ils provoquent la nécrose directe par étouffement. De plus, à l'issue de cette eutrophisation proliférante des Algues, s'instaure un cycle de décomposition aérobie qui « pompe » l'O₂ dissous, responsable de la chute d'oxygène observée ; chute préjudiciable à la croissance des quelques colonies madréporiques épargnées par la croissance des Algues. A la reprise de la saison des alizés (Avril-Mai), ces facies disparaissent en totalité ou en partie. Cependant on assiste au cours des années à une extension dans le temps et surtout dans l'espace des facies algaux de pollution, alors que l'urbanisation s'accélère et que la collecte des eaux usées est encore incomplète et pas toujours performante.

Conclusion

L'utilisation rationnelle des récifs coralliens passe en priorité par la connaissance du milieu récifal en tant qu'écosystème. Il faut également connaître quelles sont les dégradations auxquelles ils sont exposés du fait des cataclysmes naturels et par suite des activités humaines ; dégradations qui sont mal connues car elles demeurent souvent inaperçues du plus grand nombre, sauf aux plongeurs sous-marins, pêcheurs et scientifiques.

En accord avec la plupart des auteurs, bien que les coraux ne représentent qu'une petite fraction de la biomasse totale du récif, lorsqu'ils meurent, toute la communauté du récif est vouée à la disparition ou au déplacement de la plupart des espèces, à plus ou moins brève échéance. La tolérance de la communauté récifale dans son ensemble, aux dégradations de la pollution, ne dépasse pas celle de son élément constitutif : le corail.

LE BLANCHISSEMENT DES CORAUX (« Bleaching »)

Historique

Les phénomènes de décoloration-fluorescence, blanchissement qui affectent les coraux (et également les Alcyonaires, Spongiaires, Anémones) sont connus semble-t-il depuis longtemps, puisque au XVIII^e siècle des navigateurs comme LEGUAT à l'Île Rodrigues, avaient remarqué déjà, comme les pêcheurs polynésiens qu'en certaines périodes de l'année, les coraux semblaient « fleurir » en prenant des teintes inhabituelles, bleu pastel, orange vif, rose chair jusqu'au blanc parfait.

Plus près de nous, ce phénomène avait été observé en 1981 à La Réunion suite à une hypersédimentation d'un matériel d'origine terrigène dans le lagon de St-Leu, puis en 82 à La Saline. L'année 1983, nombreuses furent les signalisations du phénomène : La Réunion, Maurice, Mayotte, Les Philippines, la Grande Barrière d'Australie, la Polynésie Française, les Galapagos, les Caraïbes.

La symbiose des coraux

On sait depuis longtemps que les coraux hermatypiques (constructeurs de récifs) renferment dans leurs cellules des algues unicellulaires connues sous le nom de Zooxanthelles à pigment jaune-brun qui photosynthétisent la lumière et se divisent activement à l'intérieur des cellules du corail qui leur sert d'hôte. C'est sur cette symbiose que repose toute la productivité de l'écosystème récifal.

Le premier rôle essentiel des Zooxanthelles

C'est d'extirper (les coraux à l'inverse des animaux supérieurs ne possèdent ni d'appareil excréteur, ni d'appareil circulatoire) puis d'utiliser les déchets d'excrétion des polypes comme le gaz-carbonique, les sulfates, phosphates nitrates, sels d'ammonium etc... qu'elles récupèrent pour leur photosynthèse. En l'absence d'algues symbiotiques, les coraux ne pourraient compter que sur un lent processus de diffusion pour se débarrasser de ces produits solubles ; produits qui par accumulation induiraient la mort des polypes. Par conséquent, le mécanisme photosynthétique des Zooxanthelles a pour 1^{er} résultat le recyclage des déchets des coraux et leur transformation en matière organique. On a pu

calculer par exemple que les 2/3 du carbone nécessaires à la photosynthèse et à la respiration des Zooxanthelles sont recyclés à partir du gaz carbonique issu de la respiration des polypes. Une partie du matériel synthétisé par les algues est ensuite restitué au corail hôte. On a pu mettre en évidence que les composés libérés sont des substances nutritives simples tels que le glycérol, le glucose les acides aminés. Ces composés simples sont utilisés par les polypes soit pour satisfaire leurs besoins énergétiques (par les voies métaboliques), soit pour élaborer des substances plus complexes : protéines, graisses, hydrates de carbone,. En conclusion si les coraux se nourrissent activement aux dépens du plancton, et prélèvent des sels nutritifs dans l'eau de mer, ils sont absolument tributaires des substances chimiques libérées par les Algues.

Le second rôle réside dans la stimulation du taux de calcification du squelette des coraux.

Les Algues (voir ci-avant) fixent le gaz carbonique, fixation qui accroît la concentration d'Ions carbonatés dans les cellules des polypes grâce à une série de réactions en chaîne élevant le pH du liquide cellulaire qui devient plus alcalin. Par précipitation des ions carbonatés en excès sous forme de carbonate de calcium insoluble, le polype ramène son pH à un niveau normal et en même temps édifie son squelette. Par ailleurs, des Zooxanthelles stimulent indirectement la calcification en augmentant la quantité d'énergie disponible pour assurer le transfert actif des ions calcaires vers les sites de calcification.

Pour conclure, on peut dire que si la calcification est avant tout sous l'étroite dépendance d'une enzyme, l'anhydrase carbonique élaborée par le polype qui transforme le gaz carbonique en acide carbonique qui a son tour est transformé en bicarbonate et en carbonate par le polype, la vitesse d'élaboration du squelette en l'absence de photosynthèse algale serait environ 14 fois plus lente.

La présence des Zooxanthelles est également responsable pour l'essentiel de la couleur des coraux.

Ces algues renferment des pigments jaunes, verts, bruns, rouges dont les pourcentages relatifs sont à l'origine de la couleur des parties molles. Il existe cependant des pigments propres aux polypes situés le plus souvent dans l'ectoderme sous la forme de pigments chromatophores.

Mécanisme du blanchissement

Dans une colonie corallienne en bonne santé, la densité des Algues peut doubler tous les dix jours, ce qui dépasse largement le taux de croissance des polypes. De ce fait, ces derniers expulsent alors périodiquement les algues en surnombre au rythme de plusieurs millions de cellules/H/m². Cette expulsion naturelle s'accompagne également d'une expulsion de mucus. Ce qui constitue un apport organique important, à la base de la chaîne alimentaire, puisque utilisée par les organismes hétérotrophes allant du zooplancton aux organismes benthiques filtreurs. Les phénomènes de décoloration fluorescence, blanchissement correspondent à une expulsion anormalement élevée voire totale des microalgues, et si on en connaît les causes essentielles, on ne connaît pas encore par quel mécanisme les polypes passent d'un stade de rejet normal à celui d'une expulsion massive. Par ailleurs, on ne sait pas de façon définitive si les algues qui sont expulsées massivement sont vivantes ou mortes. Y-a-t-il destruction ou et expulsion ? Dans certains cas cependant, le rejet massif est lié à une dégénérescence des Zooxanthelles. Dégénérescence marquée par une augmentation de la taille des vésicules d'accumulation des algues, et la présence d'inclusions (FAURE et al.1984).

Effets

Pendant les périodes de blanchissement, les polypes qui ne peuvent plus compter sur les produits issus de leur symbiose avec les Zooxanthelles vivent sur leurs réserves et s'épuisent avec le temps. On observe également un arrêt de leur croissance squelettique. Certains présentent un allongement important des polypes. Le blanchissement se traduit aussi par une diminution brutale de la teneur en carbone (30 %) d'azote (40 %). Par ailleurs, la

gamétogénèse est inhibée dans la saison qui suit le blanchissement. Le fait qu'une colonie devienne blanche signifie que la quasi totalité des Zooxanthelles a été expulsée, mais pas forcément que la colonie soit morte. Certaines espèces peuvent survivre pendant plusieurs mois (3-4 à Mayotte ; 7 en Floride). Une recolonisation par les Zooxanthelles est possible, la repigmentation leur permet alors de revivre normalement. Ce phénomène a déjà été observé en plusieurs endroits. L'espoir de survie dépend de la durée du stress, de la résistance des espèces qui est variable. Les Acropores sont les plus sensibles (30 % ont été détruits en 91 dans l'Archipel de la Société). L'évaluation de la mortalité n'intervient que lorsque les colonies blanchies sont secondairement recouvertes par un feutrage d'algues filamenteuses ; donc souvent plusieurs semaines voire plusieurs mois après la décoloration. Elle a atteint 80 % - 90 % durant l'épisode ENSO 83 en mer de Java.

Origine du stress

Augmentation de la température

Beaucoup d'auteurs retiennent actuellement le stress thermique comme cause essentielle du blanchissement. Les premières études ont été menées vers 1972 sur les effets thermiques localisés par les Américains à Hawaii, en relation avec l'installation des centrales électriques thermiques et des effets de rejet de leurs eaux de refroidissement en milieu récifal. Une élévation locale de 3 à 4°C de la température déterminerait le rejet des Zooxanthelles symbiotiques et le blanchissement partiel ou lethal des coraux ; une élévation de 6°C détermine la mortalité complète des coraux. Ces études confirment les observations effectuées dès 1928-1929 lors de l'expédition du British Museum sur la Grande Barrière d'Australie.

Cependant les blanchissements observés à l'échelle de la totalité Pacifique, voire de l'ensemble intertropical sont le fait d'anomalies climatiques majeures comme le phénomène ENSO (El NINO Southern Oscillation) dans le Pacifique en 83, 87 et 91. Ce phénomène associe un déséquilibre du champ de pression du Pacifique Sud avec l'apparition d'un courant chaud sur les côtes du Pérou. Des eaux chaudes originaires du Pacifique W et Central refluant vers l'Est du fait de la faiblesse des Alizés déclenche une anomalie thermique de 3-5°Celsius sur une couche d'eau de 70 à 100 m de profondeur ; températures qui sont de 2 à 3° supérieures au maximum estival normal. Cependant sur le plan physiologique, on ignore encore qui de l'hôte ou des algues symbiotiques se trouve à l'origine du blanchissement observé. On ne connaît pas encore le lien réel entre l'élévation de température et la mort des colonies coralliennes.

Pour d'autres auteurs, le facteur lethal serait plutôt lié au rayonnement solaire et à un excès d'UV.

En effet les blanchissements observés sur la G.B.R. en 82 et dans l'Océan Indien en 83 ont eu lieu alors que les températures océaniques étaient normales. De même en 91 en Polynésie Française le phénomène a atteint les formations récifales de l'Archipel de la Société, mais a épargné les atolls des Tuamotus, bien que le champ thermique fut identique à celui de La Société. Le blanchissement observé sur la GBR pendant le 1er trimestre correspond à une période d'ensoleillement exceptionnel (+ 20 %). Or, si le niveau de productivité des coraux implique que les Zooxanthelles bénéficient d'une irradiation solaire optimale, en même temps les coraux s'exposent aux radiations des UV dont on connaît les effets néfastes sur les êtres vivants des bactéries aux vertébrés. On sait que 50 % des UV B (280-320 nm) pénètrent jusqu'à 5 m de profondeur et 10 % jusqu'à 25 m. Normalement les coraux sont protégés des UV par des molécules anti solaires à base d'acides aminés qui bloquent les UV. Cependant cette protection peut être insuffisante si la quantité d'UV B reçue est inhabituelle. Dans le cas de la Polynésie en 91 les Iles de La Société ont subi pendant le 1er trimestre une durée d'insolation excédentaire, alors que pour la même période, la nébulosité sur les Tuamotus était supérieure à la normale. Cet écart d'insolation, pourrait ainsi rendre compte du fait que les récifs de La Société ont été touchés par le phénomène et pas les Tuamotus.

Le phénomène de décoloration fluorescence (qui précède souvent le blanchissement ultime des colonies) déterminé par irradiance aux UV a été découvert par le Dr CATALA en 1950 à l' Aquarium de Nouméa. Ce phénomène serait dû à une activation des pigments chromatophores soudainement exposés à la lumière suite au départ rapide des Zooxanthelles des couches externes des tissus des polypes.

D'autres facteurs comme l'hypersédimentation, les exondations répétées, la diminution de l'éclairement peuvent générer à l'échelle locale des processus de blanchissement sans atteindre l'ampleur des précédents.

Il semble en définitive qu'une synergie entre température océanique élevée et un rayonnement solaire excédentaire rendent compte des phénomènes observés et d'après certains auteurs, l'élévation de la température conjuguée à une forte luminosité activeraient indépendamment certaines enzymes des Zooxanthelles qui à leur tour provoqueraient une augmentation de l'O₂ au sein des tissus coralliens ; teneur en O₂ qui deviendrait alors toxique et létale pour les polypes.

Enfin il faut encore citer parmi les causes de blanchissement, des attaques bactériennes qui sont susceptibles de déclencher une maladie des bandes blanches qui entraîne la lyse des cellules et la nécrose des tissus. Il existe également une maladie des bandes noires. Dans les deux cas l'origine pathogène ne fait plus aucun doute.

CONCLUSION

Pour conclure on peut dire que l'état de santé actuel des récifs n'est pas florissant. En effet, la tendance actuelle va dans le sens d'une augmentation de la fréquence des épisodes ENSO dans le Pacifique, indiquant une tendance au réchauffement de l'océan tropical. La question est de savoir si cette tendance est due ou non à une accélération de l'effet de serre en relation avec les rejets de gaz carbonique et de méthane par les activités anthropiques ? Par ailleurs, d'après de récentes données américaines, l'amincissement de la couche d'ozone (suite à la libération des CFC : Chlorofluorocarbures auxquels s'ajoutent les rejets du Pinatubo (20 millions de tonnes de dioxyde de soufre) qui sert de bouclier aux UV, serait plus rapide que prévu avec une perte de 4-5 % depuis 1978 conduisant à un excès d'UV de 8 à 10 % au niveau de l'océan.

De plus, la menace d'explosions démographiques de l'Astérie de *Acanthaster planci*, prédatrice de coraux qui ont eu lieu dans un passé récent est toujours possible. Les études menées sur la GBR ont montré que le 1/3 des récifs de la GBR avait été attaqué ; que 57 % des récifs attaqués avaient subi une mortalité de 50 %, et que 10 % ont été détruits sur toute leur surface.

Enfin pour être spectaculaire le phénomène de blanchissement ne doit pas nous faire oublier les dégradations liées à l'eutrophisation des eaux et des sédiments, l'augmentation de la turbidité et de l'hypersédimentation qui induisent localement le développement des peuplements de substitution à dominance d'Algues, d'Alcyonaires, d'Eponges au détriment des communautés coralliennes.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BABLET J.P., PERRAULT G.H., « Effects on a coral Environment nucleardetonation. », In : B. SAVALT Eds, Human impacts on coral reefs : Facts and recommendations, 1987, 151-163.
- BOUCHON C., « Etude quantitative des peuplements à base de Scléactiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion. », *Thèse Doctorat 3ème cycle Univ. Aix-Marseille 2*, 1978, 144 pp.
- CUET P., NAIM O., FAURE G., CONAN J.Y., « Nutrient rich groundwater impact on a fringing reef (Reunion island). », *Proc. of the 6th International congress Townsville, Australia.*, 1989, Vol. 2, 207-212.

FAURE G., « Recherches sur les peuplements de Scléactiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes. », *Thèse de Doct. ès Sciences*, 1982, 206 pp + Bibliographie et pl hors texte (vol.1), annexe, 246 pp (vol. 2).

FAURE G. *et al.*, « Sur un phénomène remarquable de blanchiment et de mortalité massive des Madréporaires dans le complexe récifal de Mayotte. », *CR Acad. Sc.*, Paris, 1984, + 299, Série III n°15.

FAURE G., « Reef Scleractinia Corals of RAPA & MAROTIRI French Polynesia (austral islands). », *Proc. Fifth Internat. Coral Reef Congress*, 1985, Vol.6 : 267-272.

FAURE G., « Degradation of coral reefs at Morea island (French Polynesia) by *Acanthaster planci*. », *Journ. Coastal Res.*, 1989, 5 (2), 295-305.

GLYNN P.W., « Coral reef bleaching. », *Coral Reefs*, 1993, vol. 12, n°1, 1-17.

MONTAGGIONI L., « Recherches sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien). », *Thèse Doct. ès Sc.*, 1978, 217 pp + Bibliographie (vol.1), annexes (vol.II).

ROUGERIE F., SALVAT B., TATARATA-COURAUD M., « La mort blanche des coraux. », In : *La Recherche* 245, 1992, vol.23 : 826-834.

VERON J.E.N., DONE T., « Corals and Coral Communities of Lord Howe island. », *Aust. J. of Mar. Freshw.Res.*, 1979, 30, 1-34.

STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS BENTHIQUES ET EUTROPHISATION EN MILIEU CORALLIEN

Odile NAIM

La concentration en sels nutritifs des eaux coralliennes est faible et même fréquemment indétectable (Andrews et Gentien, 1982, Crossland, 1983). Néanmoins, les écosystèmes récifaux comptent parmi les plus productifs de la biosphère : leur production brute (de 1 à 14 g.C.m⁻².j⁻¹) excède largement celle de la majorité des écosystèmes connus (Birkeland, 1984), tandis que leur production nette est extrêmement faible, voire nulle ou négative (Sournia, 1977). Compte-tenu du caractère oligotrophe du milieu ambiant, ceci constitue un paradoxe évident et caractérise la grande originalité de fonctionnement des récifs coralliens.

Comme tout écosystème mature, la biomasse et les flux sont largement contrôlés de l'intérieur grâce à des homéostasies au sein des populations : le taux de recyclage de la matière est très important (on notera en particulier l'apparition d'un recyclage rapide des éléments minéraux tels que l'azote et le phosphore assimilables) et la biomasse ainsi organisée est capable de se maintenir en circuit fermé, longtemps, sinon indéfiniment, si le flux de ressource nutritive vient à tarir.

Ces écosystèmes fournissent donc abondance de ressources au milieu insulaire tropical qui, du fait de son isolement, ne possède que de faibles potentialités naturelles. Néanmoins, la luxuriance des récifs coralliens cache une extrême fragilité : il suffit qu'un stress affecte ces milieux très complexifiés et diversifiés pour qu'un grand nombre d'espèces disparaisse ainsi qu'un grand nombre de liaisons interactives. Ces espèces sont non seulement des espèces fragiles mais aussi des espèces spécialisées dans un rôle précis et qui ne peuvent subsister si le réseau d'interaction auquel elles participent disparaît.

L'EUTROPHISATION EN MILIEU CORALLIEN

Le début des années 1980 est marqué par le recensement de mortalité corallienne de part le monde. Ces signes de dégradation étaient pour la plupart liés à l'enrichissement en sels nutritifs des eaux récifales : l'eutrophisation, répertoriée ponctuellement en Mer Rouge (Fishelson, 1973) et aux îles Hawaii (Banner, 1974) dans les années 1970, se révèle devenir un problème majeur en milieu corallien (Pastorok et Bilyard, 1985, Tomascik et Sander, 1987, Rose et Risk, 1985, Bell, 1992). En milieu corallien, des eaux présentant une concentration en phosphates > 1 µM/l sont considérées comme eutrophes (Smith et al., 1981). L'arrivée de cette ressource nutritive excédentaire déséquilibre le rapport entre espèces par la prépondérance que prennent alors les espèces opportunistes.

La structure des communautés benthiques en milieu dystrophique a été bien étudiée en Mer Rouge (Fishelson, 1993, Mergner, 1981, Walker et Ormond, 1982) où le déversement chronique de phosphates en milieu corallien lors du chargement des bateaux en cette substance précieuse constitue une pollution grave. Aux Hawaii, l'apport massif d'eaux usées en zone récifale a également conduit les équipes de recherche à étudier la modification de ces structures des peuplements benthiques en relation avec la physico-chimie des eaux (Smith et al., 1981, Maragos et al., 1985). Plus tard, le terme « *nutrient-regulation* » a été introduit par Atkinson (1988) pour décrire les changements dans les caractéristiques des communautés liés à un enrichissement en sels nutritifs des eaux excédant les conditions naturelles.

Les effets de la pollution d'origine domestique et industrielle en milieu récifal, montrent que la tolérance des communautés de Madréporaires à toute perturbation de leur environnement naturel est extrêmement faible (Pastorok et Bilyard, 1985). De plus, les effets inhibiteurs ou létaux des substances toxiques pourraient être amplifiés par les températures souvent élevées des eaux qui baignent ces écosystèmes. Par ailleurs, l'« immobilité » des organismes sessiles que sont les Scléactiniaires les expose encore plus aux variations de conditions de milieu. Enfin, du fait des interrelations particulièrement étroites qui lient les espèces entre elles, la disparition d'une espèce entraîne très vite un effet en cascade provoquant la disparition des espèces qui lui sont étroitement liées.

LE CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET SCIENTIFIQUE DES RÉCIFS RÉUNIONNAIS

A la Réunion, les bioconstructions sont de faible étendue (12 km²), en regard de celles des îles sœurs de l'Archipel des Mascareignes : 300 km² pour l'île Maurice, 200 km² pour l'île Rodrigues. Néanmoins, ces unités récifales frangeantes se caractérisent par une grande diversité d'aspect et par la polyspécificité des bioconstructeurs. Faure (1982) recensait plus de 200 espèces de Madréporaires à la Réunion : aussi est-il de tradition universitaire depuis 1967 d'étudier les écosystèmes récifaux. Huit thèses ont été préparées sur un thème récifal (Montaggioni, 1978, Bouchon, 1978, Ribes, 1978, Faure, 1982, Guillaume, 1988, Cuet, 1989a, Letourneur, 1992, Chabanet, 1994). Ce suivi régulier des communautés coralliennes permettait de mettre en évidence en 1983 une dégradation brutale et de grand ampleur des peuplements de bioconstructeurs (Guillaume et al., 1984). Les recherches se sont alors focalisées sur l'étude du fonctionnement de l'écosystème récifal afin de mieux comprendre les modalités de déstructuration de cet écosystème lorsqu'il est soumis à l'impact de dégradations d'origine naturelle ou de polluants résultant de l'activité anthropique.

LA SIGNATURE DE L'EUTROPHISATION SUR LES RÉCIFS RÉUNIONNAIS

A la Réunion, certains récifs coralliens ne subissent que très ponctuellement l'influence des eaux superficielles (Cuet et Naim, 1989). Or l'étude des caractéristiques des eaux de ces unités récifales (Cuet, 1989a) a montré que les eaux souterraines qui percolent en bas de plage lors des basses marées (cycle semi-diurne) enrichissent les zones bioconstruites non seulement en silicium réactif mais en sels nutritifs (nitrates, phosphates, ammoniacque) : l'hypothèse d'une contamination en sels nutritifs des eaux souterraines au cours de leur transit dans la zone urbanisée a donc été très vite avancée (Cuet, 1989a).

Afin de clarifier les changements à long terme des communautés benthiques soumises à ces apports de sels nutritifs, nous avons tout d'abord cartographié les biocénoses dominantes (Naim, 1989) des compartiments épi- et post-récifaux (selon Battistini et al., 1975). Puis, nous avons ensuite comparé les modes de répartition des biocénoses avec les cartes de physico-chimie instantanée (Cuet, 1989b).

La comparaison de ces deux types de cartes montre que dans certains cas, une excellente corrélation entre la répartition des faciès de dégradation et l'extension des eaux souterraines sur les platiers récifaux (Cuet et al., 1988). Ces faciès de dégradation (Naim, 1993) sont caractérisés par la présence de coraux malades, ou en voie de mortalité, d'une grande abondance de Cyanophycées et de très fortes biomasses algales (Semple, en prep.), accompagnées d'un développement important des bioérodeurs. Aussi, selon les définitions avancées par Hallock (1988), ces platiers récifaux constituent un exemple d'écosystème mésotrophe tendant à être eutrophe en saison chaude. Les platiers récifaux situés en regard des lieux-dits du Club Med, de Planch'alizés et du Camp Militaire, à la Saline présentent en tous points ce type de dysfonctionnement. Dans ces milieux, les Cyanophycées semblent jouer un rôle prépondérant ; fixatrices d'azote atmosphérique, il est probable que leur

croissance soit favorisée par le phosphore véhiculé par les eaux souterraines (Cuet, comm. pers.) : les populations d'espèces éphémères se succèdent alors à une fréquence accélérée (Naim, 1993). La sénescence rapide et donc massive de leurs filaments enrichit alors, sans nul doute, le milieu en éléments nutritifs, se présentant sous forme organique ou particulaire. (2) Dans d'autres cas, l'enrichissement des eaux récifales en sels nutritifs véhiculés par les eaux souterraines ne suffit pas à expliquer les dégradations observées. A l'Etang-Salé, une pollution extérieure au récif corallien affecte le platier bioconstruit par le biais d'un apport de matière organique en saison hivernale (rejets de débris de canne à sucre issus d'une distillerie), (Cuet et Naim, 1994).

De plus, sur le platier de l'Etang-Salé, il apparaît que les fortes teneurs en nitrates véhiculées par les eaux souterraines ne favorisent pas une forte croissance algale si ces fortes concentrations ne s'accompagnent pas de teneurs élevées en phosphates (Cuet et Naim, 1994).

Enfin, si nitrates et phosphates sont présents en grande quantité dans le milieu, d'autres facteurs, de nature physique (hydrologie dominante) ou biologique (pression de consommation des herbivores, par exemple) peuvent également limiter l'extension de la biomasse algale (Bell, 1992). A l'inverse, une forte biomasse algale n'est donc pas forcément synonyme de pollution (régénération naturelle de sels nutritifs, consommation réduite par les herbivores). Aussi, afin de déceler une éventuelle eutrophisation d'origine anthropique, l'analyse rapide du milieu corallien n'est pas suffisante : l'étude couplée de la physico-chimie des eaux et des biocoenoses benthiques est nécessaire et doit absolument se doubler d'un suivi régulier et permanent de sites témoins et en dysfonctionnement.

En résumé, l'arrivée de sels nutritifs excédentaires dans la masse d'eau oligotrophe qui baigne le récif corallien déstructure l'écosystème qui vivait jusqu'alors quasiment en circuit fermé. La production nouvelle domine immédiatement la production de régénération et les espèces opportunistes comme certaines algues et éponges, prennent le pas sur les espèces caractéristiques de l'écosystème que sont les Madréporaires. Les « faciès de dégradation » sont alors caractérisés par la prépondérance d'espèces à croissance et reproduction rapides et la persistance d'espèces résistantes. Rapidité de multiplication et robustesse spécifique sont les critères sélectifs qui prévalent dans tous les cas. De plus, les peuplements de bioérodeurs se développent aux dépens des bioconstructeurs (obs.pers.).

Le taux de recyclage de la matière diminue considérablement. Fort heureusement, grâce aux courants, la totalité de la biomasse s'accumule rarement sur place, ce qui évite au milieu d'être totalement asphyxié comme peut l'être un milieu naturel fermé (étang, lac...). Évacuée par les courants au fur et à mesure qu'elle se forme, la matière organique excédentaire est en quelque sorte « digérée » par l'écosystème extérieur (océan, plage, mangrove...).

Enfin, les taux de calcification de l'écosystème mésotrophe ou eutrophe diminuent considérablement. Sur le platier récifal de la Saline (face au lieu-dit de Planch'alizés), Cuet (1989a) donne un bilan de calcification de l'ordre de 0,5 à 1 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$, alors que la majorité des résultats relevés sur les platiers récifaux similaires sont compris entre 2,7 et 4,6 kg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ (Kinsey, 1985). L'accroissement des processus de dissolution vraisemblablement liés à la bioérosion apparaît responsable de cet état de fait.

CONCLUSION

A la Réunion, la connaissance et le suivi régulier des unités coralliennes (qui date de 26 ans) permettent de mieux cerner la régression des bioconstructeurs et de faire la part des dégradations liées soit aux activités anthropiques soit aux variations naturelles des conditions de milieu. L'analyse de la distribution des agents polluants et de leurs effets biocœnotiques devrait permettre d'établir une liste de bio-indicateurs ou indicateurs biologiques de pollution, et d'espèces sentinelles, espèces présentant une hyperréaction à de très faibles concentrations de toxique pour lesquelles la communauté ne présente aucune

réaction apparente. Cette connaissance constitue un outil nécessaire à une gestion optimale de ces écosystèmes de plus en plus menacés.

Ainsi, de part leur faible extension, les récifs coralliens de la Réunion constituent de véritables laboratoires naturels où l'on peut appréhender relativement aisément les phénomènes de dégradation. La mise en œuvre de modèles explicatifs, applicables à des systèmes récifaux plus vastes et plus complexes, permet d'orienter les prises de décisions pour l'aménagement du littoral et la conservation de la biodiversité.

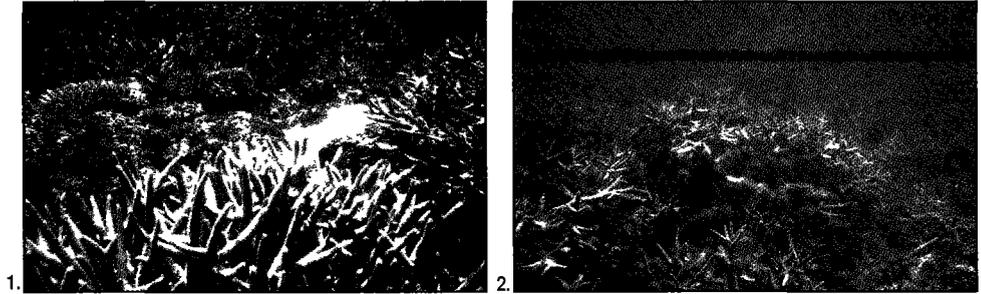
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREWS J.C., GENTIEN P., « Upwelling as a source of nutrients in a lagoonal patch reef. », *Limnol.oceanogr.*, 1982, **28** (2), 215-227.
- ATKINSON M.J., « Are coral reefs nutrient-limited ? », *Proc.6th Intern., Coral Reef Symp.*, Townsville, 1988, **1**, 157-166.
- BANNER A.H., « Kaneohe Bay, Hawaii : urban pollution and a coral reef ecosystem. », *Proc. 2nd Intern. Coral Reef Symp.*, Brisbane, 1974, **2**, 685-702.
- BATTISTINI R., BOURROUILH F., CHEVALIER J.-P., et al, « Eléments de terminologie récifale Indo-Pacifique. », *Téthys*, 1975, **7** (1), 1-111.
- BELL P.R.F., « Eutrophication and coral reefs. Some examples in the Great Barrier Reef lagoon. », *Wat. Res.*, 1992, **26** (5), 553-568.
- BIRKELAND C., « Influence of topography of nearby land masses in combination with local water movement patterns on the nature of nearshore marine communities. », In : Unesco reports in marine science, 1984, **27**, 16-31.
- BOUCHON C., « Etude quantitative des peuplements à base de Scléactiniaires d'un récif frangeant de l'île de la Réunion (Océan Indien). », *Thèse de 3ème cycle*, Univ.Aix-Mars., 1978, **II**, 1-125.
- CHABANET P., « Etude des relations entre les peuplements coralliens et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles la Saline. » *Thèse en Environnement marin*, Univ. Aix-Marseille III, 1994, 1-200.
- CROSSLAND C.J., « Dissolved nutrients in coral reef waters. », In : BARNES, D.J. ED., *Perspectives on coral reefs*, Brian Clouston Publ., AIMS, Australia, 1983, p. 56-68.
- CUET P., « Influence des résurgences d'eaux douces sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion (Océan Indien). », *Thèse en Chimie de l'Environnement*. Univ. Aix-Mars. III, 1989a, 1-291.
- CUET P., « Les platiers récifaux à la Réunion. Qualité des eaux. », *Rapport Université Réunion - Agence d'Urbanisme de la Réunion*, 1989b, 150 pp.
- CUET P., NAIM O., « Les platiers récifaux à la Réunion. Bilan des dégradations de l'écosystème récifal. », *Rapport Université Réunion - Agence d'Urbanisme de la Réunion*, 1989, 20 pp.
- CUET P., NAIM O., « Analysis of a blatant reef flat degradation in La Reunion Island (l'Etang-Salé fringing reef). », *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp. Guam.*, 1994, 307-316.
- CUET P., NAIM O., FAURE G., CONAN J.-Y., « Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of la Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean) : preliminary results. », *Proc.6th Intern. Coral Reef Symp.*, Townsville, 1988, 207-212.
- FAURE G., « Recherche sur les peuplements de Scléactiniaires des récifs coralliens de l'Archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). », *Doct. ès Sciences*, Univ. Aix-Marseille II, 1982, **1**, 1-206 + 1 vol. annexes.

- FISHELSON L., « Ecology of coral reefs in the Gulf of Aqaba (Red Sea) influenced by pollution. » *Occologia*, 1973, **12**, 55-67.
- GUILLAUME M., « La croissance du squelette de *Porites lutea*, scléactiniaire hermatypique, sur le récif frangeant de la Saline, Ile de la Réunion, Océan indien. », *Thèse en Océanologie biologique*, Univ. Aix-Marseille II, 1988, 1-254.
- GUILLAUME M., PAYRI C.E., FAURE G., « Blatant dégradation of coral reefs at la Reunion island (West Indian Ocean). », *Intern. Soc. for Reef Studies*, Nice, 1988, 28.
- HALLOCK P., « The role of nutrient availability in bioerosion : consequences to carbonate buildups. », *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 1988, **63**, 275-291.
- LETOURNEUR Y., « Dynamique des peuplements ichtyologiques des platiers récifaux de l'île de La Réunion. », *Thèse en Océanologie biologique*, Univ. Aix-Marseille II, 1992, 1-244 + annexes.
- MARAGOS J.E., EVANS C., HOLTHUS P., « Reef corals in Kaneohe Bay 6 years before and after termination of sewage discharges (Oahu, Hawaiian archipelago). », *Proc. 5th Intern. Coral Reef Congr.*, Tahiti, 1985, **4**, 189-194.
- MERGNER H., « Man-made influences on and natural changes in the settlement of the Aqaba reefs (Red Sea). », *Proc. 4th Intern. Coral Reef Symp.*, Manila, 1981, **1**, 193-207.
- MONTAGGIONI, « Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental). *Thèse ès Sciences*, Univ. Aix-Mars.II, 1978, 1-212 + 1 vol. annexes.
- MONTAGGIONI L.F., FAURE G., « Les récifs coralliens des Mascareignes (Océan Indien). », *Coll. Travaux du Centre Universitaire*, Univ. Réunion, 1980, 1-151.
- NAIM O., « Les platiers récifaux de la Réunion. Géomorphologie, contexte hydrodynamique et peuplements benthiques. », *Rapport Université de la Réunion - Agence d'Urbanisme de la Réunion*, 1989, 150 pp.
- NAIM O., « Seasonal responses of a fringing-reef community to eutrophication (Reunion Island, Western Indian Ocean). », *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1993, **99**, 137-151.
- PASTOROK R.A., BILYARD G.R., « Effects of sewage pollution on coral reef communities. », *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1985, **21**, 175-189.
- RIBES S., « La macrofaune vagile associée à la partie vivante des Scléactiniaires sur unrécif frangeant de l'île de la Réunion (Océan Indien). », *Thèse 3ème cycle*, Univ. Aix-Mars.II, 1978, 1-167.
- ROSE C.S., RISK M.J., « Increase in *Cliona delithrix* infestation of *Montastrea cavernosa* heads on an organically polluted portion of the Grand Cayman fringing reef. », *Mar. Ecol.*, 1985, **6** (4), 345-363.
- SEMPLE S., « Macroalgal biomass and cover of two sections of fringing reef subject to different levels of nutrient enrichment, (Reunion Island, south western Indian Ocean). », in preparation.
- SMITH S.V., KIMMERER W.J., LAWS E.A., BROCK R.E., WALSH T.W., « Kaneohe Bay sewage diversion experiment : perspectives on ecosystem responses to nutritional perturbation. », *Pacif. Science*, 1981, **35** (4), 279-395.
- SOURNIA A., « Analyse et bilan de la production primaire dans les récifs coralliens. », *Oceanis*, 1977, **8** (4), 319-328.
- TOMASCIK T., SANDER F., « Effects of eutrophication on reef-building corals. II. Structure of scleractinian coral communities on fringing reefs, Barbados, West Indies. », *Mar. Biol.*, 1987, **94**, 53-75.
- WALKER D.I., ORMOND R.F.G., « Coral death from sewage and phosphate pollution at Aqaba, Red Sea. », *Mar. Poll. Bull.*, 1982, **13** (1), 21-25.

Exemples de faciès de dégradation liés à l'eutrophisation, pris à l'île de la Réunion

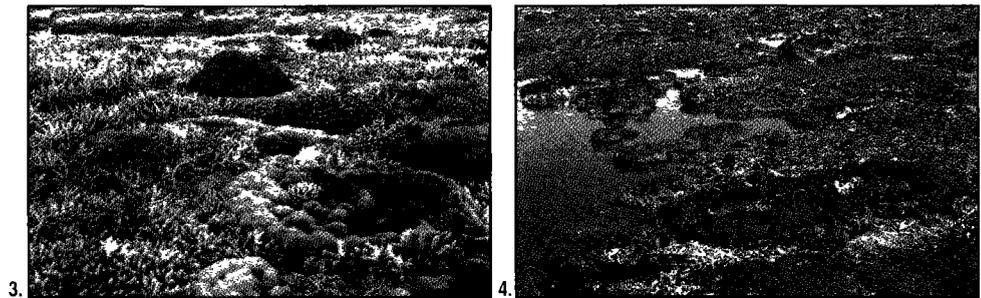
Dégradation du platier récifal de la Saline



Photographie 1 (L.F. Montaggiou) : Le platier récifal de la Saline en 1978 : des *Madrépores branchus* luxurants caractérisent ce platier (Bouchou, 1978, Faure, 1982).

Photographie 2 (O. NAIM) : Le platier récifal de la Saline en 1987 : les mêmes *Madrépores branchus* sont envahis par les macroalgues et par de petites algues filamenteuses (« gazons ») (Naim, 1993) défendus activement par le poisson *Pomacentridae Stegastes nigricans* (Letourneur, 1992).

Dégradation du platier récifal de l'Etang-salé



Photographie 3 (G. Faure) : Le platier récifal de l'Etang-Salé lors d'une émergence liée à une très grande marée basse en 1981 : le platier bioconstruit est caractérisé par une population de *Porites lutea* se présentant sous forme de micro-atolls et d'une grande abondance de *Madrépores branchus* (Faure, 1982).

Photographie 4 (O. NAIM) : Le platier récifal de l'Etang-Salé lors d'une émergence liée à une très grande marée basse en 1992 : les micro-atolls de *Porites lutea* sont extrêmement dégradés et les *Madrépores branchus* ont disparu (Cuet et Naim, 1993)

SOURCES DE L'ENRICHISSEMENT EN SELS NUTRITIFS DE L'ÉCOSYSTÈME RÉCIFAL À LA RÉUNION : IMPACT DES EAUX SOUTERRAINES

Pascale CUET

L'impact des effluents domestiques ou industriels sur les communautés coralliennes relève de trois mécanismes indépendants (mais en interaction) : enrichissement en sels nutritifs, hypersedimentation, et effet toxique de certains polluants.

Les travaux menés actuellement à la Réunion portent essentiellement sur le premier de ces phénomènes.

Les expériences de Kinsey et Domm (1974) sur un micro-atoll de la Grande Barrière Australienne ont montré qu'à court terme (huit mois), l'enrichissement expérimental en sels nutritifs des communautés coralliennes ($20 \mu\text{M N uréique.l}^{-1}$, $2 \mu\text{M PO}_4^{3-}.\text{l}^{-1}$) provoque un accroissement modéré (50% environ) de la production nette benthique, sans altérer nettement la structure des communautés.

En revanche, cette structure peut être affectée à long terme, comme à Kaneohe Bay (Hawaii), où Smith *et al.* (1981) attribuent les profondes modifications subies par l'écosystème à un enrichissement en sels nutritifs, plutôt qu'aux autres conséquences possibles des rejets directs d'eaux usées effectués durant près de trente ans dans la baie (toxicité, demande biochimique en oxygène accrue...).

Les phénomènes observés aux Hawaii (accroissement de la biomasse algale et développement de populations d'organismes filtreurs, diminution de l'abondance et de la diversité des espèces coralliennes) sont fréquemment décrits à la suite de pollutions chroniques de l'écosystème récifal (Pastorok et Bilyard, 1985). Ils ont été notés dès le début des années quatre-vingt à la Réunion, et en partie quantifiés (Guillaume *et al.*, 1983 ; Cuét *et al.*, 1989 ; Cuét et Naïm, 1994 ; Naïm, 1993).

LES SOURCES POTENTIELLES D'ENRICHISSEMENT EN SELS NUTRITIFS

Le rejet en mer des vinasses de l'usine sucrière du Gol (540 kg d'azote total Kjeldahl par jour, cent jours par an, en 1986 - source D.D.A.S.S.) est tenu pour responsable de la dégradation du platier récifal externe de l'Etang-Salé (Cuét et Naïm, 1994). Une station d'épuration a récemment été mise en place pour traiter ces effluents. D'autres stations traitent les effluents d'origine domestique des zones urbaines de St-Gilles La Saline, St-Leu et l'Etang-Salé. Seuls quelques émissaires déversent encore des effluents bruts d'origine urbaine (partie médiane du récif frangeant de St-Pierre) ou industrielle (ferme d'élevage de tortues marines de St-Leu) sur les récifs de la Réunion.

En revanche, l'urbanisation des zones littorales et la construction des routes ont accru le volume des rejets d'eaux pluviales (du fait de l'imperméabilisation des sols), et modifié le trajet naturel des écoulements. Des buses d'écoulement ont été implantées en dehors des sites naturels de débouché d'eaux douces (ravines), et déversent directement dans la zone d'arrière-récif (hormis sur le récif de La Saline) des eaux polluées par des matières en suspension et des métaux lourds (plomb de l'essence...).

De plus, durant la saison cyclonique, les ravines peuvent transporter jusqu'à la mer les déchets provenant de décharges sauvages ou mal contrôlées (destruction totale du récif de

St-Pierre en 1989 à la suite du cyclone Firinga). En dehors de cette situation extrême, le lessivage des sols par les eaux superficielles (ruissellement) peut provoquer un enrichissement notable des eaux récifales en phosphates au début de la saison des pluies (Marsh, 1977).

Cependant, les eaux superficielles ne sont pas le seul vecteur potentiel d'enrichissement en sels nutritifs des eaux récifales. Les eaux douces souterraines s'écoulent également sur les récifs de la Réunion, selon des modalités précisées par Join *et al.* en 1988.

A La Saline, les coulées basaltiques et tufs volcaniques issus du massif du Piton des Neiges sont recouverts de dépôts détritiques d'origine essentiellement corallienne sur une largeur d'environ deux kilomètres. La série volcanique est aquifère, et la recharge de la nappe, dite « nappe des basaltes », s'effectue sur les hautes pentes du massif selon un bassin versant mal défini. Cette nappe émerge en mer au delà de la barrière récifale, et alimente la nappe sus-jacente contenue dans les niveaux détritiques coralliens (« nappe des sables »), à la faveur de discontinuités dans le niveau imperméable séparant les deux nappes. La « nappe des sables » ressortit dans la zone d'arrière-récif, où l'on détecte aisément l'intrusion des eaux souterraines à l'aide de mesures chimiques (voir les traceurs utilisés ci-dessous).

TRACEURS ET VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DES APPORTS D'EAUX SOUTERRAINES

Variations saisonnières

Un premier « traceur » des eaux douces est bien évidemment constitué par une diminution de la salinité des eaux récifales par rapport à la salinité des eaux océaniques.

En saison sèche, la salinité des eaux océaniques superficielles localisées au large de la Réunion est en moyenne de 35,2 ‰¹ (Gamberoni *et al.*, 1984), et de 35,11 ± 0,02 ‰ à l'ouest sud-ouest de l'île (Leroy et Barbaroux, 1980). Elle ne varie pas significativement d'une saison à l'autre, bien que les précipitations puissent entraîner une certaine dispersion des valeurs de surface en saison des pluies (Leroy et Barbaroux, 1980). A la Saline, on observe à cette époque de l'année des salinités inférieures à 35,1 ‰ (de 0,1 à 0,2 ‰) sur le front récifal, qui sont dues à l'émergence de la nappe, ou à la dessalure des eaux océaniques superficielles entraînée par les précipitations.

On trouve fréquemment des valeurs encore inférieures dans la zone d'arrière-récif (jusqu'à 31,73 ‰ en 1992-93 à la Saline, à proximité du rivage). La salinité y présente des variations saisonnières plus ou moins marquées. La recharge de la nappe à la faveur de pluies explique les baisses de salinité observées en début d'année dans les eaux récifales. La salinité retrouve en juin une valeur proche de celle des eaux océaniques superficielles, suivant le tarissement progressif de la nappe jusqu'à son régime d'étiage. D'avril à novembre, la présence des alizés favorise le brassage et le renouvellement des eaux récifales, contribuant vraisemblablement à minimiser l'impact des eaux souterraines.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Lewis (1987) aux Barbades, qui observe des apports d'eaux souterraines plus importants en saison des pluies qu'en saison sèche.

La silice comme traceur des eaux souterraines

Un autre indice de l'intrusion des eaux souterraines est constitué par la teneur en silice des eaux récifales. Les eaux océaniques superficielles localisées au large de la Réunion sont pauvres en silice (en moyenne 3 µM.l⁻¹ en baies de St-Paul et de la Possession en septembre-octobre 1985 ; Anonyme, 1986) ; les eaux de pluie n'en contiennent également que des

1. La salinité s'exprime en « grammes de substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée » (« ‰ »)

quantités minimales. En revanche, les eaux souterraines s'enrichissent en silice au cours de leur transit dans les séries volcaniques : on y observe le plus souvent des concentrations de l'ordre de 500 à 1000 $\mu\text{M.l}^{-1}$ de silice.

Les eaux récifales sont généralement d'autant plus riches en silice qu'elles sont moins salées (avec des corrélations inverses statistiquement significatives) : les défauts de salinité observés résultent donc bien de l'intrusion d'eaux souterraines (et non de précipitations).

Dans la gamme de salinités observée dans les eaux récifales, la silice se comporte de manière « conservative », c'est-à-dire que sa concentration dans les eaux récifales semble uniquement résulter des processus physiques du mélange des eaux océaniques et des eaux souterraines. Les données expérimentales se répartissent le long d'une droite, analogue à la « droite de dilution théorique » définie par Liss (1976) en milieu estuarien, et dont les deux extrémités correspondent aux caractéristiques des eaux océaniques, et à celles des eaux douces.

En théorie, une telle droite ne peut être observée que si aucun phénomène biologique (assimilation ou régénération) n'altère la concentration de l'élément considéré dans le mélange. Or la silice est un « élément nutritif », indispensable à la croissance d'un certain nombre des organismes récifaux, diatomées (algues constitutives du phytoplancton) et éponges siliceuses (*Cliona inconstans* par exemple) notamment. Le comportement conservatif de la silice vis-à-vis de la salinité démontre que la concentration en silice des eaux récifales est en premier lieu contrôlée par les processus physiques de mélange, et non par les phénomènes biologiques (Smith, 1984). L'assimilation et/ou la régénération, vraisemblablement limitées du fait de la faible abondance des organismes consommateurs de silice dans l'écosystème, sont masquées par les apports continus de silice au sein du système et le renouvellement fréquent des eaux récifales. La silice peut donc être considérée comme un bon traceur de l'intrusion des eaux souterraines.

Variations spatiales

La géomorphologie et la courantologie récifales conditionnent le devenir des eaux souterraines qui s'écoulent dans la zone d'arrière-récif, expliquant les variations spatiales de la salinité et de la teneur en silice des eaux récifales.

A l'Etang-Salé (Cuet et Naïm, 1994), les salinités minimales sont toujours mesurées dans les sources sous-marines localisées dans l'anse sud du récif (jusqu'à 8,0 ‰ en saison des pluies 1991). Sous l'action des courants dominants, les eaux issues de ces sources transitent dans l'arrière-récif en direction du nord, et sont évacuées par la fausse passe. Elles se mélangent progressivement avec les eaux océaniques provenant du front récifal. Il en résulte un gradient de salinité le long du rivage, et seules les communautés coralliennes de la zone interne du platier sont affectées de manière notable.

De la même manière, à la Saline (Cuet *et al.*, 1989), les eaux dessalées issues des sites discontinus de résurgence d'eaux douces identifiés en bas de plage s'écoulent généralement dans la zone d'arrière-récif en direction de l'une ou l'autre des passes, à proximité desquelles elles affectent notablement la zone bioconstruite. Cependant, dans les parties sud et médiane du récif, elles sont drainées par les multiples déversoirs perçant la barrière récifale en direction du milieu océanique, se répandant ainsi sur le platier.

APPORTS DE SELS NUTRITIFS PAR LES EAUX SOUTERRAINES

Nitrates

A La Saline, la concentration en nitrates des échantillons prélevés dans la zone d'arrière-récif sur vingt-quatre heures est parfaitement corrélée à leur teneur en silice. On observe des résultats similaires pour les échantillons (arrière-récif et zone bioconstruite) prélevés durant plus d'un an à intervalles réguliers.

Ces données démontrent sans ambiguïté que les eaux souterraines constituent une source potentielle d'azote pour l'écosystème. Ce phénomène a également été signalé à la Jamaïque (D'Elia *et al.*, 1981), à Guam (Marsh, 1977), et aux Barbades (Lewis, 1987).

Pour les échantillons prélevés dans la zone bioconstruite sur vingt-quatre heures, la corrélation nitrates-silice demeure significative, malgré une dispersion plus importante des données expérimentales. L'impact des eaux souterraines se fait donc encore sentir à ce niveau.

Cependant, la teneur en nitrates des eaux du platier est modifiée par les différents phénomènes métaboliques inclus dans le cycle de l'azote (Wiebe, 1985).

De l'azote atmosphérique est fixé par les cyanophycées, puis relargué sous forme organique et inorganique dissoute. L'ammoniacque et les nitrates (via le système des nitrate et nitrite réductases) sont assimilés par les populations algales et les organismes symbiotiques. Une régénération bactérienne d'azote ammoniacal s'effectue à partir de la matière organique particulaire, et fournit, au même titre que l'excrétion, le substrat nécessaire à la nitrification (oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates par les bactéries nitrifiantes). Les nitrates sont réduits en azote moléculaire N_2 (dénitrification) par certains procaryotes qui utilisent l'azote nitrique comme accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène en conditions anoxiques ou quasi-anoxiques.

Tous ces processus se superposent aux simples effets du mélange des eaux océaniques et des eaux souterraines, et contribuent à « masquer » l'impact des eaux souterraines sur la teneur en nitrates des eaux de la zone bioconstruite.

A l'Etang-Salé, l'ordonnée à l'origine de la droite de corrélation qui relie la teneur en nitrates des eaux récifales et leur salinité, supposée représenter la concentration en nitrates des eaux souterraines (D'Elia *et al.*, 1981), se révèle quatre fois plus importante cinq jours après le passage de la dépression tropicale Erinesta (1986), qu'au cours du mois précédent.

L'enrichissement en nitrates des eaux souterraines s'effectue donc à la faveur des pluies, ce que confirment différentes mesures effectuées dans la nappe superficielle de la Saline. Dans le secteur de l'Hermitage, la teneur en nitrates des eaux souterraines accuse des variations saisonnières marquées : les teneurs en nitrates, minimales en fin de saison sèche, atteignent leur maximum (de l'ordre de $900 \mu M.l^{-1}$) en fin de saison des pluies.

Des concentrations du même ordre de grandeur ont été mesurées dans les eaux souterraines des Barbades, et attribuées à l'usage des engrais azotés et à la pollution liée à l'urbanisation (Lewis, 1985).

Cependant, une partie de l'azote nitrique présent dans les eaux souterraines a vraisemblablement une origine naturelle. L'azote ammoniacal résultant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux est oxydé à la surface du sol par les bactéries nitrifiantes. Les ions nitrates ainsi produits, très mobiles, pénètrent dans l'aquifère à la faveur des pluies. Les nitrates contenus dans l'eau de pluie, concentrés à la surface du sol par des phénomènes d'évaporation, pourraient également contribuer à ces apports d'azote au sein des eaux souterraines (D'Elia *et al.*, 1981).

Phosphates

La teneur en phosphates des eaux souterraines de la Saline demeure relativement constante au cours de l'année. Jusqu'à la construction de la station d'épuration, les effluents domestiques, typiquement riches en phosphore, étaient éliminés par l'intermédiaire de puisards et de fosses septiques, contaminant vraisemblablement la nappe superficielle, proche de la surface du sol.

La concentration en phosphates des échantillons prélevés dans la zone d'arrière-récif de la Saline sur vingt-quatre heures est corrélée (bien que de manière moins significative que dans le cas des nitrates) à leur teneur en silice. On démontre ainsi que les eaux souterraines

enrichissent également les eaux récifales en phosphore. Ce résultat semble original par rapport aux données de la littérature (Marsh, 1977 ; D'Elia *et al.*, 1981).

Cependant, la corrélation disparaît pour les échantillons prélevés dans les mêmes conditions dans la zone bioconstruite, et demeure mauvaise pour les échantillons prélevés à intervalles réguliers durant l'année 1985-86 (hormis dans le cas des échantillons peu dessalés prélevés dans la zone d'arrière-récif).

Les résultats obtenus à l'Etang-Salé permettent de comprendre ce phénomène. Dans la partie centrale de la zone bioconstruite, très dégradée, les eaux récifales présentent une concentration en phosphates largement supérieure à celle qui pourrait provenir d'une simple influence des eaux souterraines. Il n'en est pas de même dans la zone encore saine du récif. Il apparaît donc sur le platier une source supplémentaire de phosphates liée à l'état de dégradation de la zone bioconstruite, et qui pourrait expliquer la dispersion des données observée à la Saline.

CONCLUSION

A La Saline, la structure des peuplements benthiques est directement reliée à la répartition des eaux souterraines : les peuplements algaux se développent essentiellement dans la zone d'arrière-récif, ainsi que dans les secteurs d'extension des eaux souterraines sur le platier ; une zone de bonne vitalité corallienne s'individualise en revanche dans le secteur épargné par les eaux souterraines (Cuet *et al.*, 1989).

Ces résultats suggèrent bien évidemment que c'est au sein des eaux souterraines que les communautés algales trouvent, en totalité ou en partie, les éléments nutritifs nécessaires à leur développement. Les eaux douces semblent responsables de l'eutrophisation du récif de La Saline, et pourraient contribuer de manière directe à la régression corallienne par l'apport d'éléments toxiques (détergents, pesticides...), par une inhibition de la calcification corallienne liée à l'enrichissement en phosphates (Kinsey et Davies, 1979), ou par une réduction des taux de calcification due à l'accroissement des quantités de matière particulaire en suspension (Tomascik et Sander, 1985).

A l'Etang-Salé (Cuet et Naïm, 1994), les colonies coralliennes de la zone d'arrière-récif sont affectées par un enrichissement en nitrates (et dans une moindre mesure en phosphates) lié à l'écoulement des eaux souterraines. Elles présentent néanmoins une bonne vitalité.

En revanche, le platier externe, épargné par les eaux souterraines, est entièrement dégradé, vraisemblablement du fait des effluents organiques issus de l'usine sucrière du Gol.

Seul le platier interne présente des peuplements algaux notables : il reçoit en parallèle des nitrates issus des eaux souterraines, et les phosphates issus de la zone dégradée du platier. C'est probablement la conjonction de ces deux phénomènes qui favorise la mise en place des gazons.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, « Etude du milieu marin en baie de la Possession et baie de St-Paul. Campagne 1985. », *Rapport interne Centre Océanol.*, Marseille - Univ La Réunion, 1986, 19p + annexes
- CUET P., NAIM O., FAURE G., CONAN J.Y., « Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of La Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean) : preliminary results. », *Proc 6th Int. Coral Reef Symp.*, Townsville, 1989, 2, 207-212
- CUET P., NAIM O., « Analysis of a blatant reef flat degradation in La Reunion Island (l'Etang-Salé fringing reef). », *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp.*, Guam, 1994, 307-316.

- D'ELIA C.F., WEBB K.L., PORTER J.W., « Nitrate-rich groundwater inputs to Discovery Bay, Jamaica : a significant source of N to local coral reefs ? », *Bull. Mar. Sci.*, 1981, **31**, 903-910
- GAMBERONI L., GERONIMI J., MURAIL J.F., « Structure hydrologique aux abords immédiats de l'île de la Réunion en période hivernale (août-sept. 1982). », *CNFRA*, 1984, **55**, 41-47
- GUILLAUME M., PAYRI C., FAURE G., « Blatant dégradation of coral reefs at La Reunion Island (West Indian Ocean). », Intern Soc for Reef Studies, *Ann. Meet*, Nice, 1983, **28** (résumé)
- JOIN J.L., POMME J.B., COUDRAY J., DAESSELE M., « Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif corallien. », *Hydrogéologie*, 1988, **2**, 107-115
- KINSEY D.W., DAVIES P.J., « Effects of elevated nitrogen and phosphorus on coral reef growth. », *Limnol. Oceanogr.*, 1979, **24** (5), 935-940
- KINSEY D.W., DOMM A., « Effects of fertilization on a coral reef environment. Primary production studies. », *Proc 2nd Int Coral Reef Symp*, Brisbane, 1974, **1**, 49-66
- LEROY C., BARBAROUX O., « Observations physiques et chimiques effectuées sur le milieu marin autour de l'île de la Réunion. », *Rapport interne ISTPM*, Nantes, 1980, 62 p.
- LEWIS J.B., « Groundwater discharge onto coral reefs, Barbados (West Indies). », *Proc 5th Int Coral Reef Symp*, Tahiti, 1985, **6**, 477-481.
- LEWIS J.B., « Measurements of groundwater seepage flux onto a coral reef : Spatial and temporal variations. », *Limnol Oceanogr.*, 1987, **32** (5), 1165-1169.
- LISS P.S., « Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing. », Dans : *Estuarine Chemistry*, BURTON J.D. AND LISS P.S. EDS, *Academic Press*, New-York, 1976, pp 93-130.
- MARSH J.A., « Terrestrial inputs of nitrogen and phosphorus on fringing reefs of Guam. », *Proc 3rd Int Coral Reef Symp*, Miami, 1977, **1**, 331-336.
- NAIM O., « Critical periods for an eutrophication-trending fringing reef (Reunion Island, Western Indian Ocean). », *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1993, **99**, 137-151.
- PASTOROK R.A., BILYARD G.R., « Effects of sewage pollution on coral reef communities. », *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1985, **21**, 175-189.
- SMITH S.V., « Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. », *Limnol. Oceanogr.*, 1984, **29** (6), 1149-1160.
- SMITH S.V., KIMMERER W.J., LAWS E.A., BROCK R.E., WALSH T.W., « Kaneohe bay sewage diversion experiment : perspectives on ecosystem responses to nutritional perturbation. », *Pacif Sci.*, 1981, **35**, 279-402.
- TOMASCIK T., SANDER F., « Effects of eutrophication on reef-building corals. I - Growth rate of the reef-building coral *Montastrea annularis*. », *Mar. Biol.*, 1985, **87**, 143-155.
- WIEBE W.J., « Nitrogen dynamics on coral reefs. », *Proc. 5th Int. Coral Reef. Symp.*, Tahiti, 1985, **3**, 401-406.

LES MANGROVES : RÉPARTITION, ÉLÉMENTS ET FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Chantal CONAND

INTRODUCTION

La définition même des mangroves a longtemps maintenu une certaine confusion parmi les scientifiques. En effet, le terme mangrove peut aussi bien désigner la formation végétale de palétuviers qu'un écosystème avec l'ensemble de ses compartiments, sol, eau, flore et faune. Dans ce sens, la mangrove est un écosystème intertropical, littoral, des côtes basses. C'est également le seul écosystème littoral, caractérisé par la production et le stockage d'une biomasse aérienne, sous forme de plantes, lui donnant un aspect de forêt (Mann, 1982). Chaque compartiment du système comprend une grande variété d'éléments dont l'intérêt économique est important, que les ressources en soient utilisées de manière traditionnelle, ou pour le développement d'activités modernes. Les études scientifiques, qui ont d'abord porté sur la végétation, se sont ensuite diversifiées. Des revues récentes ont été consacrées à la mangrove (Hatcher, Johannes and Robertson, 1989 ; Blasco, 1991), ainsi que des numéros spéciaux de revues (Bulletin of marine science, 1989 ; Estuarine and Coastal Shelf Science, 1991). Certaines caractéristiques de ces milieux spécialisés sont ainsi précisées. Elles amènent à se poser de nouvelles questions sur leur fonctionnement. Ces éléments sont indispensables pour envisager un développement durable.

RÉPARTITION, ÉLÉMENTS DU SYSTÈME ET ZONATION DES MANGROVES

Répartition

La répartition des mangroves peut être étudiée à différentes échelles spatiales et temporelles. Les échelles spatiales sont de trois types : globale la plus large, régionale et enfin locale. A chaque échelle, les conditions environnementales prépondérantes peuvent dépendre du climat, de la géomorphologie et/ou de la pédologie (Thom, 1987).

A l'échelle globale, la biogéographie de la mangrove est généralement liée aux conditions thermiques de l'air et aux précipitations (Blasco, 1984). Les minimas thermiques ont une influence nette sur la germination des palétuviers. Il est admis qu'ils disparaissent lorsque la moyenne du mois le plus froid ne dépasse pas 16 °C. Les températures déterminent ainsi l'extension latitudinale des mangroves. Les précipitations sont le facteur principal de leur physiologie ; elles sont responsables de la zonation dans la zone de contact avec l'arrière mangrove. Ainsi, en climat humide, les sols sont constamment lavés par les pluies, alors qu'en climat semi-aride à saisons marquées, l'évaporation entre les fortes marées entraîne une hypersalinité et une stérilité des sols. A l'échelle régionale, l'approche est affinée par l'évaluation de l'aridité. Blasco a présenté une répartition mondiale des mangroves en utilisant la valeur du rapport des précipitations annuelles (P), sur l'évapotranspiration (Etp), calculée d'après la formule de Penman. Il apparaît que plus de 90 % des mangroves se situent dans les zones chaudes humides à hiver doux et $P/Etp > 0,75$. Sous les climats subhumides, les mangroves sont occasionnelles $0,75 < P/Etp < 0,50$. Elles sont exceptionnelles en climat semi-aride $0,50 < P/Etp < 0,20$. Au-delà de ces valeurs moyennes, la variabilité de ces paramètres, aussi bien saisonnière qu'interannuelle, est très importante aux différentes échelles d'observation.

Les approches géomorphologiques sont nécessaires pour comprendre la répartition (Guilcher, 1989). En effet, les mangroves se développent dans le domaine intertidal où les phénomènes hydrologiques déterminants sont les vagues, les marées, le régime des cours d'eau. De leurs interactions dépend le mouvement des sédiments (érosion, dépôt, ou relative stabilité) qui détermine à son tour l'évolution des mangroves. Cinq types géomorphologiques principaux, pour les littoraux à sédimentation terrigène (ce qui correspond à la majorité des mangroves) sont présentés par Thom (1984). Il y ajoute les sédiments carbonatés organogènes de récifs où peuvent se développer des mangroves relativement plus restreintes.

L'analyse plus précise du rôle des substrats est le sujet de l'approche pédologique. Ces sols inondés et salés présentent des caractéristiques essentielles à la compréhension de la physiologie des espèces et de la productivité globale. Elles concernent la texture, la granulométrie, la diffusion réduite de l'oxygène qui entraîne l'anaérobiose (avec ses conséquences sur la méiofaune et les bactéries), enfin les particularités des cycles du soufre et des éléments nutritifs (phosphore, azote).

Éléments du système

Seuls quelques points généraux concernant les caractéristiques de la flore et de la faune, nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème sont présentés ici. Concernant la flore, les palétuviers sont les espèces prédominantes. D'après les tableaux de Chapmann (1984), les deux ensembles biogéographiques sont très nettement mis en évidence. La mangrove occidentale comprend les littoraux atlantique et pacifique du Nouveau Monde et ceux de l'Afrique de l'Ouest. Sa diversité, aussi bien en nombre de genres que d'espèces, est bien moindre que celle de la mangrove orientale répartie dans la zone Indo-Pacifique. Si l'on se limite aux palétuviers, les sept familles des Rhizophoraceae, Avicenniaceae, Meliaceae, Combretaceae, Bombacaceae, Plumbaginaceae et Sonneratiaceae présentent une dizaine d'espèces dans la mangrove occidentale et une quarantaine dans la mangrove orientale, aucune espèce n'étant commune aux deux ensembles. Il existe par ailleurs de nombreuses autres espèces de phanérogames vivant sur le sol ou en épiphytes et un cortège de fougères, algues, champignons et lichens qui nécessitent encore des inventaires dans de nombreuses régions. Il convient de signaler que pour des forêts intertropicales la diversité est relativement faible ; ce fait est à mettre en rapport avec les conditions stressantes de l'environnement. Les différentes espèces présentent de remarquables adaptations physiologiques : racines aériennes, racines aérifères ou pneumatophores, glandes à sel, capacité de régulation de la pression osmotique et viviparité. Elles permettent de supporter les variations de salinité, de s'implanter et grandir dans de la vase anaérobie.

Les généralisations concernant la faune sont beaucoup plus difficiles à énoncer, car celle-ci a été moins étudiée et le problème se pose encore de savoir s'il existe vraiment une faune caractéristique de la mangrove. Les principales espèces animales se trouvent aussi dans d'autres milieux, mais elles sont capables de former dans la mangrove des populations extrêmement denses, comme par exemple les poissons périophtalmes, différents crabes (dont le crabe violoniste) et les bivalves (dont les huîtres de mangrove et les arches). Bien que les inventaires faunistiques soient aussi très incomplets, la richesse spécifique apparaît globalement très supérieure dans la mangrove orientale (MacNae, 1968), comme le montre aussi l'exemple des bivalves (Morton, 1983). Les plupart des espèces animales présentent aussi un ensemble d'adaptations physiologiques : eurythermie, euryhalinité, tolérance aux faibles concentrations d'oxygène, existence fréquente de terriers allant jusqu'à la nappe phréatique. Les différents biotopes de la mangrove, forêt, sols, systèmes aquatiques, correspondent à différents compartiments faunistiques, qui présentent des zonations verticale et horizontale. L'exemple relativement simple d'une mangrove du Sénégal (Conand, 1976) met en évidence ces différents compartiments. La faune terrestre comprend des espèces qui dépendent de la forêt, nombreux oiseaux, migrants ou non, reptiles et

mammifères, insectes dont la densité (moucheron et moustiques) rend les mangroves peu hospitalières !... La faune marine a colonisé le substrat solide constitué par les échasses et les pneumatophores et présente la zonation classique, littorine, cirripède, huître et gastéropodes. Sur les substrats meubles, la vase supralittorale est plutôt le domaine des crabes Sesarmidae, alors que les crabes violonistes abondent dans le médiolittoral. Dans les chenaux on distingue des espèces sédentaires souvent fouisseuses (bivalves) et les espèces visiteuses à pleine mer, crabes, crevettes, poissons.

Le problème de la zonation des mangroves

La zonation spatiale des palétuviers est souvent nette. Les premiers auteurs qui l'ont étudiée dans le Nouveau Monde ont décrit des zones monospécifiques qu'ils ont mises en rapport avec des classes d'inondation par les marées (entraînant des variations de la salinité des sols (Watson, 1928 ; Chapman, 1976). Cette zonation spatiale a été interprétée comme le résultat d'une évolution temporelle ou « chronoséquence », à partir de l'installation d'espèces pionnières (Davis 1940). Dans cette hypothèse, basée sur la mangrove occidentale, les *Rhizophora* s'installent sur la vase d'estuaire et par le réseau de leurs échasses piègent les sédiments et gagnent ainsi vers la mer en entraînant une surélévation du niveau. Celle-ci est défavorable aux *Rhizophora*, mais favorise l'installation d'*Avicennia* dont les graines ont besoin de reposer sur le sol pour s'implanter. Le phénomène d'accrétion se poursuivant, l'inondation par la marée n'est plus suffisante en arrière, la mangrove se dégrade et la transition se fait avec les tannes ou « bare ground » en zone tropicale, et la forêt humide en zone équatoriale. Le développement des recherches dans les deux grands ensembles a amené à reconsidérer cette théorie. On considère maintenant que les mangroves n'ont qu'un rôle passif et que le rôle actif est joué par l'hydrodynamisme, vecteur des sédiments. La zonation peut être très variable suivant les mangroves. Enfin, l'évolution des mangroves dépend des flux ; elle peut être relativement stable par endroit, ou présenter une évolution très rapide, comme en Guyane (Blasco, 1991). L'étude des mortalités massives de mangroves montre la forte influence des facteurs externes à l'écosystème. Des recherches récentes mettent aussi en évidence l'influence des facteurs biotiques dans la zonation. Ainsi, des relations interspécifiques de prédation, par exemple celle des Sesarmidae sur les propagules de *Rhizophora* (Smith, 1987, Robertson, 1991), ou intraspécifiques de compétition entre adultes et plantules d'une espèce, peuvent être des facteurs déterminants (Hatcher, Johannes et Robertson, 1989).

FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME ET INFLUENCE SUR LES SYSTÈMES ADJACENTS

La définition des catégories trophiques et leur fonctionnement ont d'abord été étudiés de manière très détaillée en Floride, par Odum et Heald (1972). La mangrove a été longtemps considérée comme un écosystème à très forte productivité primaire puisqu'elle se trouve dans des zones à forte irradiance solaire. Les revues plus récentes (Clough, 1982 ; Clough, 1987) montrent leur très forte variabilité à l'échelle locale ou régionale qui dépend des facteurs climatiques, mais aussi de la salinité et de la richesse du sol en éléments nutritifs. En effet, l'originalité de la mangrove provient du fait que c'est un système ouvert qui dépend de l'extérieur pour les apports en eau douce et éléments nutritifs et qui exporte une très forte part de la matière organique produite. La modélisation de ces flux est très difficile en raison de la complexité et de la diversité des paramètres à mesurer (Blasco, 1991) (et aussi en raison des difficultés spécifiques d'accès, de déplacement et d'expérimentation dans ce milieu).

A titre d'exemple, la productivité de la mangrove d'un estuaire de Papouasie-Nouvelle-Guinée a été évaluée dans ses trois principaux ensembles (Robertson, Daniel et Dixon, 1991) ; la forêt à *Rhizophora-Brughiera*, avec une densité d'arbres de 2027 ha⁻¹, a une productivité moyenne primaire nette de 26,7 kg C ha⁻¹ j⁻¹, celle du palmier *Nypa fruticans* avec 4431 pieds ha⁻¹ une productivité très proche de 27,1 et la forêt à *Avicennia-Sonneratia* avec 7036 pieds ha⁻¹

une productivité de 19,0. Les auteurs ont calculé que 31 %, soit 678 t de carbone, étaient exportées par jour vers les eaux côtières.

L'importance des éléments nutritifs du sol a été mise en évidence par des mesures des teneurs en phosphore et azote de sols de mangroves et sans mangrove. Boto et Wellington (1984) ont montré que les sols de mangroves ont des valeurs plus faibles, d'un ordre de grandeur et que les bas niveaux sont plus limités en azote et les hauts niveaux en phosphore. Ces points sont confirmés par des expériences de fertilisation. La mangrove est donc considérée comme un piège à éléments nutritifs avec 250 kg N ha⁻¹ an⁻¹ et 20 kg P ha⁻¹ an⁻¹.

Les consommateurs primaires et les autres catégories trophiques, détritivores et prédateurs, ont été globalement étudiés en Floride (Odum et Heald, 1972), mais leurs résultats ne sont pas transposables aux mangroves orientales ou les chaînes alimentaires sont plus variées. Le rôle des décomposeurs, l'importance de la production bactérienne et de la méiofaune sont des thèmes qui nécessitent des études approfondies.

L'exportation de matière organique dissoute et particulaire et de sels nutritifs à partir des mangroves est longtemps restée un dogme. Récemment, des analyses ont montré que la mangrove n'est pas généralement une source de substances dissoutes ; il convient pour de telles études de bien connaître les régimes hydrologiques et le temps de résidence des eaux.

L'exportation de matières particulaires dépend elle-aussi des conditions environnementales et du type de mangrove considéré. Des équipes australiennes ont estimé les quantités de MOP exportées et les ont comparées aux productions nettes. Dans les sites étudiés, plus du quart de la production passe ainsi dans les baies et lagons adjacents (Robertson et al., 1991).

Enfin, l'importance des mangroves comme nourriceries de nombreuses espèces de poissons et crustacés, en particulier d'intérêt commercial, a longtemps été considérée implicite. Sa démonstration a récemment suscité diverses expériences (Robertson et Duke, 1987). Ce rôle est confirmé pour différents crustacés, en particulier des crevettes. Les variations géographiques et saisonnières sont plus marquées dans les communautés de poissons, dont les liens avec les mangroves sont probablement plus complexes. Elles offrent un habitat favorable à la nutrition et la reproduction, mais elles pourraient de plus jouer un rôle dans les interactions biotiques, en protégeant les proies des prédateurs par la barrière physique des racines échasses et en réduisant l'efficacité de la prédation par les arrivées d'eau douce et la turbidité (Hatcher et al., 1989).

CONCLUSION

La productivité des mangroves a été traditionnellement utilisée par l'homme de diverses manières qui ne seront pas détaillées ici. Mais les mangroves sont actuellement soumises à des stress qui entraînent de fortes mortalités et à des destructions volontaires inquiétantes. Les divers éléments qui ont été présentés, montrent que des études interdisciplinaires sont nécessaires, et urgentes, pour comprendre le fonctionnement global de ces systèmes, aux différentes échelles de leur variabilité, et être en mesure de proposer des outils pour leur gestion rationnelle.

RÉFÉRENCES

- BLASCO F., « Ecosystèmes mangroves. », *Oceanologica acta*, NS, 1982, 225-230.
- BLASCO F., « Mangrove evolution and palynology. », In : SNEDAKER S. & SNEDAKER J. Eds., The mangrove ecosystem, *Unesco*, 1984, 251 p.
- BLASCO F., « Les mangroves. », *La Recherche*, 1991, 231, vol. 22, 444-452.
- BOTO K.G. & WELLINGTON J., « Soil characteristics and nutrient status in northern Australian mangrove forests. », *Estuaries*, 1984, 7, 61-69.
- CHAPMAN V.J., « Wet coastal ecosystems. Ecosystems of the world 1. », *Elsevier*, New York, 1977, 428 p.

- CHAPMAN V.J., « Botanical surveys in mangrove communities. », In : SNEDAKER S. & SNEDAKER J. Eds., 1984, 251 p.
- CLOUGH B.F., « The mangrove ecosystems of Australia : structure, function and management. », *Aust. Natl. Univ. Press*, Canberra, 1982, 302 p.
- CLOUGH B.F., « Measurement of mangrove productivity. », In : Mangrove ecosystems of Asia and the Pacific, FIELD and DARTNALL Eds., *AIMS*, 1987, 320 p.
- CONAND C., « Les mangroves. », In : *Ecologie au Sénégal*, 2. *Université de Dakar*, 1976, 136 p.
- DAVIS J.H., « The ecology and geologic role of mangroves in Florida. », *Carn. Inst. Wash. Publ.*, 1940, 517 p.
- FIELD C. & DARTNALL A., « Mangrove Ecosystems of Asia and the Pacific. », *Australian Institute of Marine Science*, 1987, 320 p.
- GUILCHER A., « Are mangroves good tests in coastal geomorphological zonality ? », *Essener Geogr. Arbeiten*, 1989, 18, 125-148.
- HATCHER B., JOHANNES R.E. & ROBERTSON A.I., « Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. », *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 1989, 27, 337 - 414.
- MANN K.H., « Ecology of coastal waters. Studies in ecology 8. », *University of California Press*, 1982.
- MACNAE W., « A general account of the fauna and flora of mangrove in the Indo-West-Pacific region. », *Adv. Mar. Biol.*, 1968, 6, 73-270.
- MORTON B., « Mangrove bivalves. », *The Mollusca*, 6, Academic Press., 1983, 77-138.
- ODUM W.E. & HEALD E.J., « Trophic analysis of an estuarine mangrove community. », *Bull. mar. Sci.*, 1972, 22, 671-738.
- ROBERTSON A.I. & DUKE N.C., « Mangroves as nursery sites : comparisons of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangrove and other nearshore habitats in tropical Australia. », *Mar. Biol.*, 1987, 96, 193-205.
- ROBERTSON A.I., « Plant-animal interactions and the structure and function of mangrove forest ecosystems. », *Austr. J. Ecol.*, 1991, 16, 433-443.
- ROBERTSON A.I., DANIEL P.A. & DIXON P., « Mangrove forest structure and productivity in the Fly River estuary, Papua New Guinea. », *Mar. Biol.*, 1991, 111, 147-155.
- SMITH T.J., « Seed predation in relation to the dominance and distribution in mangrove forests. », *Ecology*, 1987, 68, 266-273.
- SNEDAKER S. & SNEDAKER J., « The mangrove ecosystem : research method. », *Unesco*, 1984, 251 p.
- SNEDAKER S., « Overview of ecology of mangroves and information needs for Florida Bay. », *Bull. mar. Sci.*, 1989, 44, 341-347.
- THOM B.G., « Coastal landforms and geomorphic processes. », In : *The mangrove ecosystem : research methods*, S. SNEDAKER & Y. SNEDAKER Eds., *The mangrove ecosystem, Unesco*, Paris, 1984, 251 p.
- THOM B.G., « Mangrove environments. », In : *Mangrove ecosystems of Asia and the Pacific*. FIELD & DARTNALL Eds., *AIMS*, 1987, 320 p.
- TOMLINSON P.B., « The botany of mangroves. », *Cambridge University Press*, 1986, 413 p.
- WOLANSKI E., & BOTO K.G., « Mangrove oceanography. Special issue. », *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 31(5), 503-505.

Mangrove en Guinée (photo C. Conand)



1.

Exploitation des huîtres de mangrove au Sénégal (photo Le Penne)



2.

Exploitation du bois de mangrove en Guinée (photo C. Conand)



3.

Mortalité de mangrove en Nouvelle-Calédonie (photo Debenay)



4.

L'IMPORTANCE DE LA FRAGMENTATION ET DES INVASIONS BIOLOGIQUES DANS LA DYNAMIQUE DE RÉGÉNÉRATION DE LA FORÊT RÉUNIONNAISE

Dominique STRASBERG, Jacques FIGIER et Christophe THEBAUD

RÉSUMÉ

A La Réunion comme dans la plupart des îles tropicales océaniques, la déforestation et les invasions d'organismes introduits ont provoqué la quasi disparition des forêts de basse altitude. Néanmoins, les rares vestiges forestiers de ce type fournissent l'opportunité d'examiner leur régénération à la faveur des perturbations volcaniques. Des résultats préliminaires suggèrent alors que la présence des plantes ligneuses introduites modifie la succession des communautés indigènes et contribue à long terme à une perte de diversité.

INTRODUCTION

Le terme régénération est évidemment entendu ici dans son sens naturel : reconstitution d'un état forestier, sans intervention de l'Homme, après des perturbations d'origine naturelle. Dans le cas présent, il s'agira de coulées volcaniques.

La compréhension des conséquences biologiques de la fragmentation des écosystèmes devient cruciale pour aborder les problèmes de conservation d'un nombre croissant d'écosystèmes menacés de disparition (TERBORGH, 1992)

Cette question se pose en priorité dans les écosystèmes insulaires où les effets biologiques de la fragmentation peuvent être exacerbés par les invasions d'organismes étrangers. Beaucoup d'études ont montré que les îles océaniques subissent des niveaux élevés d'invasions de plantes étrangères qui peuvent avoir un impact significatif sur les communautés végétales indigènes (STONE et SCOTT, 1985 ; LORENCE et SUSSMAN, 1986 ; VITOUSEK, 1988). Cependant l'impact à long terme de la fragmentation combiné aux invasions demeure très peu documenté.

Sur les pentes du volcan actif de la Fournaise subsistent des morceaux de végétation répartis en taches dans une matrice de coulées de laves d'âge différent. Ce système fournit une opportunité unique d'examiner comment les processus de recolonisation d'un substrat neuf à partir d'îlots forestiers sont affectés par les plantes introduites.

Avant d'aborder cette étude proprement dite, nous dresserons un rapide bilan de l'extension actuelle des forêts naturelles à la Réunion, de manière à faire apparaître les écosystèmes les plus menacés et dont la conservation pose problème.

LES VESTIGES DE FORÊTS NATURELLES

La carte de la figure 1, établie d'après CADET (1980) et présentée par DOUMENGE et RENARD (1989) donne une idée de l'extension probable de la végétation naturelle dans l'île avant l'arrivée de l'Homme au XVI^e siècle.

On estime que, sur les 251 200 ha de l'île, 205 000, soit 82 % (Fig. 1) étaient couverts de forêts essentiellement humides et hétérogènes (65 %), les basses pentes de l'ouest (côte sous le vent) étant occupées par une forêt aussi hétérogène mais relativement sèche. Le reste de la superficie de l'île était constitué de formations arbustives et prairies altimontaines, d'une savane littorale dans l'ouest, de fourrés arbustifs hyperhumides dans l'est et de roches nues au niveau des édifices volcaniques et des cirques.

L'utilisation de bois de construction, la récolte de choux palmistes et l'agriculture ont très vite contribué (CADET, 1980, BORDERES, 1991) à la diminution des surfaces forestières. La culture du caféier, au début du XVIII^e siècle, est responsable de la disparition de la quasi-totalité de la forêt semi-sèche de l'ouest, la canne à sucre de celle de la forêt humide de basse altitude à partir du début du XIX^e siècle et le géranium, depuis le début du XX^e siècle, de celle de la forêt de moyenne altitude et de montagne dans l'ouest.

On estime ainsi que, actuellement (Fig. 2, extraite de DOUMENGE et RENARD, 1989), il ne reste plus que 52 000 ha de forêts n'occupant plus que 21 % de la superficie de l'île. Donc les trois-quarts des forêts originelles ont disparu. La mieux conservée est la forêt humide hétérogène de montagne dont il reste environ 60 %, alors qu'il ne doit pas rester plus de 1 % de la forêt humide de basse altitude et que les vestiges de forêt relativement sèche de l'ouest sont tellement dispersés qu'on ne peut plus vraiment parler de forêt.

Certes, ces 25 % de vestiges sur l'île semblent faibles vis-à-vis des 40 % sur l'ensemble de la planète mais il convient de se situer dans le contexte des îles océaniques et l'on s'aperçoit alors que la Réunion est encore l'une des rares à posséder des habitats forestiers naturels relativement intacts. En effet, si l'on se réfère aux données rassemblées par GROOMBRIDGE (1992), l'île Maurice ne possède plus que 1,6 % de ses forêts d'origine (la troisième île des Mascareignes, Rodrigue, n'en ayant plus du tout), les Seychelles 11,1 %, les Comores 7,1 %. Par ailleurs, il ne reste plus, sur la grande île d'Hawaii (JACOBI et SCOTT, 1985), la mieux conservée de l'archipel, que 15 % des forêts naturelles (d'altitude) contre 1 à 2 % au maximum dans les autres îles.

Considérant néanmoins le peu qui reste, à la Réunion, de la forêt humide de basse altitude et la vitalité qui caractérise ses vestiges, on comprendra qu'il soit urgent et fondamental d'analyser les facteurs mis en jeu lors de la régénération naturelle de ce milieu.

Figure 1 : Extension de la végétation indigène avant l'arrivée de l'Homme à la Réunion

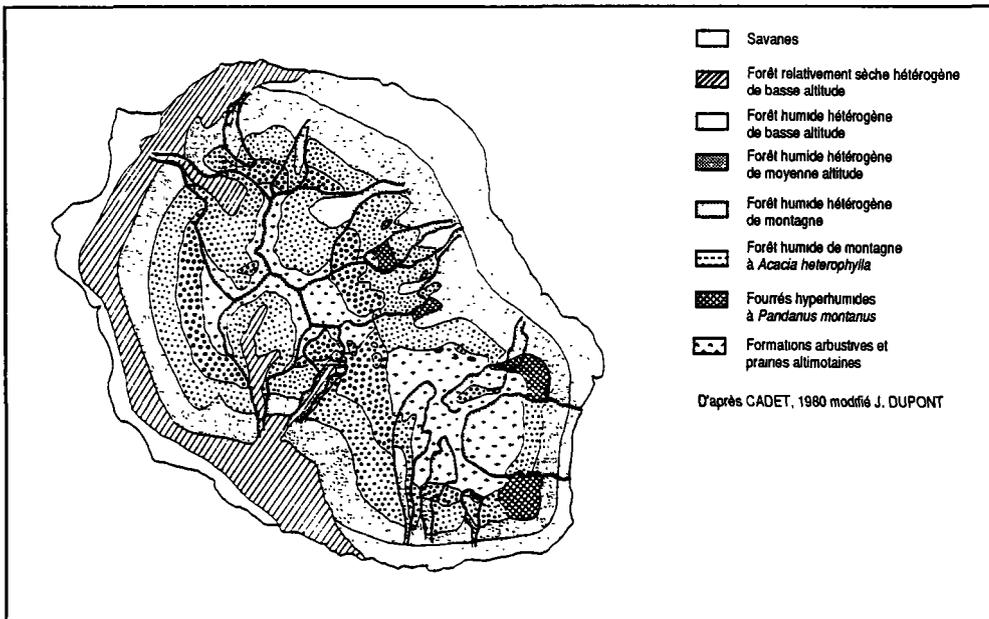
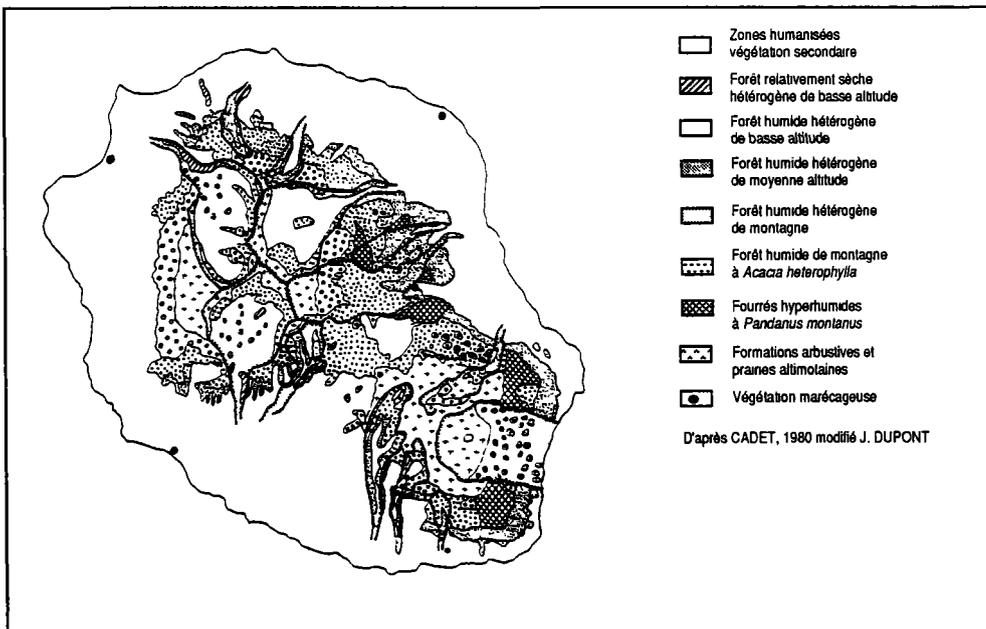


Figure 2 : Les vestiges actuels de la végétation indigène à la Réunion



LA RÉGÉNÉRATION DE LA FORÊT HUMIDE DE BASSE ALTITUDE

Délaissant les régénérations en forêt à la suite de chablis, qui font l'objet d'une autre analyse, nous avons choisi d'étudier ici le phénomène sur des coulées volcaniques récentes traversant des îlots forestiers.

CADET (1973, 1980) a déjà décrit, en se basant sur l'observation de coulées historiques bien datées et échelonnées dans le temps, les principales étapes qui, en partant du stade bryolichénique, ont permis d'aboutir à la forêt de Nattes, terme actuel d'une évolution d'au moins trois siècles dont un exemple nous est fourni par la Réserve naturelle de Mare Longue, près de Saint Philippe.

Néanmoins, sur les coulées relativement récentes, il est flagrant que de nombreuses espèces exotiques viennent se mêler aux plantes indigènes de façon très compétitive, phénomène lié au fait que depuis trois siècles, le nombre des plantes introduites n'a fait que croître. Un premier bilan (THEBAUD, 1989) comptabilise 1100 espèces de ce type dont au moins 460 se sont naturalisées et une soixantaine sont devenues envahissantes.

L'impact de ces plantes exotiques sur les communautés naturelles a été estimé dernièrement (MACDONALD et coll., 1991).

Il convenait donc d'entreprendre une analyse plus systématique de cet impact sur la dynamique de reconstitution des forêts humides de basse altitude après fragmentation de ce type d'écosystème par des coulées volcaniques.

Méthodes

La figure 3 situe les zones correspondant à la présente étude.

Figure 3 : Localisation des sites d'études sur les coulées dans la région du Grand-Brûlé

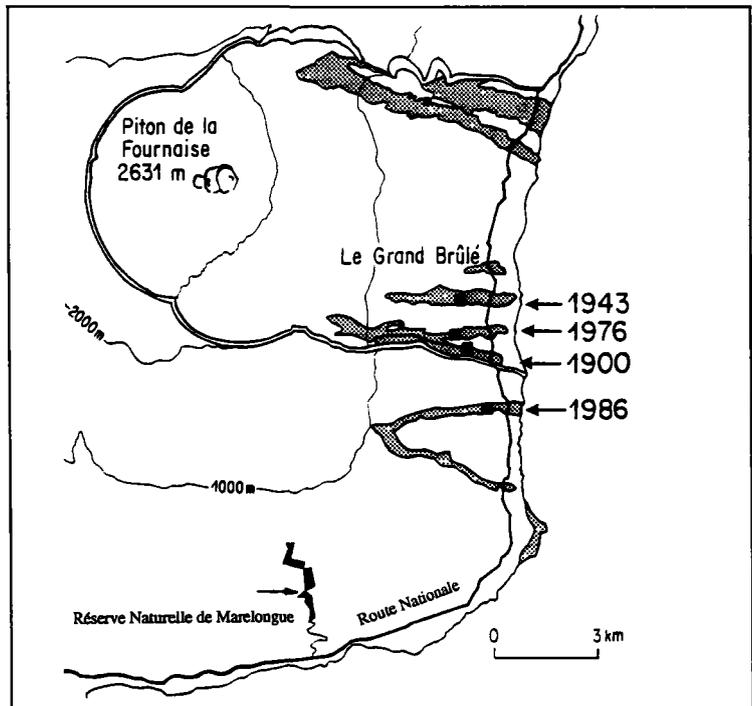
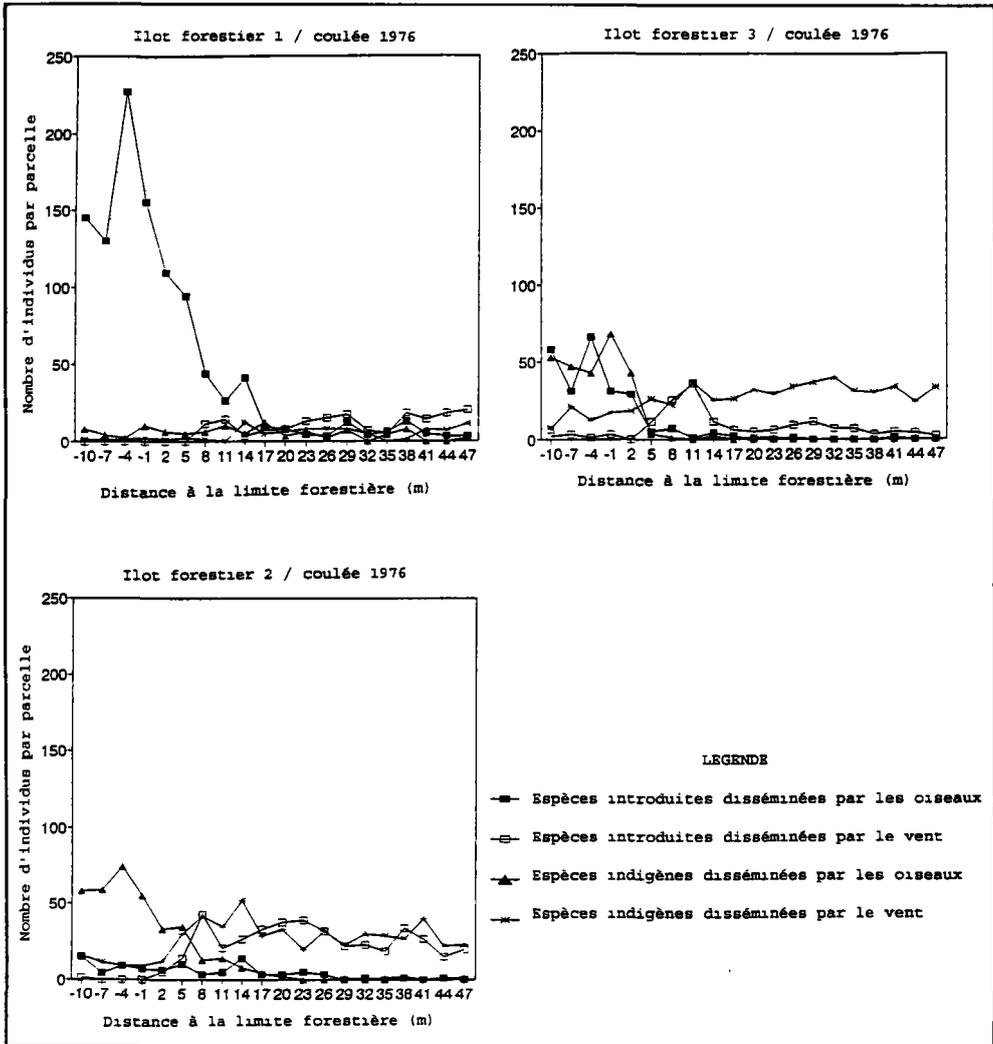


Figure 4 : Abondance des espèces ligneuses sur les coulées de lave selon la distance à la limite forestière



Chaque point est le nombre total d'individus recensés dans 3 quadrats de 4 m² centrés tous les 3 mètres le long des transects.

Nous avons sélectionné six îlots forestiers de 1 à 5 ha pour examiner la colonisation, par les espèces ligneuses, de coulées de lave adjacentes datant de différentes années : 1986, 1976, 1943, 1900.

Dans chaque site nous avons identifié et mesuré toutes les plantes ligneuses supérieures à 25 cm de hauteur dans des quadrats de 4 m² placés le long de transects de 60 m de longueur (3 transects sur 1986, 1976a, 1976b, 1976c, 1943, et 2 sur 1900, avec 20 quadrats par transect).

Résultats

Abondance des espèces selon leur mode de dissémination

Le tableau 1 dresse un premier bilan des plantes ligneuses installées sur les coulées.

Tableau 1 : Abondance, selon leur mode de dissémination, des espèces ligneuses indigènes et introduites colonisant les coulées

Espèces indigènes	Famille	Nbre ind.	Fréq rel%	Espèces réintroduites	Famille	Nbre ind.	Fréq rel%
Dissémination potentielle par le vent							
<i>Agauria salicifolia</i>	Ericacées	922	26	<i>Boehmeria penduliflora</i>	Urticacées	699	20
<i>Senecio ambavilla</i>	Composées	145	4	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinacées	31	<1
<i>Dzanas fragans</i>	Rubiacées	86	2	<i>Boehmeria macrophylla</i>	Urticacées	25	<1
<i>Nuxia verticillata</i>	Loganiacées	79	2	Total		758	22
<i>Blechnum tabulare</i>	Blechnacées	11	<1				
<i>Stoebe passerinoides</i>	Composées	6	<1				
<i>Weinmannia tinctoria</i>	Cunoniacées	3	<1				
Total		125	36				
Dissémination potentielle les animaux							
<i>Antirhea borbonica</i>	Rubiacées	126		<i>Psidium cattleianum</i>	Myrtacées	296	8
<i>Doratoxylon apetalum</i>	Sapindacées	106		<i>Ardisia crenata</i>	Myrsinacées	256	7
<i>Aphloia theiformis</i>	Flacourtiacées	41		<i>Tristemma mauritianum</i>	Mélastomacées	174	5
<i>Genostoma borbonicum</i>	Loganiacées	39		<i>Rubus alceifolius</i>	Rosacées	96	3
<i>Sideroxylon borbonicum</i>	Sapotacées	36		<i>Schinus terebenthifolius</i>	Anacardiacées	30	1
<i>Molinaea alternifolia</i>	Sapindiacées	28		<i>Lantana camara</i>	Verbenacées	16	<1
<i>Gaertnera vaginata</i>	Rubiacées	23		<i>Loniceria confusum</i>	Caprifoliacées	13	<1
<i>Polyscias repanda</i>	Araliacées	23		<i>Syzygium cumini</i>	Myrtacées	13	<1
<i>Smilax anceps</i>	Liliacées	23		<i>Rubus rosifolius</i>	Rosacées	11	<1
<i>Pittosporum senacia</i>	Pittosporacées	20		<i>Litsea glutinosa</i>	Lauracées	8	<1
<i>Calophyllum tacamahaca</i>	Guttifères	15		<i>Trema orientalis</i>	Ulmacées	8	<1
<i>Ocotea obtusata</i>	Lauracées	13		<i>Syzygium jambos</i>	Myrtacées	4	<1
<i>Piper pyrrolifolium</i>	Pipéracées	7		<i>Passiflora suberosa</i>	Passifloracées	1	<1
<i>Ficus reflexa</i>	Moracées	5		<i>Psidium guajava</i>	Myrtacées	1	<1
<i>Syzygium sp.</i>	Myrtacées	5		Total		927	27
<i>Dracaena reflexa</i>	Liliacées	4					
<i>Mussaenda arcuata</i>	Rubiacées	4		Dissémination par adhésion			
<i>Ficus mauritiana</i>	Moracées	3		<i>Desmodium ramosissimum</i>	Légumineuses	9	<1
<i>Labourdonnasia calophylloides</i>	Sapotacées	3		<i>Desmodium incanum</i>	Légumineuses	3	<1
<i>Acanthophoenix rubra</i>	Palmiers	2		<i>Stachytarpheta indica</i>	Verbenacées	8	<1
<i>Casearia coriacea</i>	Flacourtiacées	2		Total		20	1
<i>Cordyline mauritiana</i>	Liliacées	2					
<i>Memecylon confusum</i>	Mélastomacées	2		Multiplication végétative			
<i>Chassalia corallioides</i>	Rubiacées	1		<i>Ipomea batatas</i>	Convolvulacées	3	<1
<i>Cnestis glabra</i>	Connaracées	1		<i>Ipomea sp.</i>	Convolvulacées	2	<1
<i>Xylopia richardii</i>	Annonacées	1		Total		5	<1
Total		535		Abondance des 22 espèces introduites		1705	49
Abondance des 33 espèces indigènes		1785	51				

En terme de diversité spécifique, les communautés végétales sur les coulées montrent une prédominance des espèces indigènes, au total 33 dans notre échantillonnage contre 21 espèces introduites. Néanmoins, en nombre d'individus, l'abondance des deux groupes est presque identique avec 1787 plantes ligneuses indigènes comptabilisées et 1705 plantes introduites.

La totalité des espèces est répartie dans deux grandes catégories de mode de dissémination : espèces anémochores et zoochores.

L'ensemble des 7 espèces anémochores indigènes atteignent la plus forte abondance avec 1252 tiges ligneuses contre 758 pour les 4 espèces de plantes introduites anémochores. *Agauria salicifolia* (Fig. 5), arbre pionnier de la famille des Ericacées, contribue le plus à l'abondance des plantes indigènes avec 922 individus recensés.

Figure 5 : *Cigauria salicifolia*

Pour la catégorie des espèces à fruits charnus surtout disséminées ici par les oiseaux, la prédominance des 14 espèces de plantes introduites est très marquée par rapport aux indigènes (927 tiges vs 535) alors représentées par 26 espèces.

3 espèces introduites produisent des graines collantes qui sont surtout disséminées par l'homme et font partie des adventices des cultures.

Deux *Ipomea* peuvent s'étendre en bordure de coulée par clonage.

Abondance des espèces selon la distance aux îlots forestiers

L'analyse suivante se limite à la coulée et aux trois îlots forestiers qui la bordent. Elle est traduite par les graphiques de la figure 4.

On note une prédominance des anémochores sur l'ensemble de la coulée mais aussi en bordure de forêt dans les sites 2 et 3.

Sur le site 1, tous les quadrats situés en forêt et sur une lisière assez large sont dominés par les plantes à fruits charnus.

Sur les site 2 et 3, on retrouve le même phénomène mais atténué.

Les anémochores sur la coulée sont aussi bien des indigènes que des introduites sauf sur le site 3 qui se singularise par une nette dominance des indigènes. Peut-être est-ce à relier dans ce cas à la relative abondance de ces mêmes plantes à l'intérieur de l'îlot forestier.

Les plantes à fruits charnus qui dominent dans l'îlot forestier 1 sont toutes introduites, cette particularité est sans doute liée à la proximité de l'unique route traversant les coulées.

Discussion et conclusion

Dans cette matrice de coulées, les communautés végétales indigènes présentent encore un net dynamisme dû à l'abondance des espèces indigènes pionnières anémochores telles que *Agauria salicifolia*, *Senecio ambavilla*.

Figure 6 : *Antirhea*

Figure 7 : *Psidium cattleianum*

Néanmoins, au cours de la succession telle que l'a été décrite (CADET, 1980), l'abondance de ces espèces va diminuer au fur et à mesure que le couvert végétal se referme. Pour illustrer cette dynamique on peut signaler que, sur une surface en forêt comparable à la surface échantillon de cette étude, seulement 3 individus d'*Agauria salicifolia* ont été recensés (STRASBERG et LEPART, in prep.).

Les plantes indigènes à fruits charnus correspondant à la succession connue sont représentées par un bon nombre d'espèces (26) et par un grand nombre d'individus pour deux d'entre elles : *Antirhea borbonica* (Fig. 6) et *Doratoxylon apetalum* (Tableau 1). Ceci permet de souligner la compétitivité de ces espèces indigènes vis à vis des introduites envahissantes, alors qu'on admet l'inverse, tout particulièrement en milieu insulaire.

Néanmoins la forte densité de deux plantes introduites à fruits charnus (*Psidium cattleianum* (Fig. 7) et *Ardisia crenata*, Tableau 1) engendre nécessairement une compétition pour les ressources avec les espèces indigènes représentées chacune par peu d'individus. Il est alors vraisemblable, leur tolérance à l'ombre aidant et leurs fruits étant particulièrement attractifs, que ces deux plantes vont fortement contribuer à diminuer le nombre d'espèces indigènes dans la succession. Cette perte de diversité est bien documentée pour la plupart des îles océaniques (VITOUSEK, 1988)

Notons qu'actuellement, à l'échelle de l'ensemble des coulées du Grand Brûlé, c'est une espèce anémochore (*Casuarina equisetifolia*) qui semble représenter la plus grande menace pesant sur la biodiversité de ces habitats.

Ces résultats indiquent que dans les régions de basse altitude les communautés végétales indigènes relictuelles ont peu de chances de se reformer telles quelles après perturbation même à proximité des forêts encore en place.

De plus, les différences marquées dans le patron de recolonisation d'une coulée à partir de plusieurs îlots forestiers suggèrent que la dynamique interne de ces communautés forestières joue un rôle significatif dans le patron de recolonisation.

REMERCIEMENTS

Ces études sont en partie financées par le Conseil Régional de La Réunion et par le S.R.E.T.I.E. du Ministère de l'Environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- BORDERES M., « Histoire de la Végétation et de la Gestion des Espaces Naturels. », *Bois et Forêts des Tropiques*, 1991, **229**, 23-30.
- CADET T., « Histoire d'une forêt de Bois de Couleurs dans l'île de La Réunion. », *InfoNature*, n° spécial Forêt, 1973, 29-37.
- CADET T., « La Végétation de l'île de La Réunion. », *Etude Phytoécologique et Phytosociologique*. Imp. Cazal, St Denis, La Réunion, 1980, 312 p.
- DOUMENGE, C. et Y. RENARD., « La Conservation des Ecosystèmes Forestiers de l'île de La Réunion. », *IUCN/SREPN*, 1989, 95 p.
- GROOMBRIDGE, 1992. « Global Diversity. », *WCMC*, Chapman & Hall., 1992, p. 262
- JACOBI J. D. et J. M. SCOTT., « An assessment of the current status of native upland habitats and associated endangered species on the island of Hawaiï. », In : STONE, C.P. et J. M. Eds., 1985, 3-22
- SCOTT. « Hawaii's Terrestrial Ecosystems : Preservation and Management. » *Cooperative National Park Resources Studies Unit*, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, U.S.A., 1985, 584 pp.
- LORENCE, D.H. et SUSSMAN R.W., « Exotic species invasion into Mauritius wet forest remnants. », *J. Trop. Ecol.*, 1986, **2**, 147-162.
- MACDONALD, I.A.W., THEBAUD C., STRAHM W.A., et STRASBERG D., « Effects of Alien Plant Invasions, on Native Vegetation Remnants on La Réunion (Mascarene Islands, Indian Ocean). », *Env. Conserv.*, 1991, **18** (1), 51-62.
- STONE C.P. et SCOTT J.M., « Hawaii's Terrestrial Ecosystems : Preservation and Management. », *Cooperative National Park Resources Studies Unit*, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA, 1985, 584 pp.
- STRASBERG, D. et LEPART J., « Tree species diversity, structure and spatial distribution in a tropical lowland rain forest on La Réunion Island. », en préparation.
- TERBORGH J., « Maintenance of Diversity in Tropical Forests. », *Biotropica.*, 1992, **24** (2b), 283-292.
- THEBAUD C. « Contribution à l'étude des plantes étrangères envahissantes à l'île de La Réunion. », *rapport au Conseil Régional de La Réunion*, 1989, 49 p.
- VITOUSEK P., « Diversity and Biological Invasions of Oceanic Islands. », In : Biodiversity, WILSON E.O. Ed., *Nat. Acad. Press*, Washington, USA., 1988, 181-189.

LA DÉFORESTATION À MADAGASCAR UNE DYNAMIQUE INQUIÉTANTE

Jean-Noël SALOMON

INTRODUCTION : LE CONSTAT

Chaque année, selon les dernières estimations (F.A.O., 1993), entre 15 et 20 M d'hectares de forêts disparaissent (surface équivalente à l'Autriche) dans les pays en voie de développement et ce malgré la mobilisation de la communauté forestière mondiale qui depuis 1985 a lancé un Plan d'Action Forestier Tropical (PAFT). En Amazonie, les études par imagerie satellitaire ont montré que 10 M d'ha disparaissaient par décennie. Plus des 2/3 de la surface boisée ont disparu en Afrique de l'Ouest. A ce rythme les prévisions laissent entrevoir que la moitié des forêts tropicales auront disparu en l'an 2 000 !

La destruction de la forêt malgache s'inscrit dans ce contexte. L'opinion de H. HUMBERT (1927) qui estimait que la forêt couvrait la quasi totalité de l'île avant l'arrivée de l'homme (entre le III^e et le VIII^e siècle selon VERIN (1967), et donc fort tardive) est sans doute excessive, mais presque tous les témoins (voyageurs, naturalistes, géographes) et les travaux les plus récents, s'accordent pour reconnaître l'importance de la couverture forestière dans le passé et celle des dévastations opérées par l'homme. Nous savons qu'au XVIII^e siècle on allait encore de Tananarive à Ambositra en cheminant sous la forêt. Au XIX^e siècle le tavy se pratiquait encore dans la région de Tananarive (RAISON, 1972) ce qui indique la présence de forêts importantes. Depuis l'Imerina est devenue chauve et nue : l'herbe a remplacé le bois.

En 1950, la forêt non dégradée occupait encore à Madagascar 15 millions d'ha, mais selon GUICHON, plus que 12,5 millions d'ha en 1960 (dont 6,1 pour la forêt ombrophile, 2 pour les forêts denses caducifoliées et 2,9 pour les bois-fourrés et fourrés du Sud ; cité par KOECKLIN et al., 1974) et certainement moins de 10 millions d'ha en 1993. Des études récentes fondées sur la comparaison d'images satellitaires, de photographies aériennes et de documents historiques ont montré que les 2/3 de la forêt de la côte Est ont disparu depuis le début du siècle. Au rythme actuel cette forêt aura quasiment disparu dans 40 ans. Dans les régions Ouest et Sud de l'île le rythme de la dégradation est encore plus rapide. La destruction est donc très rapide et une utilisation judicieuse de l'imagerie satellitaire devrait préciser l'ampleur d'un phénomène que l'on peut considérer à juste titre comme catastrophique et dénoncé depuis longtemps par les scientifiques.

LES FORÊTS MALGACHES SONT PARTICULIÈREMENT FRAGILES

La fragilité spécifique des forêts malgaches reste en grande partie méconnue en dépit de sa mise en évidence par certains scientifiques (KOECKLIN P., MORAT P., GUILLAUMET, 1974 ; SALOMON J.N., 1982). Elle tient à la conjonction de plusieurs facteurs.

Des sols médiocres et fragiles

De façon extrêmement schématique, il est possible de distinguer les sols du massif ancien composés d'argiles ferrallitiques, et les sols des régions sédimentaires plus variés mais souvent pauvres. Nous considérerons surtout ceux servant ou ayant servi de support à la forêt.

Il est désormais bien établi que les sols tropicaux forestiers sont souvent d'une grande fragilité et pauvres. De fait le géographe E.F. GAUTIER ne disait-il pas au début du siècle que

la Grande Ile avait la couleur, la consistance et la fertilité de la brique ? En effet ces sols, forestiers à l'origine, devraient être a priori riches en humus, mais l'activité dévorante des composeurs minéralise très rapidement la litière organique au lieu de bien l'humifier, ce qui affaiblit le complexe absorbant. L'enrichissement corrélatif en bases échangeables est à son tour annulé par l'intensité du lessivage (même la silice est dissoute !), si bien qu'on a pu parler de « podzols tropicaux », par l'abondance de l'eau tiède et par la perméabilité de l'argile forestière. Autrement dit ces sols sur altérite sont médiocres et ils deviennent franchement mauvais s'ils ne sont plus ravitaillés en litière. Seul l'horizon B est enrichi en sels minéraux mais il est assez profond (plus de 1 m). En fait la seule partie utilisable pour les arbres est l'horizon superficiel (d'où souvent un enracinement développé sur le plan horizontal).

Les sols tropicaux ont donc d'une façon générale de graves inconvénients : l'arbre ne peut utiliser que l'humus en voie de minéralisation, les sels sont lessivés et en l'absence de pente ils peuvent rester saturés d'eau assez longtemps. Bien entendu il convient de nuancer ce constat selon les multiples formations forestières qui se développent dans des conditions souvent fort différentes mais il n'en reste pas moins vrai que l'on peut retenir l'idée que la forêt tropicale vit en grande partie de ses propres déchets et que le sol est son talon d'Achille.

A Madagascar l'érosion de ces derniers est rapidement néfaste car les conditions actuelles de la morpho-pédogenèse sont très défavorables non seulement en raison d'un climat à saisons contrastées, mais aussi à cause des fortes pentes et de la nature des substrats.

Un fort taux d'endémisme facteur de faiblesse

Nous savons que Madagascar est détachée du continent africain depuis le Secondaire et se situe depuis en position tropicale, de telle sorte que son évolution s'est effectuée en vase clos, ce qui a permis le développement d'un haut degré d'endémicité (qu'elle partage avec les îles voisines (Seychelles, Comores, et petits îlots du Canal de Mozambique et de l'Océan Indien). La richesse exceptionnelle de la flore endémique tient d'une part à la variété des conditions écologiques offertes (jeu de la latitude, de l'altitude, de l'exposition, du relief et de la nature des substrats et du climat), mais aussi au fait qu'il ne s'agit pas du dépérissement progressif d'une flore insulaire, mais au contraire d'une évolution et du développement à partir d'un fond ancien de celle-ci. On estime aujourd'hui cette flore originale à 12 000 espèces de Phanérogames (dont 85 % spéciales à Madagascar). Le domaine phytogéographique du Sud-Ouest notamment constitue un ensemble surprenant tant par la grande spécificité aux types biologiques inhabituels que par la vivacité et la netteté de ses associations végétales. « *Peu de régions au monde certainement réunissent sur une aussi faible superficie tant d'éléments intéressants* » (KOECKLIN et al., 1974). Parmi ceux-ci on retiendra le haut degré d'endémisme de cette flore (plus de 80 %).

Relativement moins soumise aux grandes variations paléoclimatiques que d'autres régions, et soustraite aux dures lois de la concurrence, (comme sur le continent africain), la flore malgache s'est fragilisée ce qui est remarquablement illustré par sa faible compétitivité face aux espèces étrangères introduites (comme l'Eucalyptus) et son inertie face aux « agressions ». En Afrique la forêt est habituée à une vieille compétition sur d'immenses surfaces et elle renaît dès que l'emprise de l'homme se relâche. A Madagascar la forêt, faite de peuplements délicats d'espèces rares, à croissance souvent lente, ne résiste pas aux attaques de l'homme. Le taux de croissance et de régénération des arbres est faible : l'*arofy* (essence très recherchée) met plus de 200 ans avant d'atteindre le diamètre de coupe acceptable ; l'*hazomalany* exige même 800 ans ! Ce manque d'adaptation explique qu'après un stress violent (abattis, brûlis) on ne retrouve pas de vigoureux recrues forestiers, mais de simples formations arbustives à Graminées, très sensibles au feu et faciles à défricher à nouveau.

Cette fragilité permet de comprendre pourquoi les savanes ont pu se développer de façon extraordinaire dans tout le pays, ce qui au premier abord peut paraître surprenant, compte tenu de l'arrivée récente de l'Homme et de la faible densité démographique. Par la suite les feux de savanes ne facilitent pas une éventuelle reconquête, bien au contraire.

L'HOMME DESTRUCTEUR DE LA FORÊT

L'homme est le principal auteur des destructions forestières et les raisons qui l'amènent à le faire sont nombreuses, traditionnelles et perçues par lui comme indispensables.

Des motivations multiples

De façon traditionnelle le bois a toujours été considéré comme une ressource permettant d'assouvir des besoins domestiques quotidiens : pour le bois d'œuvre (case, meubles, outils) et pour le bois de chauffe (au début des années 1980, pour la seule alimentation de Tulear en charbon de bois il était détruit 5000 ha de forêt par an ; ANDRIANBOLOLONA A., 1979). En 1990, 80 % des besoins énergétiques et 95 % des besoins des ménages de Madagascar étaient satisfaits grâce au bois. On détruit aussi la forêt pour de nombreuses autres raisons : pour la chasse (rabattage), pour la sécurité (autour des villages), pour des raisons sanitaires (nettoyage), politiques (contestation vis-à-vis de l'administration qui interdit les feux) ou de pyromanie.

Mais il est admis aujourd'hui que la principale cause de la déforestation est la recherche de nouvelles surfaces agricoles. L'agriculture itinérante sur brûlis largement pratiquée à Madagascar comme en témoignent ses multiples noms (*Tavy* de la Côte Est, *Jinga* du Nord-Est, *Hatsaka* des Sakalava, *Tetikala* des Mahafaly etc.) par les populations forestières (telles les Tanala ou les Betsimisaraka) a vu ses rotations s'accélérer. Ces perturbations pour la forêt ne seraient pas aussi graves qu'on a bien voulu le dire (l'agriculture itinérante sur brûlis a été la bête noire des administrations forestières coloniales) tant qu'elles restaient modérées (voir à ce sujet l'excellent travail de D. COULEAU, 1972), le problème est qu'elles se sont étendues et intensifiées sous l'effet de la pression de la croissance démographique. Ce système implique une très longue jachère, dont l'optimum écologique est d'une trentaine d'années. Tout raccourcissement conduit à une rupture d'équilibre : la forêt cesse de se régénérer spontanément car d'une part les arbres n'ont plus le temps de pousser et donner des graines, et d'autre part le feu n'élimine plus les graines d'herbacées faute de combustible. La savanisation apparaît, irréversible car entretenue par les feux. Sur le versant Est le développement de la riziculture de bas-fonds et l'exode rural sont les premières réponses apportées aux pertes de fertilité et à l'accroissement de l'érosion des sols. Sur le versant Ouest ce processus est aggravé par le dessèchement de l'air et la volonté des paysans éleveurs d'étendre les terrains de parcours et d'améliorer les pâturages, ceci afin d'accroître leurs troupeaux.

Le rôle des feux

L'élevage est une activité fondamentale dans tout Madagascar et notamment sur tout le versant Ouest où les populations attachent beaucoup d'importance à leurs troupeaux et y consacrent souvent l'essentiel de leur temps. En effet le bétail y joue un rôle non seulement économique très net (il représente un capital que l'on doit faire fructifier et les bœufs servent de monnaie d'échange dans de nombreuses transactions) mais aussi social et culturel indéniable (un grand troupeau est source de prestige). Mais il s'agit d'un élevage extensif exigeant d'immenses surfaces : une règle grossière voudrait que chaque bête ait à sa disposition 1 ha de pâturage par mois de saison sèche car les pâturages sont assez pauvres. Les mouvements de transhumance sont donc obligatoires. En 1990, on peut estimer le troupeau de bovins à plus de 11 millions de têtes et comme celui-ci s'accroît lentement les savanes apparaissent aux yeux des éleveurs comme le domaine indispensable au parcours des troupeaux, domaine qu'il convient d'accroître. Pour eux la forêt non seulement ne doit pas se reconstituer mais il faut la détruire. Pour cela il existe un bon moyen : le feu.

Celui-ci est allumé en fin de saison sèche période très favorable pour des raisons climatiques au développement des incendies mais aussi parce qu'à cette époque de l'année les Graminées sont ligneuses et trop coriaces pour être consommées. Il faut donc éliminer ces vieilles tiges en les brûlant. Le feu transforme la strate herbeuse en vaste champ de cendres desquels émergent les chaumes calcinés et provoque une petite repousse qui est appréciée du bétail et permet de faire la soudure avec les pousses consécutives aux premières pluies.

En forêt comme en savane l'incendie comporte également d'autres avantages temporaires : les bases sont libérées et le pH augmente, d'où une prolifération des bactéries, en particulier des bactéries nitrifiantes et de la minéralisation de l'humus ce qui met à la disposition des plantes une grosse masse d'éléments minéraux assimilables. La croissance en est stimulée. Dans certains cas la chaleur brise les colloïdes et procure au sol une structure meuble rendant le travail possible. Aux yeux des paysans l'incendie signifie prospérité : les cendres vont recevoir les graines et assurer la nourriture de la famille.

Mais à plus long terme les *tavy* comme les feux de brousse présentent de graves inconvénients notamment celui d'empêcher toute reconstitution du couvert forestier. Le feu détruit une grande partie de la matière organique et de l'humus, et le sol est ensuite lentement décapé par l'érosion : on se souvient de sa faible épaisseur et de sa structure fragile. Plus insidieuse et plus grave est la perte d'éléments chimiques par lessivage vertical et oblique. Parmi les effets quasi irréversibles des feux on peut énumérer les suivants :

- une minéralisation de l'ensemble des matières du sol par amorphisation, en particulier de l'humus (POMEL, 1992) ;
- une oxydation accélérée des horizons à composés ferrugineux ;
- une modification du complexe absorbant et une importante baisse de la porosité ;
- une suppression totale, ou presque, de la faune du sol.

L'activité accrue de la microflore a procuré à la parcelle « un éclair de fertilité » mais l'humus trop vite minéralisé, non renouvelé, disparaît très vite. Les conditions micro climatiques sont modifiées, les rayons du soleil dardent directement le sol dénudé ce qui modifie les conditions de température, d'humidité et de luminosité. L'évaporation accrue par la suppression de l'ombre annule bien vite l'avantage originel. En lisière de forêt les feux d'herbes sèches, poussés par les vents, font peu de dégâts aux arbres sauf s'ils incendient les couronnes, mais les températures en profondeur dans le sol ont souvent des effets graves. Le feu peut couvrir longtemps dans un matelas humifère et provoque alors des destructions irrémédiables et imprime des formes de dégradation. Sur toutes les marges forestières de Madagascar au contact des savanes on observe des faits de régression.

LA DÉGRADATION DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE

Après qu'un abattis ait été consommé la parcelle apparaît au yeux de l'étranger comme une étendue désolée hérissée de moignons noircis et jonchée de troncs ; le spectacle semble d'autant plus hideux qu'il contraste avec la beauté des forêts environnantes. Commence alors un processus de dégradation qui modifie dans un premier temps la composition de la couverture végétale puis dégrade ensuite les sols de façon néfaste.

L'atteinte aux arbres

En forêt comme en savane la dégradation du couvert végétal se fait par à-coups et nécessite souvent des abattis préalables.

Sur le versant Est dans le cas du *tavy* l'abattage est une opération indispensable et une période de séchage est nécessaire avant mise à feu. La forêt sur pied brûle très difficilement dans les conditions habituelles. La forêt elle-même joue souvent le rôle de pare-feu. En forêt dense il faut accorder un rôle fondamental aux ouvertures du couvert végétal soit par une cause naturelle soit par l'homme. Si ces trouées sont de faible superficie (cas le plus fréquent en l'absence de l'intervention de l'homme) la régénération naturelle (d'abord par les

héliophytes, puis par les sciaphytes) est rapide et peut être comparée à une « cicatrisation ». Mais avec le passage à une agriculture dont les rotations s'accroissent, ou devenue permanente, ces plantes pionnières en viennent à être considérées comme des mauvaises herbes que l'on doit éliminer. Leur destruction permet à la dynamique « régressive » de se poursuivre. Ainsi de destructions en destructions on aboutit à une baisse rapide de la fertilité des sols et à l'abandon des terrains devenus trop ingrats. Si la zone dégradée est vaste, les arbres semenciers sont rares ainsi que les animaux disséminateurs, le sol chimiquement est appauvri et les champignons mycorhiziens tués. Il faut alors pour permettre le retour de la forêt un temps de l'ordre de plusieurs siècles à un millénaire. Autant dire que quand elle est profonde, la dégradation est un phénomène irréversible.

Sur le versant Ouest, le feu de brousse ne pénètre normalement pas dans la forêt, mais il peut griller ses lisières et même en cas de grande sécheresse, entamer une partie du sous-bois. Dans ce cas les zones atteintes sont vite colonisées par les Graminées ce qui facilite les futurs incendies. Des mesures de température lors de passages de feux à 1 cm, 50 cm et 1 m, montrent que le feu ne détruit pas les rhizomes mais seulement les graines de surface. Par contre en lisière les températures sont plus élevées, pénètrent en profondeur avec des effets graves. Le feu peut couvrir longtemps dans un matelas humifère et reste au pied des arbres provoquant des destructions définitives.

Chaque feu favorise donc l'herbe au détriment de l'arbre. De nos jours plus de 80 % de l'Ouest malgache est recouvert de savanes. Celles qui sont sous climax forestier sont instables, l'état boisé ayant tendance à se reformer mais la reconstitution spontanée est mise en échec par la récurrence des feux de brousse. De ce processus résulte une sélection rigoureuse des espèces aboutissant à un appauvrissement floristique de la forêt où seuls les pyrophytes subsistent tels certains palmiers comme le Satra (*Hyphaene shatan*) le Satrabe (*Medemia nobilis*) ou quelques rares feuillus comme le Motalahy (*Acridocarpus excelsus*), le Mangarahara (*Stereospermum euphoroides*) et le Sakoa (*Poupartia caffra*). Les feux récurrents provoquent également une sélection sévère au sein même des Graminées. Ils éliminent de nombreuses espèces au profit des plus pyrrophiles, c'est-à-dire des plus ligneuses et donc des moins favorables quant à leurs qualités fourragères. Dans le Moyen-Ouest, les sols les plus riches portent une savane à Verobe (*Hyparrhenia rufa*) et Danga (*Heteropogon contortus*). Les passages des feux (et l'altération des sols) provoquent une évolution vers des groupements à *Hyperthelia dissoluta* d'abord, puis à *Heteropogon contortus*, à *Loudetia filifolia* et enfin à *Aristida multicaulis*. La présence de cette dernière représente l'ultime stade de dégradation avant la mise à nu du sol (P. GRANIER, 1967).

La dégradation des sols

La destruction de la couverture végétale affecte très rapidement les sols. Tout d'abord l'alimentation de la litière en matière végétale (feuilles, écorce, brindilles, branches etc.) est interrompue ce qui pénalise les micro-organismes et la décomposition biologique. Or, habituellement le sol forestier est le siège d'une activité intense de la part des décomposeurs et des prédateurs (Bactéries, Champignons, Protozoaires, Nématodes, Rhizophages, Géophages, Termites et Fourmis, Arthropodes détritivores, etc.). Il se produit une dégradation rapide des matières organiques pour donner naissance à des minéraux solubles. On comprend que si l'on supprime la végétation au bout de quelques mois les sols sont appauvris.

Par ailleurs les sols dénudés sont soumis à un changement brutal : augmentation de l'éclairement et des écarts de température, conduisant, le jour, à une très forte évaporation, un dessèchement et un durcissement rapides peu favorables à une reprise végétative. Apparaît alors une croûte dure qui ne permet qu'une pénétration lente de l'humidité mais favorise le ruissellement de surface. Le lessivage des sols augmente ce qui accélère la perte de fertilité. De vastes secteurs autrefois productifs sont définitivement perdus.

L'élimination de la forêt supprime son rôle d'écran face aux pluies souvent brutales (pluies cycloniques) et fait disparaître l'entrave au ruissellement qu'elle apporte par le biais des troncs et des racines. Dans un premier temps les eaux se chargent de sédiments fins et, comme la litière a disparu, les acheminent vers les talwegs : la part prépondérante qui était celle des particules fines dans les sols forestiers disparaît au profit des particules grossières. Ensuite la disparition des entraves permet la prise en charge de sédiments de plus en plus grossiers. A terme, il ne reste en place que des sols sans fraction humique colloïdale, voués à une stérilisation d'autant plus rapide que les racines et la litière ne fournissent plus d'acides organiques.

Parmi les nombreux effets irréversibles de la déforestation sur les sols on observe (POMEL, 1992) :

- une induration des profils et une rubéfaction des horizons ferrugineux ;
- une inactivation des horizons argileux et humifères ;
- un non-recyclage de la matière organique ;
- une migration accélérée des particules fines (effet de défloculation des argiles et de dispersion des colloïdes).

On conçoit que dans ces conditions la déforestation conduise inéluctablement à une diminution des surfaces forestières, à un appauvrissement de la composition floristique (voire à des pertes génétiques), à l'amointrissement d'un capital pédologique et au gâchis d'une ressource économique.

Mais surtout, peut-être, la déforestation anthropique est à l'origine d'une crise morphogénétique sans précédent à Madagascar, caractérisée par des figures d'érosion spectaculaires et des atterrissements tout aussi désastreux.

La crise morphogénétique

Dès que les pentes se relèvent un tant soit peu, le sol qui n'est plus protégé devient la proie des processus érosifs, tantôt insidieux, tantôt catastrophiques, mais le résultat final est toujours la destruction inexorable du sol, lequel est le support de toute activité agricole.

L'infiltration étant moins facilitée l'eau tombée est presque entièrement disponible pour le ruissellement et cela se répercute sur le débit des évacuateurs : le débit liquide connaît des variations brutales qui permet la prise en charge d'un débit solide accru. Les alluvions (grossières désormais) sont charriées avec force sur de grandes distances et déposées dans les zones de débordement. Sur les hauts des versants, il y a perte de la terre arable à commencer par les horizons supérieurs organo-minéraux, ce qui prive le sol des éléments régénérateurs de sa structure et du facteur d'infiltration. Ensuite les horizons sous-jacents sont érodés. En bas de versant on assiste à un colluvionnement d'autant plus important que l'érosion s'est attaquée aux horizons profonds. Dans les cas les plus extrêmes l'on parvient à de véritables désastres car les épandages de matériaux grossiers viennent recouvrir les terres de culture (ANDRIAMIHAEISOA J., 1985).

Si l'on compare la granulométrie des alluvions actuelles à celle d'alluvions plus anciennes constituant les basses terrasses des cours d'eau, on s'aperçoit que la proportion de sédiments de sables grossiers et de graviers a pratiquement doublé pour représenter aujourd'hui entre 80 et 90 % des sédiments fluviaux ! (ROSSI, 1979 ; SALOMON J.N., 1986). Les effets négatifs de cette situation sont doubles :

- Sur les hauts des bassins-versants l'érosion accélérée occasionne la perte d'un capital arable précieux. En effet les lavaka et les ravines ont tendance à ronger les champs attenants et à couper les chemins mais surtout il y a disparition des horizons pédologiques et en même temps attaque des horizons inférieurs les plus internes, peu évolués. Quelques dizaines d'années suffisent parfois pour mordre une colline et mettre à nu les horizons profonds du profil latéritique. Cette action insidieuse exclut la possibilité d'une reconstitution ultérieure (même à moyen terme) d'un capital pédologique. Enfin à chaque saison des pluies particulièrement arrosée, d'importantes quantités de matériaux

grossiers, arrachés au cœur des lavaka, s'épandent empiétant petit à petit sur les terroirs agricoles. Ceux qui sont rendus incultes sont de ce fait définitivement abandonnés. Un autre méfait est la disparition du manteau d'altération jouant le rôle de terrain aquifère, désormais il y a tarissement des sources en saison sèche voire même dans certains cas disparition totale.

- Dans les parties aval ce n'est pas mieux : les défluviations et les débordements sont plus fréquents du fait de l'augmentation de la brutalité des écoulements et de l'exhaussement du fond des lits (le cas de la Sisaony, affluent de la rive gauche de l'Ikopa est spectaculaire) : ils se multiplient (les ruptures de digues aussi) et s'accompagnent du recouvrement de terrains souvent fertiles (type baiboho) ou irrigués (rizières) par des couches épaisses de sédiments grossiers stérilisants. Autour du lac Alaotra, 1 000 à 3 000 ha de rizières deviennent inutilisables chaque année. Au plan national, RAZAFIMAHEFA (1986) a calculé que Madagascar perdait environ 1,2 millions de tonnes de terres fertiles par an !

Par ailleurs l'on sait que le déboisement peut entraîner un abaissement des nappes aquifères, une diminution du débit des petits cours d'eau et par suite une précarité croissante des conditions de culture, tel est le cas, depuis 25 ans, de toute la région comprise entre le Cap St-André et Tulear. Ces dégâts difficilement calculables, mais réels, grèvent lourdement non seulement les possibilités d'un développement agricole, mais aussi celui du maintien des surfaces mises en valeur.

Pour terminer on rappellera que la couverture végétale constitue la protection la plus efficace contre l'érosion et le ruissellement. Si elle disparaît les crues des rivières sont aggravées et peuvent devenir catastrophique si elles surviennent dans des régions peuplées. La plaine de Tananarive est protégée par des digues, mais il arrive que de temps à autres celles-ci soient rompues (1959, février 1982). Ailleurs les conséquences sont lourdes, ainsi le 26 décembre 1978 à la suite du passage de la dépression cyclonique « Angèle » la crue du Fiherenana balaya le canyon et ravagea tout sur son passage : les habitants de la vallées furent emportés (environ 80 morts) et les eaux dégorgeaient dans la plaine de Tulear en emportant les digues de protection et inondant les quartiers de la ville. Les dégâts matériels furent considérables. Par exemple la superficie en coton qui était de 2 353 ha en 1978 est tombée à 664 ha en 1990 : les plantations ne se sont jamais relevées de la catastrophe.

Aujourd'hui, *le sol malgache est l'un des plus érodé de la planète* ; il se dégrade huit fois plus vite que celui de l'Éthiopie dont on connaît les problèmes alimentaires. L'exemple de Haïti, où il ne reste plus que 2 % de forêt (contre 80 % au début du siècle), préfigure un triste avenir.

Devant une situation aussi négative et le péril menaçant l'avenir de nombreux terroirs, les différents services ont tenté de réagir et de limiter les dégâts, mais force est de constater que les efforts entrepris ont eu une action limitée.

LA PRISE DE CONSCIENCE

La surexploitation d'une ressource naturelle comme la forêt a comme conséquences des phénomènes d'appauvrissement, de fragilisation et de destruction de l'environnement.

La déforestation engendre divers problèmes socio-économiques, en particulier la perte de ressources provenant d'arbres rares et l'érosion des sols susceptible de provoquer à son tour des dégâts considérables à l'agriculture et à l'habitat. La Banque Mondiale a d'ailleurs estimé que Madagascar doit payer pour la déforestation et l'érosion un coût compris entre 100 et 300 millions de dollars US par an, soit de 5 à 15 % du P.N.B. du pays !

Par absence de respect de l'environnement on sait aujourd'hui qu'un certain développement agricole peut s'annuler de lui-même.

Les géographes ont depuis longtemps abordé la production agricole dans le contexte de milieux, en relevant leurs interférences par le biais de la lecture de paysages agraires, mais

ils sont restés esseulés. Aujourd'hui les progrès accomplis par les sciences de la nature d'une part et par les sciences humaines (ethnologie, sociologie, économie, démographie etc...) d'autre part, permettent de reprendre cette question avec de nouvelles perspectives. Les changements végétaux, l'érosion des sols, leur dégradation ou leur perte de fertilité doivent être étudiés et ce à différentes échelles, depuis celle de la parcelle jusqu'à celle de l'étude régionale.

Depuis quelques années à Madagascar, il semble que des efforts de conscientisation aient été effectués : promulgation d'une Charte de l'environnement et mise en œuvre d'un Plan d'Action Environnemental (P.A.E.). Il s'agit en quelque sorte d'inclure l'aspect environnement dans toutes les activités de développement et dans cette optique de développement, les questions de l'environnement devraient relancer les études de géographie physique et les études agraires. Mais déjà il convient de réfléchir et de proposer des solutions possibles.

Le reboisement

Puisque la dégradation du couvert végétal apparaît si néfaste l'idée d'une interdiction ou d'une réglementation vient aussitôt à l'esprit. Mais d'une part cette idée n'est pas nouvelle (elle date d'avant la colonisation¹) mais elle ne peut être efficace que si l'on peut la faire appliquer. La coercition n'est pas souhaitable et les tentatives de persuasion ont largement échoué à ce jour. Sans abandonner pour autant l'idée d'une réglementation, il nous apparaît plus judicieux d'essayer de reboiser. Il appartient aux pouvoirs publics de montrer la voie en effectuant des actions de démonstration respectant la vocation des sols et en choisissant les essences les plus intéressantes (ombrage, bois, fertilisation du sol, nourriture etc.). On sait maintenant que les méthodes extensives, voire expéditives de culture suppriment les arbres, mais aussi que les sociétés agraires les mieux enracinées à leurs terroirs construisent de véritables parcs arborés (Afrique de l'Ouest, Rwanda-Burundi). L'arbre utile est épargné, encouragé, entretenu et façonné. En Afrique tropicale l'arbre s'insère dans le champ dont il est un partenaire de production et une garantie de survie (P. PELISSIER, 1980).

Le reboisement et la réhabilitation des anciens défrichements, tels les monka de la Côte Ouest, est sans doute une alternative à considérer. Une telle voie permettrait de ne plus faire entrer en concurrence forêt et élevage, mais la tâche est immense : les boisements artificiels ne représentent que 1,5 % de la province de Tananarive. Les différents projets récents (ex. le projet « Gestion et Protection des forêts ») ou anciens (projets de la F.A.O. ou de boisement des Tempoketsa notamment) sont restés inopérants. D'une façon générale, les efforts de reboisement sont loin de compenser les destructions. A Madagascar on peut estimer que pour un arbre planté 100 autres sont détruits.

La gestion des feux

En savane on ne peut dissocier le feu du fonctionnement de l'écosystème : il évite l'accumulation des litières et favorise les tapis herbacés par ailleurs, il détruit plus de la moitié de la faune non ailée. Nous avons vu ses avantages et ses inconvénients, ceux-ci étant à terme prépondérants. Il convient donc, sinon de supprimer le feu de brousse, du moins de le limiter. Une interdiction pure et simple, même suivie de sanctions, apparaît utopique tant que le paysan-éleveur l'utilisera pour « franchir » la saison sèche. La limitation des feux pourrait être présentée comme une alternative, un moindre mal, mais pour cela il faudrait le consensus des éleveurs généralement peu sensibilisés aux argumentations de l'Administration. Dès lors le seul moyen logique est de présenter une alternative aux éleveurs, de leur présenter une solution de remplacement agréée par eux. Une des solutions possibles est l'introduction massive d'espèces fourragères de substitution permettant aux

1. La dégradation de l'environnement préoccupait les responsables du pays dès le XVIII^e siècle. Au temps du Roi Andrianampoinimerina, ils promulguèrent des textes législatifs concernant la protection des forêts (rassemblés dans le Code des 305 articles). Par exemple, l'abattage des arbres était soumis à autorisation.

troupeaux d'attendre les premières pluies et le recru végétal. A Madagascar, des espèces introduites telles que *Stylosanthes guyanensis* et *Stylosanthes humilis*, deux légumineuses ont donné de bons résultats expérimentaux. On pourrait ainsi améliorer les pâturages naturels ou mieux constituer des pâturages artificiels. Une autre solution serait de prévoir les rotations dans la pâture : celle-ci serait mieux utilisée et les bouses ainsi concentrées constitueraient un apport en matière nutritive, le seul en définitive. Mais ceci suppose un minimum d'enclosure et de surveillance.

Rappelons cependant que, de façon extravagante, la production de bétail, avec seulement un animal par hectare, et souvent de faible qualité, reste une des activités les moins rentables. Dans ce domaine les généticiens pourraient améliorer les races du bétail local.

L'agroforesterie

Le concept d'agroforesterie est relativement nouveau en tant que science et technique d'exploitation agricole incluant la culture des arbres et arbustes fournissant fruits, noix, fibres, substances médicinales et bois de chauffe. Plusieurs objectifs peuvent être associés : production de bois de feu ou de bois pour d'autres usages ; boisement villageois ; restauration de la végétation arborée « naturelle ». La nourriture du paysan s'en trouve améliorée comme ses conditions de vie. Ces objectifs doivent s'adapter à l'évolution de la situation réelle, politique, sociale, économique et culturelle de chaque population concernée. Il faut prendre en compte les connaissances locales en matière d'agroforesterie traditionnelle et associer les agriculteurs aux décisions d'aménagement. Lorsqu'il ne l'a pas, il faut redonner au paysan le sens de l'importance de l'arbre et l'initier à de nouvelles techniques. La création et le développement d'un corps de vulgarisateurs apparaît nécessaire dans ce but. Celui-ci devra planter des essences à croissance rapide, dans la mesure du possible d'origine locale, pour assurer un approvisionnement plus fiable en bois de feu (les Eucalyptus ou les Pins ne sont pas toujours la bonne solution, ou bien encore intégrer des plantes fixatrices d'azote, tout en faisant œuvre éducatrice auprès des paysans. De nombreuses expériences heureuses existent déjà dans le monde (Costa Rica, Chine, Inde, Nigeria, Philippines, Brésil, etc.) dont il est possible de s'inspirer.

Auparavant, il faudrait établir une législation fondée sur une connaissance scientifique des milieux et des groupes sociaux qui les exploitent. Cela passe par une analyse des systèmes agricoles traditionnels (défriche-brûlis, extraction des ressources forestières, élevage extensif) et de leurs modifications. Il faut bien prendre conscience que certains instruments de protection de la nature, en altérant les modes d'exploitation des ressources naturelles, l'organisation de l'espace et l'organisation sociale, peuvent devenir des facteurs d'aggravation d'une économie paysanne en grande partie autarcique et déjà en proie à de multiples difficultés.

La protection de la biodiversité

L'appauvrissement biologique de la planète s'est considérablement accéléré en un siècle or la plupart des espèces animales et végétales se situent en forêt. On estime aujourd'hui que 4 000 à 6 000 espèces disparaissent chaque année à cause du déboisement. Au rythme de la déforestation actuelle des millions d'espèces auront disparu en l'an 2000, des richesses insoupçonnées seront gaspillées à jamais dont certaines auraient pu être utiles à l'homme : aliments, fibres, résines, gommes, huiles essentielles, plantes d'agrément ou médicinales telle la pervenche rose de Madagascar (*Catharanthus roseus*) qui synthétise deux alcaloïdes très efficaces contre la maladie de Hodgkin et la leucémie. Le marché de ces deux substances est supérieur à 650 millions de francs par an. Cinq autres espèces de *Catharantus* poussent à Madagascar mais sont menacées de disparition par destruction de leur habitat. A Madagascar le patrimoine biologique est particulièrement riche : il comporte environ 12 000 espèces végétales qui ont évolué sur place, abritant 80 % de vertébrés endémiques. Ce patrimoine est aussi attaqué, ainsi les grands lémuriniens ont-ils tous disparu, les autres sont menacés à moyen terme (TATTERSALL, 1993). Il est donc urgent de protéger les zones

présentant un intérêt écologique non seulement par éthique mais aussi par intérêt économique. La création de réserves, sans considération pour la population locale, n'est aujourd'hui qu'une solution à court terme à la crise de la biodiversité, un pis aller.

Madagascar est d'ailleurs officiellement assez bien dotée en Aires Protégées avec 6 Parcs Nationaux, 11 Réserves Naturelles Intégrales (R.N.I.) où en principe toute intervention humaine est exclue, et 23 Réserves spéciales (conçues, comme les Parcs Nationaux, pour recevoir des visiteurs). Par ailleurs, l'intérêt international pour Madagascar en raison de l'originalité de sa biodiversité, a fait que de nombreux efforts se sont concentrés en faveur de la Grande Ile à partir des années 70 (W.W.F., P.N.U.D., U.N.E.S.C.O., Banque Mondiale, Coopérations étrangères etc.), qui sont à la base d'un vaste projet, le Plan d'Action Environnemental (P.A.E.). Mais en pratique, l'application des résolutions sur le terrain est difficile à mettre en œuvre et le travail à accomplir est immense.

CONCLUSION

Madagascar compte aujourd'hui environ 11 M d'habitants et un taux de croissance de 3 %/an (ce qui est très fort). En 25 ans, la population a doublé tandis que 90 % des forêts ont disparu. A ce rythme la population atteindra 16 millions à la fin du siècle et aura triplé en 2015. A ce moment là le bois de chauffe sera inexistant.

En effet les bonnes intentions se heurtent à plusieurs types de difficultés :

- Les recherches et les inventaires, y compris pour les espèces dites secondaires ou qui nous sont moins connues sont encore très insuffisantes. De plus il faudrait replacer ces travaux dans une perspective plus globale sur les milieux déjà dégradés, perturbés, soumis au travail des paysans. Mais paradoxalement les différentes instances scientifiques « responsables » ne semblent pas toujours avoir compris l'intérêt des recherches fondamentales sur l'environnement en liaison avec l'aménagement et ce dans un but de développement. La volonté de séparer Sciences de la Nature et Sciences de l'Homme (l'exemple de la coupure voulue par un courant de pensée à la mode, entre Géographie Physique et Géographie Humaine est un exemple significatif) affichée par certains, est typique à cet égard. Quoi qu'il en soit, il est difficile d'échapper au fait que pour mieux gérer il faut mieux connaître.
- Le coût élevé des opérations est un problème essentiel. Selon le Tropical Forestry Action Plan (cité par NEWMAN A., 1990), un investissement de l'ordre de 30 millions de dollars serait nécessaire pour conduire Madagascar à une situation satisfaisante, ce pays ne peut y suffire seul. Mais comme par ailleurs les fonds internationaux alloués à la protection de l'environnement sont limités, le pays devra compter essentiellement sur lui-même. La déforestation est avant tout un phénomène socio-économique, aussi les remèdes doivent-ils tenir compte des réalités nationales.
- L'inertie, voire les entraves mises en œuvre par l'Administration, compromet bien des programmes. Les exemples sont nombreux et variés : employés qui ne reçoivent ni matériel, ni semences, ni avances pour commencer le travail ; agents forestiers complices de prédateurs ; gaspillages ou détournements ; blocage d'autorisations, délayage de responsabilités, etc. ;
- Enfin, la méfiance ou l'hostilité des paysans peut faire échouer le meilleur des projets. Dans tous les cas, ces derniers doivent être réellement associés aux décisions et celles-ci doivent être perçues par eux comme clairement avantageuses. Sans ce préalable indispensable les projets les mieux conçus sont souvent voués à l'échec.

La plupart du temps les divers projets relatifs à l'environnement ou au développement sont élaborés par des instances avec l'aide des diverses disciplines scientifiques à tendance naturaliste ou bien relatives aux sciences humaines. Dans les deux cas, les rapports intervenant entre nature et société sont négligés. Il est d'ailleurs paradoxal que les géographes soient la plupart du temps absents de ces programmes alors que par essence la

discipline géographique s'attache à l'analyse de ces rapports. Le recours à cette discipline devrait permettre une meilleure coordination et mieux utiliser des concepts usités par les géographes depuis longtemps et que certains semblent découvrir.

Enfin, les projets sont souvent trop ambitieux, et sont submergés par tous les problèmes évoqués ci-dessus : ils échouent donc. Leur impact apparaît alors comme négatif et compromet de ce fait l'avenir de nouveaux programmes. Il conviendrait mieux à notre sens consacrer ses efforts à quelques exemples bien choisis, mais condamnés à réussir pour servir ensuite d'exemple. En matière de politique d'environnement et de développement la prise de décision revient en dernier ressort au politique, encore faut-il que celui-ci soit éclairé et conscient des enjeux en cours. Dans le cas de la déforestation, à Madagascar, ils sont à la fois fondamentaux et urgents !

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIAMIHARISOA J., « Contribution à l'étude de l'érosion des sols, facteur d'évolution des versants sur les Hautes Terres malgaches, région de Tananarive. », *Thèse de 3^{ème} cycle*, Aix en Provence, 1985, 310 p.
- ANDRIANBOLOLONA A., « L'approvisionnement en énergie de la région de Tulear. », *Mém. Maîtrise*, CUR de Tulear, 1979.
- COULEAU D., « Les Zafimaniry. », Madagascar, 1972, 350 p.
- GRANIER P., « Le rôle écologique de l'élevage dans la dynamique des savanes à Madagascar. », *I.E.M.V.T.*, Multigr. Tananarive, 1967, 80 p.
- HUMBERT H., « La destruction d'une flore insulaire par le feu. Principaux aspects de la végétation à Madagascar. Documents photographiques et notices. », *Mém. Acad. Malg., Fasc.*, 1927, V, XLI pl., 79 p.
- KÆCHLIN J., GUILLAUMET J.L. et MORAT P., « Flore et végétation de Madagascar. », *J. Cramer, Vaduz*, 1974.
- NEWMAN A., « Les forêts tropicales, comment les sauver ? », *Ed. Larousse*, Paris, 1990, 248 p.
- PELISSIER P., « L'arbre en Afrique tropicale. La fonction et le signe. », *Cahiers ORSTOM Ser. Sci. Hum.*, 1980, 17 n° 3/4, pp. 127-321, 18 fig., 6 tab., 41 photos, 18 cartes, Bondy.
- POMEL S., « Les indicateurs de l'anthropisation dans les sols des savanes au sud du Sahara. », *Com. Colloque « Umwelt 2 000 »*, Aachen (R.F.A.), 1992, (sous presse).
- RAISON J.P., « Utilisation du sol et organisation de l'espace en Imerina ancienne. », *Mélanges de Géographie tropicale offerts à Mr. le Pr. GOUROU*, Bordeaux, 1972.
- RAZAFIMZHEFA A. « Naturerstörung durch Wald und Weidebrände invon Madagascar. », *Ifo-Inst. für Wirtschaftsforschung*, München, 1986, 196 p.
- ROSSI G., « Importance, causes et conséquences de la crise morphologique actuelle à Madagascar. », *Rev. Géogr. Mad.*, Tananarive, 1979, 34, 11- 21.
- ROSSI G. et SALOMON J.N., « Un exemple d'érosion accélérée à Madagascar : les sakasaka. », *Zeit-für Geomorph.*, Berlin-Stuttgart, 23, 3, 271-280.
- SALOMON J.N., « Fourrés et forêts sèches du Sud-Ouest malgache. », *Mad.r ev. Géogr.*, 1978, 32, 19, 39.
- SALOMON J.N., « Réalités et conséquences de la déforestation dans l'Ouest malgache. », *Mad. Rev. Géogr.*, 1982, 40, 7-13.
- SALOMON J.N., « Le Sud-Ouest de Madagascar, étude de géographie physique. », *Presses Universitaires de Bordeaux*, 1987, 998 p. 3 cartes h.t., 238 fig., 68 photo.
- TATTERSAL I., « Les Lémuriens de Madagascar. », *Pour la Science*, 1993, 185, 66-73.
- VERIN P., « L'origine indonésienne des malgaches. », *Bull. de Madagascar*, 1967, 259, 947-976.

LA BIODIVERSITÉ

Robert BARBAULT

Parler de biodiversité à Madagascar est particulièrement symbolique, d'une part parce que ce pays est un haut lieu de la diversité du vivant — avec sa flore et sa faune à la fois riches et fortement endémiques — d'autre part parce qu'il s'agit d'un pays du Sud.

Nous voilà donc au cœur du sujet, car le concept de *biodiversité* n'est pas un simple descriptif ou constat de la diversité du vivant. La Convention sur la Diversité Biologique signée à Rio de Janeiro en juin 1992 par 157 Etats l'a bien montré : au-delà de la dimension génétique et écologique des problèmes qu'elle soulève la biodiversité est le lieu d'inquiétudes et d'enjeux. Inquiétudes, parce qu'elle est menacée par les activités humaines ; enjeux, parce qu'elle représente un patrimoine et des richesses inégalement distribués : la biodiversité est particulièrement abondante en région tropicale, c'est-à-dire dans les pays du Sud, tandis que les convoitises émanent de pays du Nord.

On voit l'étendue du champ à traiter, puisqu'il concerne non seulement la diversité du vivant en tant que telle, son origine, ses mécanismes, ses fonctions, sa dynamique, mais aussi son utilisation et sa conservation - c'est-à-dire les défis que posent aux sociétés humaines la nécessité de concilier les besoins de développement avec la sauvegarde du patrimoine biologique, base de ce développement. Il y faudrait des livres entiers (Barbault, 1993).

Avec le point de vue d'un écologue j'aborderai ici trois aspects du problème :

- pourquoi se préoccuper de la biodiversité ?
- comment poser les problèmes pour espérer les résoudre ?
- quelles leçons faut-il en tirer, quelles sont les perspectives ?

POURQUOI SE PRÉOCCUPER DE LA BIODIVERSITÉ ?

On peut répondre simplement à cette question : parce qu'elle est menacée ; parce que des espèces et des variétés disparaissent à un taux sans précédent (Wilson, 1988).

Mais cela ne saurait suffire. Aux intégristes de la conservation, pour qui toute espèce vivante est sacrée et doit être protégée, on peut rétorquer : « Des espèces disparaissent... et alors ? C'est le propre de la vie. Depuis toujours des espèces disparaissent. L'homme ne sait-il pas maintenir des écosystèmes à biodiversité réduite et néanmoins propres à assurer sa subsistance ? N'est-ce pas le cas de ces champs et plantations, où, avec un très petit nombre d'espèces, à variabilité génétique réduite qui plus est, on parvient néanmoins à nourrir une humanité croissante en nombre ? »

Parce que les mesures de conservation peuvent être coûteuses, parce que les espaces de terre qu'il faudrait mettre en protection peuvent avoir d'autres usages, susciter d'autres intérêts, il devient nécessaire de justifier les politiques de conservation ou de gestion des espaces et des espèces.

On avance habituellement trois types de justification :

- des justifications d'ordre éthique ou culturel ;
- des justifications biologiques ou écologiques ;
- des justifications économiques.

J'ai discuté ailleurs la prééminence des deux premiers types d'argumentation (Barbault, 1993), en soulignant que les arguments de type économique sont nécessairement corrélatifs de choix de société, donc des valeurs morales ou culturelles. Les trois approches sont d'ailleurs complémentaires et étroitement liées.

« L'extinction des organismes vivants est le dégât biologique le plus important de notre époque car il est totalement irréversible. Chaque pays possède trois formes de richesses : ses ressources matérielles, culturelles et biologiques. Nous comprenons très bien les deux premières, car elles font partie intégrante de notre vie quotidienne. En revanche, on néglige les ressources biologiques : c'est une grave erreur stratégique, que nous regretterons de plus en plus. Les animaux et les végétaux sont une partie de l'héritage d'un pays ; ils sont le résultat de millions d'années d'évolution, en un endroit précis ; leur valeur est au moins égale à celle de la langue ou de la culture. De plus les organismes vivants sont une source immense de richesses inexploitées, de nourriture et de médicaments, par exemple » (E.O. Wilson 1988).

De fait, les approches économiques modernes du problème intègrent ces trois dimensions de la biodiversité pour tenter d'en faire une évaluation pertinente (Lévêque et Glachant, 1992).

Cela dit, j'aimerais illustrer brièvement chacun de ces trois points de vue.

L'approche éthique et culturelle

Indépendamment de toute considération directement économique ou pragmatique, il y a des raisons purement morales à préconiser une sagesse conservationniste : la première est naturellement celle qui nous conduit, d'une manière générale, à respecter les droits d'autrui.

De fait, protéger et entretenir son propre environnement c'est d'abord respecter celui de son voisin. Conserver un patrimoine naturel qui ne nous appartient pas, c'est tout simplement respecter les droits d'autres hommes, ici et ailleurs. Ailleurs dans l'espace, bien sûr, mais aussi ailleurs dans le temps : conserver le patrimoine biologique c'est d'abord et fondamentalement sauvegarder la terre de nos enfants et petits-enfants.

« Pourquoi, dans certains cercles « éclairés », est-il de bon ton de sourire des passions protectionnistes que suscitent bébés phoques, baleines ou éléphants ? Parce qu'il s'agit d'attitudes affectives, de sentiments, plutôt que d'argumentations rationnelles. Serait-il plus convenable de défendre la restauration de monuments historiques ? Ne serait-on pas choqué d'entendre évoquer, fut-ce à partir d'arguments rationnels, de calculs économiques, la démolition de la cathédrale de Chartres — sans que personne n'ose en rire ? Certes, les dinosaures ont tous disparu : ça ne nous empêche pas de vivre ! Peut-être même ne serions-nous pas là si ces grands reptiles n'avaient pas laissé le champ libre aux mammifères. Mais nous ne sommes pour rien dans cette extinction : si baleines, éléphants ou pandas venaient à disparaître, sans que nous n'ayons rien fait pour l'empêcher, alors ce serait bien différent. Nos cultures impliquent la mémoire. Elles sont faites de monuments, mais aussi de livres et de légendes, les uns et les autres riches de plantes et d'animaux variés : éléphants ou araignées, chênes ou roseaux, hantent nos rêves, peuplent contes et légendes... Oui, quelque part au fond de nous, les splendeurs de la vie ont quelque chose de sacré, touchent à nos racines : la diversité biologique c'est aussi la musique du vivant » (Barbault, 1993).

L'approche biologique et écologique

Cette approche consiste à insister sur la signification biologique de la diversité du vivant. Parmi les arguments avancés j'en résumerai trois :

La variabilité génétique des populations naturelles est la condition première de leur survie à long terme, puisque d'elle dépend leur capacité d'adaptation à des conditions changeantes.

Les agronomes savent bien aujourd'hui que l'homogénéisation génétique des variétés de plantes produites et cultivées à une échelle industrielle les expose particulièrement aux ravageurs à évolution rapide, virus, champignons ou insectes (Riba et Silvy, 1989).

Ainsi, tandis que les pratiques de croisement avaient réduit 85 % du maïs cultivé aux Etats-Unis à une presque totale homogénéité génétique, la résistance à la rouille fut surmontée par le champignon en 1970 et l'épidémie provoqua des dégâts considérables. En 1980, pour les mêmes raisons, 90 % de la récolte cubaine de tabac fut détruite par le mildiou !

Si la variabilité génétique est, pour toute espèce, une assurance pour parer à l'imprévu, on peut dire que la diversité des espèces, et donc celle des écosystèmes, devraient être considérées dans les mêmes termes par l'homme, pour ses propres besoins connus ou à venir.

De fait, à l'heure où l'on parle beaucoup de changements climatiques ou planétaires, à l'heure où l'utilisation des sols et des milieux est profondément affectée par les besoins des hommes, on ne peut douter que changent les conditions de l'environnement dans les années et décennies à venir. Pour remédier à ces changements ou les contrôler, pour mieux gérer à notre convenance et d'une façon durable les systèmes biologiques dont nous dépendons, il faudra pouvoir disposer de toute la diversité des compétences écologiques qui existent dans la nature : gènes, complexes de gènes ; espèces, complexes d'espèces ; écosystèmes.

Oui, la diversité biologique est bien un patrimoine précieux qu'il nous faut apprendre à conserver et à gérer.

La diversité des écosystèmes et des paysages assure et régule les grands cycles biogéochimiques (eau, carbone, azote, phosphore...) essentiels au fonctionnement de la planète et à ses équilibres climatiques.

Cependant, il faut reconnaître que nos connaissances sur ce dernier point sont largement insuffisantes : la signification précise de la biodiversité pour le fonctionnement des écosystèmes et de la biosphère est encore largement inconnue — au-delà de la fonction particulière de certaines espèces dans des processus majeurs comme la production primaire, la nitrification, la fixation d'azote, etc. (Schulze et Mooney, 1993).

L'approche économique : la biodiversité comme « ressource naturelle ».

« Si l'extraordinaire diversité du vivant est bien l'expression, à la fois du jeu de la sélection naturelle et des enjeux qu'elle représente pour les espèces et les systèmes écologiques qui l'exhibent, alors c'est certainement une mine prodigieuse de solutions à bien des problèmes que rencontre notre propre espèce. Comme n'importe quel organisme en effet, l'homme doit lutter contre de nombreux autres êtres vivants, bactéries, virus, champignons, parasites, qui menacent sa santé en s'attaquant à ses propres ressources : pourquoi ne pas utiliser à notre profit ces armes biologiques que l'Evolution a créés tout au long de milliards d'années chez des millions d'espèces ? » (Barbault, 1993).

De fait, c'est ce que nous faisons depuis longtemps avec l'agronomie, l'amélioration des plantes, la sélection animale, la lutte biologique et, plus récemment, le génie génétique.

Plantes, animaux et micro-organismes sont, à la fois, des sources de médicaments, d'aliments et de produits à usages variés (bois, essences végétales...).

Cependant, l'évaluation en termes économiques de ces ressources est chose difficile, discutée, même si des progrès ont été faits dans ce domaine.

Tableau : Typologie des valeurs de la biodiversité proposée par les économistes

Catégories de valeur	Définitions
Valeurs d'usage	
– consommation directe	consommation des ressources sans transformation : chasse, cueillette
– productive	utilisation des ressources génétiques dans des cycles productifs (obtention variétale, exploitation forestière, pêches, médicaments à base de plantes)
– récréative	exploitation sans consommation (promenade, safari-photo)
Valeur écologique	liée à l'interdépendance entre organismes et au bon fonctionnement des systèmes naturels
Valeur d'option	liée à l'exploitation future des ressources génétiques
Valeur d'existence	liée à la satisfaction et au bien-être que procure l'existence de la biodiversité

(adapté de Lévêque et Glachant, 1992).

Ainsi, on reconnaît aujourd'hui quatre catégories de valeurs : valeurs d'usage ; valeur d'option ; valeurs d'existence et valeurs écologiques. Le tableau ci-dessus en donne les définitions. Mais il subsiste bien des difficultés pour évaluer monétairement ces valeurs !

COMMENT POSER LES PROBLÈMES ?

On l'aura compris, les problèmes qui se posent sont clairement de deux types différents, les uns relevant du référent écologique et biologique, les autres exigeant un référent social et économique. Dans le premier cas, on est concerné par ce que l'on peut appeler la *dynamique de la biodiversité* — origine, mécanismes de maintien, fonctions, érosion — tandis que dans le second on se préoccupe de sa conservation, de son utilisation — de sa gestion en un mot.

C'est l'existence de ce second volet qui justifie le succès politique et médiatique du terme de biodiversité et les débats qui entourent la Convention sur la Diversité Biologique.

Dans le cadre limité de cet exposé je me cantonnerai cependant à la perspective biologique et, à cet égard, l'écologie des populations et des peuplements me paraît constituer un excellent cadre pour analyser la dynamique de la biodiversité (Barbault, 1992 ; Barbault et Hochberg, 1992).

Richesse spécifique, diversité spécifique - voilà des concepts très classiques en écologie. En même temps que les écologistes discutaient des causes de la diversité spécifique, les généticiens se penchaient sur la variabilité génétique des populations naturelles. Depuis plus longtemps encore, paléontologues et systématiciens recensaient la diversité des êtres vivants et tentaient d'en reconstituer l'histoire et les liens de parenté.

Alors qu'y-a-t-il de véritablement nouveau dans l'intérêt actuel pour la diversité biologique ?

En ce qui concerne l'approche scientifique de la question, et particulièrement écologique, on remarque notamment :

- que l'accent est placé sur la signification fonctionnelle de la biodiversité, avec une prise en compte explicite des diverses dimensions de celle-ci ;
- que l'éclairage se déplace de l'espèce au système (métapopulations, peuplements, écosystèmes, paysages) ;
- que la perspective « Environnement » des problèmes est mise en relief.

Après un examen rapide de ces trois points, je soulignerai les problématiques scientifiques prometteuses qui en découlent.

Relier entre elles les différentes dimensions de la biodiversité

Bien que la biodiversité puisse être étudiée à tous les niveaux d'organisation des systèmes biologiques et écologiques, depuis les complexes moléculaires jusqu'à la biosphère toute entière, il paraît avantageux de rassembler cette diversité d'approches à travers une structuration schématique en niveaux hiérarchiques interdépendants ; on peut reconnaître notamment :

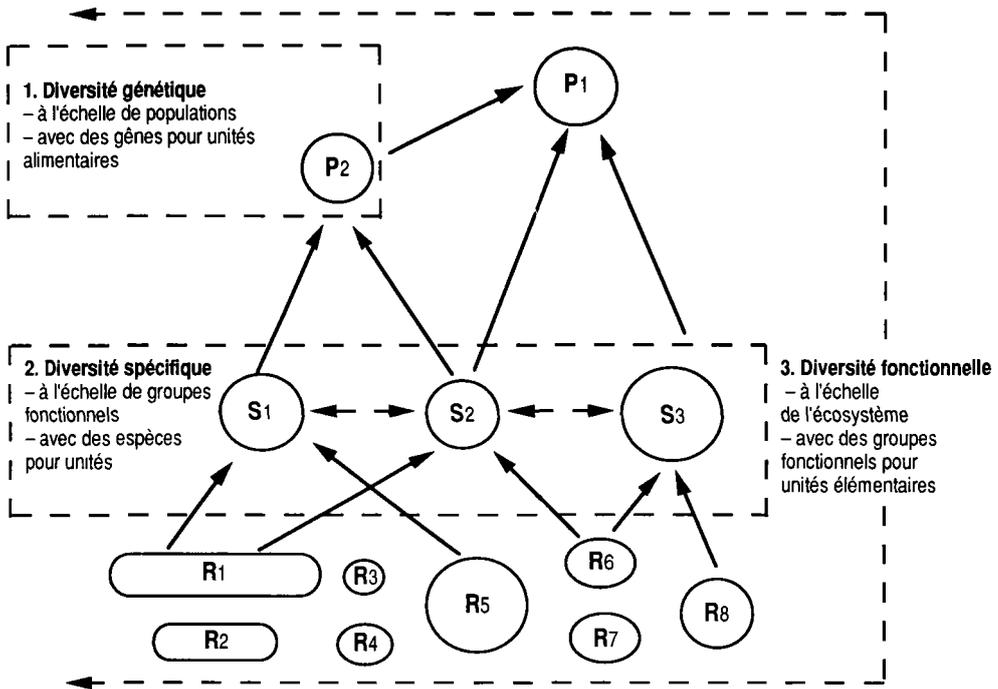
1. la diversité infraspécifique, d'ordre génétique et phénotypique, appréhendée à l'échelle des populations, des métapopulations et des espèces ;
2. la diversité spécifique, appréhendée à l'échelle de groupes fonctionnels (guildes, niveaux trophiques) ;
3. la diversité fonctionnelle, appréhendée à l'échelle des réseaux trophiques.

Dans cette perspective qui privilégie la dynamique de communautés plurispécifiques et le parti pris de faire des populations les unités élémentaires des systèmes étudiés (Barbault, 1992 ; Barbault et Hochberg, 1992), on peut représenter la biodiversité de manière schématique comme le montre la figure 1.

Cette représentation a toutefois le triple inconvénient :

1. de gommer la dimension temporelle et historique des problèmes ;

Figure 1 : Une façon (parmi d'autres) d'exprimer les trois composantes de la diversité biologique



– la dynamique de ce système doit être appréhendée aux différentes échelles d'espace et de temps ;
 – le point 1 comporte aussi la singularité des individus et la variabilité de leurs compétences physiologiques, démographiques et comportementales

2. de laisser dans l'ombre la question centrale des relations de parenté entre taxons ;

3. d'ignorer la toile de fond spatiale, avec son hétérogénéité à de multiples échelles - de l'écosystème proprement dit au paysage et à la biosphère.

En outre, la notion de groupe fonctionnel, comme ce que l'on entend par « diversité fonctionnelle » méritent une réflexion approfondie.

Déplacer l'éclairage de l'espèce au système

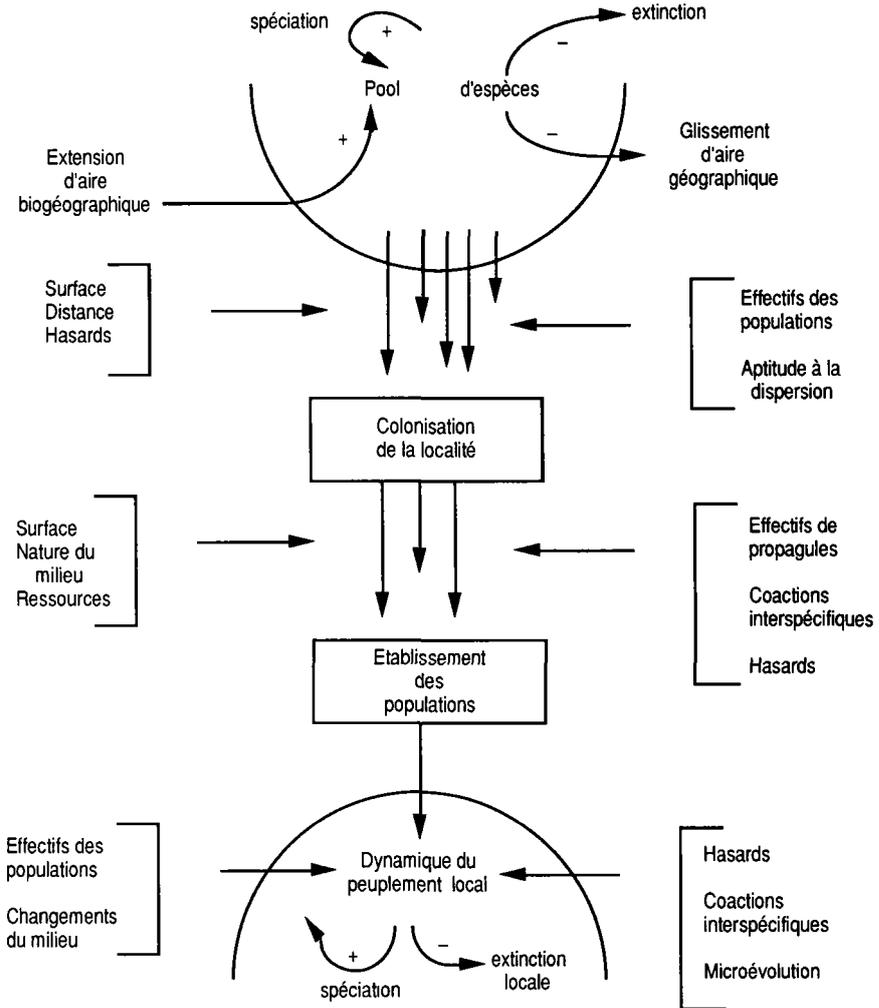
En dépit de ces inconvénients, sur lesquels je reviendrai, le schéma précédent a l'extrême avantage de substituer une vision systémique, et donc profondément écologique, à une vision trop exclusivement « inventaire » dans laquelle l'espèce est l'arbre qui cache la forêt.

Il y a plusieurs raisons pour poser les problèmes relatifs à la biodiversité au niveau des communautés plurispécifiques ou des réseaux trophiques (Barbault et Hochberg, 1992 ; Pimm, 1992). De fait, mettre au premier plan la dynamique des peuplements dans une approche écologique de la biodiversité, c'est :

- 1) lier les problèmes de biologie des populations et de biologie de la conservation au contexte écologique qui leur donne une certaine généralité — et leur véritable signification ;
- 2) encourager les approches qui prennent en compte aussi bien la structure hiérarchisée de la biodiversité que sa signification fonctionnelle depuis l'individu jusqu'au paysage ;
- 3) souligner les mécanismes qui conduisent localement à la mise en place, au maintien ou à la réduction de la diversité biologique, reliant ainsi les structures aux processus.

De nombreux facteurs ont été invoqués pour expliquer la diversité spécifique des communautés animales et végétales, depuis des contraintes géographiques jusqu'à des raisons historiques en passant par la diversité des interactions biotiques (voir Begon et al., 1986 ; Barbault, 1992 — par exemple).

Figure 2 : Facteurs contribuant à la mise en place et la dynamique de la biodiversité (MODIFIÉ DE WIENS, 1989, IN BARBAULT, 1992)



Dans les années 60 et 70, sous l'impulsion de Hutchinson et MacArthur, l'écologie des communautés connut un renouvellement profond, avec un renforcement de l'éclairage théorique mais, par ailleurs, une focalisation excessive sur la compétition interspécifique comme facteur majeur d'organisation des peuplements (Cody et Diamond, 1975 ; Roughgarden, 1983). Il en résulta une profusion de travaux théoriques et empiriques reliant la richesse spécifique des guildes à l'abondance et la diversité des ressources. Avec la décennie 80, s'ouvrit une nouvelle ère pour l'écologie des peuplements : la compétition redevient un facteur parmi d'autres tandis que s'imposent à l'attention la variabilité

temporelle et l'hétérogénéité spatiale (voir Strong et al., 1984 ; Diamond et Case, 1986 ; Barbault, 1992). C'est de toute première importance pour les questions relatives aux effets directs et indirects des perturbations d'origine humaine sur la biodiversité.

On peut résumer ce bilan, dans la perspective qui est la nôtre ici, par un schéma classique dans sa conception mais remis à jour (Fig. 2) : c'est dans ce cadre que doivent être posées aujourd'hui les questions relatives à la dynamique de la biodiversité, que l'on se place du point de vue théorique ou que l'on adopte celui du biologiste de la conservation.

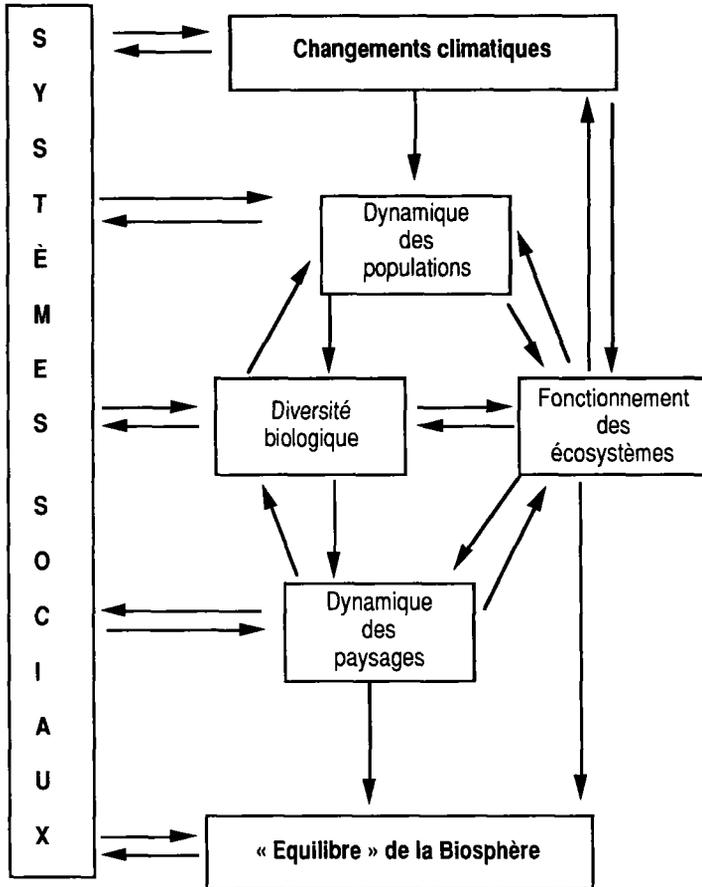
En d'autres termes, insister sur la dimension dynamique des phénomènes dont la biodiversité n'est que le bilan apparent, dans une perspective systémique, c'est mobiliser la totalité des acquis de la biologie des populations et de l'écologie des communautés.

Souligner la perspective « Environnement »

Ce nouvel intérêt pour la diversité biologique évoqué en introduction, et particulièrement mis en relief par la Convention sur la Diversité Biologique, résulte en grande partie des préoccupations croissantes relatives à la préservation de la biosphère : chercheurs, hommes politiques et simples citoyens sont de plus en plus conscients de l'importance qu'il y a à comprendre comment fonctionne la biosphère avant de prétendre la gérer (Di Castri, 1989 ; Di Castri et Younès, 1990 ; Lubchenco et al., 1991 ; Solbrig, 1991).

Si l'on garde cela présent à l'esprit, il est clair que les problèmes relatifs à l'origine, au maintien, à l'érosion ou à la restauration de la biodiversité, doivent être posés dans une toile de fond systémique et écologique qui souligne les liens entre sociétés humaines, changements planétaires et systèmes écologiques (Fig. 3). D'un point de vue écologique en effet, les sociétés humaines influent directement et indirectement, sur les interactions géosphère-biosphère et le fonctionnement même de la biosphère par le jeu de la dynamique des écosystèmes et des paysages. Si l'un des aspects de cette dynamique d'ensemble repose sur les cycles bio-géochimiques, l'autre relève de la dynamique des populations et des communautés. C'est par là que les problématiques « biodiversité » devraient relever de grands programmes tels que IGBP et SBI¹ (Lubchenco et al., 1991 ; Barbault et Hochberg, 1992). Cependant, les recherches sur la diversité biologique ne doivent pas être considérées simplement comme un sous-produit des connexions logiques schématisées dans la figure 3 : *« biodiversity is the tangible currency which is influenced by, and reflects the state of the biosphere itself »* (Barbault et Hochberg, 1992).

Figure 3 : La gestion de la biosphère ou de la diversité biologique



Elle implique la prise en compte des actions et priorités des sociétés humaines. Mais cela suppose aussi, sur le plan scientifique, une analyse du fonctionnement des systèmes écologiques en cause : la dynamique des populations et des peuplements est au cœur de cette analyse (d'après Barbault et Hochberg, 1992)

En d'autres termes, développer une théorie générale dans le but de lier les patterns de diversité avec la dynamique des populations et la structure des peuplements et des réseaux trophiques est, à mon avis, la voie la plus féconde pour comprendre et prédire la diversité. C'est en tout cas préférable à l'accumulation d'études descriptives en dehors de toute base commune.

QUELQUES THÉMATIQUES PROMETTEUSES

Quand on considère que toute espèce est soit un parasite, soit un hôte pour de nombreux parasites, on réalise que les relations hôtes-parasites ne peuvent continuer d'être négligées par la littérature écologique. Développer nos connaissances sur le rôle des parasites dans la dynamique et l'évolution des populations d'hôtes, dans l'organisation des peuplements, et donc la biodiversité des communautés d'hôtes — mais aussi sur les conséquences de tout cela sur la biodiversité des parasites eux-mêmes, voilà un champ de recherche particulièrement prometteur pour les prochaines décennies.

Un autre champ prometteur est l'exploration des propriétés des réseaux trophiques, pourvu là aussi que l'accent soit mis sur les propriétés dynamiques plutôt que sur la description statique. En particulier, il faudrait :

- insister sur la force ou l'intensité des liens entre espèces ;
- identifier les espèces et guildes-clés ;
- préciser la signification des groupes fonctionnels ou des « espèces fonctionnelles ».

L'analyse des conséquences, sur la structure des communautés et leur biodiversité, des introductions d'espèces et des extinctions, est aussi un domaine de recherche à promouvoir (Pimm, 1992) :

- Les espèces introduites ont-elles des effets, et quels effets, sur les communautés dans lesquelles elles s'implantent ?
- Y a-t-il des types de communautés particulièrement vulnérables ou résistantes aux extinctions ou introductions d'espèces ?
- Quelle est l'importance des extinctions secondaires, provoquées par la disparition ou l'introduction d'une espèce ?
- Y a-t-il des espèces potentiellement plus importantes, des espèces-clés (keystone species) dont la perte entraînerait une cascade d'extinctions ?

On a des réponses, encore éparées, à ces questions, mais la théorie des réseaux trophiques devrait permettre d'aller plus loin.

Une autre voie à explorer concerne les effets des changements planétaires (climatiques, pollutions, morcellement du paysage...) sur la dynamique des populations et des écosystèmes : comment les populations répondent-elles à ces changements ; comment les processus qui opèrent à l'échelle des populations affectent-ils les communautés ?

Par exemple, des modifications relativement légères du climat local peuvent entraîner l'extinction de certaines espèces et favoriser au contraire la prédominance ou l'invasion d'autres espèces. Il est crucial pour la crédibilité du programme géosphère-biosphère d'approfondir ce type d'analyses, particulièrement en ce qui concerne les plantes, leurs consommateurs... et les ennemis de ces consommateurs.

Citons encore comme thématiques prometteuses :

- l'analyse des patterns macroévolutifs de la biodiversité, en relation avec l'hypothèse des zones adaptatives de Simpson ;
- l'étude des corrélats biodémographiques et écologiques de la diversité taxonomique ;
- l'analyse et la modélisation des effets du morcellement des milieux sur la génétique et la dynamique des populations et l'organisation des peuplements.

LEÇONS ET PERSPECTIVES

La diversité biologique est une caractéristique essentielle du vivant, son essence même pourrait-on dire. Sur ce plan, la biologie des populations et l'écologie des communautés apportent les fondements théoriques et méthodologiques pour une approche renouvelée de la dynamique de la biodiversité. Inversement, la montée en puissance de préoccupations et d'intérêts pour la diversité biologique, ses origines, son maintien, sa restauration et sa conservation, devrait favoriser un renouvellement de la biologie des populations et des communautés et leur développement comme sciences prédictives.

Naturellement, cette approche écologique que j'ai choisi de présenter ici n'est pas la seule à préconiser : des approches génétiques, paléobiologiques, biogéographiques et taxonomiques sont tout aussi essentielles à mettre en œuvre simultanément.

Une deuxième leçon majeure qui se dégage de ce rapide survol est que la biodiversité est l'expression d'enjeux : enjeux en terme de survie pour les espèces elles-mêmes, homme compris ; mais aussi enjeux pour les sociétés humaines, en termes de conflits d'intérêts, de compétition pour les ressources. Il y a de toute évidence nécessité de débats sur les

objectifs. Parler de gestion —qu'il s'agisse de la gestion de la biodiversité ou de celle de la biosphère toute entière — c'est poser la double question : pour qui ? et pour quoi ? Vaste problème qui correspond au second volet de la problématique associée à la biodiversité et auquel doivent s'attaquer, à côté des sciences du vivant, celles de l'homme et de la société. Parce que l'essentiel des ressources biologiques se localise dans les pays du Sud tandis que les convoitises pour ces ressources prédominent au Nord ; parce que les niveaux de développement sont inégaux entre Nord et Sud et que la croissance démographique est surtout préoccupante au Sud, la problématique « biodiversité » ne saurait se réduire à une analyse de gestion biologique des ressources naturelles : elle est liée à la problématique du « *développement durable* » et impose une dimension sociale, économique et politique.

Enfin, dernière leçon : les problèmes abordés indirectement ici, comme tous les problèmes d'environnement, nécessitent une mobilisation de la plupart des disciplines scientifiques et... l'engagement des citoyens. En effet, les obstacles ne sont ni seulement ni même principalement d'ordre scientifique ou technique : « les problèmes posés mettent en jeu la diversité des cultures, la divergence des intérêts. Le défi à relever est très clairement un *défi de civilisation* » (Barbault, 1993).

RÉFÉRENCES

- BARBAULT R., « Ecologie des peuplements. Structure, dynamique et évolution. », *Masson*, Paris, 1992.
- BARBAULT R., « Jeux et Enjeux du Vivant. L'homme et la biodiversité. », *Editions Odile Jacob*, 1993.
- BARBAULT R. et HOCHBERG M., « Population and community level approaches to studying biodiversity in international research programs. », *Acta Oecologica*, 1992, **13**, 137-146.
- BEGON M., HARPER J.L. et TOWNSEND C.R., « Ecology, Individuals, Populations and Communities. », *Blackwell Sc. Publ.*, Oxford, 1986.
- CODY M.L. et DIAMOND J.M. « Ecology and evolution of communities. », *Belknap Press of Harvard University*, Cambridge, 1975.
- DIAMOND J. and CASE T.J. « Community ecology. », *Harper & Row*, New York, 1986.
- DI CASTRI F., « Global crises and the environment. », In : G.B. MARINI-BETTOLO Ed., *A modern approach to the protection of the environment*, *Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia*, Vatican, 1989, **75**, 7-39.
- DI CASTRI F. et YOUNES T., « Fonction de la diversité biologique au sein de l'écosystème. », *Acta Oecologica*, 1990, **1**, 429-444.
- LEVEQUE F. et GLACHANT M., « Diversité biologique. La gestion mondiale des ressources vivantes. », *La Recherche*, 1992, **239**, 114-123.
- LUBCHENCO J. et al., « The sustainable biosphere initiative : an ecological research agenda. », *Ecology*, 1991, **72**, 371-412.
- PIMM S.L., « The balance of nature ? Ecological issues in the conservation of species and communities. », *The University of Chicago Press*, Chicago, 1992.
- RIBA G. et SILVY C., « Combattre les ravageurs des cultures. Enjeux et perspectives. », *INRA*, 1989.
- ROUGHGARDEN J., « Competition and theory of community ecology. », *Am. Nat.*, 1983, **22**, 583-601.
- SCHULZE E.D. et MOONEY H.A., « Biodiversity and Ecosystem Function. », *Springer-Verlag*, Berlin, 1993.

SOLBRIG O.T. « From genes to ecosystems : a research agenda for biodiversity. », *IUBS*, Paris, 1991.

STRONG D.R., SIMBERLOFF D., ABELE L.G. et THISTLE A.B. « Ecological Communities. Conceptual issues and the evidence. », *Princeton University Press, Princeton, New Jersey*, 1984.

WIENS J.A., « The ecology of birds communities. », *Cambridge University Press, Cambridge*.

WILSON E.O., « La diversité du vivant menacée. », *Pour la Science*, 1988, **145**, 66-73 (version française 1989).

BIODIVERSITÉ ANIMALE À MADAGASCAR

CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES

Sylvère RAKOTOFIRINGA

Madagascar, avec une superficie de 590 000 km², constitue un véritable petit continent à l'Est de l'Afrique dont il est séparé par le Canal de Mozambique.

S'allongeant sur 1 500 km du Nord au Sud et s'étalant sur 500 km d'Est en Ouest, il présente dans sa plus grande partie un relief de collines et de moyennes montagnes dont le plus haut sommet culmine à Tsaratanana à 2 876 m.

Des étendues peu accidentées constituent la partie occidentale et une bande littorale étroite la partie orientale. Ces différentes régions sont parcourues par des fleuves et des rivières qui forment souvent de nombreuses barrières géographiques, isolant des niches écologiques particulières.

Les conditions climatiques, quoique de type tropical, sont très variées. En effet, la présence de crête centrale culminant à plus de 1 000 m et orientés sensiblement Nord-Sud permet de retenir les vents humides de l'Est sur le versant oriental, déterminant :

- une zone orientale, chaude et humide, avec des périodes sèches peu marquées et, où la pluviométrie varie de 2 000 à 4 000 mm. C'est le domaine des forêts ombrophiles ;
- une zone centrale à saisons marquées, recevant 800 à 1 800 mm de pluie : domaine des savanes à graminées ;
- une zone occidentale à pluviométrie plus faible (200 à 1 000 mm), caractérisée par une grande saison sèche de Juin à Novembre, où prédominent des prairies, des forêts caducifoliées ou des bush xérophytiques dans le Sud-Ouest.

Malgré ces conditions climatiques variées, Madagascar avait jadis un couvert forestier naturel continu présentant différents aspects. A l'heure actuelle, la couverture forestière, tous types confondus, ne dépasse guère 20 % de la surface initiale soit 8 à 10 millions d'ha de forêts primitives.

ISOLEMENT DE MADAGASCAR

Selon l'interprétation des géophysiciens qui ont établi des cartes palécontinentales (A.G. SMITH et J.C. BRIDEN, 1974), la chronologie de la dislocation se présenterait de la façon suivante :

- 1 - *Jurassique supérieur* (140 M. d'années) :
Présence d'un bloc formé par l'Amérique du Sud, l'Afrique, Madagascar, l'Inde et l'Antarctique.
- 2 - *Crétacé inférieur* (120 M. d'années) :
 - a) Séparation de l'Amérique du Sud de l'ensemble formé par l'Afrique et Madagascar.
 - b) Séparation de l'Inde, d'Afrique et de Madagascar, mais rattachement à l'Antarctique.
- 3 - *Crétacé moyen Cénomanién* (100 M. d'années) :
 - a) Madagascar rattaché à l'Afrique.
 - b) Mouvements de séparation des blocs s'accroissent mais l'Inde reste rattachée à l'Antarctique.
- 4 - *Crétacé supérieur Santonien* (80 M. d'années) :
 - a) Madagascar séparé de l'Afrique.
 - b) Inde séparé de l'Antarctique et dérive vers le Nord-Est.
- 5 - *Eocène Cénozoïque* (60 - 40 M. d'années) :
Poursuite de la dérive de l'Inde vers le Nord.

Sans entrer dans les discussions concernant l'existence du territoire du Gondwana, nous considérons que cette séparation d'avec le bloc et le continent africain a eu lieu dans le courant du tertiaire. Cette interprétation des géophysiciens nous apportera des éléments pour mieux discuter des origines et des affinités de la faune malgache.

En effet, les géologues ont été frappés par la similitude des dépôts continentaux de la fin de l'ère primaire à Madagascar, en Afrique Australe, en Amérique du Sud, en Australie et en Inde. Ceux-ci renfermaient des fougères appartenant aux genres *Gangampteris* et *Glossopteris*.

Il devait être de même pour la paléofaune. Ainsi après les fractures de ce grand continent austral et après ses dislocations, les faunes originelles ne peuvent plus se mélanger que par des communications accidentelles et temporaires et à intervalles très éloignés (TAQUET, 1974).

Madagascar, dès son isolement définitif, a donc vu sa faune évoluer dans un sens qui lui est propre, avec une multiplication des formes endémiques et une conservation de certaines formes qui sont restées archaïques. Dès lors, il n'est pas étonnant d'y retrouver des fossiles de faune particulière qui hantait les écosystèmes primitifs : les Lémuriens géants, *Megaladapis*, les *Paléopropithèques* — *Hadropithèques* — *Archaeolémurs* ou encore les oiseaux géants, tels que *Aepyornis* et *Mullerornis*.

Ces formes fossiles traduisent donc déjà la présence d'une faune malgache différente de ce qu'on trouve dans l'ancienne Gondwanie et plus particulièrement de celle de l'Afrique, son voisin immédiat.

Cette faune malgache se singularise par son endémisme élevé, son évolution radiative et son archaïsme.

ENDÉMISME

L'endémisme de la faune malgache se manifeste dans les différentes échelles de la taxinomie. Il apparaît dès le niveau sous-ordre chez les Lémuriens, le niveau famille chez certains oiseaux (Vangidae), le niveau sous-famille chez les Batraciens (Racophinae, etc.) et chez les Carnivores (cryptoproctinae) et bien entendu les niveaux genres, espèces et sous-espèces chez la plupart des groupes.

L'isolement ancien de Madagascar (courant tertiaire) lui a valu de ne pas être envahi par des éléments étrangers et que ses éléments propres étaient préservés et se développaient sans encombre. Ainsi, malgré l'importance des lacunes faunistiques (Manotrèmes, Marsupiaux, Grands Herbivores, etc.), les niches vacantes ont permis l'explosion des formes endémiques. Celles-ci, selon leur apparition dans le temps géologique et leur degré d'évolution au moment de la dislocation du bloc, présentent un degré d'endémisme plus ou moins élevé.

Et, signalons enfin que cet isolement insulaire a permis l'instauration d'un équilibre faunistique où la pression de la sélection naturelle reste faible, permettant d'une part le maintien de formes anciennes ou de véritables fossiles vivants et d'autre part l'épanouissement des différentes formes existantes.

A titre d'illustration, donnons quelques exemples dans les groupes les plus significatifs.

Endémisme chez les invertébrés

Il nous est impossible de prendre en considération les différents groupes d'invertébrés, étant donné le temps qui nous est imparti, pour parler de la biodiversité animale malgache. Aussi, nous cantonnons-nous à quelques exemples qui nous paraissent les plus frappants.

Mollusques terrestres

La faune malacologique terrestre de Madagascar renferme 350 espèces réparties en 3 ordres. Ces 350 espèces appartiennent à 22 familles comprenant 49 genres. Parmi ces familles, 4 sont particulièrement dominantes : Acavidae (74 espèces), Parnatiasidae (87), Ariophantidae (76) et Cyclophoridae (10).

L'endémisme des Mollusques terrestres malgaches se présente de la façon suivante : sur les 350 espèces connues, 166 sont endémiques et appartiennent à 10 genres, eux-mêmes endémiques. Ce qui se traduit par un taux d'endémisme de 20 % au rang générique et de 67 % au rang spécifique. L'importance spécifique de ces 10 genres endémiques se répartit ainsi : *Ampelita* (64), *Kalidos* (46), *Helicophanta* (15), *Clavator* (12), *Acroptychia* (11), *Boucardicus* (7), *Leucotaenia* (7), *Madecalus* (2), *Malarinia* (1), *Batina* (1).

Il est à noter que ces formes endémiques ont une répartition périphérique, spécialement dans le quart nord du pays où on rencontre 60 à 70 % de l'endémisme. La région centrale est très pauvre ou même dépourvue de faune malacologique (pour le genre *Ampelita*, seule une espèce sur 64 habite la région du centre). Cela correspond sans doute à une exigence écologique très stricte qui n'a pas permis à ce groupe de s'épanouir ailleurs que dans le Nord de l'île.

Arthropodes

— Arachnides :

La faune arachnologique de Madagascar n'est pas complètement recensée actuellement. Toutefois, au stade actuel de nos connaissances, on peut déjà noter l'absence totale de 2 ordres : *Solifuges* et *Ricinulei*.

Parmi les Scorpions, nous signalons l'existence de 2 genres endémiques : *Grosphus* avec 8 espèces et *Heteroscorpion*, 1 espèce.

Les Araignées malgaches forment 2 groupes : les *Mygalomorphes* et les *Aranéomorphes*.

Les *Mygalomorphes* comprennent 5 familles riches de 25 genres. Parmi ceux-ci, 20 sont endémiques et 3 communs à l'Afrique. Les 23 genres connus comportent 29 espèces dont 28 sont endémiques et 1 commune à l'Afrique. Nous notons donc ici un taux d'endémisme particulièrement élevé.

Les *Aranéomorphes*, contrairement aux *Mygalomorphes*, présentent un taux d'endémisme assez faible. Cet endémisme ne se manifeste d'ailleurs qu'au niveau spécifique, en particulier chez le genre (très ancien) *Archaea* : 6 espèces endémiques et 1 commune à l'Afrique. Ceci s'expliquerait probablement par la présence du groupe aranéomorphe avant la dislocation du bloc austral, et c'est seulement après la séparation que la souche avait évolué différemment. La biologie des espèces d'*Archaea* de part et d'autre du Canal de Mozambique confirme cette hypothèse à notre avis. En effet, toutes les *Archaea* africaines sont terricoles et les formes endémiques malgaches arboricoles. L'espèce africaine présente à Madagascar est restée terricole (*A. godfreyi*).

Insectes

L'entomofaune malgache est une faune prodigieusement riche mais ne présente pas d'endémisme au niveau famille. Par contre, il y a une véritable explosion de formes endémiques au niveau des genres et espèces.

Ordre		Nombre d'espèces endémiques	%
Dictyoptère	Blattide	95	80 %
	Mantide	60	70 %
Chéiloptères		80	100 %
Coléoptères	Buprestides	500	100 %
	Chrysomelides	800	100 %
	Cerambycides	600	100 %
	Brenthides	71	95 %
	Lucanides		100 %
	Curculionides	1300	99 %
Lépidoptères (toutes familles confondues)			97 à 98 %

Comme nous le savons, le groupe des insectes est un groupe très ancien dont la plupart des représentants étaient présents dès la fin de l'ère primaire. Il n'est donc pas étonnant que les familles soient communes aux faunes du bloc avant la dislocation. Par contre, lors de l'isolement des souches dans les différentes niches écologiques malgaches, et grâce à la présence de facteurs favorables, il y aurait eu une véritable explosion des différents représentants entraînant la formation de formes nouvelles qu'on ne rencontre pas ailleurs.

Endémisme chez les vertébrés

Poissons

La faune ichtyologique malgache se singularise par sa pauvreté. En effet, seulement 23 familles sur 48 présentes sur le continent africain se rencontrent à Madagascar. Les familles caractéristiques de l'ichtyofaune africaine sont absentes de Madagascar : *Ostéoglossidae*, *Cyprinidae*, *Characidae*, *Mormyridae*, *Polypteridae*. La même constatation apparaît quand on fait la comparaison avec la faune indienne.

Malgré cette pauvreté, certaines familles sont bien représentées à Madagascar : *Cichlidae*, *Gobiidae* et *Atherinidae*.

Du point de vue endémisme, Pellegrin souligne que la faune ichtyologique continentale est très riche en formes endémiques. Kiener (1963) les estime à 43 espèces malgaches dont 32 dulçaquicoles et 11 euryhalines. Selon Bertin (1948), le taux d'endémisme s'élèverait à 32 %. Mais si on l'envisage par familles, certaines sont particulièrement riches :

50 % pour les *Siluridae* et *Gobiidae* ;

70 % pour les *Atherinidae* ;

100 % pour les *Cichlidae* (avant l'introduction du genre *Tilapia* vers les années 1950).

Pour cette dernière famille, l'endémisme se manifeste au niveau genre : *Paratilapia* (1 sp), *Ptychochromis* (2), *Paretrophus* (7), *Oxylapia* (1). Selon Kiener (1963), cette endémicité se compliquerait par la présence de formes micro-endémiques qui pourraient être des races géographiques ou des sous-espèces.

Cette endémicité se caractérise en outre pour la plupart des espèces, sauf pour *Paratilapia*, par une aire de répartition restreinte, *Ptychochromis betsileanus*, voire ponctuelle *Oxylapia polli*. Ces formes endémiques semblent en effet exiger des conditions écologiques particulières qui ne sont remplies que dans une niche écologique bien définie. Ce qui expliquerait la fragilité et la rareté de ces formes.

Batraciens

La batrachofaune malgache est un exemple type de la haute endémicité de la biodiversité. En effet, sur les 140 espèces recensées, toutes sont endémiques sauf 2 espèces de *Ranidae* : *Ptychadena mascareniensis* et *Rana tigerina*.

Répartie dans 4 familles, cette faune présente un endémisme au rang sub-familial.

<i>Mycrophylidae</i>	<i>Cophylinae</i>
	<i>Scaphyophrinae</i>
	<i>Dyscophinae</i>
<i>Ranidae</i>	<i>Mantellinae</i>

En revanche, la faune batrachologique malgache présente une lacune importante : absence de crapauds, d'urodèles et de coecilidées vermiformes et aveugles.

Il est à noter que l'explosion de grenouilles pourrait s'expliquer par leur aptitude à peupler une variété de biotopes : aquatiques, terrestres, fouisseurs, arboricoles. Certaines se sont même affranchies du milieu aquatique aussi bien pour la vie adulte que pour la reproduction.

Reptiles

Les reptiles constituent un groupe où le taux d'endémisme reste parmi les plus élevés du monde. Au niveau générique, sur 55 genres recensés à Madagascar, 34 sont endémiques et au niveau spécifique, sur 260 espèces identifiées, 242 sont endémiques.

L'endémisme intéresse également une sous-famille, celle des *Uroplatinae*.

Si l'on considère les différents groupes de Reptiles, l'endémisme se présente de la façon suivante :

– Lézards et Caméléons :

180 espèces réparties en 5 familles

1. Geckonidae : *Uroplatus* et *Geckolepis* endémiques
2. Iguanidae : *Oplurus* et *Chalarodon* endémiques
3. Gerrhosauridae : *Tracheloptychus* et *Zonosaurus* endémiques
4. Cameleonidae : *Chameleo*
Brookesia endémique
5. Scincidae : 10 genres comportant 48 espèces dont 1 seule n'est pas endémique.

– Serpents :

3 Familles présentes à Madagascar :

1. Typhlopidae monogénérique
Typhlos avec 8 espèces endémiques
2. Boidae : *Sanzinia* et *Acrantophis* endémiques
3. Colubridae : 16 genres dont 1 seul non endémique.

Cette faune des serpents est en outre caractérisée par l'absence d'Elapidae (Cobras, Mamba), de Viperidae (vipères, Crotales).

Oiseaux

La faune avicole malgache est très pauvre en espèces par rapport au continent africain et aux autres pays. Des groupes entiers manquent à Madagascar tels que les *Piciformes* abondants en Afrique ou les *Trogon*s, oiseaux forestiers primitifs richement représentés en Indonésie. En revanche, Madagascar possède un grand nombre de groupes endémiques qui se manifestait au niveau familial. 3 familles sont typiquement malgaches :

1. *Mesithornithidae* ou *Mesoceratidae* avec 2 genres : *Moeson* et *Monias*.
2. *Philepittidae* avec 2 genres : *Philepitta* et *Neodreparus*.
3. *Vangidae* avec 11 genres.

A côté de ces 3 familles, d'autres ne renferment que des genres ou des espèces typiquement malgaches :

- Famille des *Cuculidae* : Coua, Coucal et Coucou ;
- Famille des *Coraciidae* avec 6 genres endémiques : *Eurystomus*, *Leptosomus*, etc.

Parmi les rapaces rencontrés, 8 des 14 rapaces nichant à Madagascar sont endémiques :

- *Haliastur vociferoides* (Pygargue de Madagascar) ;
- *Eutriorchis astur* (Aigle autour) ;
- *Polyboroides radiatus* (Petit serpenteaire).

Mammifères

Malgré son ancienneté, Madagascar ne possède ni Monotrèmes (Mammifères ovipares des régions australiennes), ni Marsupiaux.

Les ruminants abondants en Afrique n'ont jamais pénétré dans l'île : ni buffles, ni girafes, ni antilopes. Les Proboscidiens sont également absents. Beaucoup de groupes florissants ailleurs font défaut à Madagascar : Singes, Périssodactyles, Édentés, grands fauves (Tigre, Lion, etc.), Lagomorphes (Lapins, Lièvres...).

Ce déséquilibre de la faune mammalienne malgache s'explique par diverses raisons :

- d'une part par l'isolement ancien de Madagascar qui a empêché les Mammifères d'atteindre l'île que de façon accidentelle et discontinue soit par des radeaux de branchages, soit par des ponts continentaux temporaires ;
- d'autre part par l'existence d'un couvert forestier très ancien, empêchant les grands animaux de savane et de prairies de s'épanouir.

En revanche, certaines formes ont littéralement explosées et se sont diversifiées dans les biotopes malgaches.

Insectivores

Le groupe des Insectivores se singularise par la famille des *Tenrecidae* (Tenrecinae et Oryzoryctinae) dont la plupart, des représentants sont endémiques et présentent des caractères archaïques (*Tenrec ecaudatus* qui passe par une période d'hibernations et dont la reproduction donne naissance à un nombre élevé de petits).

Rongeurs

La faune des Rongeurs malgaches est très pauvre. Elle ne comporte que 18 espèces appartenant à 8 genres endémiques de la sous-famille des *Nesomyinae* (*Eliurus*, *Brachytarsomys*, *Hypogeomys*, etc.).

La compétition avec les formes cosmopolites (*Rattus rattus*, *R. norvegicus*, etc.) expliquerait cette pauvreté de la faune locale.

Carnivores

Bien que 3 familles se rencontrent dans l'île, tous les carnivores malgaches appartiennent à la famille des *Viverridae*.

Les représentants des *Felidae* et *Canidae* sont introduits par l'homme.

Les *Viverridae* endémiques malgaches se répartissent en 3 sous-familles endémiques :

1. *Fossinae* avec 2 genres monospécifiques :
 - *Fossa fossana* ;
 - *Eupleres gondoti*.
2. *Galidiinae* avec 4 genres monospécifiques :
 - *Galidia elegans* (3 sous-espèces) ;
 - *Salanoia coucolar* ;
 - *Mungotictis decemlineata* (2 sous-espèces) ;
 - *Galidictis fasciata* (2 sous-espèces).
3. *Cryptoproctinae* : 1 genre monospécifique :
 - *Cryptoprocta ferox*.

Lémuriens

Les lémuriens possèdent 5 grandes familles toutes endémiques de Madagascar.

1. **Famille de *Cheirogaleidae* avec 4 genres nocturnes** : *Microcebus*, *Cheirogalus*, *Phaner* et *Allocebus*.

C'est un groupe primitif vivant en solitaire, et ayant un régime alimentaire mixte : frugivore et insectivore, sauf le *Phaner* qui s'est spécialisé pour consommer de la gomme des arbres.

2. **Famille des *Lepilemuridae* monogénérique** :

Lepilemur avec 7 espèces, toutes nocturnes et ayant un régime alimentaire strictement folivore.

L'organisation particulière de son tube digestif l'atteste : présence d'un coecum très développé contenant des bactéries qui détruisent les celluloses et dont l'absorption se fait au niveau du côlon proximal.

3. **Famille des *Lemuridae*** :

Comprend 3 genres diurnes dont les représentants, de taille moyenne à grande, gardent le corps horizontal pendant leur déplacement.

Le genre *Hapalemur* (3 espèces) est un genre particulier qui, comme le Panda d'Asie, se nourrit principalement de pousses de bambou.

Le genre *Lemur* renferme 6 espèces et de nombreuses sous-espèces (*L. catta*, *L. fulvus*, etc.).

Le genre *Varecia* monospécifique renferme des individus de grande taille.

4. Famille des *Indriidae* :

Les représentants de cette famille sont caractérisés par des placements par sauts au cours desquels le corps est maintenu vertical.

3 genres :

1. *Avahi* de mœurs nocturnes, il forme un groupe familial de 4 à 5 individus.
2. *Propithecus* diurne et de grande taille. Le genre renferme 2 espèces ayant leur propre répartition :
 - . *P. verreauxi* localisée à l'Ouest où elle présente au moins 5 sous-espèces ;
 - . *P. diadema* à l'Est. Elle comporte également 5 sous-espèces.
3. *Indri* : genre monospécifique. *I. indri* localisé aux zones d'altitude de la falaise orientale (Région de Périnet).

5. Famille des *Daubentonidae* :

Renferme 1 seul genre et 1 seule espèce : *Daubentonia madagascariensis*.

Le *D. madagascariensis* est un animal dont la position systématique a posé des énigmes. En effet, il synthétise les différents caractères morphologiques d'autres mammifères : « dents de lapin, oreilles de chauve-souris, soies de sangliers, mains de singe et queue de renard ».

Le « Aye-Aye » est nocturne et son régime est principalement insectivore. Il utilise ses incisives puissantes à croissance continue pour enlever les écorces, et son médius allongé, grêle pour extraire les larves xylophages de leur trou.

ÉVOLUTION RAYONNANTE

En parcourant les différents groupes de la faune malgache, on a été frappé par une spéciation d'une intensité exceptionnelle.

Grâce aux diversités extrêmes des écosystèmes, à la présence de plusieurs niches écologiques vacantes et à une faible pression de la sélection naturelle (pression de prédation plus faible qu'ailleurs), il s'est créé un mécanisme de spéciation actif. Ainsi, la faune malgache a connu une grande diversification morphologique et éthologique comme chez les Mammifères, et surtout une apparition d'une multitude d'espèces distinctes par des caractères morphologiques mais semblables du point de vue éthologie, comme chez les Insectes.

Cette « spéciation explosive par pulvérisation » selon Paulian, se rencontre chez la plupart des Invertébrés et également chez les Vertébrés.

Pour illustrer ceci, prenons quelques exemples dans les groupes les plus significatifs.

Nous avons vu chez les Mollusques terrestres, une très forte spéciation chez certains genres endémiques à Madagascar, en particulier chez *Ampelita* (64 espèces), *Kalidos* (46 espèces) et *Helicophanta* (15 espèces).

Lorsqu'on examine au niveau ordre, cette explosion intéresse spécialement celui des *Mésogastropodes* avec 123 espèces et celui des *Stylommatophores* avec 224 espèces.

La répartition géographique de ces espèces dans ces zones périphériques du pays et plus particulièrement dans le Nord nous laisse penser que les Mollusques y ont trouvé des conditions écologiques optimales pour leur développement et leur épanouissement, conditions qu'ils n'auraient pas trouvées dans la région centrale de l'île. En outre, l'absence de prédation a dû aussi jouer un rôle déterminant dans cette radiation.

Chez les Insectes, malgré une connaissance incomplète de certains groupes, on peut dire sans risque de se tromper que tous les ordres sont pratiquement concernés par cette évolution rayonnante.

En effet, selon Griveaud, « Isolés dans un milieu naturel au relief, au climat et à la végétation prodigieusement variés, les quelques formes qui ont pu s'établir dans l'île, se sont diversifiées à l'infini ». Il poursuit en disant : « Aucune autre région du Globe n'a montré une formation aussi active d'espèces et leur adaptation à tous les milieux habitables ». Il serait fastidieux d'énumérer tous les groupes.

Citons en guise d'illustration quelques cas :

- chez les Lépidoptères *Nymphalidae*, les genres *Strabena* et *Henostesia* renferment chacun 41 espèces ;
- chez les Coléoptères *Curculionidae*, 1300 espèces se répartissent dans une cinquantaine de genres ;
- chez les différents groupes de Vertébrés, la même caractéristique se retrouve, bien que de faible ampleur.

Les Poissons endémiques de Madagascar comportent 4 genres différents et le genre *Paretopus* renferme, à lui seul, 7 espèces ayant chacun une localisation bien définie.

Chez les Batraciens, on note la présence d'une multitude de formes endémiques (genres et espèces). Mais c'est surtout dans le genre *Mantidactylus* qu'il y a une véritable explosion avec 53 espèces.

Les Reptiles sont caractérisés par une richesse spécifique considérable. Toutefois, un certain contraste apparaît quant à l'importance relative des genres. Certains sont pauvres en espèces, tandis que d'autres sont fortement diversifiés comptant plus de 20 espèces :

- Geckonidae : *Phelsuma* (23 espèces) ;
- Chameleontidae : *Chameleo* (34 espèces) ;
- Scincidae : *Amphiglossus* (22 espèces).

Chez les Oiseaux, 2 familles illustrent parfaitement cette évolution rayonnante : celle des Cuculidae avec le genre *Coua* qui a vu la différenciation de nombreuses espèces dont les niches écologiques sont très variées. Fait assez exceptionnel chez la faune malgache, 3 espèces sont savanicoles : *Coua cristata* (huppé), *Coua verreauxi* et *Coua coquereli*.

Les Mammifères montrent également des exemples de spéciation active surtout chez les Insectivores notamment chez le genre *Microgale* (16 espèces) et chez les lémuriens avec 5 familles dont celle des Lemuridae qui est particulièrement riche avec le genre *Lemur*.

Dans tous ces exemples que nous venons de citer, il apparaît une constante qui mérite d'être soulignée. La pression de la sélection naturelle est pratiquement faible dans les différents écosystèmes et les différents groupes ont acquis un équilibre qui leur a permis de se diversifier malgré une dégradation sensible de l'environnement.

ARCHAÏSME

Tous les biologistes qui ont travaillé sur la faune malgache s'accordent à reconnaître le caractère archaïque de celle-ci. Selon Paulian, « Aucune région ne présente vraisemblablement une richesse de formes archaïques comparables à celle de Madagascar sur un espace aussi restreint ».

L'isolement ancien de Madagascar et l'absence de cataclysmes majeurs expliquent cette richesse de la faune en types archaïques. Certaines formes originelles ont ainsi trouvé refuge dans le milieu insulaire formant une mosaïque d'écosystèmes variés. Ces formes, depuis des millions d'années, n'ont que peu ou pas évolué pour devenir de véritables fossiles vivants. Ce qui a fait dire à Commerson (1771) que Madagascar est une « véritable terre de promissions pour les naturalistes où la nature s'est retirée dans un sanctuaire pour y travailler sur d'autres modèles que ceux auxquels elle s'est asservie ailleurs. Les formes les plus insolites et les plus merveilleuses s'y rencontrent à chaque pas ».

Cette présence de formes archaïques se manifeste à des degrés divers chez les principaux groupes zoologiques.

Les Nématodes parasites d'Insectivores malgaches sont tous archaïques et évoquent une faune relique éliminée chez les insectivores du reste du monde (A.G. CHAMBAUD et all., 1964). Ces Nématodes donnent une image approximative de ce qu'étaient les Nématodes parasites d'insectivores à l'époque où Madagascar s'est isolé du continent.

Chez les Mollusques, le genre *Clavator* endémique de Madagascar rappelle certaines formes fossiles d'Afrique.

Parmi les Arachnides, le genre *Archae* connu dans l'ambre de la Baltique, a gardé tous ses caractères primitifs, et n'a pas évolué depuis.

Les Vertébrés malgaches regorgent d'exemples de formes archaïques. Le Cichlidé endémique *Oxylapia polli* est reconnu pour son caractère archaïque et rappelle les formes fossiles africaines.

Parmi les Reptiles, les *Bolyerinae* et les *Boinae* ont conservé le type archaïque apparenté à des souches sud-américaines.

Quant aux Rongeurs, la sous-famille des *Nesomyinae* est apparentée à des fossiles du Tortonien de France (Région du Quercy).

Les Insectivores réunissent 3 groupes archaïques : le *Limnogale* de mœurs aquatique dont les parents se retrouvent en zone africaine forestière ; le *Microgale* et l'*Oryzoryctes* ; et le *Tenrec* et l'*Hémicentetes*.

Les caractères dentaires des Tenrecidae, les moins évolués représentent un type archaïque que l'on ne rencontre pas chez les Euthériens : organisation particulière de la canine et apparition tardive d'une 4ème molaire, à la manière d'une dent de sagesse.

Du point de vue biologique, le Tenrec présente également une fécondité prodigieuse : 30 petits à chaque portée et une période de croissance très longue.

Les carnivores ont aussi leur lot de formes archaïques avec *Fossa fossana*, *Galidia* et *Cryptoprocta ferox*. Ce dernier est adapté à une vie arboricole grâce à la présence de griffes rétractiles que les autres carnivores n'ont pas, la présence de coussinets aux doigts et à la plante des quatre pattes et grâce à une longue queue qui joue à la fois un rôle de balancier et de support.

Chez les Lémuriens, nous ne citerons que le cas de *Daubentonia madagascariensis* qui comme nous l'avons dit plus haut est une véritable énigme pour les zoologistes. On le considère comme une véritable relique vivante. Par ses caractères primitifs, on l'avait classé parmi les Rongeurs pendant longtemps. C'est seulement en 1866, après une étude anatomique qu'Owen le plaçait parmi les Lémuriens.

C'est à dessein que nous avons limité les exemples à ces quelques groupes pour éviter une énumération fastidieuse. Toutes les espèces pourraient être prises comme exemple-type, car selon R. Legendre « Chaque animal malgache a son cachet ».

AFFINITÉS DE LA FAUNE MALGACHE

Il est difficile de faire une généralisation sur les affinités de la faune malgache et de l'affilier à celle de telle ou telle région. En effet, même au sein d'une même famille, il semble que les différents genres aient des origines différentes. Tel est le cas de Cichlidés endémiques avec les 4 genres. *Oxylapia* aurait une origine africaine sans qu'on puisse l'affirmer de façon catégorique. *Ptychochromis* serait apparenté aux genres *Hemichromis* et *Pelmatochromis* africains. Quant à *Paretroplus* et *Paratilapia*, ils seraient plutôt asiatiques et se rapprocheraient de *Etroplus* de Ceylan.

La ressemblance de la faune parasitaire semble confirmer l'origine asiatique de *Paretroplus* et de *Paratilapia*. Par contre, *Ptychochromis* se rapprocherait plutôt de *Symphysodon*, Cichlidé Sud-américain par sa faune parasitaire.

La même divergence d'origine se retrouve chez la plupart des groupes.

Le scorpion *G. groshys* serait affilié à la faune africaine tandis que le genre Hérérosorpion serait à la fois africain, type *Hadogenus* et australien, type *Urodacus* et *Hemiolaphus*.

Quant aux araignées proprement dites, elles sont typiquement africaines.

Chez les Mollusques terrestres, les affinités sont encore plus disparates. En effet, à côté des types strictement malgaches, *Hainesia* (actuel et fossile du Pleistocène), on note une affinité africaine, type *Vitrina*, une affinité américaine, type *Bavieia*, une affinité indienne, *Clavator* et une affinité européenne, *Tropidophora*.

Chez les oiseaux, l'affinité est d'abord africaine : *Agapornis*, *Jacana*, *Vangidae*, etc., puis asiatique : *Dicrurus forficatus* ; proche de la forme indienne, *Upupa epops* et *Cuculus rochi* sont des simples sous-espèces d'Inde et de Chine.

Les Philepittidae malgaches sont apparentés aux Pittidae asiatiques.

Quant aux carnivores, ils sont très énigmatiques. Selon ALBIGNAC, ils seraient issus d'une évolution locale, d'une souche montrant une convergence avec les groupes africains.

Les lémurien, quant à eux, proviennent d'un petit nombre d'invasions et se sont différenciés sur place (Alison JOLY).

HABITAT DE LA FAUNE TERRESTRE MALGACHE

La plupart de la faune terrestre de Madagascar, y compris les formes cosmopolites, ont un habitat sylvicole. Cela s'explique sans doute par la présence d'une couverture forestière très ancienne depuis l'isolement de Madagascar.

Selon Perrier de la Bathie, 1936, « Toutes les espèces actuellement malgaches, aussi bien botaniques que zoologiques, sauf quelques espèces endémiques adaptées aux conditions nouvelles, sont des êtres sylvicoles ou rupestres, inaptes à vivre dans la prairie ».

En gros, 72 % de la faune sont forestières. Le passage aux savanes arborées serait une adaptation secondaire plus ou moins heureuse, dictée par un problème de survie. En effet, la dégradation du biotope initial, pour diverses raisons, a amené certains groupes à émigrer. D'autres moins plastiques sont réduits à se cramponner aux lambeaux forestiers restants. Les populations animales y sont prisonnières et y évoluent en vase clos, ce qui favorise une dérive génétique, ou conduit à leur disparition si les vestiges forestiers sont trop réduits ou l'écosystème trop perturbé. Tel est le cas des Lémuriens qui sont typiquement adaptés à la vie forestière. Aucune espèce n'arrive à survivre en dehors de ce biotope.

La survie de la plupart de la faune malgache est impensable sans une protection efficace de la forêt.

CONCLUSION

La biodiversité animale malgache est soumise actuellement à deux pressions majeures, dues essentiellement à l'homme : la pression de la chasse et la destruction des habitats.

Pression de chasse

- chasse à des fins nutritionnelles et culinaires : *Tenrec*, *Testudo*, *Lémuriens*, *Serpents*, *Crocodiles*, etc. ;
- chasse à des fins commerciales.

La richesse de la faune malgache est bien connue dans le monde, surtout les formes endémiques. Depuis toujours, la faune a fait l'objet d'une commercialisation et d'une exportation plus ou moins réglementée, mais depuis un certain temps, la demande s'est considérablement accrue et a entraîné une exportation à grande échelle d'une gamme variée d'animaux : différents groupes d'invertébrés et de vertébrés.

En l'absence de ferme d'élevage, le plus grand fournisseur d'animaux d'exportation ne pouvait être que la nature ; la ponction sauvage se fait d'une façon démesurée et risque, à la longue de porter préjudice aux richesses génétiques de Madagascar. Les données officielles indiquent pour 1991, 80 000 reptiles et amphibiens exportés. Au cours des premiers mois de

1993, 20 000 spécimens ont été officiellement reconnus exportés. Il y a aussi un commerce illégal d'importance inconnue de Tortues, de Boas (*Sanzinia*, *Acrantophis*).

Destruction des habitats

Zone de forêts

Comme nous avons dit plus haut, la presque totalité des espèces animales a comme habitat les milieux forestiers, aussi bien dans les zones humides que des zones sèches. Ceci concerne surtout la plupart des formes endémiques.

Les causes actuelles de la dégradation et de la réduction des couverts forestiers sont dues essentiellement aux :

1. Cultures sur brûlis ou Tavy :

On estime à au moins 300 000 ha/an cette perte du couvert forestier pouvant conduire ainsi à une disparition presque totale des forêts restantes à très court terme.

2. Utilisation de la forêt comme source d'énergie.

3. Coupes de bois pour les constructions et les menuiseries.

4. Exploitation zones minières.

Zones de Steppes et de Savanes

Feux de savanes ou feux de brousse, surtout dans les zones d'élevage extensif. Le passage répété des feux dénude complètement les sols et favorise l'érosion.

PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ DE L'ILE MAURICE

Yusoof MUNGROO

RÉSUMÉ

La forêt indigène de Maurice est envahie par des espèces de plantes exotiques et la faune s'est considérablement appauvrie. Ces plantes et ces animaux restent encore soumis à des pressions considérables. Cette biodiversité a pu cependant être sauvée au moyen d'actions concrètes : élevage en captivité, gestion à l'état sauvage, mise en liberté des animaux reproduits en captivité, conservation « in situ » et « ex-situ » des plantes indigènes, préservation des écosystèmes et enfin création des Réserves Naturelles et d'un Parc National.

INTRODUCTION

L'île Maurice qui, avec la Réunion et Rodrigues, fait partie de l'Archipel des Mascareignes est située à 880 km à l'est de Madagascar, entre 19°50' et 20°32' latitude Sud et 57°18' et 57°46' longitude Est. D'origine volcanique, elle a une superficie de 1 860 Km et elle est constituée d'un plateau central. Son point culminant est le Piton de la Rivière Noire à 816 m d'altitude. Avec une population de 1,2 million d'habitants, c'est l'île la plus peuplée des Mascareignes.

Du fait de sa position stratégique dans l'Océan Indien, elle fut nommée « *Stella Clavisque Maris Indici* » — Étoile et Clé de l'Océan Indien. En fait, ceci a conduit à son occupation et à l'exploitation de ses ressources naturelles par les navigateurs et les colonisateurs — au détriment, bien évidemment, de ses richesses génétiques.

Avant sa découverte par les Portugais en 1507, l'île était couverte d'une riche forêt verdoyante où évoluaient de nombreux animaux qui n'avaient pas de prédateurs. Les premiers visiteurs ont été fascinés par la richesse de la flore et de la faune.

Le déboisement commencera avec l'arrivée des Hollandais en 1598. Ceux-ci exploitèrent d'abord les ébéniers puis firent de la place pour les cultures et le réseau routier. Le processus se poursuivra avec les Français (1715) et plus tard avec les Anglais (1810).

Les forêts autochtones sont maintenant limitées au S-O de l'île d'une part à cause de la topographie accidentée et d'autre part parce que leur exploitation n'est plus économiquement viable. Il reste aujourd'hui à peine 1 % de la forêt d'antan. Ce reliquat est lui-même menacé par l'invasion et la prolifération des plantes introduites telles la goyave de Chine (*Psidium cattleianum*), le troène (*Ligustrum robustum var walkeri*) et la framboise maronne (*Robus moluccanus*). C'est pourtant dans cette forêt indigène envahie par des plantes nuisibles que la majeure partie des oiseaux endémiques de l'île Maurice a trouvé refuge. En effet, cette forêt S-O de l'île Maurice est en tête de liste des 75 forêts de la région Afrique servant d'habitat à des oiseaux en voie de disparition établie par le Conseil International pour la préservation des oiseaux (CIPO).

Outre la dégradation de l'habitat et la déforestation, les colonisateurs ont introduit — délibérément ou accidentellement — des animaux pour leur chair ou pour la chasse comme le cerf (*Cervus timorensis*), la chèvre (*capra hircus*) ou le cochon (*Sus scofa*).

Par contre, la mangouste (*Herpestes edwardsii*) n'a été introduite qu'au XIX^e siècle pour contrôler les rats qui ravageaient les champs de canne à sucre. Les Français, de leur côté, ont introduit le Martin de l'Inde (*Acridotheres tristis*), une des toutes premières tentatives de contrôle biologique des sauterelles, devenues, en l'absence de prédateurs, une nuisance grave.

En dépit de cette diminution drastique de la forêt mauricienne et de la compétition avec les plantes exotiques à développement rapide, 234 espèces endémiques subsistent dont 194 sont cependant menacées. Il est vrai que le palmier (*Hyophorbe amaricaulis*) n'est plus représenté que par un unique exemplaire.

La faune aussi a été appauvrie par manque d'espace et du fait des prédateurs introduits. Il ne reste guère que 11 espèces d'oiseaux endémiques sur les 30 que comptait l'île (Tableau I).

Plantes et animaux n'en demeurent pas moins soumis à de multiples pressions. Si rien n'est entrepris pour les secourir, cette biodiversité risque de disparaître à jamais. Ces espèces endémiques (flore et faune) ne survivraient pas longtemps si des mesures de conservation ne sont pas prises. Le gouvernement mauricien, conscient de la richesse des ressources naturelles, a entrepris diverses actions pour sauvegarder la flore et la faune autochtones et empêcher la disparition de ce patrimoine national.

L'ÉLEVAGE EN CAPTIVITÉ

Le programme de l'élevage en captivité a été mis sur pied en 1976 par le gouvernement et des organisations internationales pour venir en aide aux trois espèces d'oiseaux les plus menacées.

Il y avait, à ce moment là, seulement six à sept crécerelles (*Falco punctatus*) vivant sur le territoire mauricien. C'était là l'oiseau de proie le plus rare du monde. La population des pigeons des mares (*Neseonas mayeri*), recensée en 1973-74, comptait 20-25 individus et se trouvait uniquement dans les forêts humides du S-O du pays. La population de perroquet (*Psittacula echo*) estimée à moins de soixante individus a diminué de manière dramatique dans les années 70 suite à la dégradation des habitats. Il n'en reste actuellement que dix-huit à vingt représentants.

Depuis 1977, quand le premier pigeon des mares s'est reproduit en captivité, plus de 225 oiseaux ont éclos à la volière du gouvernement de Rivière Noire et au Jardin Zoologique de Jersey. La propagation en captivité de crécerelles (*Falco punctatus*) n'a pas été aisée. Ce n'est qu'en 1984 que le projet a pu décoller avec l'aide du « Peregrine Fund ». A ce jour quelques 250 crécerelles ont été reproduites en recourant aux différentes techniques. Les œufs sont retirés du nid à l'état sauvage et en captivité, pour permettre à la femelle de pondre une seconde couvée puis transférés dans des incubateurs où les oisillons sont élevés. Quant à l'élevage des perroquets (*Psittacula echo*) en captivité, il s'est révélé très difficile. Les adultes ne s'adaptent pas facilement au changement d'alimentation. Des petits ont été pris dans la nature et élevés dans la volière de Rivière Noire. Ils pourraient constituer le noyau d'un élevage en captivité en vue de la propagation d'une espèce hautement menacée.

GESTION À L'ÉTAT SAUVAGE

Les Pigeons des mares (*Neseonas echo*) se nourrissent essentiellement de fruits et de feuilles des plantes tant exotiques qu'indigènes. Des fluctuations dans la nourriture existent, notamment au cours des mois suivant la saison sèche de l'hiver (septembre à décembre). On fournit alors aux pigeons des graines — nourriture additionnelle — sur des plate-formes érigées dans les arbres. De la même manière, la productivité de la crécerelle a été améliorée en lui présentant de la nourriture additionnelle et des nids artificiels. On a aussi augmenté la couvée en retirant les œufs ce qui conduit la femelle à pondre de nouveau. En ce qui concerne le perroquet (*Psittacula echo*) son étude dans la nature se poursuit. On lui fournit aussi de la nourriture d'appoint et des nids artificiels pour réduire la compétition pour les nids avec le perroquet à collier (*Psittacula krameri*).

Pour réduire la prédation sur les oiseaux et leurs nids, on empoisonne les rats (*Rattus rattus*) et on dispose des pièges pour attraper les mangoustes (*Herpestes edwardsii*).

LE PROGRAMME DE MISE EN LIBERTÉ

Dans les années 80, les deux institutions, l'une à Jersey et l'autre à l'île Maurice, ont reproduit en captivité des pigeons des mares en nombre suffisant pour commencer à les relâcher en vue d'en augmenter le nombre à l'état sauvage. Un programme initié en 1984 et visant à libérer des pigeons des mares au Jardin Botanique des Pamplemousses échoua. La plupart des pigeons furent massacrés avec des frondes ou bien les tentatives d'édification des nids furent infructueuses du fait des prédateurs tels le Martin (*Acridotheres tristis*) ou le corbeau (*Corvus splendens*). Néanmoins, ces études ont fourni des données inestimables et ont préparé la voie pour la mise en liberté dans les forêts indigènes. Quarante pigeons ont été ainsi relâchés et au moins deux jeunes produits de ces couples ont été aperçus.

En 1990, la centième crécerelle élevée en captivité fut relâchée à l'île des Aigrettes, un îlot à moins d'un km de la côte Sud de l'île Maurice. A ce jour, quelques 241 crécerelles ont été relâchées pour augmenter la population de cet oiseau dans les gorges de la Rivière Noire et en vue de réintroduire des crécerelles dans la chaîne de montagnes de Moka au N-O et de Bambous au S-E de l'île d'où elles avaient disparu dans les années 50 suite à un empoisonnement au D.D.T. Cet insecticide avait été répandu sur toute l'île — excepté les régions du S-O — pour contrôler l'anophèle. On utilise des récepteurs-émetteurs pour suivre les mouvements des volatiles et des bagues pour les identifier.

Au cours de la dernière saison de ponte (Octobre-décembre 1992), on a recensé 45 couples ayant reproduit là où ils ont été relâchés. Ces résultats sont très encourageants d'autant que les crécerelles s'adaptent beaucoup plus facilement qu'on ne l'avait pensé et, de ce fait, elles ont prouvé que la réintroduction était possible.

LA CONSERVATION DE LA FLORE

Une des premières actions entreprise pour la préservation de notre flore a été la décision d'affecter certaines parties de la forêt à des « Réserves Naturelles ». La première Réserve a été créée en 1951 et, en 1974, il y en avait un total de vingt. La philosophie présidant à la création des Réserves, comme on le sait aujourd'hui, est la préservation des échantillons des différents types de forêts indigènes. La plus grande menace pour les forêts indigènes existantes de l'île Maurice est indubitablement l'invasion de ces forêts par les plantes et les animaux exotiques introduits dans le passé. La solution idéale aux problèmes de conservation de l'écosystème de la forêt indigène serait l'éradication pure et simple de tous les nuisibles. C'est là une tâche impossible et irréalisable. Même si toutes les forêts indigènes sont envahies par les plantes exotiques, il existe des endroits où la densité est plus faible et où l'on peut envisager de sauver la forêt naturelle. Cinq lots d'un à deux ha chacun ont ainsi été choisis pour la propagation « in-situ » et clôturés pour protéger les plantules contre les herbivores. Les plantes exotiques et envahissantes ont été arrachées manuellement pour faciliter la régénération des plantes endémiques. Une autre approche pour la préservation de la flore est la propagation « ex-situ » des espèces très rares et difficiles à propager dans la nature. Le gouvernement mauricien a mis sur pied une pépinière et une serre pour la propagation des plantes indigènes menacées. Celles-ci sont par la suite transplantées dans les forêts. Un système de fiches a été institué pour enregistrer les plantes tant à la pépinière que dans la nature.

LE PARC NATIONAL DES GORGES DE LA RIVIÈRE NOIRE

Un premier Parc National de 6 000 ha est en voie de création. Il couvrira les Réserves Naturelles de Macchabée / Bel Ombre et les régions des Gorges de la Rivière Noire dans le S-O de l'île. C'est dans cette région en effet, que l'on trouve les dernières forêts indigènes du pays et où depuis quinze ans on travaille à des projets de conservation des espèces menacées d'extinction. La législation relative à ces projets a été présentée à l'Assemblée Nationale en avril 1993.

Les principaux objectifs du premier Parc Mauricien sont :

- 1) La conservation des ressources naturelles de cette région avec une attention particulière pour les espèces en voie de disparition.
- 2) La restauration des forêts qui ont subi au fil des décennies une dégradation constante en raison des actions néfastes de l'homme et de l'invasion des plantes exotiques et des effets déprédateurs des animaux introduits.
- 3) La protection, l'embellissement et la promotion du paysage à des fins récréatives pour les Mauriciens et les touristes.
- 4) La promotion de l'éducation sur l'environnement et la conscientisation de la population sur la nécessité de protéger les plantes et les animaux indigènes.

L'aménagement du parc national coûtera environ 2,4 millions de dollars américains échelonné sur quatre ans et sera financé conjointement par la Banque Mondiale et le Gouvernement de Maurice.

Ce projet de mise en place du premier Parc national à Maurice se situe dans le cadre d'une prise de conscience des autorités mauriciennes de la nécessité de préserver des sites naturels qui font partie du patrimoine national. Ces sites jouent en outre un rôle important dans la protection de l'environnement, constamment menacé par les impératifs du développement.

Les autres projets de conservation actuellement en chantier ont tous pour but la sauvegarde de la biodiversité.

ILE RONDE

Cette île se trouve à 22 km de la côte nord de l'île Maurice. Elle revêt une très grande importance biologique. C'est la plus grande superficie dans le groupe des Mascareignes où on ne trouve pas de mammifères. Les lapins et les chèvres qui s'y trouvaient ont été éliminés par des efforts continus du Gouvernement de Maurice et des organisations internationales. L'île Ronde est le refuge de la Savane des Palmiers qui, dans le passé, recouvrait les plaines au nord de Maurice. Elle est devenue le sanctuaire d'au moins huit espèces de reptiles (Tableau II) et de milliers d'oiseaux de mer qui y nichent. Un plan d'aménagement a été conçu pour la restauration de sa végétation et la préservation de sa faune. Quatre expéditions composées de six personnes sont organisées annuellement pour contrôler les mauvaises herbes envahissantes comme *Desmodium* et *Desmanthus*.

ILE AUX AIGRETTES

La « Mauritian Wildlife Appeal Fund » (MWAF), une organisation internationale non-gouvernementale poursuit un programme d'élimination des plantes et animaux introduits pour restituer la végétation indigène de l'île aux Aigrettes, une autre île de valeur inestimable pour la conservation de la biodiversité. L'île a été louée à bail à la MWAF.

ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE TERRE ROUGE

Cet estuaire est le plus important site pour un très grand nombre d'oiseaux migrateurs qui y trouvent refuge et nourriture pendant l'hiver septentrional. Il a été élevé au rang de sanctuaire.

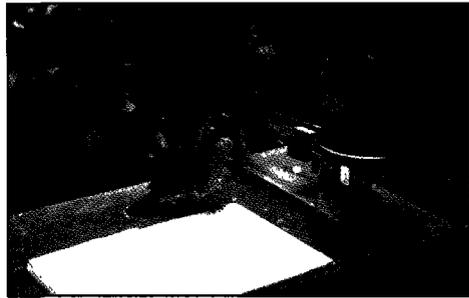
Tableau I : Liste des oiseaux endémiques de l'île Maurice établis en 1978 par ICPB

Nom Scientifique	Nom Commun	Statut
<i>Falco punctatus</i>	Crécerelle	En danger de disparition
<i>Neseona (Columba mayeri)</i>	Pigeon des Mares	En danger de disparition
<i>Psittacula (echo) eques</i>	Grosse Cateau Verte	En voie de disparition
<i>Coracina typica</i>	Merle cuisinier	Rare
<i>Hypipetes olivacea</i>	Merle charpentier	Peu commun
<i>Terpsiphona bourbonnensis</i>	Coq des bois	Peu commun
<i>Zosterops chloronothos</i>	Oiseau à lunettes	Rarissime
<i>Zosterops borbonica</i>	Oiseau banane	Commun
<i>Foudia rubra</i>	Cardinal de Maurice	Rarissime
<i>Collocacia francina</i>	Petite Hironnelle	Commun
<i>Phenida borbonica</i>	Grosse Hironnelle	Commun

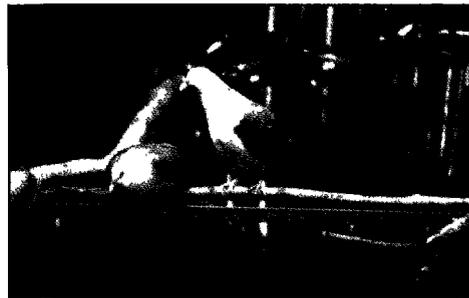
Tableau II : Liste des reptiles de l'île Ronde

Nom Scientifique	Nom Commun	Statut
<i>Phelsuma guentheri</i>	Le gecko de Guenther	Unique à l'île Ronde
<i>Leiolopisma telfairi</i>	Le Scinque de Telfair	Unique à l'île Ronde
<i>Casarea dussumieri</i>	Boa de l'île Ronde	Unique à l'île Ronde
<i>Bolyeria multocarinata</i>	Boa de l'île Ronde	Unique à l'île Ronde
<i>Scelotes bojeri</i>	Scinque de Bojer	Sur d'autres îlots
<i>Nactus serpensuisula</i>	gecko nocturne	l'île Ronde et l'île aux Serpents
<i>Phelsuma ornata</i>	gecko bleu	d'autres îlots et l'île Maurice
<i>Cryptoblepharus boutonii</i>	Scinque de Bouton	sur d'autres îlots

Crécerelle de maurice (bébe et adulte)



Pigeon des Mares (bébe et adulte)



RÉFÉRENCES

Ministry of Environment and Quality of Life, Government of Mauritius.

BOLTON M., « Feasibility study for establishing Black River Gorges National Park. », *World Bank and Government of Mauritius*, Port-Louis, 1990, p. 88.

BRIGHT J.W., « Implementation Plan, Black River Gorges National Park », *Ministry of Agriculture, Fisheries and Natural resources and FAO*, Port-Louis, 1990, 45 pp.

BROUARD N.R., « A history of woods and forests in Mauritius. », *Government Printer.*, Port-Louis, 1963, 86 pp.

CHEKC A.S. « An ecological history of the Mascarene Islands, with particular reference to extinctions and introductions of land vertebrates. » In : DIAMOND A.W. Ed., *Studies of Mascarene Island birds*, *Cambridge University Press*, 1987, pp. 5-89.

MERTON D.V. et al., « A management plan for the restoration of Round Island. », *Mauritius Jersey Wildlife Preservation Trust*, UK, 1989, 46 pp.

State of the Environment in Mauritius, June 1992.

BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE ET DÉFORESTATION À MADAGASCAR

Charlotte RAJERARISON

Madagascar possède un patrimoine biologique et écologique unique au monde. La richesse extraordinaire de sa faune et sa flore, le nombre impressionnant de ses espèces endémiques sont bien connus. Cette grande richesse est attribuée d'une part à l'ancienneté de l'isolement de cette île (120 à 140 millions d'années), et d'autre part à la diversité des écosystèmes naturels qui ont favorisé l'évolution des espèces végétales mises en place avant la séparation des Continents.

On assiste depuis plusieurs années à une déforestation pratiquement irréversible de ce patrimoine et elle se poursuit inexorablement avec une vitesse sans cesse accrue. Les conséquences peuvent être très graves sur le plan scientifique et socio-économique.

BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE

Les substances découvertes dans la pervenche rose (*Catharanthus roseus*) plante endémique malgache, a quadruplé le taux de survie chez les enfants atteints de leucémie dans le monde. La médecine traditionnelle utilise de nombreuses plantes forestières et leur utilisation, à Madagascar, s'est considérablement accrue ces dernières années (à cause du faible revenu de la population en zones rurales). L'amélioration de la culture du café dépend de nouvelles matières génétiques provenant de plantes sauvages de la même famille qui croissent principalement à Madagascar et en Éthiopie. La destruction des écosystèmes forestiers conduit inexorablement à l'ensablement des rivières et des fleuves...

Ces quelques exemples illustrent l'importance que revêtent la connaissance et la nécessité de protéger la biodiversité végétale, pas seulement à Madagascar, mais partout dans le monde.

Biodiversité floristique

La connaissance de la flore de Madagascar est loin d'être complète alors qu'elle devrait être considérée comme une nécessité préalable à toute étude fondamentale ou appliquée, présentant un intérêt économique actuel ou potentiel telle que l'étude des plantes médicinales, aromatiques, industrielles, agronomiques ou forestières.

Malgré le nombre très important des récoltes faites à Madagascar, depuis le XVII^e siècle par FLACOURT ou COMMERSON, jusqu'à nos jours en tenant compte des travaux effectués par PERRIER DE LA BATHIE, HUMBERT et CAPURON, l'inventaire floristique actuel nécessite un effort important de prospection et de révisions systématiques. De nombreuses régions dont la flore n'est pas bien connue doivent être prospectées plus intensément : végétation des tsingy de l'Ankarana, du Bemaraha ou du Kelifely, forêts humides de l'Est : Masoala, et Nosy Mangabe, et les grands massifs montagneux du Nord de Madagascar : Marojejy, Tsaratanana, Montagne d'Ambre.

A l'heure actuelle, il est donc impossible d'avoir une estimation exacte et exhaustive des espèces végétales malgaches. Les travaux de PERRIER DE LA BATHIE et de HUMBERT, les résultats des recherches effectuées ces dernières années en collaboration avec des équipes françaises et internationales, font apparaître 10 000 à 12 000 espèces. 207 familles ont été mentionnées par HUMBERT en 1959 et elles sont ainsi réparties :

- 157 familles d'Angiospermes Dicotylédones ;
- 32 familles de Monocotylédones ;

- 2 familles de Gymnospermes ;
- 16 familles de Cryptogames vasculaires.

Le niveau d'endémisme est relativement élevé :

- endémisme spécifique : 85 % ;
- endémisme générique : 20 % ;
- 6 familles endémiques :

- . *Didieraceae*,
- . *Sarcolenaceae*,
- . *Rhopalocarpaceae*,
- . *Diegodendraceae*,
- . *Humbertiaceae*,
- . *Didymelaceae*.

- et une incertitude sur une éventuelle 7ème famille : les *Geosiridaceae*.

L'endémisme est plus ou moins marqué suivant les régions phytogéographiques. Ce fort pourcentage d'endémisme a été attribué à l'isolement ancien de l'île qui aurait permis aux espèces mises en place avant la séparation des Continents de se diversifier intensément et de donner naissance à de nouvelles espèces. Une grande originalité de cette flore malgache réside également dans le véritable éclatement de certaines taxons : genres ou familles :

- *Bulbophyllum* : 180 espèces malgaches sur 500 connues dans le monde ;
- *Angraecum* : 150 sur 200 ;
- *Dombeya* : 190 espèces malgaches sur 200 ;
- *Diopyros* : 100 sur 400 ;
- *Delonix* : 11 espèces dont 9 endémiques ;
- Palmiers : 128 sur 133 sont endémiques ;
- *Melastomaceae* : 282 espèces à Madagascar dont 4 non endémiques ;
- *Apocynaceae* : 10 genres endémiques sur 23 et 140 espèces endémiques.

Principales familles

La famille des Orchidées est la mieux représentée à Madagascar avec 900 espèces. Beaucoup sont propres à la forêt orientale de basse et moyenne altitude, mais le milieu le plus riche est la forêt au-dessus de 800 m. Peu voyantes en général, les fleurs des Orchidées malgaches peuvent parfois être très belles, parmi les spectaculaires, il faut citer : *Angraecum sesquipedale*, *Eulophiella rumpleriana*, *Cymbidiella rhodochila* et quelques *Aeranthès*.

D'autres milieux abritent encore quelques très beaux représentants de la famille comme les milieux rocheux où on les trouve installées à même la roche ou en bordure des touffes de végétation : c'est le cas de l'*Angraecum soronium* que l'on trouve sur les dômes granitiques de la région centrale et du genre *Aerangis*.

D'autres familles sont également bien représentées si l'on tient compte du nombre d'espèces :

- *rubiacées* : 650 espèces, dans toutes les formations végétales : sèches ou humides ;
- *composées* : 550 espèces dans les formations d'altitude surtout où l'on note un très fort pourcentage d'endémisme ;
- *légumineuses* : 500 espèces ;
- *acanthacées* : 452 espèces.

Origine et affinités

La flore malgache présente de nombreuses affinités étrangères en dehors des types endémiques qui ne présentent pas d'affinités bien nettes avec ceux d'autres régions. Elle présente des affinités africaines et asiatiques témoignant d'anciennes liaisons continentales, des affinités pantropicales, des éléments exotiques récents (*Mangifera*, *Ziziphus*) et des éléments des pays tempérés que l'on trouve sur les Hauts sommets africains et malgaches dont on ignore encore comment elles sont venues à Madagascar :

- *Cardamine africana*,
- *Viola abyssinica*.

Tout ceci démontre la très grande diversité de la flore malgache qui mérite une étude plus approfondie pour les raisons déjà énoncées. De plus, l'étude des écosystèmes naturels ne pourra être menée à bien sans la connaissance précise de la flore.

Diversité des écosystèmes naturels

L'île de Madagascar présente tous les caractères d'un petit continent avec les multiples facettes d'une nature extrêmement variée. Elle compte une gamme de climats très variés : tropical humide dans la région orientale, tropical sec dans toute la région occidentale, de type aride dans le Sud-Ouest, type tempéré sur les Hauts-Plateaux au-dessus de 800 m.

A ces variations climatiques s'ajoutent les conditions édaphiques et le relief qui sont déterminants dans la répartition des formations végétales.

Principaux écosystèmes naturels

- *Forêts denses humides de basse et de moyenne altitude le long de la côte orientale.* L'originalité de cette formation réside dans sa forte endémicité (36 % au niveau des genres et 90 % d'endémisme spécifique) et dans sa physionomie : la hauteur de la voûte est nettement inférieure à celle des forêts tropicales de même type. C'est une végétation riche en formes primitives (monocaulie, cauliflorie...).
- *Forêts denses sèches tropophiles.* Elles s'étendent sur toute la région occidentale de 0 à 800 m d'altitude, de Diégo jusqu'à Tuléar. Le principal caractère biologique de cette formation est la caducité du feuillage dans la strate arborée. On y distingue plusieurs types forestiers conditionnés par la nature du substrat :
 - . *Forêts sur sables roux / d'âge pliocène à Morondava et sables blancs crétaqués à Ankarafantsika.*
 - . *Forêts sur argiles latéritiques* dont il ne reste plus que quelques vestiges dans le Nord-ouest.
 - . *Forêts des alluvions et des bords des cours d'eau,* caractérisées par un mélange d'espèces caducifoliées et sempervirentes. Elles se trouvent sur les sols à vocation agricole et sont pratiquement détruites actuellement et remplacées par des cultures industrielles : cotonnier, canne à sucre...
 - . *Végétation des plateaux calcaires.* C'est une des formations les plus intéressantes et les plus originales. La nature du substrat (non favorable à la culture) et l'accès difficile a permis la conservation de la végétation (Bemaraha, Ankarana, Kelifely). Une conjonction des facteurs tectoniques (relèvement du plateau) et climatiques (érosions pluviales et fluviales) ont abouti à sculpter littéralement ces blocs karstiques donnant cet aspect formé par un réseau de failles, de crevasses et de blocs calcaires sculptés en lames ou en pitons acérés (20 à 30 cm de hauteur) à l'allure de flèches de cathédrale, connus localement sous le nom de tsingy. Un réseau souterrain de galeries complète l'ensemble en relation avec des cours d'eau ou des lacs et des gorges de 100 à 200 m de hauteur. Ces caractères déterminent l'existence d'une très grande variété de faciès végétaux :
 - forêts denses sèches sur les dalles calcaires sub-affleurantes.
 - végétation xérophytique, type bush sur les lapiez de surface,
 - végétation rupicole avec de nombreuses formes pachycaules et crassuléscentes,
 - forêts denses sub-humides dans les canyons où le sol est plus épais et plus frais.

La flore et la végétation des plateaux calcaires ne sont pas encore très bien connues et elles font actuellement l'objet d'attentions particulières de la part des organismes internationaux (PNUD, UNESCO).

- *Bush xérophytique du Sud-Ouest* : une des formations remarquables également par ses caractères physionomiques (végétation basse, type fourré), biologiques (grandes variétés des formes d'adaptation à la sécheresse), et floristiques (48 % endémisme générique, 95 % endémisme spécifique, 1 famille endémique : Didieraceae).
- *Végétation spécialisée* régie par des conditions écologiques particulières (mangroves, marécages, rochers) qui forment autant d'écosystèmes naturels, avec de nombreuses ressemblances avec les autres régions tropicales.

Ces différents écosystèmes abritent de nombreuses espèces animales. Le déséquilibre observé à leur niveau constitue de graves menaces entraînant la disparition de nombreuses espèces animales et végétales.

Intérêts des écosystèmes naturels

Il importe donc de préserver ce patrimoine de la biodiversité végétale malgache, par les énormes intérêts qu'il peut apporter non seulement au niveau de la nation, mais aussi au niveau mondial :

- les écosystèmes naturels assurent la sauvegarde des lieux propices à la poursuite des processus biologiques ;
- ils sont importants dans la protection des ressources génétiques indispensables à l'amélioration des plantes cultivées et pour l'obtention des plantes médicinales (2ème objectif de la stratégie mondiale dans la conservation de la biodiversité) ;
- ils jouent un rôle dans la régulation des climats et constituent un laboratoire vivant pour les recherches fondamentales et appliquées ;
- ils protègent les bassins versants contre l'érosion et la sédimentation ;
- ils jouent un rôle capital dans le bien être psychique de l'homme et sur sa santé.

Dans cette optique de protection et de conservation de la biodiversité, de nombreuses mesures ont été prises sur le plan national avec l'aide de nombreux organismes internationaux.

DÉFORESTATION

Feux de brousse et défrichements forestiers sont des pratiques courantes à Madagascar depuis de longues années. Ils se poursuivent de façon alarmante, détruisant l'environnement et leurs impacts se font sentir sur toutes les couches de la population.

Causes actuelles

Elles sont nombreuses et multiples :

- *Pression démographique* : avec une population estimée à 11 millions sur 592 000 km², Madagascar est un pays peu peuplé. La forte demande en bois, seule source d'énergie, est à l'origine de la déforestation dans les zones à forte concentration humaine. Le bois énergie est non seulement utilisé pour les besoins domestiques (coût élevé de l'énergie fossile), mais également pour les activités para-industrielles locales (séchage de poissons, distillations de toute nature, fabrication des briques...) et pour la construction et la confection de l'habitat surtout dans les régions côtières.
- *Pratiques culturelles itinérantes* (tavy), anciennes pratiques ancestrales qui consistent à couper en totalité ou en partie une forêt, à laisser sécher la végétation et d'y pratiquer ensuite un « feu de nettoyage » avant la culture (riz, maïs, manioc...). La parcelle est cultivée pendant deux ou trois ans, limite d'épuisement des réserves du sol et un nouveau tavy est pratiqué plus loin.

De nombreux hectares de forêts naturelles disparaissent ainsi chaque année. Cette pratique s'est nettement accélérée depuis 10-15 ans, en relation certes avec les problèmes démographiques mais surtout avec la baisse des ressources financières des populations rurales. Elle entame le couvert forestier de façon presque définitive et la désertification guette de nombreuses régions.

- *Exploitation sauvage des forêts* : par la population locale d'une part, les grands exploitants forestiers d'autre part. Ces derniers ne respectent pas toujours la législation en vigueur qui devrait être appuyée par de mesures d'accompagnement comme la reforestation par les essences nouvellement exploitées. Cette exploitation sauvage est en plein essor actuellement dans la région de Tuléar, à la suite d'une importante immigration venue du Sud de l'Onilahy (à cause de la famine dans la région sud). Cette population nouvellement installée pratique la culture du maïs sur brûlis, et exploite les forêts pour la

commercialisation du bois de chauffe et de charbon. Les espèces autochtones rares sont très prisées : *Baudouinia rouxvillei*, Cedrelopsis à cause de leur bois dur.

La destruction de la végétation dans cette région est pratiquement irréversible car les conditions écologiques (substrat squelettique et fragile, climat aride ou sub-aride) ne permettent pas la régénération de la végétation primitive.

- *Insuffisance d'encadrement* en zones forestières et de la sensibilisation de la population en zones rurales sur la nécessité de protéger et de sauvegarder l'environnement. Des mesures d'accompagnement s'imposent bien entendu si l'on voudrait atteindre les objectifs préconisés.
- *Force des habitudes ancestrales*. D'aucuns soutiennent le lien mystique qui lie les paysans forestiers à leurs ancêtres par la pratique du tavy. Ils pensent également que le riz « tavy » est plus savoureux que le riz irrigué.

D'autres raisons peuvent être évoquées pour expliquer la destruction des écosystèmes naturels. C'est le cas des exploitations minières dont l'importance pour l'économie nationale est indiscutable, entre autres :

- l'exploitation de l'Ilménite mettant en danger les belles forêts littorales du Sud-Est malgache ;
- l'exploitation du graphite à Falierana à proximité d'Andasibe-Perinet, exploitation à ciel ouvert consistant à abattre toute la végétation et à décaper le sol au fur et à mesure jusqu'au filon ;
- l'exploitation des pierres précieuses dans le Centre-Est où des montagnes entières avec leur couverture végétale ont été littéralement saccagées.

Il faudrait mentionner également l'utilisation des plantes utiles pour la population autochtone, plantes médicinales ou autres, mais elle ne paraît pas avoir une influence prépondérante sur la dégradation de la biodiversité.

Modalités

Les modalités diffèrent suivant les régions et sont aussi fonction de la nature même des formations végétales :

- La région orientale est le domaine du tavy par excellence. La topographie et le relief favorisent cette pratique. Mais le climat humide impose un défrichage préalable des formations végétales avant le brûlage.
- Dans l'Ouest de Madagascar, la caducifolie de la végétation favorise le passage du feu, ce qui n'est pas le cas dans le Sud-Ouest où l'absence de tapis graminéen et la prépondérance des formes d'adaptation à la sécheresse : crassulescence, microphyllie, aphyllie, limite l'action du feu.
- Les formations forestières d'altitude et les forêts des pentes occidentales, riches en essences inflammables sont vulnérables à l'action du feu. De plus la strate muscinale et les horizons tourbeux propagent lentement le feu (observation ces dernières années dans une partie de la forêt d'Ambohitantely).

Évaluation actuelle

Par ces différentes pratiques, 200 000 à 300 000 hectares de forêts naturelles disparaissent chaque année. Cette estimation a été faite par le Service des Eaux et Forêts, mais avec l'insuffisance des moyens pour recueillir de telles données, il faut penser que ces chiffres ne reflètent certainement pas la réalité.

Les forêts primaires ou peu dégradées ne couvrent plus actuellement que 9 500 00 hectares et les forêts dégradées, de type savoka, 1 500 000 hectares. A la vitesse actuelle de défrichements forestiers, ces formations auront disparu totalement pendant les 50 années à venir.

Causes passées

D'autres facteurs auraient contribué également à la destruction des formations végétales. L'homme est un phénomène récent à Madagascar et son avènement dans l'île remonterait à 600-800 ans après J.C. (Deschamps, 1965).

En 1895, l'Ouest était déjà une immense prairie faiblement occupée par les pasteurs Sakalava, installés le long de la côte sur une profondeur de 60 à 120 km. Koechlin et al. (1974) affirmait que le climat à Madagascar serait forestier même dans les endroits les plus arides. Reste à savoir par conséquent comment ces immenses étendues herbeuses avaient pris place dans l'Ouest, si au début de ce siècle l'occupation humaine était encore faible ?

Cette rapidité de la disparition du couvert végétal pourrait être expliqué d'une part par la fragilité de la flore malgache, qui est une flore insulaire, et d'autre part, par des variations climatiques du Quaternaire. D'après Bourgeat (1972) des périodes sèches (displuviales) et des périodes humides (pluviales) se sont succédées, provoquant ainsi un déséquilibre entre la végétation et le milieu :

- disparition des forêts pendant les périodes sèches (moramangien et Sambavien) sauf en quelques endroits (bas-fonds humides) ;
- extension pendant les périodes humides (Ambovombien et post-Sambavien).

Au cours de la période actuelle, marquée par un assèchement climatique plus ou moins important, une certaine stabilité s'est rétablie mais l'action humaine (tavy répétés et feux de brousse) de plus en plus pressante conduira inexorablement à la disparition de la végétation naturelle et de ses ressources.

Impacts de la déforestation

La première conséquence de la déforestation est la destruction systématique des ressources naturelles dont l'exploitation abusive et irrationnelle peut entraîner l'extinction de certaines espèces : plantes endémiques ou médicinales, essences de bois précieux, plantes industrielles (caoutchouc liane qui était encore exploité à Madagascar vers 1945). Il faut y inclure également les ressources génétiques. De plus la disparition du couvert végétal met le sol à nu favorisant aussi le ruissellement des eaux dont les effets sont catastrophiques :

- lessivage du sol et baisse de fertilité par perte des matières organiques ;
- accélération des phénomènes d'érosion dont les impacts se font ressentir sur l'économie nationale ;
- envasement des post de Majunga et de Mananjary, ensablement des fleuves, des plaines alluviales (rizières et baiboho) ...
- fréquence des inondations par la diminution des infiltrations et l'augmentation du ruissellement en saison pluvieuse.

D'une année à l'autre, on assiste également à un appauvrissement des pâturages naturels consécutifs à l'appauvrissement du sol.

CONCLUSION

La disparition des écosystèmes naturels constitue une des plus graves menaces pour la conservation, elle ne permet pas à des espèces qui ont mis des millions d'années pour y évoluer, de se réadapter à de nouvelles conditions écologiques.

La déforestation présente donc des impacts socio-économiques importants et constitue un frein au développement national. Plusieurs mesures ont été prises à ce sujet : plan d'action environnemental (PAE), création des aires protégées dont la gestion actuelle s'effectue à l'aide d'organismes internationaux, création du Centre National pour la Recherche Environnementale car tout le développement rural devrait être basé sur des recherches fondamentales et appliquées, introduction progressive des matières environnementales dans les programmes d'éducation, sensibilisation de la population à tous les niveaux.

PESTICIDES SYNTHÉTIQUES ET PESTICIDES NATURELS

Mohamed Larbi BOUGUERRA et Bernard PHILOGENE

PESTICIDES CHIMIQUES DE SYNTHÈSE

L'utilisation des pesticides chimiques de synthèse est de plus en plus fréquente dans les pays en voie de développement. Elle est dictée non seulement par des considérations d'ordre économique — protection des récoltes notamment — mais aussi par des raisons de santé publique telle la lutte contre les vecteurs des diverses maladies parasitaires en particulier. Cet usage n'en soulève pas moins de redoutables questions d'ordre environnemental, économique, social... voire éthique et aboutit dans certains cas à une impasse totale. Il ne s'agit pas de condamner l'usage des pesticides. Il s'agit plutôt de l'entourer des précautions indispensables — légales et juridiques notamment — pour en limiter au maximum les retombées négatives et perverses, protéger les populations et l'ensemble de la biosphère et inscrire en particulier le recours à ces molécules toxiques dans le cadre *d'une stratégie globale de lutte* où elles constitueraient un élément parmi d'autres du contrôle des nuisibles plutôt que la seule et unique arme comme cela se voit hélas ! trop souvent dans le Sud. N'utilisant que 20 % des pesticides produits dans le monde, les pays en voie de développement déplorent cependant la majorité des intoxications et des morts provoquées par les pesticides.

Il y a cinquante ans, les insectes et les divers ravageurs, les mauvaises herbes, les vecteurs de maladie étaient encore essentiellement contrôlés soit par des produits chimiques relativement simples tels le soufre, le chlorate de sodium, des composés cupriques ou arséniés ou bien des substances d'origine végétale (pyrèthre, roténone, nicotine...) soit par des méthodes culturales et divers procédés traditionnels. L'ère des pesticides chimiques de synthèse débute en 1940 suite aux succès remportés d'abord par le DDT — qui réussit à juguler une épidémie de typhus à Naples — puis par d'autres organochlorés. La découverte des organophosphorés, puis celle des herbicides allait provoquer leur rapide adoption et l'émergence d'une formidable et puissante industrie agrochimique.

1600 pesticides sont aujourd'hui disponibles sur le marché mondial où on les trouve sous une multitude de présentations, de formulations et de marques. On estime à 4,4 millions de tonnes la production annuelle mondiale de pesticides qui vaut 20 milliards de dollars. Cette production est cependant entre les mains d'un petit nombre de firmes multinationales.

A l'aube de l'expansion de l'usage des pesticides, l'efficacité de ces substances sur un grand nombre d'arthropodes, de rongeurs et de vecteurs pathogènes... était si spectaculaire qu'elles furent appliquées très largement, et souvent sans discrimination, d'abord dans les pays développés puis dans ceux du Sud. On ne se posait guère de questions alors quant à leurs dangers pour l'homme, l'écosystème ou l'environnement. Pourtant, il s'agit bien de produits toxiques délibérément introduits dans le milieu par l'homme. La publication, en 1962, de l'œuvre magistrale de Rachel Carson « *Le printemps silencieux* » allait mettre — de manière percutante — ces questions à l'ordre du jour. On peut dater à la parution de ce livre l'étude de la toxicité chronique et aiguë des pesticides vis-à-vis de l'homme, des animaux domestiques et de la faune, leur phytotoxicité pour les plantes, leur persistance dans le sol et l'eau ainsi que leur concentration le long des chaînes alimentaires, leur aptitude à une contamination globale de l'environnement, le développement de nouvelles espèces de nuisibles, l'apparition de la résistance à ces produits chez près de 900 espèces de nuisibles et au bien lourd tribut qu'ils infligent aux gens et à l'environnement dans nombre de pays du Sud notamment. C'est en Inde en effet que l'on déplorera, en 1984, la plus terrible

catastrophe jamais rapportée dans les annales de l'industrie agrochimique. On comptera plusieurs milliers de morts à l'usine de pesticides d'Union Carbide à Bhopal.

Rendus attentifs aux dangers des pesticides, la plupart des pays industrialisés et les agences spécialisées des Nations Unies ont instauré des systèmes complexes d'homologation, des organismes de suivi et de contrôle et des conditions préalables avant toute mise sur le marché d'un produit nouveau comme les données sur sa toxicité vis-à-vis des mammifères, des poissons et des abeilles par exemple, ses voies de dégradation et son devenir dans l'environnement. Des programmes furent lancés pour le suivi des résidus de pesticides dans l'eau, le sol, les aliments... De telles mesures et pareilles législations font le plus souvent malheureusement défaut dans beaucoup de pays du Sud dans lesquels des produits obsolètes ou très toxiques ou interdits dans le pays producteur sont en vente libre, sans les garde-fous et les protections vestimentaires qui les accompagnent ailleurs. D'où un grand nombre d'intoxications, de décès et d'autres drames poignants comme ceux de la neuropathie retard induite par des produits du type leptophos... « Le péril chimique, écrivent des médecins tunisiens, vient s'ajouter, dans le Tiers Monde, aux fléaux traditionnels infectieux, parasitaires ou nutritionnels ».

Pour certains, les pesticides sont un mal nécessaire pour assurer une alimentation adéquate aux populations. Or, dans le Sud, ces produits sont surtout utilisés sur les cultures de rente destinées à l'exportation telles le café, le thé, le coton, le cacao, les fleurs... et ne sont guère employés sur le petit mil, l'igname, le sorgho, le dah ou le niébé.

Quant à leur emploi dans la lutte antivectorielle, il a provoqué l'apparition d'une résistance tenace et préoccupante chez l'anophèle notamment. L'UNEP notait déjà en 1979 que la résistance était l'un des quatre problèmes environnementaux les plus préoccupants pour l'humanité et qu'elle ne cessait de s'étendre, frappant de stérilité de précieuses molécules. En 1961, en Inde, suite aux premières utilisations de pesticides dans la lutte antimalaria, on ne compta guère que 41 000 cas de paludisme. En 1989, du fait de la résistance de l'anophèle, on assista à une phénoménale explosion de la maladie qui affecta rien moins que 59 millions de personnes. Ces terribles faits n'intéressent pas que l'Inde ; on en sait quelque chose en Afrique et ici, à Madagascar mais aussi dans le reste de l'Asie et en Amérique du Sud. L'OMS, en 1990, mais aussi l'Académie américaine des Sciences (NAS), en 1991, confirmaient le désastre : le paludisme fait 270 millions de victimes. Le combat contre le moustique ne saurait être uniquement basé sur les produits chimiques. Il doit aussi s'adresser à l'assainissement et à l'amélioration des conditions de vie de la population. C'est ainsi qu'il a disparu d'Italie ou de Corse. De plus, l'usage outrancier des pesticides chimiques sur les cultures de rente notamment a accéléré la résistance de l'anophèle : au Guatéméla, Chapin et Wasserström de l'Université Harvard, calculent que chaque kg de DDT sur le coton entraîne 105 nouveaux cas de malaria. Le même usage excessif a provoqué l'apparition de nouveaux nuisibles. Dans les orangeries tunisiennes par exemple, les acariens étaient à peine notables avant l'emploi des organochlorés ; depuis, débarrassées de leurs prédateurs naturels par la grâce de ces produits, ils sont devenus une nouvelle préoccupation pour l'agriculteur qui a du recourir à un nouveau traitement entrant ainsi de plain pied dans « le cercle vicieux » des pesticides. Pareillement, le recours aux herbicides, en éliminant totalement toute végétation, dénude le sol ce qui entraîne d'abord une grave érosion par l'eau et le vent, puis, les nuisibles n'ayant plus rien à se mettre sous la dent, se rabattent sur les cultures. Le désherbage chimique peut aussi causer la disparition de nombreux ennemis et parasites des nuisibles en affectant aussi leur habitat et privant de ce fait l'agriculteur d'auxiliaires efficaces. Ainsi, l'utilisation du fongicide Captan, en éliminant tous les champignons microscopiques qui contrôlent les nématodes parasitant les cultures, a permis à ces derniers de se développer de façon catastrophique.

L'engouement de certains, dans le Sud, pour les pesticides est nourri par la publicité des multinationales et de leurs agents locaux que seul intéresse le chiffre de vente. Nulle préoccupation, autre que marchande, ne les habite dans la plupart des cas. Pourtant, les

bénéfiques obtenus suite à l'utilisation des pesticides seraient singulièrement diminués si l'on tenait compte de ce que l'école du Pr David Pimentel de la Cornell University, aux États Unis, appelle leurs « *coûts sociaux et environnementaux* ». En effet, si l'on mettait au passif des pesticides les cancers dus à ces substances, les intoxications et les morts, les coûts supplémentaires induits par la résistance, la disparition des insectes entomophages, des abeilles et des pollinisateurs, les pollutions infligées aux sols, aux eaux et aux aliments, les hécatombes subies par les poissons, la faune et les morts d'animaux domestiques ainsi que les dépenses générés par la bureaucratie mise en place pour s'occuper des pesticides, leurs apports seraient bien maigres. Malheureusement, ces coûts ne sont généralement pas directement payés par l'utilisateur du produit ou son fabricant mais par la communauté dans son ensemble.

Face à ces données et à la pression de l'opinion, à l'heure actuelle, de nombreux pays riches (Suède, Hollande, Danemark..) ont inscrit dans leur législation la diminution des quantités de pesticides employés en agriculture. Des méthodes alternatives de lutte existent et enregistrent des succès. La lutte intégrée — qui ne refuse pas l'utilisation raisonnée de certains pesticides soigneusement sélectionnés — est encouragée de façon officielle dans de nombreux pays industrialisés comme les États Unis. Signe des temps ? On relève de plus en plus fréquemment, dans la littérature spécialisée américaine, de savantes études économiques calculant l'impact sur les prix des denrées alimentaires d'une interdiction partielle ou totale de l'usage des pesticides de synthèse : c'est envisageable et en gros les prix n'augmenteraient que de 10 % (voir, par exemple, l'article de D. Zilberman, A. Schmitz, G. Casterline, E. Lichtenberg et J.B. Siebert « The economic of pesticide use and regulation, *Science*, 253, 2 Août 1991, p. 518-522). Certains pays du Sud, du reste, emboîtent le pas dans la bonne direction. Ainsi, l'emploi des pesticides a crû de façon drastique dans les rizières indonésiennes entre 1980 et 1985. Les ennemis naturels de la sauterelle brune ayant été balayés, celle-ci commit de tels dégâts qu'on dut recourir à l'importation de riz. La FAO estimait, en 1988, à 1,5 milliard de dollars les pertes de riz encourues pour deux années seulement. Le Dr I.N. Oka et son équipe, pionniers indonésiens d'un programme de réduction des pesticides à l'Institut de recherches alimentaires de Bogor, consultés, conseillèrent alors de traiter avec parcimonie, en cas de nécessité afin de permettre aux prédateurs naturels de la sauterelle brune de se rétablir. Le succès fut complet au point d'amener le gouvernement à interdire, en 1986, non seulement l'usage de 57 pesticides sur les 64 autorisés sur le riz mais aussi à cesser de les subventionner. La FAO devait témoigner, en 1988, des succès de cette politique et reconnaissait que les rendements étaient supérieurs à ceux obtenus à l'époque de l'utilisation intensive des pesticides. Plus près de nous, en 1991, la Lybie ne put juguler les atteintes subies par son cheptel du fait de la lucilie bouchère (*S. hominivorax*) qu'en inondant l'écosystème de mâles stériles. L'insecte avait atteint ce pays via une importation de cheptel sur pied d'Australie.

Pour s'affranchir de la tyrannie des pesticides chimiques de synthèse et de leurs graves inconvénients, on peut recourir encore à la rotation des cultures et à diverses techniques culturales, à la lutte biologique (utilisation des phéromones sexuels et de la confusion des mâles dans la lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits en Égypte et en Afrique du Nord, utilisation des fourmis prédatrices des nuisibles du palmier au Yémen), au savoir des paysans (déterrement des oothèques de sauteriaux au Mali, épandage de poudre de piments contre les singes, poudre de néré contre les oiseaux, feuilles d'eucalyptus contre les diptères en Afrique du Nord...), à la diversification des cultures comme du reste le font couramment les petits paysans africains et mexicains (Voir, pour le cas du Mexique, l'excellent ouvrage d'Angus Wright « The death of Ramon Gonzalez. The dilemma of modern agriculture » The University of Los Angeles Press, 1991), à un timing précis des semailles et des irrigations (comme en Égypte pour lutter contre le ver rose du cotonnier suite aux édits du Khédivé datant de la fin du XIX^e siècle), pour ne rien dire des techniques de sélection des espèces résistantes. Et là, il suffit aux peuples du Tiers Monde en général et aux Africains en particulier de retourner à leur culture et à la sagesse de leurs peuples : Lappé, du Food

Institute de San Francisco, rapporte qu'avant la colonisation, le Tchad ne comptait pas moins de 43 variétés d'orge que l'on semait en fonction des conditions écologiques et météorologiques prévalentes car si telle variété supportait bien la sécheresse telle autre résistait mieux aux criquets ou aux vents de sable (Khamsîn). Il importe de récupérer, de préserver ce précieux savoir pour une agriculture soutenable et pour le transmettre aux générations futures.

LES PRODUITS NATURELS

Les organismes vivants possèdent des mécanismes de défense qui se manifestent sous plusieurs formes. Chez les plantes, organismes incapables de mobilité, l'évolution a privilégié le développement et l'accumulation de molécules toxiques qui peuvent efficacement éloigner les ennemis naturels ou limiter sensiblement leur intervention destructrice.

Il y a donc dans la nature tout un arsenal chimique capable d'éliminer les ennemis naturels de la végétation sans nécessairement empoisonner les autres composantes de l'environnement. Et quand on sait qu'il y a quelques 200 000 espèces de plantes, on s'imagine facilement le nombre élevé de molécules qu'elles possèdent et qui pourraient avoir une action toxique ou délétère.

Les propriétés insecticides des métabolites d'origine végétale comme la nicotine, la roténone ou le pyrèthre, sont bien connues. Ces composés ont été grandement utilisés en agriculture ou dans la lutte contre les insectes vecteurs de maladie. Seul le pyrèthre et ses dérivés continuent à être largement employés, les deux autres ayant des effets plus nocifs sur les organismes non-visés. Ceci souligne immédiatement que les produits naturels ne sont pas des molécules sans problèmes.

Il est sans doute nécessaire, au début de cette présentation, de faire un survol des produits naturels afin de bien comprendre quels types de substances entrent dans cette catégorie. Il y a tout d'abord les *médiateurs chimiques* aussi connus sous le nom de *substances sémi-chimiques*, qui sont produits par les êtres vivants et que tout organisme peut détecter dans l'environnement, et qui sont en mesure de modifier le comportement et la physiologie des récepteurs. Ces médiateurs chimiques comprennent entre autres les *phéromones*, les *anti-appétants*, les *phagorépresseurs*, les *phagostimulants* et les *stimulateurs de ponte*.

Les phéromones occupent une place importante dans la vie des insectes et ont été judicieusement exploitées pour inventorier les populations d'insectes nuisibles et pour les contrôler. La mise au point de pièges pour évaluer le niveau des populations et l'activité des adultes est un outil important de la lutte intégrée.

Parmi les anti-appétants naturels, c'est surtout l'azadirachtine, tétranortriterpinoïde provenant du margousier ou neem (*Azadiracta indica*) qui a un avenir commercial. Depuis des siècles, les populations du sous-continent indien font un usage constant et massif de cette plante miracle autant pour la protection des cultures que pour la protection des denrées stockées. C'est une plante qui a également des propriétés médicinales. On ne connaît pas d'autre anti-appétant d'origine végétale qui soit aussi performant et qui ait un spectre d'action aussi large.

PERSPECTIVES

Les problèmes associés à l'utilisation des organochlorés, des organophosphorés et autres carbamates dont il a été fait mention plus haut, et les besoins réels d'assurer l'alimentation de milliards d'individus, ainsi que de les protéger contre les vecteurs de maladies comme la malaria ou la fièvre jaune, nous obligent à rechercher des solutions compatibles avec la préservation d'un environnement sain.

Si ces solutions doivent être chimiques, il est probable qu'elles nous viendront de l'environnement lui-même, c'est à dire des organismes qui exercent déjà un contrôle sur les espèces nuisibles à l'espèce humaine.

Les chercheurs ont donc entrepris un vaste inventaire des plantes et des substances capables de jouer un rôle dans la lutte intégrée. La majorité de ces plantes et de ces substances se trouvent dans les pays du sud puisque les zones tropicales abritent toute une flore peu connue et très diversifiée. En Amérique Centrale, on a trouvé des plantes qui contiennent des lignans, composés ayant des propriétés synergiques, et qui, par conséquent, peuvent servir à contrecarrer les problèmes de résistance aux insecticides. Ce type de composés est utilisé depuis environ 50 ans et a contribué à améliorer sensiblement l'efficacité des pesticides. Le mode d'action de la plupart des synergistes consiste à bloquer les systèmes métaboliques qui devraient normalement transformer les molécules insecticides. Ils agissent au niveau des monooxygénases et autres systèmes enzymatiques détoxifiants. Les synergistes ont un rôle important à jouer dans les recherches concernant la toxicité des insecticides et le mode d'action du mécanisme de la résistance.

Les populations de l'Asie du sud-est, tout comme celles de l'Afrique ou de l'Amérique Latine, connaissent toutes les plantes ayant des propriétés insecticides. Il faut cependant bien comprendre qu'il est essentiel de bien identifier le principe actif, car il pourrait y avoir des effets secondaires indésirables sur les organismes non visés, en particulier les utilisateurs de ces produits ou les consommateurs de denrées traitées avec ces substances. Mentionnons juste comme exemple le cas de cette liane des Philippines appelée *makabuhai* qui a de bonnes propriétés insecticides, mais qui peut également être utilisée pour des avortements.

On doit d'autre part réaliser que la recherche nécessaire pour mettre en évidence les produits naturels à propriétés insecticides ou fongicides nécessite, à un certain stade, des équipements coûteux et une main d'œuvre spécialisée. Il ne suffit pas de récolter quelques feuilles ou quelques lianes et de les macérer dans un solvant organique. On doit appliquer à l'utilisation des produits naturels les mêmes exigences toxicologiques qu'aux produits de synthèse. Il faut en établir la toxicité aiguë et chronique, les propriétés mutagènes, tératogènes et cancérogènes.

CONCLUSION

Il ne fait aucun doute que la nature renferme encore beaucoup de molécules susceptibles d'aider l'espèce humaine dans sa recherche de solutions acceptables pour lutter efficacement contre les organismes nuisibles. Pour qu'on puisse réussir à identifier les organismes contenant de telles molécules, et caractériser les molécules elles-mêmes, il faut absolument mettre sur pied des équipes multidisciplinaires qui veilleront à la fois à préserver le patrimoine végétal contenant ces molécules, et à les développer tout en assurant que les pays où poussent ces plantes en reçoivent les pleins bénéfices.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Pesticides chimiques de synthèse :

PHILOGENE B.J.R., SAINT JEAN R., MARQUIS C. ET DELISLE A., « Les pesticides et l'environnement. », *Télé Université et Ministère de l'Environnement*, Québec, 1984.

BOUGUERRA M.L., « Les poisons du Tiers Monde. », *Editions la Découverte*, Paris, 1985.

BOUGUERRA M.L., « La recherche contre le Tiers Monde. », *Presses Universitaires de France*, Paris, 1993.

WEIR D., « The Bhopal syndrome. Pesticides, environnement and health. », *Earthscan Publications Ltd*, London, 1987.

WEIR D., « Impact of pesticide use on health in developing countries. », *Proceedings of a symposium held in Ottawa, Canada, 17-20 September 1990*, IDRC, Ottawa, 1993.

DINHAM B., « The pesticide hazard. A global and environmental audit. », *Zed Books*, London, 1993.

PIMENTEL D. et LEHMAN H., « The pesticide question. Environment, economics and ethics. », Chapman and Hall, New York, 1993.

PHILOGENE B.J.R., « Utilisation et réglementation des pesticides dans le Tiers Monde : Problèmes et perspectives en Afrique. », *Revue canadienne d'études du développement*, 1985, 6, n° 2, p. 275- 288.

VAN DEN BOSCH R., « The pesticide conspiracy. », Doubleday, Toronto, 1978.

BOUGUERRA M.L., « Les pesticides et le Tiers Monde. », *La Recherche*, 1987, 17, p. 545-563.

Produits naturels

PHILOGENE B.J.R. et ARNASON J.T., « Pesticides of natural origin. », *American Chemical Society*, Washington, 1989.

THIAM A. et DUCOMMUN G., « Protection naturelle des végétaux en Afrique. », *Enda-Editions*, Dakar, 1993.

PHILOGENE B.J.R. et al., « Synthesis and evaluation of the naturally occurring phototoxin as a control agent for larvae of *Aedes intrudens*, *Aedes atropalpus* and *simulium verecundum*. », *J. of Economic Entomology*, 1985, 78, n°1, p. 121- 126.

PHILOGENE B.J.R. et LAMBERT J.D.H., « Botanical pesticides : optimizing pest control and minimizing environmental impacts. », In : *Impact of pesticide use on health in developing countries*, IDRC, Ottawa, 1993, p.280-291,

LA POLITIQUE DE PROTECTION DES MILIEUX NATURELS

Michel BORDERES

LE PATRIMOINE NATUREL DE LA RÉUNION

La Réunion est une île de dimensions modestes (2 500 km²) ; elle appartient à l'Archipel des Mascareignes, mais est en fait isolé dans l'Océan Indien (800 km de Madagascar ; plus de 1 000 km du continent africain).

C'est une île jeune, composée de deux massifs volcaniques accolés ayant émergé il y a, respectivement 3 millions et 400 000 ans.

Au cours de sa « courte » histoire, il s'y est toutefois développé une végétation très originale, quantitativement moins riche qu'une flore continentale ou que celle de Madagascar par exemple, mais caractérisée par un fort taux d'endémisme (sur plus de 500 espèces de phanérogames, 30 % sont endémiques de la Réunion, 60 % sont endémiques des Mascareignes). Les espèces indigènes de la Réunion sont majoritairement originaires de la zone afro-malgache (70 %), pour le reste de la zone orientale ou sont pantropicales.

La Réunion présente une diversité exceptionnelle de conditions écologiques, en raison d'un gradient altitudinal très ample (jusqu'à 3 069 m d'altitude) et d'une opposition marquée entre le versant au vent très arrosé (+ de 2 m sur le littoral, + de 6 m en altitude) et le versant sous le vent (6 000 mm, sub-aride en bas de versant ; 1,5 à 2 m en altitude).

Dans ce contexte insulaire très particulier, il s'est ainsi développé à la Réunion divers types d'associations végétales allant de la forêt claire semi-sèche et de la forêt tropicale humide en bas de versant, aux formations éricoïdes d'altitude. La forêt semi-humide de montagne est la formation la plus représentée avec des faciès très variés : la tamarinaie des Hauts (formation presque monospécifique à acacia hétérophylla) ; la forêt de Bois de couleur des Hauts (formation hétérogène, floristiquement très riche caractérisée notamment par l'abondance des épiphytes) ; les fourrés hyperhumides à pandanus et palmistes ; la voune (formations basses composées de bruyères arborescentes).

LES EFFETS DE LA COLONISATION

A partir de la fin du XVIII^e siècle, la colonisation entraînait d'importants défrichements pour la mise en culture agricole : cultures vivrières, café, canne à sucre (à partir de 1850) et géranium (à partir du début du XX^e siècle) en basse et moyenne altitude. Les forêts les plus accessibles étaient progressivement exploitées anarchiquement pour le bois d'œuvre et le bois de chauffage.

Sur les versants sous le vent, la forêt reculait ainsi jusqu'à 1 200 m d'altitude.

Sur les versants au vent, la forêt était remplacée par la canne à sucre jusqu'à 800 m d'altitude, ou encore transformée en formations très dégradées, envahies par diverses espèces exotiques.

L'ÉTAT ACTUEL

Seule l'île des Mascareignes à avoir conservé des surfaces importantes de végétation indigène, les « espaces naturels » (forêts ou formations assimilées et zones minérales d'altitude) représentent encore 120 000 ha à la Réunion, soit environ 50 % de l'île.

Le domaine public forestier couvre à lui seul 100 000 ha, dont :

- Forêts naturelles : 65 000 ha
- Formations d'altitude : 20 000 ha
- Forêts cultivées : 5 000 ha
- Autres formations : 10 000 ha

L'ensemble de ce domaine est sous un statut de protection particulier (le Régime Forestier) ; il est aménagé et géré par l'Office National des Forêts.

Le bilan par type de formation est évidemment très différencié :

- La forêt semi-sèche qui peuplait les bas versants de la Côte sous le vent a presque entièrement disparu, remplacée par les cultures ou une savane composée d'espèces exotiques.
- La forêt tropicale humide des bas et moyens versants de la Côte au vent ne subsiste plus qu'à l'état de lambeaux de quelques centaines d'hectares.
- Au contraire, la forêt semi-humide de montagne et les formations éricoïdes sont restées presque intégralement préservées.

LA PROTECTION DES MILIEUX NATURELS : POURQUOI ?

Les raisons en sont multiples :

Raisons éthiques :

Il s'agit d'un patrimoine, d'un capital hérité à transmettre à nos successeurs.

Raisons scientifiques :

La science a beaucoup à apprendre d'une flore très originale, encore peu étudiée tant au niveau des associations végétales que des espèces.

Raisons écologiques :

Le maintien d'une couverture végétale adaptée aux diverses conditions de milieu est indispensable pour contrôler les phénomènes érosifs particulièrement intenses à la Réunion, en raison du relief très accentué et du climat, mais aussi pour conserver les grands équilibres écologiques (cycle de l'eau...).

Raisons économiques :

Diverses espèces endémiques peuvent se révéler d'une grande utilité (bois, propriétés médicinales...).

Les formations végétales indigènes très originales de la Réunion constituent des paysages exceptionnels qui contribuent beaucoup à l'attrait touristique de l'île.

LES FACTEURS DE DÉGRADATION DES MILIEUX NATURELS

L'urbanisation

La forte demande en logement liée à une évolution démographique très rapide, mais aussi l'urbanisation diffuse mal maîtrisée, sont des facteurs importants de dégradation.

L'agriculture

Le développement agricole a été le facteur essentiel de disparition des forêts jusqu'au début de ce siècle. Sauf exception (le développement de l'élevage de montagne dans les Hautes Plaines), il ne semble pas envisageable d'accroître notablement la surface cultivable aux dépens de la forêt.

Les usages traditionnels

Un braconnage important subsiste à la Réunion :

- pour des raisons alimentaires (ainsi la coupe en forêt du palmiste, palmier endémique recherché pour son « chou ») ;
- pour se procurer diverses plantes médicinales encore très utilisées, par écorçage ou récolte de plantes entières ;
- pour récolter des plantes décoratives (fougères, orchidées) ou utilitaires (exploitation du fanjan, fougère arborescente dont le tronc sert à la confection de pots de fleurs).

La fréquentation intense du public

L'ouverture au public, par la création de voies de desserte (routes et sentiers), entraîne diverses dégradations en augmentant le risque d'incendie et les prélèvements abusifs de plantes rares.

Les invasions biologiques :

L'envahissement des formations naturelles par diverses espèces végétales exotiques très « dynamiques », constitue à terme le plus inquiétant facteur de dégradation des milieux naturels.

LA POLITIQUE DE PROTECTION DES MILIEUX NATURELS À LA RÉUNION

La protection des milieux naturels se décline à deux niveaux :

- la protection in situ ;
- la protection ex situ permettant la sauvegarde des formations et des espèces menacées.

Nous n'évoquerons que la protection in situ.

En 1853, la colonie crée un service forestier chargé de contrôler la colonisation anarchique des Hauts de la Réunion ; les défrichements irréguliers des pentes, notamment dans les cirques, provoquaient des phénomènes érosifs très importants ; de même la disparition rapide des forêts privait la colonie de ressources en bois jusque là abondantes.

Parallèlement, une réglementation forestière très stricte était mise en place dès 1874, complétée en 1941, puis en 1977. Elle interdit le défrichement, sauf dérogation accordée après reconnaissance des lieux par le service forestier. En outre, en zone à risque (pentes fortes, ravines, abords de source, dunes), aucune dérogation ne peut être accordée. Elle réglemente l'exploitation, le transport et la vente de diverses espèces rares (palmiste, fanjan), ainsi que les exploitations des forêts privées.

Jusqu'en 1950, le service forestier eut ainsi essentiellement un rôle de surveillance et de police qui permit de conserver un important domaine forestier public.

A partir de 1950, l'administration des Eaux et Forêts entreprend de vastes programmes de mise en valeur du Domaine (équipement routier ; aménagements d'accueil (sentiers, gîtes, aires d'accueil), aménagements sylvicoles pour la production de bois et la protection des sols, aménagements pastoraux).

Depuis quelques années, la priorité est donnée à la protection des milieux naturels, des sites et des paysages.

L'Office National des Forêts vient d'élaborer une Directive Locale d'Aménagement, portant sur l'ensemble du domaine géré. En collaboration avec les scientifiques et en concertation avec les partenaires socio-économiques concernés et notamment les collectivités territoriales, il s'agissait, à partir d'une étude détaillée des milieux, des potentialités et des contraintes, de définir les objectifs d'aménagement et les principes directeurs de gestion ; un zonage détaillé des objectifs a été réalisé par massif.

Parallèlement, à partir des travaux de l'université de la Réunion, de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt floristique et faunistique, le service a pu disposer d'une cartographie assez précise de la végétation, et donc connaître la répartition des divers types d'association végétale et leur importance spatiale relative.

Avec l'aide d'un comité scientifique, l'O.N.F. a ainsi élaboré un programme de création d'un réseau cohérent de réserves biologiques (statut national arrêté conjointement par les Ministres de l'Environnement et de l'Agriculture) visant à conserver la biodiversité des milieux naturels de la Réunion et à protéger intégralement les formations les plus menacées.

Au total, les réserves biologiques couvriront près de 20 000 ha, soit 8 % du territoire ; 8 réserves sont déjà créées ou en cours de création, représentant environ 13 000 ha.

Parallèlement, des plans de gestion spécifiques à chaque réserve sont en cours d'élaboration pour définir les interventions nécessaires à la conservation des milieux, à partir d'une étude détaillée de la végétation (élimination du contrôle des espèces exotiques envahissantes ; reconstitution des zones dégradées avec réintroduction d'espèces indigènes).

La création d'un parc naturel est mise à l'étude. Ce projet répond à un souci de protection globale (zone centrale) et de développement touristique, grâce au label international qui accompagne un parc.

LE PROBLÈME DES PESTES VÉGÉTALES

L'envahissement par des espèces exotiques à fort dynamisme représente un problème écologique majeur, susceptible de provoquer à moyen terme (20 ans ?) la disparition sur des surfaces considérables de milieux naturels remarquables.

Deux espèces sont particulièrement menaçantes :

– *Le privète* (*Ligustrum robustum var walkiiri*) introduit il y a cinquante ans environ : cette espèce reste encore cantonnée à une partie de l'île. Sa rapidité de dissémination et son aptitude à s'installer sous les couverts forestiers, même denses, a provoqué déjà à Maurice, la dégradation irréversible d'importantes forêts naturelles.

– *La vigne marronne* (*rubus alceifolius*) :

Introduite depuis plus d'un siècle, elle a colonisé la totalité des biotopes qui lui conviennent ; elle s'installe dans les zones dégradées à couvert clair et remplace notamment la végétation indigène dans les remparts, à l'occasion des décrochements de paroi.

L'O.N.F. a initié pour ces deux espèces des programmes de recherche et de lutte active :

- missions exploratoires en Thaïlande, en Nouvelle Zélande et en Australie.
- missions à la Réunion d'un expert sud-africain (M. Mac Donald) ayant permis de définir une stratégie de recherche et de gestion ;
- mise au point de méthodes mécaniques et chimiques, très coûteuses, mais permettant de conserver les milieux naturels les plus menacés ;
- définition d'aires de contrôle intensif (réserves biologiques).

Dans les massifs concernés, l'O.N.F. effectue un parcours progressif des zones infestées, en dévitalisant les foyers de vigne marronne ou de privète. A court terme, on assiste à une substitution de flore par diverses espèces indigènes qui freinent, voire empêchent la réinstallation de l'espèce envahissante, tout au moins s'agissant de la vigne marronne. A moyen terme, la reconstitution d'un couvert forestier (régénération naturelle ou plantation) permet d'espérer une éradication totale ou partielle de cette dernière. Le contrôle du privète s'avère beaucoup plus problématique.

Toutefois, les réponses réellement efficaces à ces problèmes ne peuvent être que des méthodes de lutte biologique. L'O.N.F. devrait être en mesure d'initier les programmes de recherche correspondants dans les prochains mois.

Le problème des envahissements biologiques est commun à tous les pays de la zone ouest de l'Océan Indien avec de nombreuses espèces menaçantes identiques ou voisines.

L'importance des programmes de recherche et de gestion à mettre en œuvre justifie que ces pays s'organisent pour mettre en commun leurs connaissances, leurs expériences et leurs moyens de recherche.

CONCLUSION

La conservation à long terme des milieux naturels réunionnais suppose la mise en œuvre d'une politique volontariste, cohérente et continue de protection des espaces concernés, qui se décline en plusieurs volets tous indispensables :

- La mise en place de statuts (réserves, parc naturel...) et d'une réglementation adaptée.
- La définition d'objectifs d'aménagements clairs et de règles de gestion des milieux concernés prenant en compte cet enjeu primordial de conservation.
- La sensibilisation et l'éducation du public au respect de la Nature.
- Une lutte active contre les envahissements biologiques.

BIBLIOGRAPHIE

Document ONF, « Projet de Directive Locale d'Aménagement », Rédacteur Olivier SOULERES, 1991.

BAUMIER M., « la conservation et la valorisation des ressources écologiques dans les îles des Comores, de Maurice, de la Réunion et des Seychelles. », *A.C.C.T.*, 1978.

BOSSER J., « Projet de constitution des réserves biologiques dans le domaine forestier à la Réunion. », Rapport de mission ORSTOM, doc. dact., 1982, 35 p.

CADET L.J.T., « la végétation de l'île de la Réunion. Étude phytoécologique et phytosociologique. », *Imprimerie CAZAL*, Saint-Denis la Réunion, 1980, 312 p.

DOUMENGE C. et RENARD Y., « La conservation des écosystèmes forestiers de la Réunion. », UICN, *l'alliance mondiale pour la Nature + Société Réunionnaise pour l'Étude et la Protection de l'Environnement*, 1989, 95 p.

DUPONT J., GIRARD J.C. et GUINET M., « Flore en détresse. Le livre rouge des plantes indigènes menacées à la Réunion. », *S.R.E.P.E.N.*, Région Réunion Saint-Denis, Ile de la Réunion, 1989, 133 p.

MACDONALD I.A.W., « Report on the alien plant problem in Réunion. », 1989, 16 p.

RIVALS P., « Étude sur la végétation naturelle de l'île de la Réunion. », *Thèse de 3ème cycle*, Université de Paris, 1952, 213 p.

SOULERES O., « Problème des exotiques envahissantes à la Réunion. », *Contribution volontaire au Congrès Forestier Mondial*, 1990, 9 p.

THEBAUD C., « Contribution à l'étude des plantes envahissantes à la Réunion. », 1989, 49 p.

MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE RÉSERVE DE LA BIOSPHERE STRATÉGIE AU SERVICE DE LA GESTION RATIONNELLE DES RESSOURCES NATURELLES ET CONSERVATION DURABLE

Guy-Suzon RAMANGASON

QU'EST-CE QU'UNE RÉSERVE DE LA BIOSPHERE

La réserve de la Biosphère est un modèle d'aires protégées qui essaient de concilier la « protection » et l'« exploitation » des ressources naturelles.

Le programme « *l'Homme et la Biosphère* » de l'UNESCO est à l'origine du concept et la Réserve de la Biosphère en est l'outil.

De façon générale les Réserves de la Biosphère ont quatre fonctions : la Conservation, la Recherche et la Surveillance, l'Éducation et la Formation et enfin la Coopération pour le développement.

La fonction de Conservation en système ouvert

Il s'agit par cette fonction de « protéger la diversité génétique » et d'entourer l'écosystème non perturbé, de zones où sont retenus des modes d'utilisation conciliables et compatibles. Ainsi, ces modes d'utilisation peuvent varier entre une protection totale et une exploitation intensive.

La fonction de recherche et surveillance continue

Une Réserve de la Biosphère est une aire propice à la poursuite de programme de recherche finalisée sur les écosystèmes naturels (aire centrale) ou dans les zones dégradées par l'homme (zone tampon et zone périphérique).

La recherche interdisciplinaire y est couplée avec la force de coopération pour le développement et permet la mise au point, de modèles de conservation, et de gestion des ressources naturelles et l'élaboration de schémas ou plan d'aménagement du territoire. L'existence du réseau de Réserve de la Biosphère permet par la suite d'effectuer des études comparatives.

Fonction d'éducation et formation

De fait, la protection aussi bien que l'aménagement rationnel des ressources naturelles impliquent des actions d'éducation et de formation à tous les niveaux. Ainsi les Réserves de la Biosphère sont potentiellement d'importants centres de formation, théorique et pratique, pour les scientifiques, les responsables de la gestion des ressources, les administrateurs d'aires protégées, les populations locales et les visiteurs.

Fonction de coopération pour le développement

Cette fonction, particulièrement importante et spécifique qui constitue le ciment des autres fonctions des Réserves de la Biosphère a été longtemps occultée. Dans une Réserve de la Biosphère fonctionnelle il s'établit des liens entre les différents groupes d'intervenants, les principaux d'entre eux étant la population locale, qui vit dans les alentours, les chercheurs, les autorités administratives et politiques locales. Par vocation donc, les Réserves de la Biosphère doivent avoir une utilité économique et sociale pour la population et doivent contribuer de façon concrète au développement durable.

La fonction de conservation en système ouvert explique l'organisation spatiale des Réserves de la Biosphère en :

- aire centrale qui est une zone strictement protégée maintenue, dans son état climax où peut se perpétuer l'évolution des espèces animales et végétales ;
- l'aire centrale est entourée d'une zone tampon dans laquelle sont tolérées des activités compatibles avec protection (ex. recherche, écotourisme, éducation...);
- la zone de transition ou zone à usage multiple, qui peut constituer un dispositif supplémentaire de protection, est caractérisée par son rôle dans le développement : ex. : projets de Développement Rural Intégré ou plan de Développement Régional Intégré.

Une Réserve de la Biosphère est alors une catégorie unique d'aire protégée destinée à trouver des solutions combinant la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles sur des bases scientifiques solides, consolidées par un dialogue permanent et une coopération avec tous ceux qui sont concernés par sa gestion.

LA RÉSERVE DE LA BIOSPHERE DE MANANARA-NORD : ESSAI DE CONCILIATION DE LA CONSERVATION ET DU DÉVELOPPEMENT

L'échec, un point de départ

A Madagascar, avant l'installation de la Réserve de la Biosphère de Mananara, la seule forme de gestion des Aires Protégées fut la protection stricte par l'application d'un système répressif. C'était la caricature même de la conservation en système fermé.

L'inefficacité du système se démontrait de jour en jour par la dégradation progressive des aires protégées au détriment de la biodiversité qui est l'une de leurs raisons d'être. Dans l'est malgache le « Tavy » ou riziculture sur brûlis est l'explication majeure de l'emprise humaine sur les forêts denses humides et est la cause de dégâts importants chaque année.

En dernière analyse, c'est la pauvreté qui oblige les populations riveraines à survivre aux dépens des forêts naturelles de l'aire protégée et perpétue ainsi des pratiques qui, en d'autres temps, assuraient une gestion ajustée des ressources naturelles.

Afin de trouver des solutions pérennes et acceptées, l'intégration des populations dans le système de conservation fut concrétisée à Mananara par le classement de la première Réserve de la Biosphère.

Le concours financier du PNUD et l'appui conceptuel de l'UNESCO, agence internationale d'exécution ont permis en 1988 de mettre en œuvre le modèle de conservation en système ouvert qui seul permettait de concilier les besoins et les enjeux définis par un objectif de gestion rationnelle des ressources naturelles qui doit se refléter par un développement soutenu et durable dans les zones périphériques.

Une démarche générale

Lorsqu'il fut décidé à Mananara que la protection de la forêt dense humide et des récifs marins (du nord-est malgache) transformés en parcs nationaux serait le moyen adopté pour les garder en bon état, il fut obligé que l'on tienne compte de cette affectation d'une partie de l'espace dans l'aménagement global du territoire (Fig. 1).

Ainsi l'approche de conservation et développement a mis en avant deux types d'activités à mener de front : protéger et en même temps trouver une forme d'exploitation optimale de l'espace de manière soutenue. C'est l'idée de la continuité et de la durabilité des bénéfices socio-économiques maximum.

L'identification des problèmes a été une étape importante, cela dans la mesure où elle est établie sur la base des études des formes de pression et des études de systèmes de production pour préciser les « zones de conflit » qui furent retenues par la suite comme secteurs d'actions de développement (Fig. 2 et 3).

Figure 1 : Zonation de la réserve de la biosphère

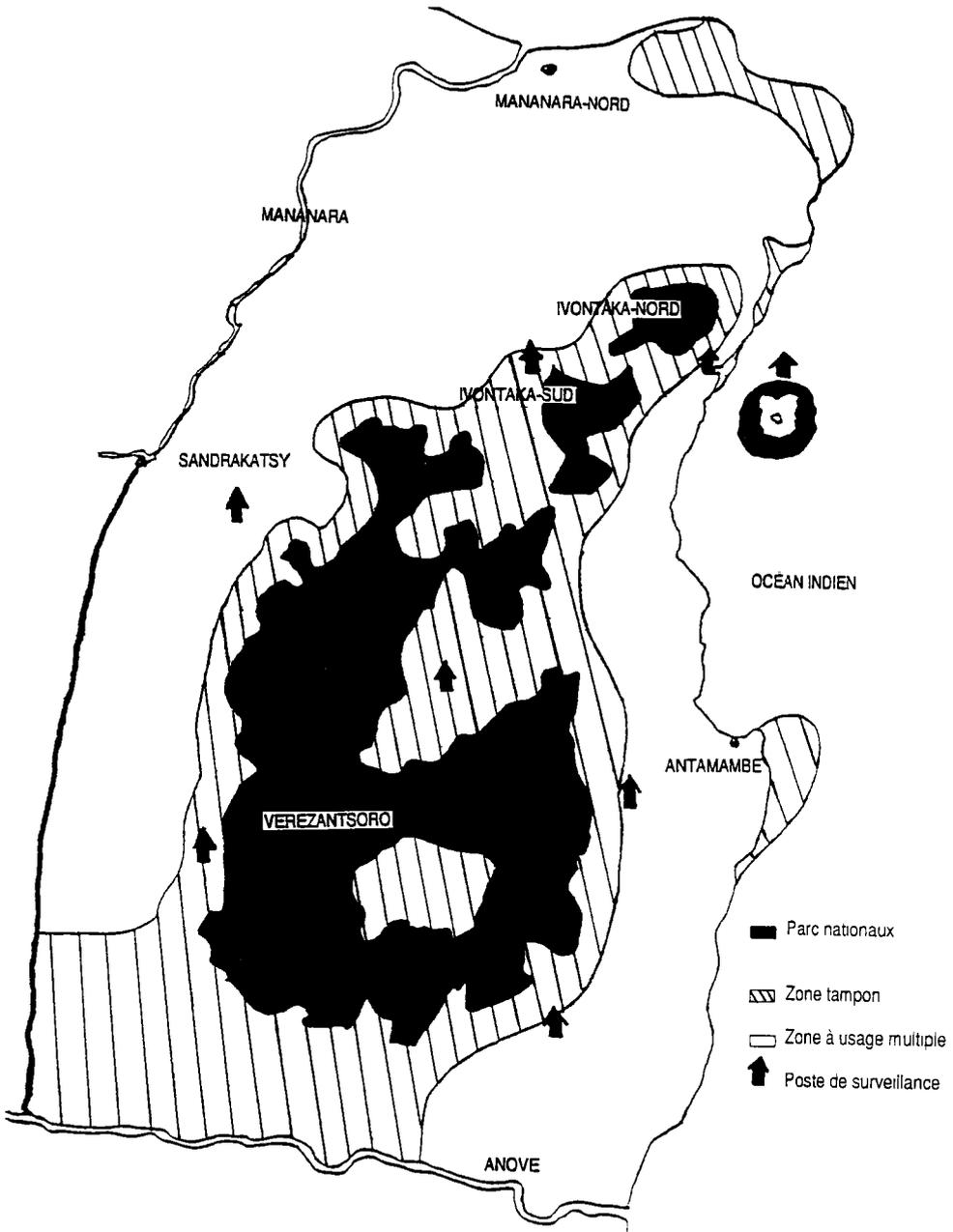


Figure 2 : Analyse des problèmes

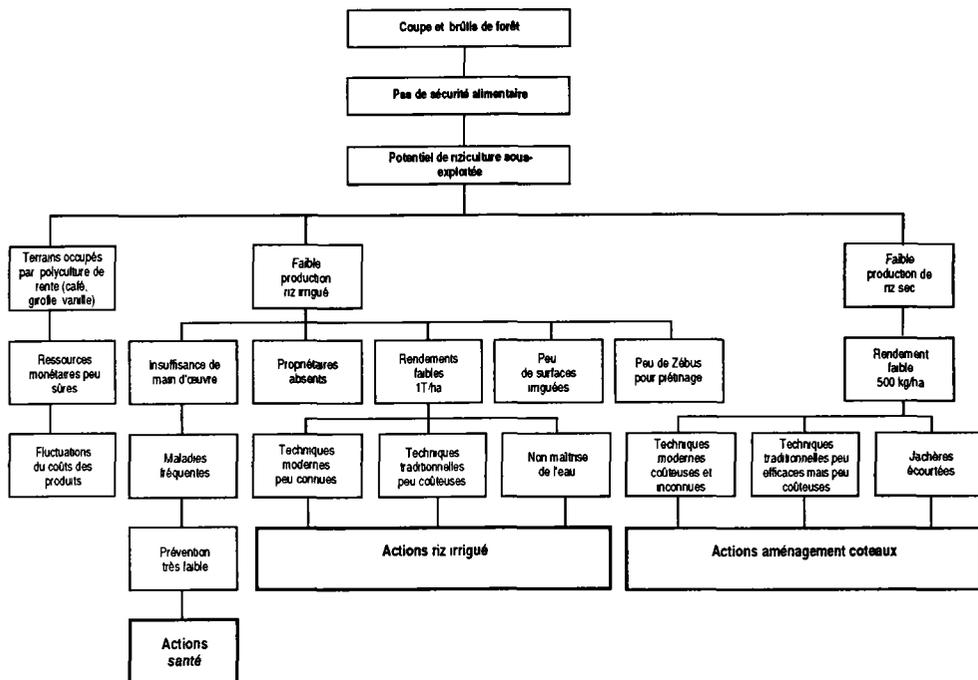
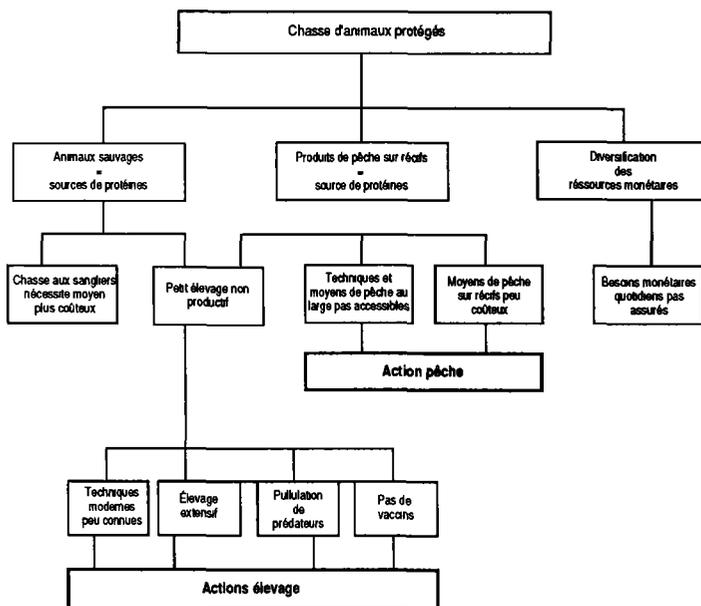
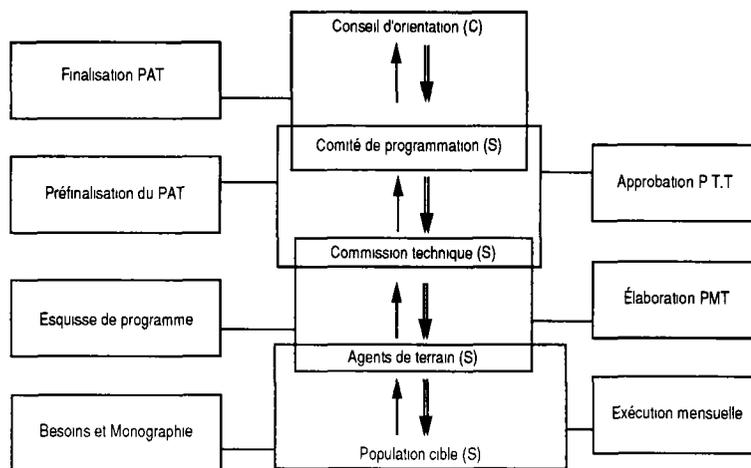


Figure 3 : Analyse des problèmes



La mise en place des structures de coopération et de dialogue est indispensable d'une part pour que la population locale des zones périphériques participent effectivement à l'identification des problèmes, à la définition des activités à entreprendre, à la mise en œuvre et au suivi des opérations, et à la gestion quotidienne de l'aire protégée, et d'autre part pour que toutes les opérations menées soient intégrées en terme de planification au niveau régional et national (Fig. 4).

Figure 4 : Organisation de la programmation



Quelques guides pour la démarche

L'une des finalités de la Réserve de la Biosphère est de provoquer un changement de comportement des acteurs ruraux face à des ressources naturelles, certes renouvelables, mais « finies », surtout dans l'espace. Il devrait en ressortir ainsi une conscientisation et une responsabilisation qui remettront les populations rurales en confiance, quand on sait qu'actuellement le paysan de Mananara se sent dessaisi de tout pouvoir de gestion des ressources forestières, lequel est concentré en d'autres mains.

De plus la crise est si grave que le paysan en est réduit à chercher (par le Tavy) des solutions à court terme (dévastatrices pour l'équilibre naturel). L'art consistera donc pour la Réserve de la Biosphère à réintroduire la durée, le moyen et long terme sans perdre de vue les besoins à court terme.

Ainsi nous avons adopté des outils méthodologiques qui nous ont paru indispensables pour assurer un ancrage et une appropriation des actions par le paysan.

L'approche participative, étayée par la programmation à la base, l'approche systémique qui stipule que le réel est complexe et que les faits socio-économiques et biologiques sont liés entre eux et non isolés, l'établissement de relations contractuelles avec les acteurs, la réalisation au départ d'actions ponctuelles « entrées paysannes » répondant à des besoins concrets et qui s'achèment pas à pas vers une approche plus intégrée au rythme des paysans, c'est-à-dire respecter la progressivité dans la planification, voilà brièvement des guides à valeur de principes qui ont sous-tendu toutes les activités de la Réserve de la Biosphère de Mananara, afin d'avoir le minimum de perte dans les processus de réappropriation paysanne et de pérennisation des acquis.

Quelles activités de Conservation-Développement dans les zones tampons et les zones à usages multiples ?

Fort de la démarche adoptée et des principes méthodologiques retenus, un développement multisectoriel a été initié dans les secteurs d'intervention, avec une priorité pour les activités rizicoles irriguées et surtout pluviales depuis deux années (voir tableau page suivante).

Pourquoi la recherche

L'affectation de terrains en parc national, zones tampons et zones à usage multiple, l'obligation de prendre en considération la notion de durée, le moyen, le long terme tout en assurant les besoins immédiats, tout cela nous a amené à préparer l'élaboration à moyen terme d'un plan d'aménagement et de gestion de la Réserve de la Biosphère.

A ce stade de la réflexion, les décideurs et gestionnaires de la Réserve de la Biosphère ont cherché à disposer d'informations par le biais de la recherche pour répondre à des questions telles que :

- quelles sont les richesses à protéger ?
- qu'advient-il de ces richesses s'il se passe ceci ou cela ?
- quelles mesures prendre pour éviter ou contrecarrer une évolution jugée néfaste vis-à-vis des richesses à protéger ?
- comment déterminer la vocation des sols tels que les paysans et les scientifiques la conçoivent ?

La réserve de la Biosphère de Mananara a alors effectué des recherches finalisées (annexe 1) en vue d'une gestion de l'aire protégée, en s'attachant à comprendre la dynamique des

Le tableau suivant résume ces actions multiformes identifiées et priorisées.

Volet (personnel)	Sous-objectif	Buts	Réalisations pratiques
Agriculture (12 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Riz irrigué 1ère saison - Riz irrigué 2è saison - Riz pluvial sur coteaux - Maraîchage 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de production rizicole - Stabilisation des paysans - Nutrition/diversification ressources monétaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement de 1 T/ha passé à 3-5 T/ha selon sites (22) - 216 familles encadrées en riz irrigué - 120 parcelles riz pluvial
Infrastructure rurale (11 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages hydro-agricoles - Réhabilitation école - Réhabilitation postes sanitaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Appui riziculture irriguée - Appui éducation - Appui santé 	<ul style="list-style-type: none"> - 61 ouvrages hydro-agricoles - 6 écoles et 2 postes médicaux réhabilités
Santé (1 médecin et 12 femmes à mi-temps)	<ul style="list-style-type: none"> - Éducation sanitaire - Dispensaire ambulancier - Pharmacies autogérées 	<ul style="list-style-type: none"> - Prévention et hygiène de base - Appui éducation sanitaire - Faciliter l'accès aux médicaments essentiels 	<ul style="list-style-type: none"> - 12 secteurs d'éducation sanitaire - Dispensaire ambulancier
Éducation (3 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration environnement physiques écoles 	<ul style="list-style-type: none"> - Alléger les charges sociales et redorer image école - Remotiver les enseignants pour éducation environnementale - Organiser l'information villageoise 	<ul style="list-style-type: none"> - Embellissement 2 écoles - Appui document - 4 bibliothèques villageoises - Recyclage
Pêche (2 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Promotion pêche au large 	<ul style="list-style-type: none"> - Éviter la pêche sur les récifs du parc marin - Augmentation de l'efficacité de pêche par engin utilisé - Stimuler les petites associations des pêcheurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Location-vente engins de pêche et formation pêcheurs dans 3 villages
Élevage (5 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture sanitaire zébu - Promotion petit élevage - Apiculture 	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser l'utilisation du zébu en riziculture (piétinage, traction) - Diversification des ressources monétaires et protéiniques - Valorisation ressources naturelles (monétarisation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Environ 3 000 Zébus suivis et traités - Petit élevage : vaccination 8 000 avicultures, 800 porcs - Apiculture : 15 villages, 63 paysans
Associations féminines (5 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Identification problèmes des femmes rurales - Promotion du tissage et tressage 	<ul style="list-style-type: none"> - Organiser des appuis spécifiques - Valoriser les matières végétales disponibles dans l'artisanat et favoriser la monétarisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Une formation 3 mois (santé, maraîchage...) - Valorisation tissage et tressage
Recherche (une vingtaine d'enseignants chercheurs d'université)	<ul style="list-style-type: none"> - Études en sciences humaines - Étude interface homme-nature - Inventaires biologiques des écosystèmes protégés et dégradés 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre le comportement des centres de décisions ruraux et la structuration sociale - Comprendre les systèmes de production - Élaboration d'outils scientifiques de décision de gestion et d'aménagement de l'espace 	<ul style="list-style-type: none"> - 15 thèmes de recherche : - 1 sciences humaines - 1 système de production - 13 inventaires faune et flore
Conservation (13 personnes)	<ul style="list-style-type: none"> - Matérialisation des limites des parcs nationaux - Installation de 8 postes de surveillance dans les 2 parcs - Sensibilisation permanente - Surveillance aérienne des parcs - Photographies aériennes 	<ul style="list-style-type: none"> - Concrétiser les mesures de protection des parcs nationaux - Établissement de cartes thématiques pour aménagement et suivi évolution des « Tavy » 	<ul style="list-style-type: none"> - 250 km layons de délimitation des parcs nationaux - 7 cases de gardes - 18 repères aériens - 16 balises marines flottantes - Photographies aériennes 1/3 parc
Tourisme	<ul style="list-style-type: none"> - Promotion du tourisme de découverte par le biais du partenariat hôtelier privé et tour opérateur étranger 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser un plan d'aménagement touristique - A terme, donner une place importante au tourisme dans l'économie régionale 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 étude d'aménagement touristique - 2 hôtels privés et 1 partenaire étranger 20 groupes/an

composantes du système socio-économique et biologique afin d'établir des scénarios montrant l'évolution des facteurs susceptibles d'influencer le cours des événements écologiques.

En résumé, il s'agissait de décider ce que l'on voulait faire sur un territoire compte tenu de ce que l'on peut y faire et de ce que l'on doit y faire.

Le souci de la pérennisation

Éviter autant que possible la dilution des acquis du projet est une préoccupation majeure pour les décideurs et gestionnaires du projet. Aussi des mesures tendant à pérenniser les acquis méthodologiques et techniques favorisent la conservation ont été renforcées et améliorées pour préparer l'après-projet :

- Organiser la programmation des activités de telle façon qu'une coopération avec la population soit effective, et afin qu'au niveau régional et national des niveaux de concertation formalisent une intégration supra-locale et locale du projet à travers une nécessaire responsabilisation des décideurs et opérateurs techniques.
- Intégrer les services techniques de l'État et les ONG dans l'élaboration et la réalisation des opérations par le truchement de relations contractuelles de partenariat.
- Favoriser l'auto-promotion paysanne en investissant particulièrement au niveau de l'animation rurale (orientée vers les objectifs de conservation) et l'information-formation particulièrement de paysans-relais, qui deviennent des maillons importants de démultiplication des principes et itinéraires techniques négociés puis adoptés.
- Valoriser au maximum l'expertise nationale afin de capitaliser au niveau régional et national en termes de savoir-faire et d'expériences précieuses, qui limitent un tant soit peu les errements et difficultés rencontrés.

2.7. Les écueils majeurs

Cette première phase exploratoire et expérimentale en raison du caractère nouveau du concept au niveau malgache, s'est heurtée à des incompréhensions et à la méfiance de la population face à une structure qui concrètement aidait les paysans mais apportait aussi une nouvelle forme de gestion des ressources naturelles dans les terroirs.

La délimitation en « zones » a été parfois incomprise parce qu'elle est considérée par des paysans sans terre comme « prématurée et artificielle ». Les limites devant être le fruit de la négociation entre les acteurs dans « un milieu encore extensif ».

Le volume des opérations à retombées immédiates n'a pas atteint un seuil critique en rapport avec les « fronts de litige » où les pressions de coupes et brûlis sont fortes et certains paysans ne se sentent pas concernés. On assiste alors parfois à un simple déplacement spatial ou à une reconcentration des problèmes de conservation.

Enfin, la démagogie politique hypothèque à Mananara les acquis sociaux en matière de conservation des forêts naturelles dans la mesure où les « défrichements anarchisés » constituent un appât politique puissant en période électorale.

Les limites et risques des outils méthodologiques adoptés

L'approche systémique permet de comprendre rapidement la complexité du réel et les liens entre les faits pour expliquer les causes, mais des risques sont apparus très vite. En effet, des thèmes d'activités en relation indirecte ou lointaine avec le « Tavy » sont intellectuellement justifiables mais risquent de verser le projet vers un saupoudrage « d'opérations de développement pour le développement » à l'exemple de classes de coutures à l'école, de construction de terrain de jeux...

L'approche participative quant à elle, responsabilise les acteurs ruraux mais sa mise en œuvre est laborieuse pour mobiliser une masse importante de paysans pour le travail collectif à vocation sociale (types écoles, postes de santé...).

Que conclure ?

On peut dire que la Réserve de la Biosphère à Mananara-Nord a apporté des innovations méthodologiques dans l'approche du monde rural intégrant l'éco-développement dans la conservation de la biodiversité et la gestion durable des ressources naturelles à Madagascar. Les effets globaux des opérations de conservation et de développement surtout dans les zones à usage multiple ont fait régresser (fin de l'année 91) de 50 % les brûlis de forêt naturelle dans le parc national. Toutefois les enseignements des quatre années, par souci d'efficience, nous obligent à prendre en considération certains points dans le futur :

- Affiner la spatialisation des secteurs d'intervention en priorisant spécifiquement les thèmes d'activité afin de rechercher un effet cumulatif entre eux (riziculture, élevage, activités de rente...), en sachant que l'idéal du paysan à Mananara est un grenier plein et une monétarisation indispensable de la « peine ».
- Planifier en quantifiant le plus possible les opérations avec le paysan tout en respectant les principes de « progressivité » et de souplesse adaptés au rythme paysan.
- Adopter des relations contractuelles de travail avec la population cible, les techniciens et autres opérateurs afin d'augmenter sensiblement le volume des activités retenues.
- Renforcer toute stratégie tendant à préparer et à assurer le retrait progressif du projet et la relève (structures de concertation et de coopération, promouvoir l'auto-promotion rurale par la formation de groupes de « paysans relais », favoriser l'intégration régionale des programmes et valoriser l'expertise nationale...).
- Affiner le concept de l'approche systémique au niveau des techniciens de tout niveau qui par réflexe ont une vision quelque peu étriquée dans la mise en œuvre d'opérations sectorielles. Ceci est lié au caractère nouveau du concept de conservation/développement nécessitant une ouverture d'esprit permanente et une reconnaissance du fait que le « réel paysan est complexe ».
- Finaliser la démarche d'intégration de la recherche dans la validation d'un plan d'aménagement (avec la population) qui est le seul outil de gestion qui permette d'« introduire la durée », le moyen et le long terme sans perdre de vue les besoins à court terme.

Nous terminerons en disant que l'intégration de la conservation au développement sur des bases scientifiques est la seule voie pour maintenir en bon état dans le futur les ressources naturelles dans un pays comme Madagascar. Toutefois, c'est une tâche complexe et de longue haleine qui nécessite simultanément des efforts soutenus sur le plan conceptuel, financier, technique, scientifique et sur la formation des hommes. Et ainsi l'évolution reprendra son chemin naturel qui est « *l'articulation de la tradition et de la modernité car aucun des deux ne peut exister à l'état pur* ».

Il nous est apparu que les Réserves de la Biosphère constituent de précieux modèles en matière de développement viable : elles aident à protéger les ressources biologiques, à perpétuer des modes d'utilisation traditionnels d'exploitation des terres, à surveiller les changements du milieu naturel et des conditions sociales, et à améliorer la gestion des ressources naturelles.

En fait « *le problème qui se pose maintenant est moins d'affiner encore le concept que de l'appliquer effectivement* ».

Achévé d'imprimer sur les presses d'Offset Services
56, rue Lucien Dupuis - 28500 VERNOUILLET

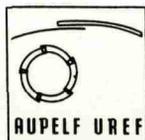
Créée à l'initiative de l'**Université des Réseaux d'Expression Française**, la collection *Universités francophones* s'insère, depuis 1988, dans le paysage éditorial international. L'**UREF** met ainsi à la disposition des étudiants et des chercheurs des ouvrages de haute qualité scientifique.

Rédigés par des équipes à caractère multilatéral, manuels, monographies et actes de colloques abordent des problématiques intéressant l'ensemble du monde francophone. En outre, ils s'adaptent, grâce à une politique de prix particulière, à ses différentes réalités économiques : autant de conditions contribuant à la reconnaissance et au succès de la collection.

140,00 FF

30,00 FF – UREF / Prix préférentiel : Afrique, Asie, Amérique du Sud, Haïti

59. 4594. 4



ESTEM