

**GRAND PROGRAMME "PETITS BARRAGES"
ORSTOM - DEC**

**PROJET DE RECHERCHE SUR LA PÊCHE ET L'AQUACULTURE
DANS LES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN**

**- Caractérisation de leur fonctionnement limnologique et écologique,
utilisation productive et impact socio-économique -**

Collaborations

ORSTOM / DEC-SUD

UNIV. FÉDÉRALE RURALE DU PERNAMBOUC / DEPT. DES PÊCHES

SECRETARIAT D'AGRICULTURE DU PERNAMBOUC

SECRETARIAT DE SCIENCES, TECHNOLOGIE & ENVIRONNEMENT

UNIV. FÉDÉRALE DU PERNAMBOUC / DEPT. D'INGÉNIÉRIE CIVILE

Convention ORSTOM-CNPq

- **RAPPORTS DE MISSIONS**
- **PROPOSITIONS DE RECHERCHE**
- **NOTES TECHNIQUES**

Jun 1994

Participants du Projet: Jean Pierre Carmouze (DEC)

Catherine Aubertin (SUD)

Olga Odinetz (DEC)

Michel Jégu (DEC)

Xavier Lazzaro (DEC)

Suggestions pour la définition d'un projet de recherche sur l'aquaculture dans les açudes du Nordeste brésilien

François Molle (MAA)

Les quelques réflexions qui suivent ont été rédigées à la demande de Bernard Pouyaud. Elles expriment un point de vue personnel et ne prennent pas en compte d'éventuelles priorités scientifiques du Département ou la nature des expériences passées et des spécialités des chercheurs qui seront affectés. Enfin, n'ayant à notre disposition que deux documents succincts concernant la pré-définition du projet [Rapport de mission de B.Pouyaud et Note du 10/12 de J.P.Carmouze], ces suggestions se veulent totalement neutres vis à vis d'autres visions éventuelles concernant ce projet.

1. Remarques générales

L'histoire de la pisciculture dans le Nordeste - et dans une large mesure celle de la pêche - est liée à l'histoire des açudes. Cette histoire a été longuement détaillée dans un ouvrage qui lui a été consacré¹; je joins également à cette note une version provisoire d'un article qui retrace brièvement l'histoire de la politique de l'eau dans le Nordeste. Il faut se rappeler en particulier que c'est en 1932 que le DNOCS inclut la pisciculture dans ses travaux de recherche et qu'il existe donc une tradition scientifique déjà ancienne sur le sujet. Il faut en particulier mettre à l'actif du DNOCS l'éradication du *piranha* et de la *pirambeba*, l'acclimatation de diverses espèces, la maîtrise (pionnière) de l'hypophysation, l'empoisonnement des açudes publics et la construction de plusieurs stations de pisciculture. Une importante littérature limnologique a été produite mais celle-ci concerne quasi exclusivement les grands açudes publics.

Il n'existe que très peu de cas de pisciculture intensive dans le Nordeste. Le DNOCS a parfois été associé à des projets de réforme agraire comportant la gestion de quelques étangs situés à l'aval d'açudes plus ou moins pérennes. D'autres organismes comme la CODEVASF se sont intéressés au développement de la pisciculture intensive en viviers ainsi qu'à l'élevage de crevettes et de canards. Quelques particuliers (comme le cas d'un américain installé sur les bords du *rio piranha* (Sao Bento (PB)) pratiquent une pisciculture en bassin moderne.

Les principales tentatives d'amélioration de la pêche se limitent donc principalement aux efforts du DNOCS qui a régulièrement empoisonné les açudes publics (50 millions d'alevins produits en 50 ans) avec le relais, depuis quelques années, des Etats.

¹ "Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento", F.Molle, 1991, Collection Mossoroense, 190 p (en cours de réédition par la SUDENE).

Il faut rappeler que les conditions climatiques du Nordeste (stabilité de la température proche de l'optimum, bon ensoleillement) favorisent l'obtention de rendements "naturels" assez élevés en pêche artisanale, soit de l'ordre de 70 à 150 kg/ha/an dans les açudes particuliers. Les rendements obtenus dans les grands açudes publics avec empoissonnement sont également tout à fait corrects (120 kg /ha /an).

Il serait donc excessif de dire que les açudes du Nordeste sont complètement sous-exploités en terme de production piscicole. Ceci n'est vrai que si l'on se réfère à un potentiel théorique qui renvoie à la nécessité d'introduire des pratiques plus intensives. C'est donc davantage la question de la possibilité d'un changement des pratiques et de l'évolution de la filière qui est au centre du débat. On comprendra que ce n'est pas a priori un manque de connaissance scientifique qui empêche une telle transformation. Par contre, un projet qui tenterait d'oeuvrer dans ce sens serait nécessairement amené à appuyer ses propositions d'ordre opérationnel sur une meilleure connaissance de certains paramètres techniques.

2. Définition des objectifs du Projet

Plusieurs thèmes sont potentiellement intéressants pour l'Orstom. L'évolution de la qualité des eaux dans les réservoirs qui alimentent les villes principales peut être en particulier un sujet d'étude. Je me limiterai évidemment à ce qui concerne la mise en valeur des açudes.

Une première chose qui me paraît importante et de bien définir sur quel type de réservoir on entend travailler. Ce choix orientera dans une large mesure, les partenaires naturels, les thèmes de recherche et le public cible. Un second point concerne l'extension géographique du projet. Il me semble utile de considérer à ces fins la typologie d'açudes approximative que nous avons été amenés à utiliser:

Barreiro; le barreiro est obtenu généralement en creusant un trou (le plus souvent en dehors d'un cours d'eau) et en entassant la terre sur son bord inférieur pour constituer un petit réservoir, qu'on munit d'un déversoir latéral rudimentaire. Il sert principalement d'abreuvoir provisoire pour le bétail et s'assèche chaque année.

Le petit açude: c'est l'açude le plus commun qui sert, avant tout, à assurer l'alimentation en eau durant la saison sèche, de manière à **établir la jonction entre deux saisons des pluies**. Il est en général de peu d'utilité pour lutter contre les sécheresses. Sa probabilité d'assèchement est trop grande pour que, en général, il soit l'**unique ressource en eau de la propriété**.

L'açude moyen: d'une taille un peu supérieure, l'açude moyen s'assèche avec une probabilité suffisamment faible pour qu'il soit, dans beaucoup de cas, la principale et la plus sûre ressource en eau de la propriété. Il permet, au minimum, de passer une année de sécheresse (ce qui signifie qu'il "résiste" 20 mois sans apports).

Le grand açude: il s'agit d'un açude pérenne, sauf utilisation démesurée, qui, en général, est public.

Ces définitions, centrées sur la *résistance* du réservoir, mettent en évidence le rôle de l'açude quant à l'approvisionnement et sa place dans la propriété.

Il est un peu hasardeux d'établir une correspondance entre ces classes et des valeurs de la profondeur H_x ou du volume V_x (certains açudes profonds se vident très vite ou ne se remplissent pas, d'autres, plus petits, résistent au contraire parfois mieux). Pour fixer les idées, on peut néanmoins citer les **ordres de grandeur** suivants:

Petit açude: H_x entre 2 m et 3.50 m (pouvant aller de 1.50 m à 4.00 m), V_x entre 5.000 et 50.000 m³ (pouvant atteindre de 2.000 à 100.000 m³).

Açude moyen: H_x entre 4 m et 7 m (avec extension jusqu'à 3 et 10 m), V_x entre 100.000 et 500.000 m³ (avec extension jusqu'à 50.000 et 1 ou 2 millions de m³).

Travailler sur les grands açudes (c'est à dire à peu près 500 réservoirs publics de capacité supérieure à 1 million de m³, ou entre 1000 et 1500 açudes de volume supérieur à 10.000 m³), ne peut logiquement s'envisager qu'en collaboration avec le DNOCS, même si cet organisme fédéral, à l'image de la SUDENE, est quelque peu déliquescents, et avec l'Université Fédérale du Céara (Fortaleza). C'est là qu'on trouve tous les meilleurs - et parfois éminents - spécialistes de la question comme M.P.Paiva, J.V.F.Freitas, J.J.S.Gurgel, O.Fontenelle, José William Bezerra e Silva. La Coopération Hongroise (notamment le professeur Woynarowitch) a fourni une collaboration importante dans le Nordeste.

On peut espérer d'une telle orientation avoir accès à un ensemble de résultats et de données dont l'intérêt scientifique pour la recherche fondamentale ne serait certainement pas nul. On ne peut, par contre, être aussi affirmatif en ce qui concerne les liens ou les retombées éventuelles sur le développement. Les pêcheurs concernés par les açudes publics ne sont pas toujours bien identifiés (il peut s'agir de paysans), mais on trouve parfois des communautés organisées, comme dans le cas des açudes suivis par le DNOCS.

Notons que le recueil des données hydrologiques au niveau de l'Etat du Pernambouc et l'idée de "comité de bassin hydrologique" concernent principalement les grands açudes de régulation et la connaissance des débits des principaux cours d'eau.

Les petits et moyens açudes me semblent personnellement constituer un sujet d'étude plus intéressant. C'est donc sur ce thème que j'axerai les suggestions qui suivent.

On retiendra d'emblée que l'on touche alors à un ensemble de près de 70.000 réservoirs, si l'on descend jusqu'à des superficies de 1000 m², ou sans doute deux ou trois fois moins si l'on considère (sous le seul critère de la taille) ceux qui se prêteraient à des pratiques améliorantes. Dans la quasi totalité des cas, il s'agit d'açudes privés et donc individuels, sauf quelques exceptions d'açudes communautaires (réforme agraire ou autres, projet de Pintadas, droits de pêche concédés à des voisins, etc.). La problématique est donc a priori différente de celle concernant "les communautés" qu'on trouve en Afrique.

3. Ebauche d'une proposition

* *Partenaires*

Les partenaires institutionnels officiels les plus indiqués sont le DNOCS et les Universités Fédérales des Etats. Parmi ces dernières, c'est celle de Fortaleza qui réunit les principaux spécialistes de limnologie. C'est dans cette ville (où se trouve également le DNOCS) qu'il est a priori préférable de s'implanter. Toutefois, il est clair que des contraintes familiales légitimes (école) peuvent amener à préférer Récife, mais il pourrait se révéler très handicapant de n'être lié qu'avec l'Université Rurale. Ceci pourrait se traduire par des obligations financières et des engagements scientifiques orientés par le dispositif de terrain actuel de l'U. Rurale susceptibles de réduire la marge de manoeuvre de l'équipe (au niveau du temps, des orientations scientifiques, de la couverture spatiale et des finances). Un projet pluri-partenaire est bien sûr toutefois plus long et délicat à monter; les aspects liés aux retombées financières (directes ou indirectes) des collaborations perturbent le jeu institutionnel et ses possibilités.

Les açudes de Serra Talhada et Ibimirim (je n'ai pas souvenir qu'il y en ait à Parnamirim), situés sur les centres que l'Université gère dans la zone du *sertao* - en particulier celui d'Ibimirim qui est le plus grand du Pernambouc ! - ne me semblent pas constituer des points d'observation particulièrement intéressants. Le dispositif de terrain devrait de préférence être raisonné en fonction de la variabilité géographique et des différents partenaires de terrain possibles (voir suggestions plus loin).

* *Liens avec le Développement*

Si l'on décide d'orienter les recherches en fonction des problèmes de développement, il est clair que l'U. Rurale est un partenaire insuffisant. Le fossé est malheureusement, malgré l'influence très positive de certains projets du CNPq (PDCT Nordeste), en général assez important entre les recherches universitaires et les problèmes du paysan, même pour des Universités assez bien "intégrées" comme celles de Campina Grande.

Un fort lien avec le développement me paraît personnellement indispensable pour assurer : 1) un feed back continu des problèmes rencontrés dans la pratique; 2) des relais sur le terrain pour assurer le suivi de projets pilotes et le recueil de données (supplémentaires); 3) la réalisation indispensable d'études complémentaires sur des aspects fondamentaux (filière, consommation, conservation, prix, préférences, etc...); 4) les étapes ultérieures de formation des *extensionnistes* et la valorisation effective des résultats de recherche.

Plusieurs types d'association avec des partenaires complémentaires plus liés au développement me semblent possibles. En premier lieu, il convient d'approcher le Département concerné du CIRAD (ex CTFT) pour le sonder sur son intérêt pour une

² ce qui très important vu l'étendue de la région et les difficultés liées à un suivi à distance.

éventuelle collaboration, ou plutôt (car celui ci semble acquis, selon un premier contact avec J. Lazare) sur ses possibilités financières et humaines à court et moyen terme. Un financement international me semble avoir de bonnes chances d'être obtenu en milieu de projet (voir plus loin).

Il est également possible de s'associer avec la GTZ qui a financé récemment un projet portant sur la pisciculture en açudes (dont il faudrait avoir le bilan: un expert belge, Dick Reyntjens, travaillait avec l'IBAMA/Fortaleza). Au vu des propositions de la GTZ concernant le financement d'un ancien VSN du Projet Açude pour qu'il continue son travail (région de Taua - Céara), il semble que la coopération allemande puisse être intéressée par un tel projet et qu'elle soit dans une situation financière un peu plus encourageante que celle de notre MAE...

A l'Université de J.Pessoa (PB), il faut voir W. Takako qui a réalisé le suivi suivi limnologique de 8 petits açudes et qui monte à l'heure actuelle un projet avec des chercheurs de l'Université de Toulouse. Elle réalise également depuis deux ans le suivi physico-chimique de l'açude Gramame qui alimente la ville de J.Pessoa. L'équipe de W. Takako comprend également un chercheur (Ricardo) qui travaille sur les questions de pisciculture.

Par ailleurs, il serait possible et opportun de s'associer avec des ONG brésiliennes qui travaillent dans le Sertao sur différents thèmes de développement, l'animation de communautés rurales et qui disposent de dispositifs sérieux. Deux d'entre elles ont été associées au Programme Açude et seraient sans nul doute intéressées par un tel projet. Il s'agit de l'ESPLAR dans le Céara et du centre d'Ouricouri (CATINGA) dans le Pernambouco. Un lien est également souhaitable avec le Projet Pintadas (Bahia), où le Projet Açude a accumulé des données sur 20 petites retenues collinaires communautaires et où des expériences de pisciculture semi-intensives ont été menées.

Les EMATERS, organismes d'extension rurale présents dans tous les *municipes*, constituent également des relais parfois efficaces et dans tous les cas indispensables car ce sont eux qui connaissent de manière détaillée le monde rural alentour (et qui peuvent, en particulier, faire état d'expériences originales conduites par des paysans et identifier des sites propices pour établir des suivis). Elles sont à l'heure actuelle, sauf erreur de ma part, liées à l'administration des Etats (alors qu'elles étaient auparavant dépendantes d'une organisation fédérale).

Les techniciens travaillant dans les stations de pisciculture, enfin, peuvent fournir une aide similaire et sont en général très sensibles à l'idée de mise en valeur des petits açudes, ont des idées sur la question et peuvent connaître des expériences en ce domaine.

Il est clair que la prise en charge d'un tel "volet Développement" n'est pas du ressort de l'ORSTOM et qu'il nécessite au minimum un spécialiste à temps plein.

* *Mise en place d'un projet régional*

Un projet comportant une articulation Recherche/Développement bien conçue et présentant un large éventail de collaborations aurait à mon avis de bonnes possibilités de trouver des financements, en particulier internationaux. Quelques arguments généraux:

- le Nordeste présente des conditions climatiques idéales (température de l'eau peu variable, entre 26 et 30 °);
- un hectare de plan d'eau peut produire 2, voire 3 tonnes de poissons (contre près de 100 kg de viande bovine pour un pâturage naturel);
- les petits açudes sont dispersés dans l'ensemble de la région et des propriétés, et peuvent assurer ainsi une grande diffusion de protéines animales;
- la pisciculture, contrairement à l'agriculture, requiert peu d'efforts et présente infiniment moins de risques;
- la consommation de poisson est traditionnelle et la production est déficitaire sur la région du Nordeste (50 % du poisson consommé vient du sud);
- il existe déjà plus d'une trentaine de stations productrices d'alevins dans le Nordeste.

Il me semble qu'on peut, par exemple, imaginer trois phases successives:

- Une phase exploratoire (synthèse des travaux existants, réflexions avec divers interlocuteurs et organismes, recherche des expériences observées dans différents Etats, définition fine des thèmes et du dispositif de recherche, etc).

- Mise en oeuvre progressive des recherches (selon les moyens) et proposition d'un programme régional aux organismes de financement. Une manière intelligente de prévoir et assurer la valorisation des résultats et de proposer comme objectif la formation (en fin de projet) et le financement (extérieur) pour trois ans d'une équipe d'*extensionnistes* chargés exclusivement de la promotion de la pisciculture. On peut imaginer que soit ainsi placé un *extensionniste* dans chaque municiple où l'EMATER possède un bureau principal (villes principales) et où l'on observe une densité d'açudes suffisante (soit 15 à 20 techniciens au total). Le travail des *extensionnistes* ne pourrait se faire qu'en étroite collaboration avec les stations de pisciculture (plans de production d'alevins aux dates adéquates, amélioration des conditions de transport des alevins, etc) et éventuellement avec des agents de commercialisations privés.

- Croissance du projet avec les nouveaux financements; rédaction d'un Manuel, formation des techniciens et suivi de la première année de diffusion en vraie grandeur.

Il ne faut pas toutefois se dissimuler que l'avènement imprévisible d'années de sécheresse peut bouleverser le projet et faire perdre du temps. Une telle éventualité montre également bien les limitations d'une intensification (possible seulement certaines années pour les plus petits réservoirs, en fonction de leur taux de remplissage) sans éluder également les autres contraintes à un tel processus. Par exemple, une grande proportion des açudes étant utilisés pour l'alimentation en eau, il est difficile de proposer une fertilisation organique du réservoir, ce qui limite drastiquement les possibilités d'augmentation des

rendements; l'empoissonnement reste-t-il rentable dans ces conditions ? On voit, à titre d'exemple, que la diffusion des citernes domestiques (cf. Projet Pintadas) peut, en parallèle, constituer un élément essentiel de la diffusion d'une pisciculture améliorée.

* *Thèmes de recherche*

Le chapitre du Manuel du Petit Açude réunit l'essentiel de ce qu'on pouvait dire (en 1991) sur les modalités de la mise en oeuvre d'une pisciculture semi-intensive dans les petits açudes. L'expérience de Pintadas est, à ma connaissance, la première tentative d'utilisation de tous petits réservoirs dans cette optique.

Le petit açude est, par bien des aspects, plus approprié à la pisciculture que le grand. Il permet en effet un meilleur contrôle de la production (taux d'alevinage, contrôle des espèces indésirables (poissons carnivores ou sans valeur commerciale), pêche plus simple et plus complète) et la pratique d'une pisciculture semi-intensive: l'alimentation complémentaire des poissons peut être réalisée avec des résidus agricoles de toute sorte (légumes avariés, tourteaux, farines,...) si possible produits dans la propriété et la vie biologique dans l'açude (et sa chaîne alimentaire) sont stimulées par l'ajout de fumures organiques distribuées sur la superficie du plan d'eau. L'alevinage doit être réalisé juste après la saison des pluies avec des alevins les plus grands possibles (5 cm ou plus) pour qu'ils ne soient pas la proie d'éventuels prédateurs et qu'ils atteignent plus rapidement une taille "commerciale".

Si l'on retient un tel schéma (mais on peut bien sûr en proposer d'autres, mieux adaptés), on peut développer des recherches visant à améliorer la connaissance des facteurs et paramètres suivants (liste non exhaustive) : évaluation de la productivité primaire du milieu en fonction notamment du régime hydrologique, de la taille et forme du réservoir et de la végétation; taux de peuplement et tailles d'alevins conseillés selon les espèces et les poissons locaux déjà présents; dynamique de populations et polycultures possibles à partir des espèces déjà produites par les stations; contrôle du principal prédateur naturel, la traira (*hoplias malabaricus*), connaissance de ses migrations, taux de prédation; contraintes liées à la variation importante de la superficie du plan d'eau au cours de l'année; types d'aliments possibles (valorisation des résidus agricoles locaux), quantités conseillées; techniques de pêche; conservation, etc.

D'un point de vue hydrologique, il n'est sûrement pas prioritaire de reparticiper à des études de bassins versants qui n'apporteraient, à court terme, pas grand chose à la synthèse réalisée par Cadier. Par contre, des dispositifs seront nécessaires sur quelques sites choisis pour suivre les bilans hydriques qui seront liés à l'évolution des paramètres biochimiques. Il est évidemment souhaitable de partager cette tâche avec des hydrologues brésiliens (U.F du Pernambouc ou du Céara); à cet effet, il pourrait être intéressant de "récupérer" un ou plusieurs açudes parmi ceux suivis par la SUDENE. La lourdeur de ces suivis limite pratiquement le nombre d'açudes qui pourraient faire l'objet d'études approfondies sur des longues périodes; d'où l'intérêt de prévoir différents types et niveaux de projets expérimentaux, pilotes, ou d'observation dont on essaierait de confier certains à des organismes ou observateurs associés au projet.

Un lien serait également possible avec l'Université de J.Pessoa (PB) puisqu'un de ses enseignants-chercheurs (français), Alain Passerat de Silans, qui a longtemps travaillé sur les problèmes d'évaporation dans les açudes, devrait prochainement se pencher sur des aspects fins de l'hydrologie des petits bassins versants (états de surface)(il n'y a apparemment pas de liens avec les projets affichés par la Fédérale de Récife). Il est actuellement à Montpellier, au Laboratoire d'hydrologie de l'USTL. Notons encore, pour ce qui concerne la Paraíba, qu'à Saint Jean du Cariri (point de pluviométrie minimum du Nordeste), la coopération Allemande a installé un dispositif hydrologique complet (açude + bassin versant), suivi actuellement par l'équipe de Campina Grande (Shrinivasa et Manoel Gilberto).

La qualité de l'eau (teneur en sels) n'est que rarement un problème en soi, car il est très rare qu'on atteigne des concentrations qui soient incompatibles ou qui limitent la pisciculture. Même dans ces cas extrêmes, on ne peut de toute façons pas faire grand chose car c'est soit la qualité de l'eau, soit le surdimensionnement du barrage qui est en cause. Par contre, il peut arriver que la pisciculture puisse être la seule utilisation possible (quelques grands açudes du Nord de la Bahia, par exemple), mais ces cas sont trop marginaux pour être présentés comme un argument justifiant le développement de recherches.

Les aspects culturels ou économiques, ainsi que les blocages qui peuvent résulter de contraintes au niveau du fonctionnement global des exploitations, doivent être pris en compte par le volet développement. Il ne me semble pas nécessaire d'impliquer forcément un chercheur spécialisé des sciences sociales; ces thèmes ne peuvent être traités sérieusement sur mission; enfin, il est aisé d'intéresser des Universitaires brésiliens et d'avoir des étudiants sur ces sujets.

L'idée de disposer d'un inventaire complet des açudes à partir de photos satellites est a priori intéressante et nous avons fortement recherché les moyens de la mettre en oeuvre. Des inventaires ont été réalisés dans le Pernambouc (avec des incertitudes sur les petits réservoirs) et dans le Céara (mais pour les retenues de plus de 10 ha). Un inventaire n'apporterait pourtant que peu d'information utile, en dehors de la satisfaction d'avoir un bilan complet, car la carte de densité présentée dans le Manuel est globalement inchangée⁴ : c'est dans le Sertao Nord que se trouvent la majorité des réservoirs et les trois Etats concernés en premier lieu sont le Ceara, la Paraíba et le Rio Grande do Norte.

La possibilité de disposer de clichés à deux dates différentes pendant la saison sèche peut également permettre d'estimer les capacités des réservoirs. Il n'est cependant pas toujours facile d'avoir de tels clichés sur une grande étendue (à cause de l'ennuagement) et un tel travail serait très coûteux à l'échelle du Nordeste. De plus, la très grande variabilité de la vitesse d'abaissement du plan d'eau des petits açudes rend l'entreprise hasardeuse et un peu vaine, et l'estimation des volumes stockés n'apporterait finalement pas grand chose.

Qui plus est, la *Secretariat de Ciencias e Tecnologia* (niveau Fédéral) a repris la méthodologie utilisée par la FUNCEMA (Ceara) pour réaliser un inventaire des retenues

³ ne pas trop miser à court terme sur de tels projets car l'identification des sites, l'installation des instruments de mesure peut prendre beaucoup de temps; un suivi sérieux pose parfois des problèmes vu les aléas budgétaires des universités.

⁴ voir données plus complètes dans "Marcos historicos e reflexoes sobre a açudagem e seu aproveitamento"

et des études similaires sont normalement en cours à l'heure actuelle dans les différents Etats. Il suffira donc de recueillir les résultats de cette étude dont l'intérêt est plus surtout politique. Les *Nucleo de Meteorologia e recursos hidricos*, qui réalisent ce travail ont également pour mission d'implanter les réseaux de mesure, de recueillir l'ensemble des données existantes et d'orienter les politiques de gestion de l'eau sur les principaux bassins versants.

La typologie de réservoir proposée plus haut est suffisante pour définir sur quel type de réservoir se feront les recherches. Cette typologie doit être affinée selon des critères plus hydro-biologiques. La végétation doit intervenir ainsi que le régime hydrologique des déversements et la distinction Agreste /Sertao. Il n'est pas évident qu'il y ait des variables régionales importantes qui obligerait à concevoir un dispositif de recherche (pour la partie hydro-bio) sur l'ensemble du Sertao Nord. Une visite de terrain dans l'ensemble du Sertao Nord (identification de la variabilité des conditions écologiques), les limitations matérielles liées à la taille de la région et les collaborations qui se seront révélées possibles (suivis sur le terrain) définiront d'elles mêmes le dispositif de recherche.

* *Préparation du Projet*

Il me semble que la préparation du projet doit comporter, avec bien sûr moins de souci d'exhaustivité, les mêmes prospections que celles évoquées pour la phase prospective du Projet. A cet effet, je suggère les contacts suivants (avant et pendant la mission que X.Lazzaro⁵ devrait effectuer prochainement dans le Nordeste):

* Un contact essentiel avec E. Sabourin, qui après avoir assuré la formation dans le cadre du Projet Açude se trouve maintenant lié au Cirad et travaille entre Récife et Pétrolina. Un VSNA du Projet et toujours dans le Céara et pourrait être en partie mis à contribution pour les visites de terrain dans le Céara (Station du DNOCS d'Ico⁶ - voir José Hilton de Moura et Francisco Jaime de Oliveira -, le projet de Taua, le centre de l'ESPLAR, etc), les contacts avec l'ESPLAR et la GTZ (voir résultats du Projet avec l'IBAMA).

C'est à travers E. Sabourin qu'il faut contacter l'ESPLAR, le Centre d'Ouricouri et l'ASPTA, ou d'autres ONG.

A l'Université Fédérale de Fortaleza, voir José William Bezerra, professeur plus ou moins à la retraite, qui a apporté une collaboration importante au Manuel sur les questions de taux de peuplement et de fertilisation des réservoirs.

* Quelques indications pour les visites de terrain⁷ : à Caico, voir la Station du DNOCS et Fernando X, qui a développé une pisciculture très impressionnante dans un açude moyen et qui est en contact avec des revendeurs de Natal qui viennent chercher sa production sur place par camionnette frigorifique. Voir la Fazenda de "l'américain" à Sao

⁵ Si le Cirad confirmait son intérêt, il serait évidemment idéal que cette mission puisse s'effectuer à deux (volets Recherche et volet Développement).

⁶ voir coordonnées des stations dans le Manual do pequeno Açude (annexe).

⁷ des renseignements plus précis seront communiqués à X Lazzaro.

Bento, sur les bords du rio Piranha (énorme investissement en étangs (poissons et crevettes)). Voir Antonio de Abrantes et Chico Lyra par l'EMATER de Catolé do Rocha, Beranger à l'EMATER de Pombal (PB).

* Prendre contact avec Alain Passerat de Silans (USTL). Une visite dans la Paraíba (+ région du Sérido (Caico)) est sans doute possible avec des interlocuteurs de cet Etat, W. Takako en priorité.

* Une visite au Projet Pilote de Pintadas (Bahia) est possible mais on peut avoir un bilan des tests effectués sur plus d'une vingtaine d'açudes auprès d'Eric Sabourin.

* Visiter la principale station de recherche du DNOCS près de Fortaleza (Pentecoste) et les expériences de la CODEVASF.

Même si les limitations en temps de l'élaboration du Projet devaient conduire à un accord unique avec l'Université, il est - à mon avis - très important d'afficher l'ambition régionale du Projet et le souhait d'une diversification rapide des collaborations et des points d'étude. Les engagements financiers ne devraient pas être exclusifs et la participation à l'enseignement le plus limitée possible en début de projet (on peut former des collaborateurs au niveau des sujets de *mestrado*).

Avec la disparition progressive de la SUDENE, ce sont les Etats qui sont responsables des projets de développement, ce qui comporte quelques inconvénients (dont nous avons à l'époque passablement pâtis) en terme d'instabilité politique (il y a des élections pour Gouverneur en fin d'année, je crois).

Les contacts doivent être établis préférentiellement avec les 4 Etats du Sertao Nord (CE, RN, PB, PE). Il faut cependant avoir en tête l'ambition régionale du Projet et voir dans quelle mesure le DNOCS et l'IBAMA doivent être impliqués institutionnellement. J'ai omis d'insister plus haut, et c'est pourtant un bon exemple, sur l'importance fondamentale des stations productrices d'alevins dans la mise en oeuvre de pratiques intensifiées. Celles-ci dépendent principalement du DNOCS de la CODEVASF et des Etats (voir Manuel) ce qui implique des contacts avec ces organismes et leur participation. Il faut en effet que les stations soient orientées pour fournir le type d'alevins (date, taille et espèce) correspondant aux propositions qui émergeront des recherches.

Certain Etats possèdent des organismes spécialement chargés de la promotion de la pêche. C'est en particulier le cas de la Bahia, où la *Bahia-Pesca* gère plusieurs stations d'alevinage. Je crois que cet organisme a été associé au projet de construction de 200 retenues lancé avec la collaboration du Projet Açude. En parler avec E. Sabourin; vue la taille de la Bahia, il y a sûrement des informations à recueillir. Pour les autres Etats, je n'ai pas d'informations particulières.

Un projet axé sur les petits et moyens açudes, l'association dès le départ d'un volet Développement avec un feed-back permanent du terrain, la recherche progressive de contacts et de collaboration à différents niveaux et dans différents Etats, un accord institutionnel très ouvert et si possible non limité à l'Université rurale de Récife, la

■

U.L.L.

recherche d'un financement propre à mi-parcours, avec une ambition régionale pour la valorisation des résultats via un système original placé au sein des EMATER, la synthèse des résultats sous la forme d'un Manuel, sont quelques unes des suggestions personnelles que je puis faire au montage d'un Projet Orstom sur l'aquaculture dans le Nordeste.

**• RAPPORTS DE LA MISSION
DE MARS 1994**

MISE EN VALEUR DES RESSOURCES HALIÉUTIQUES DES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN

PROJET "AÇUDES"
UFRPE/ORSTOM

(version provisoire du 29/04/94)

Les açudes du Sertão et leur exploitation

Le nord-est brésilien est constitué de 9 États (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe et Bahia) qui occupent une superficie de 1542271 km² (19 % du territoire national) et concentre une population de 42 millions d'habitants (31 % de la population nationale). La zone intérieure, le Sertão, qui occupe 65 % de ce territoire est marqué par un climat semi-aride. L'insuffisance des pluies et surtout leur distribution très irrégulière d'une année à l'autre et aussi d'une région à l'autre, conduit à de fréquentes sécheresses.

La nécessité de constituer des réserves d'eau par la construction de barrages ou açudes (*as-sadd* = barrage en arabe) s'est faite sentir dès le début de la colonisation du Sertão, à la fin du 17^e siècle. Les premières initiatives de l'État datent du début du siècle, donnant la priorité à la construction de grands açudes. À ce jour, le bilan est de 300 açudes construits par le gouvernement fédéral et de 150 par les gouvernements d'état, soit un total de 450 açudes, chacun d'une capacité supérieure à un million de m³. Entre temps, les petits açudes, d'une superficie < 5 hectares, œuvre d'initiatives privées, se sont multipliés, leur nombre atteindrait actuellement 700000 dans l'ensemble du Nordeste. Ce sont avant tout des points d'eau pour les divers usages domestiques et l'abreuvement du bétail. Il existe également des açudes de taille moyenne de quelques dizaines d'hectares, construits pour la plupart sous le "régime de la coopération", par lequel le gouvernement fédéral apportait l'appui technique et assurait de 50 à 70 % des investissements. Un total de 622 réservoirs ont été réalisés sous ce régime. Enfin, certains açudes ont été construits par des opérations dites de "fronts d'urgence", plutôt destinées à apporter un secours immédiat à des populations dans le dénuement total causé par la sécheresse, qu'à envisager une exploitation future de ces açudes.

Les constructions des grands açudes, conçues au départ comme un moyen de combattre le profond sous-développement de la région et de procéder à de mini-réformes agraires, ont été complétées par l'aménagement de vastes zones de cultures irrigables dans le but de fixer des colonies d'agriculteurs en rémunérant leur travail et en leur garantissant l'assistance scolaire et médicale. Des efforts de modernisation de l'agriculture traditionnelle, par l'introduction de nouvelles techniques et cultures, ont également été déployés. Ces interventions de l'État ont rarement été couronnées de succès. Les raisons sont multiples: la non adaptation des projets gouvernementaux à la réalité socio-économique du Sertão, leur non continuité dans le temps, leur adultération par interférences politiques et malversations, le manque de tradition hydro-agricole et, plus grave encore, la non obtention par les populations impliquées d'un titre légal de propriété. La culture irriguée privée connaît aussi tous les obstacles d'une société archaïque et figée : des propriétaire-éleveurs hésitent avant de s'engager dans cette nouvelle voie productive par crainte principalement de perdre leur indépendance et de tomber sous le joug du contrôle oligarchique de l'accès à la terre et à l'eau (Molle, 1994).

Si l'exploitation de l'agriculture irriguée est déficiente et précaire, celle de la pêche et de l'aquaculture l'est encore davantage. La raison est simple, les principales administrations, le DNOCS, la CODEVASF et la SUDENE, responsables des grands programmes de développement associés aux constructions d'açudes, ont toujours affiché une priorité à l'agriculture irriguée. Leurs interventions en matière piscicole, se cantonnent principalement dans la production d'alevins et dans l'empoissonnement des açudes. Cette dernière opération est effectuée sans critères bien définis quant au choix des espèces et du type d'açude bénéficiaire. L'absence de statistiques de pêches correctement conduites, ne permet pas d'en vérifier la pertinence. Plus grave, ces organismes fédéraux, pour des raisons politiques, ont été menés ces dernières années à réduire considérablement leurs activités et à passer le relais à des organismes d'État, sans que ces derniers soient toujours en mesure d'assurer la continuité. La pêche, loin d'être une tradition du Sertão, s'est retrouvée rapidement déstructurée. Le pêcheur, sans la protection d'un syndicat, est exploité par le système de commercialisation du poisson qui lui est imposé. Le manque d'investissements en matière d'équipement de pêche et de pisciculture et la formation technique précaire sont d'autres facteurs limitants.

Malgré ce cadre peu encourageant, l'exploitation des ressources halieutiques apparaît comme une option pleine de promesses pour diverses raisons:

- Le potentiel piscicole de l'ensemble des açudes du Nordeste est élevé, estimé par la SUDENE à 1 million de tonnes par an. Le rendement actuel qui est en moyenne de 100 kg/ha/an peut être facilement augmenté par des mesures techniques simples. Les possibilités offertes par la pisciculture semi-intensive dans les petits açudes sont également très intéressantes. Les taux de croissance des poissons sont 2 à 3 fois plus élevés qu'en climats tempérés, grâce à une température moyenne annuelle supérieure à 25 °C et sans grandes variations saisonnières, ce qui rend possible

· l'utilisation d'açudes non pérennes.

- De nombreux açudes ne permettent plus une agriculture diversifiée en raison de la salinité élevée de leurs eaux. La pêche devient la seule ressource exploitable car, d'après les informations disponibles, la salinisation des eaux ne provoque pas une chute de la production de poisson.

- Le poisson demeure dans le Sertão la ressource en protéine la plus accessible aux populations de faibles revenus (50 % des habitants du Pernambouc ne disposent pas du minimum énergétique acceptable, qui est de 1840 calories/jour).

- Les administrations régionales, qui remplacent progressivement l'administration fédérale, sont conscientes de l'importance de relancer les activités de pêche et la pisciculture semi-intensive et de mieux les intégrer dans l'économie régionale. Le Secrétariat de l'Agriculture vient de mettre à la disposition de l'UFRPE l'un de ses responsables pour réorganiser les associations de pêcheurs dans les lieux choisis pour mener ce projet.

- Comme résultat de la politique d'empoissonnement des açudes, il existe de bonnes infrastructures et un savoir-faire reconnu en matière de production d'alevins. Il s'agit maintenant de mieux tirer profit de ce potentiel.

Le partenaire brésilien: Le Département des pêches de l'UFRPE

Le Département des pêches de l'UFRPE forme depuis 1970, officiellement depuis 1975, des ingénieurs des pêches. Le corps enseignant est de 25 professeurs, une bonne part d'entre eux, issus du propre département, ont complété leur formation à l'extérieur (France, Japon...). Le Département jouit d'une solide réputation comme centre de formation d'ingénieurs des pêches, aussi bien au niveau national (450 ingénieurs ont été formés depuis 1974) qu'au niveau international (le cours compte régulièrement avec la présence d'élèves latino-américains et africains).

Depuis quelques années, le Département propose un cours de spécialisation d'une durée de 1-2 ans à des élèves licenciés. Le diplôme est obtenu après la réalisation d'une monographie dirigée par un professeur. Par ce biais les professeurs maintiennent une certaine activité de recherche, laquelle se trouve actuellement limitée par l'insuffisance des crédits gouvernementaux qui sont alloués à ce secteur.

Saisissant l'opportunité de réaliser le présent projet de recherche sur les açudes en collaboration avec l'ORSTOM, le Département des Pêches a reformulé son cours de spécialisation en retenant des matières d'enseignement relevant des diverses disciplines intégrées dans le projet "açudes" et en choisissant, pour les monographies, des sujets de recherche parmi ceux qui seront développés dans le cadre du projet. Odinetz Collard O., M. Jegu, X. Lazzaro et J-P. Carmouze participeront dès cette année au cours. Le prochain pas, dans un an ou deux, consistera à transformer ce cours de spécialisation en cours de Mestrado et Doctorat.

Parallèlement cette année, toujours inspirée par la dynamique du projet "açudes", une proposition de cours de formation de pêcheurs vient d'être déposée auprès du CNPq pour l'obtention d'un financement. Ce cours porte sur les technologies de la pêche, de la conservation des poissons et de la pisciculture en cages.

L'infrastructure du Département des Pêches, qui sera mise à la disposition du projet, comprendra 3 laboratoires (limnochimie, bentho-planctonologie et ichtyologie), une grande salle réservée aux bureaux des intégrants du projet et une réserve. La construction est en cours et sera achevée fin 94-début 95.

Trois campus de l'UFRPE seront également mis à profit: Serra Talhada, Parnamirim et Ibimirim. Ces campus, qui se situent respectivement à environ 475, 600 et 450 km de Recife, offrent de bonnes conditions de travail de terrain. Ils disposent de logements et laboratoires bien entretenus.

Le Département des pêche possède également dans le campus de l'Université une station de pisciculture qui peut être mise à profit pour la réalisation d'études expérimentales.

La proposition de recherche

Le projet de recherche a une finalité bien précise: contribuer à élever la qualité de vie des populations riveraines des açudes en mettant mieux à profit les ressources de la pêche et de l'aquaculture.

Nous devons partir d'un constat: *Le problème de fond du Sertão n'est pas son manque d'eau, mais son sous-développement* (C. Furtado), et nous pouvons compléter qu'il n'est pas cohérent de créer ou d'accroître des ressources si celles qui existent sont mal ou pas exploitées du tout.

Nous nous proposons donc dans un premier temps, d'établir un "état des lieux" de divers types d'açudes en relevant les divers facteurs socio-économiques et techniques qui conduisent à la sous-exploitation actuelle des ressources halieutiques, pour pouvoir ensuite intervenir sur certaines des contraintes identifiées. Nous nous proposons parallèlement d'aquerir une meilleure connaissance sur l'hydrobiologie de ces milieux en général, et sur la bio-écologie des espèces d'intérêt halieutique en particulier, dans le but d'accroître la productivité de ces milieux, notamment par des empoissonnements appropriés et des pêches rationnelles.

Différents types d'açudes seront étudiés, allant de grands açudes publics administrés par

le DNOCS aux petits açudes privés gérés communautairement ou par de petits propriétaires. Par commodité, ils ont été choisis dans les municipalités de Serra Talhada, Parnamirim et Ibimirim où se trouvent les campus de l'UFRPE. Il s'agit de:

(1) l'açude de Poso da Cruz à Ibimirim ($\approx 505 \times 10^6 \text{ m}^3$), représentatif des grands açudes administrés par le DNOCS avec de grandes extensions de cultures irriguées

(2) les açudes Saco I ($\approx 35 \times 10^6 \text{ m}^3$) et Cachoeira II ($\approx 20 \times 10^6 \text{ m}^3$) le premier administré par l'IPA le second par le DNOCS, les deux utilisés comme réservoir d'eau d'alimentation de la ville de Serra Talhada et aussi pour la culture irriguée.

(3) 9 petits açudes construits en série sur une rivière de la municipalité de Parnamirim par une opération "front d'urgence", sans administration.

(4) l'açude de Chapéu ($\approx 188 \times 10^6 \text{ m}^3$) administré par la SISAGRO dans le municipalité de Parnamirim.

(5) de petits açudes privés gérés par des petits propriétaires et des communautés, fournis en alevins par l'IPA à Serra Talhada, certains pérennes, d'autres non (à identifier).

Deux modules se dégagent des études proposées: l'un relatif aux aspects socio-économiques de la pêche et l'autre aux aspects biologiques.

1- L'économie des pêches et ses implications sociales

Les bassins hydrographiques et les açudes du Sertão ont fait l'objet de nombreuses études hydrologiques et pédologiques (n'oublions pas l'importante contribution de l'ORSTOM dans ces domaines!), souvent orientées vers la culture irriguée. Les recherches relatives au développement de la pêche, que ce soit sur ses aspects biologiques, techniques, économiques et sociaux sont très restreintes et sporadiques, ceci s'explique surtout par le fait que, comme nous l'avons vu, la pêche n'a jamais été mise en premier plan lors de la construction et de l'aménagement des açudes. Il n'y a aucun doute que cette carence d'études a été un frein au développement des techniques de pêches et de commercialisation du poisson dans les grands açudes et de la pisciculture semi-intensive dans les petits.

Pour identifier les différents blocages qui limitent la mise en valeur des ressources halieutiques ainsi que les diverses erreurs de conception et de gestion gouvernementales et privées qui ont abouti à des échecs, il est indispensable de faire une analyse approfondie des divers facteurs qui ont mené à la situation actuelle, en procédant, dès le début à un regroupement d'açudes de mêmes caractéristiques. Il est évident que lorsque l'on compare un açude de 3000 hectares géré par l'administration fédérale, construit en priorité pour la culture irriguée et la fixation de colonies agricoles avec un açude de 3 hectares non pérenne et destiné à l'aquaculture semi-intensive, les influences de ces açudes sur les activités et l'économie des communautés bénéficiaires sont radicalement différentes.

L'état actuel d'un açude dépend en grande partie de son passé (les objectifs qui ont justifié sa construction, la responsabilité administrative, le mode de financement, le mode d'accès aux ressources, les bénéficiaires...). Pourtant, une reconstitution historique, principalement des grands açudes, se révèle indispensable pour mettre en évidence les erreurs à éviter lors de nouvelles propositions.

Étant donné la détérioration du suivi administratif des projets de développement en cours, il est nécessaire de réévaluer les conditions actuelles de mise à profit des ressources halieutiques (organisation des pêches, techniques utilisées, commercialisation du poisson...).

Dans l'optique de mise en place de solutions pour un développement durable, les propositions d'aménagements issues des études biologiques devront être soigneusement analysées avant et durant leur application sous l'angle socio-économique.

1.1- Les objectifs spécifiques

L'étude socio-économique de la pêche peut être subdivisée en deux volets: l'un portant sur une classification des différents types d'açudes en fonction de critères socio-économiques, l'autre se limitant davantage à une évaluation de l'activité et du potentiel productif des communautés.

1.1.1 - Typologie socio-économique des açudes

Considérant autant les aspects historiques que la situation présente, il sera établi une typologie socio-économique des divers groupes d'açudes qui reposera principalement sur les analyses suivantes:

- a) analyse de ces objectifs qui ont présidé à la construction de l'açude (agriculture irriguée, installation de colonies agricoles...),
- b) analyse des conditions de construction (organismes administratifs, entités privées, type de financement...),
- c) analyse du mode d'administration, lequel définit l'accès aux ressources, les bénéficiaires,
- d) analyse des changements sociaux, politiques et économiques qui ont suivi la construction de l'açude,
- e) analyse des mesures récentes de l'État en faveur de la pêche dans le Sertão.

1.1.2 - Les activités productives des communautés

Il sera fait un bilan du profit des ressources halieutiques par les populations locales, dans les divers types d'açudes étudiés, à partir de diverses analyses:

- a) analyse des aspects technologiques: organisation de la production, incluant l'agriculture, l'élevage et la pêche, ressources naturelles et productivité, rendement du capital...,

b) analyse des aspects économiques: composition des revenus correspondant aux activités déployées, emploi et force employée, moyens de production propres et financés, accès aux ressources, coûts et profits par unité exploitée, structure foncière, système de crédit et de financement, structure du marché et chaîne des intermédiaires,

c) analyse des aspects sociaux: relations sociales de production, organisation communautaires, degré d'acceptation-réjet, et innovation technologiques, stratégie des pêcheurs, composition de la famille, consommation, scolarisation et santé.

Les deux études, qui sont complémentaires, permettront de reconsidérer l'économie de la pêche dans le cadre de l'économie régionale, tout en identifiant, au niveau local et régional, les blocages et les conditions d'amélioration des activités de pêche dans une perspective de développement durable.

1.2 La méthodologie

Les enquêtes de terrain seront conduites dans les divers açudes retenus. Elles porteront sur deux ans et comprendront deux missions par an de 20 jours.

1.2.1- Recherches bibliographiques

La documentation officielle existante permettra de comprendre pourquoi il y a plus d'un siècle, la construction d'açudes s'est imposée comme un moyen de lutter contre la sécheresse. Il sera fait une évaluation des options de développement socio-économiques choisies, des objectifs retenus, des stratégies adoptées pour la réalisation des projets, des fonds alloués, de l'encadrement des populations impliquées, des retombées sociales consécutives à l'aménagement de l'environnement açude... La recherche bibliographique sera complétée par des entrevues de techniciens engagés dans les programmes de développement. Cet ensemble d'informations aidera à mieux pondérer les succès et les échecs rencontrés, et aussi à monter un questionnaire destiné à enquêter auprès des pêcheurs. La durée de cette phase est estimée à 6-8mois.

1.2.2 - Enquêtes de terrains

Les enquêtes seront réalisées dans les lieux d'études retenus auprès des différents acteurs: représentants de communautés de pêcheurs, pêcheurs isolés, représentants d'institutions (organisme de développement, municipalité, église, banque, ONG...), techniciens locaux, leaders politiques et chefs syndicalistes. Les questions porteront à nouveau sur l'histoire de l'açude, les objectifs qui ont présidé à sa construction, son utilisation et sa contribution au combat à la sécheresse, sa gestion et les difficultés rencontrées, son influence sur l'économie régionale, la structure foncière, les mouvements de migration, la répartition du travail et la création d'associations communautaires, les bénéficiaires des propres ressources du milieu et des infra-

structures implantées, comme école, dispensaire, banque, le profil du pêcheurs et son revenu, les circuits de commercialisations...

La diversification des sources d'information permettra de confronter les différents points de vue des populations impliquées et des entités responsables sur les bénéfices tirés des initiatives gouvernementales et privées. Un dialogue sera établi avec les communautés, portant sur la définition de nouvelles stratégies de développement à caractère durable.

L'ensemble des recherches bibliographiques et des enquêtes de terrain permettront d'élaborer un rapport de synthèse au bout de deux ans.

2 - L'écologie des açudes et la biologie des pêches

D'une façon générale, toute intervention d'aménagement pisciaire devrait faire l'objet d'une analyse rigoureuse des facteurs d'environnement physiques et biologiques qui contrôlent les productions des diverses espèces, souhaitées et non souhaitées. Les exemples de mesures qui se sont révélées désastreuses sont nombreux. Il n'existe pas d'études limnologiques consistantes sur les açudes, bien que le Sertão ait été considéré comme le berceau de la Limnologie Brésilienne, à la suite d'études pionnières menées par les allemands au cours de la première moitié de notre siècle. On ne sait pas expliquer par exemple pourquoi, entre les açudes administrés par le DNOCS, certains connaissent une haute productivité (jusqu'à 800kg/ha/an), d'autres sont improductifs (20 kg/ha/j). On ne sait pas si l'empoisonnement se justifie toujours dans les grands açudes. Il se fait systématiquement et de manière aveugle, sans suivis qui permettraient de vérifier si les conditions d'empoisonnement et les espèces d'alevins choisies sont appropriées. Ces derniers, produits dans des conditions souvent précaires, se trouvent fréquemment parasités. L'introduction d'espèces nouvelles est toujours faite sans une étude préalable de faisabilité. De nombreux échecs sont enregistrés dans ce genre d'intervention.

Toute interférence de l'homme sur le biota doit être faite consciemment à partir d'une profonde connaissance de la structure et du fonctionnement de l'écosystème, laquelle ne peut être acquise que par une approche systémique qui va de l'étude du métabolisme de l'écosystème à celle de la bio-écologie des espèces de plus grande contribution fonctionnelle du système, en passant par une évaluation des diverses interactions du milieu physique et du biota et à l'intérieur du propre biota. Le suivi comparatif des évolutions d'écosystèmes distincts et l'expérimentation pour définir certains données de bio-écologie d'espèces d'intérêt halieutique et aussi certaines interactions, notamment des relations prédateur-proie, seront deux outils fondamentaux.

Ce module, à l'instar du précédent, est subdivisé en deux volets portant, l'un sur une reconnaissance limnologique générale des différents types d'açudes, l'autre plus spécifique sur le potentiel halieutique de ces milieux.

2.1 - Objectifs spécifiques

2.1.1 Typologie bio-écologique des açudes.

Il est prévu d'établir une typologie bio-écologique des açudes à partir des caractéristiques morphométriques, limnologiques, floristiques, faunistiques et des habitats, tout comme un inventaire des plans d'eau par télédétection. Cette typologie reposera sur:

- a) la définition des caractéristiques limnologiques en général des açudes qui seront étudiés à Serra Talhada, Pamamirim et Ibimirim,
- b) la définition du métabolisme des açudes et de ses facteurs de contrôles,
- c) l'inventaire des communautés planctoniques et des macrophytes et leur évolution,
- d) l'inventaire et la zonation des faunes ichtyologique, benthique et carcinoïde,
- e) la caractérisation de la bio-écologie des espèces de crevettes et de poissons exploités ainsi que le recrutement naturel des principales espèces de poissons,
- f) la définition des réseaux trophiques,
- g) l'utilisation d'images LANDSAT pour l'étude des plans d'eau.

2.1.2 - Captures et potentiel halieutique des açudes

Le potentiel halieutique des divers açudes étudiés sera estimé à partir de:

- a) l'évaluation des stocks exploités. les données seront utilisées pour établir des normes de pêche,
- b) l'évaluation du succès des empoisonnements,
- c) l'estimation du rendement de la pisciculture semi-intensive dans les petits açudes,
- d) la détermination des taux de croissance des espèces en fonction des caractéristiques physiques et trophiques de l'habitat et la quantification des interactions entre espèces (prédateur-proie, synergie/antagonisme) à partir d'expériences en viviers et enceintes expérimentales,
- e) la définition du pouvoir de contrôle par des poissons omnivores sur le réseau trophique et, par voie de conséquence, de la qualité biologique de l'eau.

2.2 - Méthodologie

Chaque milieu fera l'objet de deux campagnes de prélèvements et de pêches expérimentales, l'une en fin de saison des pluies (avril-mai), l'autre en fin de saison sèche (octobre-novembre). Les études de terrain seront étalées sur deux ans, 1995 et 1996.

2.2.1 - Techniques de prélèvements

Les prélèvements et les échantillonnages seront effectués selon les méthodes classiques:

- Les **eaux** seront prélevées à l'aide de bouteilles type "Van Dorn" et une pompe péristaltique (pour les profondeurs < 7 m), mis dans des flacons de polyéthylène puis conservées dans la glace 1-3 heures en avant d'être filtrées et analysées au laboratoire du campus.

- Le **phytoplancton** sera prélevé à l'aide de tubes en PVC et conservé dans une solution de lugol.

-Le **zooplancton** sera collecté au moyen de filets coniques de maille appropriée et une pompe de grand débit ($\approx 40\text{l/mn}$) et conservé dans une solution de formol à 4 %.

- Le **benthos** sera prélevé par des dragues conventionnelles dans les zones profondes et par des tubes de PVC dans celles de faible profondeur. Les organismes seront séparés à l'aide de tamis et conservés dans une solution de formaline à 4 %.

- les **poissons** seront capturés à l'aide de différents types de filets de mailles de 15 à 80 mm et des pêches électriques, en deux périodes de la journée dans chaque local. Des tests préalables de sélectivité des filets dormants seront effectuées pour les principales espèces et les résultats analysés par le modèle mathématique de Holt (1963).

- Les **crevettes** seront capturées à l'aide de pièges fixes durant la nuit et des filets au cours du jour.

2.2.2 - Techniques d'analyse

- Les **caractéristiques physico-chimiques des eaux** seront déterminées immédiatement après les prélèvements à l'aide d'appareils portatifs: pénétration de la lumière (quantomètre et disque de Secchi), turbidité (turbidimètre), température, oxygène et conductivité (sondes spécifiques).

- Les **nutriments et les pigments chlorophylliens** seront déterminés au campus selon les méthodes classiques, (Strickland et Parsons, 1968), adaptées à l'échelle semi-micro par Carmouze (1994).

- Les **pools de matière organique sestonique** ($0,45 \mu\text{m} < \text{tailles} < 200 \mu\text{m}$) et dissous en C, N et P seront fractionnés au campus, introduits dans des ampoules, lesquelles, après scellement, seront "digérées" à 145 °C en autoclave et ultérieurement analysées au laboratoire du Département des pêches, utilisant la méthode au bichromate suivi d'un titrage bivolantométrique pour C et celle au persulfate suivie de colorimétrie pour N et P (Carmouze, 1994). Pour des études expérimentales sur les interactions poissons omnivores-qualité biologique de l'eau, il est prévu un fractionnement plus détaillé de la matière organique par filtrations simples et tangentielles conduisant aux fractions suivantes: 75-200 μm , 25-75 μm , 0,45-5 μm , 0,01-0,45 μm , 0,002-0,01 μm et < 0,002 μm .

- Le **métabolisme** des açudes sera caractérisé à partir du taux journalier de production/minéralisation de la matière organique, utilisant des méthodes de O₂ et CO₂ total et appliquant la technique des "eaux libres" (Carmouze, 1984).

- Le **phytoplancton** sera défini par sa composition spécifique, son spectre de taille et de biovolume, utilisant un microscope inversé et la méthode classique de Utermohl pour les

comptages.

- **Le zooplancton** sera analysé à travers sa composition spécifique (rotifères, cladocères et copépodes) et par taille (comptages en chambres à comptage quadriculaires) à l'aide d'un stéréomicroscope. En complément, dans le cas des copépodes seront évaluées les proportions et les tailles des femelles et le nombre d'œufs.

- **Le benthos** sera dans un premier temps identifié au niveau des grands groupes. Ceux-ci seront ensuite analysés pour déterminer leur abondance et leur fréquence.

- **Les crustacés**, conservés dans de grands piluliers en verre dans une solution d'alcool à 75 %, seront identifiés selon la méthode de Holthuis (1952).

- **La structure des populations de poissons et crevettes** sera établie par des mesures d'individus (sous-échantillonnage par espèce) après identification du sexe et de l'état de maturité des gonades.

- **La dynamique des populations des principales espèces** sera étudiée en fonction de la distribution des fréquences de tailles et de l'analyse des cohortes. Les paramètres de la dynamique relevant de la mortalité, de la croissance et du recrutement seront établis à l'aide du programme ELEFAN (Pauly *et al.*, 1990) et l'évaluation des stocks au moyen de modèles analytiques et descriptifs et par la combinaison des deux.

- **L'alimentation des poissons** sera étudiée à partir d'analyses de contenus stomacaux, utilisant comme descripteur l'indice de réplétion. Le spectre alimentaire et ses variations saisonnières sera défini par l'application de méthodes de présences/absences de dominance numérique et gravimétriques (Ynes, 1950).

- **La reproduction des poissons** sera étudiée à l'aide de dissections de la cavité abdominale, avec identification des sexes et classement des stades de maturité selon les critères de Vazzoler (1982). Les stades de maturation des gonades des femelles de chaque espèce étudiée seront suivis dans le temps de façon à déterminer les périodes et le type de la reproduction (continu ou saisonnier).

- **Les courbes de fécondité de la crevette *Macrobrachium amazonicum***, seront établies dans les différents açudes étudiés, ainsi que la structure de la population à l'époque de la reproduction et l'importance de la première ponte conformément à la méthode décrite par Collard-Odinetz (1991).

- **L'effet de la prédation des poissons sur la structure de population de crevette** sera étudié par des expériences en viviers et cages placées dans les açudes en jouant à la fois sur les densités de poissons prédateurs et de crevettes.

- **L'effet de la diversité de l'habitat sur la structure de population et la reproduction de la crevette** sera étudié par des expériences en viviers et en cages placées dans le propre milieu avec des densités variables de crevettes et divers types de substrats (utilisation de substrats artificiels pour augmenter la complexité de la structure spatiale) et de couvertures végétales (présence ou non de macrophytes).

- **L'étude des parasites Monogenoidea (Platyhelminthes)** sera réalisée à partir de méthodes et de prélèvement et de préparation décrites par Kristy *et al.* (1986). Pour la terminologie

et les mesures des espèces de Anacanthorinae, Ancyrocephalinae et Girodactilidae le travail de Belmont-Jegu (1992) sera pris comme référence. Les études des monogénoïdes de chaque population d'hôte comprendront l'analyse des fluctuations d'effectifs, exprimées en terme de dominance, densité et abondance conformément aux travaux de Margolis *et al.* (1993).

- **Les interactions poissons piscivores-proie** seront étudiées expérimentalement dans des viviers et des enceintes au centre de pisciculture de l'UFRPE pour évaluer la vulnérabilité des alevins et jeunes tambaqui, tilapia et curimatá face à la traíra et le tucumaré de diverses tailles. Les taux de prédation et de sélectivité de la traíra et du tucumaré seront également étudiés en fonction des effets des diverses plantes aquatiques et de leur densité, de la complexité physique du milieu (reproduit par l'usage de cordes de polypropylène) et de la turbidité (reproduit par l'emploi d'argile de différentes concentrations).

- **La survie et la croissance des alevins de curimatá et de tilapia du Nil** seront quantifiées (1) à partir de pêches hebdomadaires après empoissonnement dans les eaux centrales et de bordure de l'açude et aussi par l'emploi de cages placées *in situ* pour éliminer l'impact de la prédation (2) et aussi à partir des expériences en viviers et enceintes décrites ci-dessus.

- **Les interactions entre les poissons omnivores et la qualité de l'eau biologique** seront étudiées par voie expérimentale, dans des viviers et des bacs de la station de pisciculture. Les interactions quantifiées seront (1) celles entre l'état trophique de l'eau (caractérisé par l'abondance, la structure de taille et la production de la communauté phytoplanctonique) avec la capacité de charge et la croissance des alevins et jeunes carpes, curimatá, tambaqui et tilapia du Nil, séparés et ensemble, (2) celles entre les propres espèces de poissons omnivores combinés par paires, lesquelles permettront de détecter des situations de synergisme et antagonisme (3) et aussi celles entre poissons omnivores et l'état trophique (spécifié ci-avant), c'est-à-dire la qualité biologique de l'eau. Dans ces expériences on évaluera l'influence des organismes sur la qualité de l'eau en réponse à apports externes de nutriments en azote et phosphore.

Les résultats attendus

1 - Sur l'économie des pêches et ses implications sociales

L'analyse, issue de l'étude historique des divers types d'açudes abordés, devrait permettre d'expliquer les échecs subis par de nombreuses initiatives aussi bien gouvernementales que communautaires et privées et aussi d'identifier les divers blocages (d'ordre culturel, technique, administratif et économique) qui limitent la pleine mise en valeur des ressources halieutiques.

L'étude plus spécifique sur la situation actuelle de l'économie des pêches et des communautés de pêcheurs sera accompagnée de près par le Secrétariat de l'Agriculture qui a mis à la disposition du projet l'un de ses responsables pour prendre les premières mesures de

restructuration des associations de pêcheurs, de réorganisation des statistiques de pêche, de mise en place d'une fiscalisation et de la commercialisation du poisson dans les grands açudes qui seront étudiés.

Les résultats de ces études devraient servir à identifier des défauts de conception rencontrés dans les programmes de développement en cours et aussi à évaluer et guider de nouvelles formes d'interventions, y compris celles qui pourront être proposées à partir des propres résultats du volet bio-écologique.

Le cours de formation de pêcheurs, qui portera sur les technologies de la pêche, de la conservation des poissons et de la pisciculture en cages, représentera un complément indispensable à la tâche de remise en place d'une Administration de la Pêche.

2 - L'écologie des açudes et la biologie des pêches

Une connaissance approfondie sur le cycle de la matière organique, l'organisation trophique du milieu et la bio-écologie des espèces clés, devrait permettre dans un premier temps de faire une évaluation des ressources actuelles, exploitées et exploitables dans chacun des açudes étudiés. Il sera possible à partir de ces données de proposer un meilleur choix des engins de pêches et une fiscalisation plus appropriée, deux mesures qui devraient avoir pour effet d'augmenter la productivité et les rendements par unité d'effort.

Les résultats des opérations d'empeisonnement, complétés par ceux des diverses études expérimentales sur la survie et la croissance des alevins ainsi que sur les interactions poissons piscivores-proie seront fondamentaux pour proposer une pratique d'empeisonnement plus rationnelle des açudes et pour en élever la productivité. Ils seront également mis à profit pour donner des orientations sur la pisciculture semi-intensive dans les petits açudes.

Les participants

Département des Pêches de l'UFRPE

Isabel Cristina de Sá Marinho - Directrice du Département - *Limnochimie* -

Antonio Lisbõa Nogueira da Silva - Chef du Projet - *Ichtyologie/technologie des pêches* -

Lucy Moreira de Barros Franca - *Phytoplankton* -

Maria Auxiliadora Pinto da Motta Amado - *Benthos* -

Eudes de Souza Correia - *Ichtyologie* -

José Francisco de Araújo - *Economista rural* -

Vanildo de Souza Oliveira - *Technologie des pêches* -

Dinalva de Souza Guedes - *Ichtyologie* -
 Antonio Faustino Neto -*Hydrologie* -
 Marilena Ramos Porto - *Carcinologie* -
 Paulo F. de Oliveira Burgos - *Économie des pêches* -
 + Boursiers d'initiation scientifique et Techniciens (à définir)

ORSTOM

Xavier Lazzaro - affectation fin 94 - *Relations trophiques* -
 Jean-Pierre Carmouze - affectation début 95 - *Hydrochimie et cycle de la matière organique*-
 Olga Odinetz Collard - affectation début 95 - *Bio-écologie des crevettes*-
 Catherine Aubertin - 2 missions de 3 semaines en 95 et en 96 - *Socio-économie des pêches* -
 Michel Jegu - 2 missions de 3 semaines en 95 et en 96 - *Bio-écologie des poissons* -

Autres

Lourinaldo Barreto Calvacanti - détaché du Secrétariat de l'Agriculture- *socio-économie*-
 Elizabeth Belmont-Jégu - boursière de l'INPA - *Parasitologie* -
 Ines Cabral de Medeiros - boursière de l'UFF - *Métabolisme d'écosystème* -

Ce rapport a été rédigé par J-P. Carmouze avec la collaboration de C. Aubertin, L. B. Calvacanti, M. Jegu, X Lazzaro, A. Lisbõa, I. C. Marinho, O. Odinetz Collard, V. Oliveira, E. Correia et F. Araújo . Il doit être revu corrigé et complété par les collaborateurs.

Le Budget

Le DEC a prévu 500 kF pour 1995 et 200 kF pour 1996.

Le budget demandé au CNPq pour la réalisation de ce projet est de 53000 \$US, réparti sur deux ans. Les crédits qui seront libérés seront certainement bien inférieurs au montant demandé.

Il est prévu de rechercher un financement de la C.E. dans deux ans.

Références

(incomplètes)

Belmont-Jégu E., 1992. Monogenoidea (Platyhelminthes) indicadores da biogeografia histórica de três espécies de Mylesinus (Characoidei, Serrasalmidae) na Bacia Amazônica. Diss. Mestrado INPA/FUA. 76 pp.

Carmouze J-P. (1984). Généralisation d'une méthode de détermination du carbone minéral total par pHmétrie dans les eaux. Rev. Hydrobiol. Trop. 17 (3): 175-189.

Carmouze J-P. (1994). O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. (*in press*)

Kritsky D.C., V.E. Thatcher & W.A. Broeger, 1986. Neotropical Monogena. 8., Revision of Urocleidoides (Dactylogyridae, Anzyrocephalinae). Proc. Helminthol. Soc. Wash., 53: 1-37.

Holthuis, L.B., 1952. A general revision on the palaemonidae (crustacea decapoda natantia) of the americas. II. The subfamily palaemonidae. Los Angeles, *Allan Hancock Foundation Publication*. Occasional pa pe. (12):19-23.

Margolis L., Esch G.W., Holmes J.C., Kuris A.M. & G.A. Schad, 1982. The use of ecological terms in parasitology (report of an ad Hoc committee of the American Society of Parasitologists). J. Parasitol., 68(1): 131-133.

Molle F. (1994). Quelques aspects historiques de la problématique de l'eau dans le Nordeste brésilien. Article proposé pour les Cahiers de la Recherche-Développement. Rapport interne ORSTOM, 11 p.

Odinetz Collard O., 1991. Stratégie de reproduction de *Macrobrachium amazonicum* en Amazonie centrale (Decapoda, Caridae, Palaemonidae). Crustaceana 61 (3): 253-270.

Strickland J.H.D. and T.R. Parsons (1968). A practical handbook of sea-water analysis. Bull. Fish. Res. Board Can. 167: 311 p.

Vazzoler A.E.A. de M., 1982. Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes: Reprodução e Crescimento. Brasília, CNPQ/PNZ. 108 pp.

ABRÉVIATIONS

CODEVASF =Companie de Developpement de la Vallée du São Francisco

IPA = Institut de Recherche Agro-pastorale

DNOCS = Departament National des Ouvrages Contre la Sècheresse

SUDENE = Superin tendence du Developpement du Nordeste

CNPq = Conseil National pour la Recherche

UFRPE = Université Fédérale Rurale du Pernambuco

Noms communs et scientifiques des espèces de poissons citées

Tambaqui: Serrasalminidae, *Colossoma macropomum*

Curimatã: Prochilodonidae, *Prochilodus cearensis*, *Prochilodus macgravii*

Taira: Erythrinidae, *Hoplias gr. malabaricus*

Tilapia: Cichlidae, *Tilapia rendalii*

Tucunaré: Cichlidae, *Cichla gr. ocellaris*, *Cichla gr. temensis*

**Participation à une mission chargée d'élaborer un projet de
recherche sur l'aquaculture dans les açudes du Nordeste brésilien
20-29 mars 1994**

Catherine Aubertin
avril 1994

Objectif : donner un cadre socio-économique à des études, privilégiant la pêche, sur l'utilisation des petits barrages dans le Nordeste. Participer à la définition des objectifs, du choix des sites d'études et à la rédaction d'un projet franco brésilien sur le sujet.

Le DEC est désireux de lancer un programme sur l'aquaculture dans les açudes. Ce programme devrait se rattacher à la problématique du développement durable et serait destiné à constituer une partie d'un programme comparatif sur les petits barrages dans plusieurs pays. Ma collaboration consiste à apporter dès le début du projet une optique de "sciences sociales".

Je présente ici un mélange de réflexions et de notes de terrain qui justifie la définition d'un projet de recherche socio-économique présenté en conclusion. Il est impossible de présenter des données vérifiées après une si courte mission. Le fait que les barrages visités aient été surtout les barrages proches des campus avancés de l'UFRPE, influence forcément une vision bureaucratique de la politique des açudes, et se démarque de la vision des petits projets communautaires que présente F. Molle. Mais ces deux approches ne me semblent pas contradictoires. Ce papier ne revendique pas la vérité et ne craint pas de faire une part belle à la subjectivité dans la mesure où nous en sommes au stade de la définition des hypothèses de travail.

I. COMMENTAIRES DIVERS SUR L'AQUACULTURE DANS LES AÇUDES

1. - LES LOURDS PASSÉ ET PASSIF DES AÇUDES

Il existe une très abondante littérature sur la sécheresse au Nordeste, sur ses causes, ses conséquences et sur les moyens mis en oeuvre pour la combattre. Les bilans des opérations de développement ont également été faits et les conclusions sont connues. On peut en trouver un résumé toujours d'actualité dans les travaux du groupe de travail de Celso Furtado lors de la création de la Surintendance de Développement du Nordeste (SUDENE) en 1959 : "le problème du Nordeste n'est pas la sécheresse, mais le sous développement". Plus explicitement, ce qui rend les effets de la sécheresse si insupportables, ce sont les structures foncières fortement inégalitaires et l'incurie des

gouvernements. Ce n'est pas le manque de moyens : des milliards de dollars ont arrosé le Nordeste. Les projets pharaoniques n'ont pas manqué, les ONG ont multiplié les expériences pilotes, les chercheurs ont mené des milliers d'études. En 1985, Jorge Coelho publiait un livre sur l'industrie de la sécheresse, sur toutes les activités et les détournements que permet la sécheresse. Dans un rapport sur l'extractivisme en Amazonie, j'écrivais en provocation que le caoutchouc était pour l'Amazonie ce qu'était la sécheresse pour le Nordeste : une source infinie de subventions pour les oligarchies locales.

Je suis arrivée pour la première fois au Brésil en 1983, à la fin d'une des terribles sécheresses. J'ai en mémoire les quêtes organisées alors pour aider à la construction de barrages pour aider des communautés pauvres. Je crois me souvenir que, parmi les barrages que j'avais parrainés, ceux qui n'avaient pas été emportés par les inondations des années suivantes avaient été confisqués par les grands propriétaires pour abreuver leurs troupeaux.

Les açudes ont une histoire plus que centenaire. Les travaux de construction du premier açude, l'açude de Quixada, ont débuté en 1884. Dès 1909, un organisme national (aujourd'hui le DNOCS, moribond) organise les travaux contre la sécheresse. On compterait actuellement, d'après François Molle, 70.000 açudes de taille diverse dans le Nordeste. Il existerait 22 grands açudes de plus de 200 hectares dans l'Etat du Pernambouc, 4 açudes ayant entre 100 et 200 hectares, et une infinité de petits açudes dont il est difficile d'obtenir la localisation. Curieusement l'eau, ou du moins les réservoirs ne manquent pas dans le Nordeste. Nous avons été étonnés d'apprendre que le municiple de Parnamirim que nous visitons possède les plus fortes réserves hydriques du Pernambouc (3 grands barrages avec une capacité totale supérieure à 600 millions de m³) pour seulement 20.000 habitants et une activité économique très rudimentaire.

Après 10 ans de travaux sur le Brésil, je savais que la construction de ces barrages avait servi souvent de prétexte pour des détournements de fonds, pour s'acquérir les votes d'une région ou pour matérialiser un programme de lutte contre la sécheresse (démonstration des actions de l'Etat, terrain d'expérimentation pilote pour les ONG). Mais, avant cette mission, je ne connaissais pas les aspects négatifs de ces barrages.

Une dilution des responsabilités

Ces barrages ont été construits dans le cadre d'une multitude de projets (projets Sertanejo, Polonordeste, Nordeste..., et tous les projets d'urgence) par divers intervenants (l'Etat de Pernambouc, le gouvernement brésilien, le DNOCS, la CODEVASF, le ministère de l'Agriculture, le ministère de l'intérieur, l'IPA, l'Emater, la SUDENE, les mairies...). Nous avons eu du mal à identifier les interlocuteurs responsables des açudes visitées, le constructeur comme le gestionnaire résistant mal aux successifs réformes administratives.

Une salinisation irrémédiable

Mal étudiés, surdimensionnés (il faut faire grand!), mal entretenus et mal drainés (à Saco, on ne sait plus comment ouvrir les vannes !), recevant les déchets de l'activité humaine, les pesticides et les engrais utilisés dans les

cultures des versants, deux des grands açudes que nous avons visités (Saco, Poço da Cruz) sont pollués et salés au point que, avec une nouvelle phase de sécheresse, toute irrigation est devenue impossible.

On imagine alors le sort des colons installés sur les 1580 lots de 8 ha (26 lots supplémentaires de 34 hectares étaient réservés pour des entreprises) à Poço da Cruz. Incapables de poursuivre les productions que le DNOCS leur avait assignées au détriment des cultures traditionnelle de produits vivriers et en poussant à leur endettement auprès des banques. Ce qui reste de l'administration du DNOCS serait bien en peine de nous fournir des statistiques, mais on sait que nombre de lots sont déjà revendus et que la région connaît de fortes migrations.

Un gaspillage de l'eau

Les açudes connaissent une perte par évaporation et infiltration de 50% de leurs réserves d'eau stockées. Leur multiplication influence négativement le remplissage en bout de chaîne des grandes retenues qui alimente les villes. Elle rend impossible toute culture de crue. Lorsque ces açudes en amont ne sont pas utilisés, c'est donc à un gaspillage de l'eau qu'ils conduisent. A quoi sont donc utilisés les 9 barrages construits sur 30 km à Parnamirim ?

2. A LA RECHERCHE DU PECHEUR

Si l'açude est considéré comme une ressource pour le producteur. Il convient de se poser la question de l'accès à cette ressource. Dans le cadre d'une étude sur la pêche, la question est : qui a le droit de pêcher dans l'açude ? Les réponses des interlocuteurs ont été floues, montrant essentiellement le manque de contrôle ou de connaissances sur l'activité. Cette question soulève un problème foncier : à qui appartient l'eau des barrages ? Selon le constructeur ou le gestionnaire et les structures foncières antérieures, la réponse concernera les employés, les irrigants, les habitants du municípe...

La pêche, dernier espoir des açudes ?

La pêche est toujours apparue dans les projets de développement liés à la réalisation des açudes. Mais elle ne constituait qu'un projet annexe, marginal, aux grands plans d'irrigation et de lutte contre la sécheresse. La plupart des açudes ne sont guère utilisables en fonction des objectifs productifs affichés lors de leur réalisation. Se pose alors, et c'est franchement surréaliste quand on y réfléchit, la question de la valorisation de ces açudes. On a vu que l'eau est devenue impropre pour l'irrigation tant elle s'est salée. Même les bestiaux refusent souvent de s'y abreuver. Il n'y a guère que les poissons qui peuvent survivre dans ces eaux.

L'amélioration de la pêche peut ainsi difficilement apparaître comme un projet novateur. Ce serait plutôt une façon d'utiliser ce qui peut encore être utilisé après une succession d'échecs. Un exemple est significatif : l'IPA ne pouvant plus employer ses 400 employés à la production agricole du fait de la salinisation des eaux a dû les débaucher. Pour leur garantir un minimum de revenus, l'entreprise a alors autorisé la pêche sans aucune réglementation. Auparavant il fallait être recensé et payer une taxe correspondant à 10% du

salaires minimum. La sécheresse augmente le nombre des pêcheurs tout en déréglementant la pêche.

Pas de tradition de pêche dans le sertão

Par la force des choses, il n'existe pas de tradition de pêche dans le sertão. Pourtant, les poissons (des espèces amazoniennes, pourquoi ? dans le fleuve São Francisco il devait bien y avoir des espèces natives ?) ont été introduits systématiquement dans les grands açudes dès les années 30. Cela n'a pas suffi à former un groupe de pêcheurs. Faut-il rappeler que l'existence d'une ressource n'a jamais créé les conditions de son exploitation.

La pêche ne semble pas être une activité très valorisée. On entend plusieurs fois dire "ce sont les plus pauvres qui pratiquent la pêche".

Les pêcheurs ne sont pas des professionnels. Ils sont également agriculteurs ou employés. La pêche n'arrive qu'en complément saisonnier des autres activités. Les traditions de pêche ne semblent pas exister. En revanche on retrouve facilement le système de soumission traditionnelle à l'autorité d'un patron ou d'un colonel.

Créer une corporation...

Les pêcheurs ne travaillent pas pour leur compte, (sauf pour l'autoconsommation ?). Ils sont encadrés, soit par l'organisme de gestion du barrage qui tente de créer des associations de pêcheurs (*colonias*) vite en faillite, soit par un patron ou un *atravessador* (intermédiaire) qui finance la pêche, c'est-à-dire qui pratique ce que l'on retrouve sur tout le territoire brésilien, un système d'*aviamento*. Les moyens de production et un panier de biens (filets, barque, nourriture pour la famille durant la campagne de pêche), sont offerts au pêcheur en échange de sa production à venir. Logiquement, la production reste toujours inférieure à la valeur des biens avancés et ce système d'endettement structure fortement les relations sociales.

Nous avons rencontré un membre d'une de ces colonies mises en place par la structure de gestion du barrage à Poço da Cruz. Comme on pouvait s'y attendre, le responsable de l'association avait reproduit le système patron-clients et s'était approprié les biens de l'association (camion, réfrigérateurs...) donnés lors des différentes campagnes de lutte contre la sécheresse ou pour la promotion des pêcheurs. Il tirait un bénéfice confortable de sa situation d'intermédiaire entre les pêcheurs et le marché.

De même à Saco, le futur président de l'association en constitution sous la pression de l'IPA, Gerosio, est également *vereador* (conseiller municipal) et travaille avec une dizaine de pêcheurs salariés par lui à la journée, qui préparent les filets de poissons qu'il commercialise à Recife. Les restes de poissons sont transformés en farine sur une machine de l'IPA et vendus à Recife à une usine de rations. Il envoie ainsi entre 200 et 300 kg de filets chaque semaine sur Recife. Il achète aussi les poissons en entier et les vend au marché de la ville le lundi. Il voudrait passer à un stade industriel.

Auparavant l'IPA avait essayé d'organiser la pêche en mettant à disposition des congélateurs et des barques. Mais le gouvernement Araes aurait compromis la rentabilité de l'entreprise, interdit d'employer des journaliers et de vendre pour le compte de l'IPA. Les employés sont alors rémunérés en nature, c'est-à-dire sur leur production (?).

Dans le municpe de Parnamirim, ce sont des commerçants extérieurs au municpe, qui s'accaparent les lacs des barrages et organisent la commercialisation du poisson en dehors du municpe. Ils "finacent" les pêcheurs, estimés à 100 familles sur le barrage visité (80 familles de pêcheurs au barrage d'Entremontes).

Il existe, sur le littoral de l'Etat de Pernambuco, 12 colonies de pêcheurs. La Pastorale des pêcheurs y serait active. Elle n'intervient pas cependant dans le sertão. Le secrétariat de l'Agriculture de l'Etat de Pernambuco a un département pêche et tente d'organiser les pêcheurs. Un de ses responsables est Lourinaldo qui compte s'associer au projet et qui a fait le voyage de repérage avec nous.

Ces problèmes d'organisation des pêcheurs sont lancinants. Soit les "coopératives" sont tenues à bout de bras par les encadreurs, soit le vieux système d'exploitation perdure. Il est difficile d'imaginer autre chose. L'initiative privée est mal vue. Les idéologies communautaires poussent à dénoncer comme exploiteur le pêcheur qui prend l'initiative de vendre le poisson de ses compagnons en prenant une marge sur la vente pour se dédomager de son travail. En revanche, le détournement des biens publics est courant et le système de crédit du patron est jugé normal. Une étude sur les circuits de commercialisation est nécessaire.

Une technologie rudimentaire

Les conditions de pêche semblent très rudimentaires. Les pêcheurs sont mal équipés. L'hygiène est très douteuse. La conservation laisse beaucoup à désirer, les moyens de congélations sont insuffisants. Du néocide serait employé pour conserver les poissons. Dans tous les cas, les quantités pêchées sont difficilement appréciables. Il semble que l'on ne dépasse pas le stade artisanal.

Un empoisonnement systématique

Personne ne sait bien ce qu'il y a dans les açudes tant l'empoisonnement s'est effectué et s'effectue toujours sans études préalables, ni suivi. On peut même douter de l'efficacité de l'empoisonnement, voire craindre sa nocivité. Le Tucunaré aurait été introduit, par exemple, pour combattre les piranhas. On trouve quelque cas d'apparition "spontanée" de poissons dans des açudes nouveaux et jamais empoisonnés. Parallèlement on ne trouve pas dans les statistiques de pêches de trace d'espèces pourtant largement introduites.

L'activité de production d'alevins a été très importante à Poço da Cruz (4,8 millions d'alevins en 1989), elle continue à Saco. Il arriverait que la distribution d'alevins soit laissée à la discrétion des politiques pour obtenir des votes.

L'empoisonnement de l'açude peut devenir hasardeux si les alevins d'élevage sont fortement parasités.

A priori le pêcheur de crevettes serait différent du pêcheur de poissons, On pose des pièges la nuit. La conservation séché-salé est également plus facile.

3. LES TYPES D'AÇUDES

Une partie de mon travail a été de sensibiliser l'équipe sur la nécessité de poursuivre des études sur des açudes différents.

La pêche et le petit propriétaire

Pour pratiquer la pisciculture dans un açude il est plus simple que celui-ci soit pérenne. On peut bien sûr pratiquer une pisciculture saisonnière mais celle-ci s'apparente alors à une expérimentation pilote qui exige un très fort encadrement pour une rentabilité faible. Le développement de la pêche ne peut concerner dans un premier temps que les açudes de grandes dimensions. Cela remet en cause l'aspect social d'un programme d'amélioration des pêches pour les plus petits propriétaires ou simples occupants qui ne peuvent avoir accès au financement pour construire leur propre açude. Les bénéficiaires devront être en mesure d'avoir accès à un açude pérenne. Ce seront les plus grands propriétaires ou les communautés encadrées par les organisme de gestion des grands açudes.

Propositions de typologie à partir du mode d'utilisation

Le classement que je propose repose sur l'hypothèse que les objectifs qui ont présidé à la construction de l'açude (installer des gens, faire de la culture irriguée, distribuer des revenus, gagner des votes...) et les conditions de cette construction (organisme responsable, type de financement), déterminent les modes d'accès aux ressources, les bénéficiaires et l'utilisation actuelle et potentielle des açudes. Le critère principal des choix des açudes à étudier est donc le mode d'administration (ce qui inclut le type d'organisme qui intervient comme les personnes autorisées à utiliser l'açude et les caractéristiques de son utilisation). Le projet de développer l'aquaculture devra donc s'adapter à chaque mode d'utilisation. Il n'y aurait pas une recette pour tous les açudes.

Certains barrages forment le coeur de grands projets d'irrigation où la production agricole et l'installation de colons étaient le principal objectif ; ils ont dû être présentés comme des substituts de réforme agraire et comme d'importants facteurs de modernisation en introduisant des nouvelles cultures. D'autres barrages servent cycliquement de supports aux opérations de "fronts d'urgence". Leur principale justification est de donner des revenus "à ceux qui ont faim". On aurait pu tout aussi bien faire construire des routes. C'est le cas des 9 barrages de Parnamirim, réalisés sans études préalables; après il faut les utiliser... Ce type de barrage jouit d'une mauvaise réputation, car généralement, ils sont construits sur les terres d'un fazendeiro qui contestera les droits de *posse* aux paysans riverains. D'autres barrage encore relèvent de l'initiative privée, plus ou moins encadrée et subventionnée par l'Etat ou des ONG.

Chaque barrage présente des caractéristiques différentes. Selon, sa taille ou son mode d'administration, son influence sur les activités des populations et sur l'environnement sera différente. Une étude de l'histoire de chaque barrage est indispensable pour comprendre cette influence.

II - PROPOSITION D'UN PROJET DE RECHERCHE

Je me propose d'apporter une collaboration sur quatre points :

- 1 - replacer l'utilisation des açudes dans le contexte plus général des politiques de lutte contre la sécheresse au Nordeste
- 2 - montrer la nécessité d'une étude d'économie régionale concernant l'influence des açudes
- 3 - poser le problème de l'accès aux ressources et de la définition du profil du pêcheur
- 4 - participer aux choix des sites en fonction de critères socio-économiques

1. - les politiques de lutte contre la sécheresse

Je m'étonne de la faible connaissance sur les açudes en termes hydrobiologiques, alors qu'il existe une abondante littérature sur les problèmes humains de la sécheresse et des diagnostics très sévères sur la politique de lutte contre la sécheresse, en particulier par construction de barrages. Cet aspect historique et politique ne semble pas effleurer nos interlocuteurs qui ne parlent que d'amélioration des connaissances pour contrôler et rentabiliser la gestion des açudes. "Actuellement faute de connaissances, les açudes sont utilisées à l'aveuglette" (Ayrton).

Un travail de bibliographie générale doit être entrepris pour comprendre pourquoi la construction de barrages s'est imposée comme outil de lutte contre la sécheresse depuis plus d'un siècle. François Molle a déjà bien débroussailler le terrain. Cela permettra de distinguer plus finement les fonctions sociales associées à chaque barrages selon l'époque de leur construction, selon les objectifs qu'ils devaient remplir, selon les modalités de leur réalisation, selon l'encadrement des populations qu'ils impliquaient... Cela permettra aussi de mieux relativiser les succès et échecs rencontrés.

La phase de travaux de terrain s'accompagnera de recherche d'une bibliographie concernant les sites d'études choisis et traitant du suivi des grands projets d'irrigation, de la réalisation de grands barrages, des interventions d'urgence et des expériences de développement communautaire. Une recherche devra être menée dans les universités du Nordeste, dans les bureaux du DNOC et de la CODEVASF, auprès des ONG intervenant sur le terrains.

Il existe déjà de nombreuses publications. Des équipes travaillant sur le sujet pourraient être mises à contribution. Il faudrait établir des contacts suivis avec la Fondation Joaquim Nabucco et l'Université fédérale du Pernambouc à Recife. L'Université de Campina Grande a déjà beaucoup travaillé sur la question ainsi que la plupart des universités du Nordeste. Cette recherche pourrait s'articuler avec le programme d'étude sur la gestion des grands fleuves tropicaux que compte poursuivre Guy Meublat sur le fleuve Sao Francisco.

2 - Nécessité d'une étude d'économie régionale

Le projet rédigé pour le CNPq à Recife était surtout destiné à ouvrir un champ socio-économique le plus large possible, en amenant les interlocuteurs brésiliens de l'UFRPE à abandonner leur première vision qui cantonnait

l'intervention des sciences sociales dans un travail technique d'accompagnement et d'évaluation des innovations censées être mises en oeuvre par les autres disciplines.

Mon rôle a donc constitué à substituer une réflexion plus large d'économie régionale à une approche strictement "économie des pêches". Il ne s'agit pas de juger de la rentabilité économique de la pêche pratiquée dans un açude, mais de cerner les conditions susceptibles de permettre la mise en valeur des açudes dans l'économie nordestine.

Plusieurs arguments ont été avancés :

- Ce programme s'inscrit dans un programme plus large, avec une perspective comparative concernant plusieurs régions. Il se rattache à la problématique du développement durable. A terme, ses résultats devraient pouvoir être utilisés pour des projets de développement intégré dépassant la seule mise en valeur piscicole

- La pêche n'est pas le principal but de la construction et de la gestion des petits barrages et ne peut se dissocier des autres activités économiques liées ou non aux barrages. Il n'y a pas de pêcheurs professionnels. Les pêcheurs sont occasionnels, ils sont d'abord agriculteurs. L'açude est (ou devrait être) un moyen de production en soi.

- La pêche n'est pas organisée et semble marginale. Il n'y a pas de pêcheurs spécialisés, pas plus que d'unités de pêches suffisamment formalisées pour permettre de recueillir des données susceptibles de se prêter à des modélisations sur les captures en fonction des efforts de pêches. On ne dispose pas des moyens pour suivre systématiquement les captures et il est sans doute difficile de constituer des échantillons représentatifs.

Par ailleurs, une réflexion devrait être menée sur la rentabilité économique de la mise en valeur du sertão. La solution est-elle vraiment dans la construction d'açudes ou même dans l'irrigation ? N'est-elle pas aussi, dans une optique de développement durable, dans l'optimisation de l'emploi des ressources naturelles ? On a l'impression que tous ces efforts de production à partir des fonds de lutte contre la sécheresse sont dérisoire par rapport à l'essentiel que l'on ne voit pas : les détournement des fonds de la sécheresse et quelques spéculations. Pour l'anecdote, il est amusant de rapporter que le journal de Pernambouc (28.03.94) faisait état d'une fusillade survenue dans le municiple de Parnamirim lorsque la police s'était mise en tête de détruire un champs de 53.000 pieds de cannabis. C'est justement dans ce municiple que le maire nous avait royalement reçus et émus en évoquant la misère de son municiple, L'article ne disait pas s'il s'agissait de culture irriguée.

3 - l'accès aux ressources et de la définition du profil du pêcheur

L'açude doit être considéré comme une ressource et comme un moyen de production. Dès lors le problème se pose de l'accès à ce moyen de production. De là découle toute une série d'interrogations :

- problème fonciers : quels sont les riverains, quel est le statut des terres bordant l'açude ou irriguées par lui, comment se sont organisées les expropriations, qui a organisé la répartitions des terres et sur quels critères a t-

elle eu lieu, comment le droit de *posse* s'est-il senti de la légalisation de la propriété due à la construction de l'açude?

- problèmes sociaux : comment s'organise la mise en exploitation des açudes ? Faut-il faire partie d'une association et quels en sont les statuts ? Qui est à l'initiative de cette association ? Est-ce la résidence ou l'activité qui détermine le droit à l'accès ?

- en contrepoint, on peut s'interroger sur les mouvements de populations (attirance ou répulsion et sur quelle zone concernée ?) engendrés par la réalisation des açudes.

Il importe d'essayer de cerner le profil du pêcheur et de présenter un diagnostic du secteur pêche. On étudiera surtout l'itinéraire du pêcheur, ses liens avec l'histoire de l'açude, ses activités complémentaires et son insertion dans un réseau de commercialisation et dans une structure associative.

4 - Typologie des barrages en fonction de critères socio-économiques

Grâce aux premiers repérages, nous pouvons commencer des travaux de terrain à partir d'une première typologie qui devrait s'accorder avec les barrages que l'équipe se propose d'étudier avec le souci de développer l'aquaculture :

- les grands barrages du DNOCS avec périmètres irrigués et installation de colons (Poço da Cruz)
- les barrages sans projet d'accompagnement (Cachimbo)
- les barrages construits par les fronts d'urgence (série de 9 petits barrages à Parnamerim)
- les barrages privés des fazendeiros (que l'on pourra identifier parmi ceux fournis en alevins par l'IPA à Ibimirim)
- les barrages communautaires (à identifier)
- les barrages non pérennes (dans la perspective d'expérience d'aquaculture de court terme- à identifier)

Sur chacun de ces barrages les enquêtes seront menées par entretiens semi-directifs auprès des principaux acteurs concernés par le barrage : riverains, producteurs, représentants institutionnels (encadreurs, mairie, banques, ONG, Eglise...). Elles seront organisées autour de plusieurs fils directeurs qui résument les interrogations développées dans ce rapport :

- Quelle est l'histoire du barrage ? Des réponses auront déjà été apportées par la recherche documentaire, il s'agira surtout de s'attacher à recueillir les représentations liées à la sécheresse, à l'utilisation des açudes. On recherchera également les diverses interprétations concernant les processus de décision (pourquoi tel barrage ici et à telle époque ?) et les difficultés de gestion (suivi de l'administration).

- Quelle a été l'influence des barrages sur la production régionale, sur la structure foncière, sur les mouvements migratoires, sur l'organisation du travail (répartition du temps de travail et création de structures associatives) ?

- Qui a accès aux ressources apportées par le barrage (eau, poissons, mais aussi périmètres irrigués et terres avoisinantes, autres infrastructures liées au barrages : écoles, dispensaires, crédits bancaires, etc.) ?

- Quel est le profil du pêcheur ? Quels circuits de commercialisation se sont formés ? Dans la mesure du possible on essaiera de chiffrer les activités.

GRAND PROGRAMME "PETITS BARRAGES"
ORSTOM - DEC

**PROJET DE RECHERCHE SUR LA PÊCHE ET L'AQUACULTURE
DANS LES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN**

**- Caractérisation de leur fonctionnement limnologique et écologique,
utilisation productive et impact socio-économique -**

RAPPORT DE MISSION

(1ère Partie: 2-19 mars 1994)

**Visite de prospection dans les institutions et sur les açudes des états
du Pernambouc (PE), Ceara (CE), Paraíba (PB) et Rio grande do Norte (RN)**

Mission de Xavier Lazzaro

Participants du Projet: Jean Pierre Carmouze (DEC)
Catherine Aubertin (SUD)
Olga Odinetz (DEC)
Michel Jégu (DEC)
Xavier Lazzaro (DEC)

RAPPORT DE MISSION, PARTIE I (2-19 mars 1994)
Visite de prospection aux institutions et açudes des états
du Pernambouc (PE), Céara (CE), Paraíba (PB) et Rio Grande do Norte (RN)

Xavier Lazzaro (DEC)

1. OBJECTIFS DE LA MISSION

Les trois objectifs de la première partie de cette mission (2-19 mars) concernent les **aspect développement/valorisation du projet au niveau de la population locale, en particulier les petits producteurs ruraux**:

- Avoir une **vision à l'échelle du Nordeste de la diversité régionale des potentialités qu'offrent la pisciculture et la pêche dans les petits açudes** (encore peu explorées), par rapport aux résultats obtenus par la pêche en grands açudes publics.
- Mieux définir les **contraintes techniques, sociales et économiques de mise en valeur de la pêche en grands açudes et de la pisciculture semi-intensive en petits açudes**, en tant qu'alternatives aux activités agro-pastorales dominantes.
- Identifier des **sites pilotes** - de préférence dans plusieurs états - pour la mise en place d'expérimentations de production, ainsi que des **partenaires institutionnels** susceptibles d'intervenir à différents niveaux du projet de développement, en relation avec les aspects académiques développés en collaboration avec l'UFRPE.

Les informations recueillies et les propositions qui en émanent ont été présentées et discutées au cours de la 2ème partie de cette mission du 20 au 28 mars. Pendant cette période, des réunions et des visites de terrain ont eu lieu entre les participants ORSTOM (CARMOUZE, AUBERTIN, ODINETZ-COLLART, JEGU, LAZZARO) et nos partenaires du Dept. des Pêches de l'UFRPE, en vue de l'élaboration de notre projet de recherche et des termes de la convention avec le CNPq. Ce projet prend en compte à la fois les aspects académiques (recherche, formation) et de développement/valorisation (propositions techniques, extension aux petits producteurs ruraux).

2. CHRONOGRAMME

- Mardi 1^{er}:
 - vol Air Inter, départ Montpellier 18h45, arrivée Roissy 19h15
 - vol Varig, départ Roissy 22h20, arrivée Récife (via Rio) 11h30 le 2
- Jeudi 3:
 - vol Varig, départ Récife 14h30, arrivée Pétrolina 17h00
- Vendredi 4:
 - bus Gontijo, départ Pétrolina 22h00, arrivée Taua 6h30 le 5
- Dimanche 6:
 - bus Redentora, départ Taua 23h00, arrivée Fortaleza 5h15 le 7
- Jeudi 10:
 - vol Varig, départ Fortaleza 6h00, arrivée Récife 7h15
 - bus Boa Vista, départ Récife 11h30, arrivée João Pessoa 13h30
- Dimanche 13:
 - location voiture Localiza (la veille), départ João Pessoa 4h00, arrivée Caicó (via Campina Grande) 11h30
 - voiture, départ Caicó 14h30, arrivée Aéroport de Récife 21h30, via Campina Grande, distance totale parcourue 900 km
- Mercredi 16:
 - vol Varig, départ Récife 7h45, arrivée São Paulo 11h30
- Vendredi 18:
 - vol Varig, départ São Paulo 9h15, arrivée Brasilia 11h00
- Samedi 19:
 - vol Varig, départ Brasilia 19h45, arrivée Récife 22h30

3. VISITES ET CONTACTS ¹

¹ Les visites et contacts à Récife, Pétrolina et Juazeiro ont été effectués en commun avec Eric SABOURIN et ceux de Taua et Fortaleza avec Rémy TRIER.

L'organisation de cette première partie de la mission a été élaborée au cours d'une série de discussions avec François MOLLE (ex-CIRAD, Projet TAPI/ORSTOM/SUDENE, maintenant ORSTOM/MAA) au Centre ORSTOM de Montpellier. Sa vaste expérience de terrain dans le Projet Açudes antérieur (volet hydrologie-pédologie), ses suggestions et recommandations ont été décisifs pour le choix des institutions et des sites. Le succès du déroulement de cette mission est dû à l'appui logistique, aux conseils et aux contacts pris sur place par Eric SABOURIN (ex-MAE, Projet TAPI/ORSTOM/SUDENE, actuellement CIRAD/EMBRAPA-CPATSA, Projet UPPA à Pétrolina, PE) et Rémy TRIER (VSN, MAE/ESPLAR, Projet Gestion des Ressources en Eau, à Taua, CE).

RÉCIFE (PE)

Accueil à l'Aéroport & préparation de mission (2/3, après-midi) accueil et prise en charge par Eric SABOURIN:

- Coups de fil à Rémy TRIER pour prise de contacts et rendez-vous à Taua,
- Prise de rendez-vous avec l'IBAMA-GTZ, la FUNCEME, l'ESPLAR et le DNOCS de Fortaleza.

Visite à la SUDENE (3/3, 9h30-11h30):

- Visite rapide aux différents services où ont travaillé François MOLLE, Eric CADIER et Eric SABOURIN. Cela nous a malheureusement permis de constater l'état de démantèlement atteint par cet organisme (départ de fonctionnaires non remplacés, carence de moyens matériels).
- Contact avec le Dr. Valdemar de ARAUJO (responsable du Service d'Hydrométéorologie de la DPG/PRN/HME). Faute de moyens de fonctionnement et suite aux lenteurs administratives, des manuscrits ORSTOM/SUDENE sont en attente de publication depuis plusieurs années: F. MOLLE 1991 (Marcos Historicos; Geometria dos Pequenos Açudes), M. MOLINIER & E. CADIER 1992 (Análise da Pluviometria e dos Isoietas Homogeneizados do Nordeste), et F.R. DOHERTY, P.F. ARAUJO FILHO & E. CADIER 1992 (Modelização Hidrológica das Pequenas Bacias do Nordeste Brasileiro). M. ARAUJO nous a assuré que le financement (~30 KF) sera débloqué cette année. Par ailleurs, il nous a informé que le suivi des açudes par imagerie satellitaire était assuré par la SCT, l'INPE et la FUNCEME, et qu'un SIG (système d'informations géographiques) sur le Nordeste était (sous réserve) en cours d'élaboration par l'IBGE.

PÉTROLINA (PE) - JUAZEIRO (BA)

Vol Recife->Pétrolina en commun avec Jean-Claude LEPRUN (hydro-pédologue DEC): discussion sur les 30 ans de l'ORSTOM au Brésil et les perspectives du nouveau projet açudes dans le Nordeste. Rencontre rapide avec RICHÉ (pédologue DEC) et FOTIUS (botaniste) à l'aéroport de Pétrolina.

Discussions (3/3, soirée) avec Eric SABOURIN et Patrick CARON (CIRAD/EMBRAPA-CPATSA, Projet Caprin), chez ce dernier. Prise de rendez-vous avec la CODEVASF. Contacts téléphoniques avec des privés lancés dans la pisciculture ou l'élevage de crevettes d'eau douce. Toutes les entreprises arrêtées pour différentes raisons: (1) impossibilité de rembourser les prêts, (2) manque d'eau dans l'açude, ou (3) le plus souvent, il ne s'agit que d'une opération financière pour obtenir un prêt élevé à un taux intéressant (ex. le 'japonais' de la Fazenda Correnteza).

Visite de la Station de Pisciculture de Bebedouro, gérée par la CODEVASF de Pétrolina (4/3, 7h30-12h), prise en charge par MM. NATANAEL et ABEL (techniciens de la station) dans une voiture de la CODEVASF (~50 km de Pétrolina). Visite guidée de la station implantée sur un périmètre irrigué du DNOCS. Installations: 4 bacs carrelés (~2 m³) pour les opérations de ponte artificielle (hypophysation), hangar pour l'incubation des oeufs et l'élevage des larves; eau pompée du São Francisco et distribuée par gravité à la station et au périmètre irrigué. Sur une vingtaine d'étangs (surfaces 1 et 0,5 ha), seuls quatre sont en fonctionnement actuellement, suite à des restrictions prises par la Direction de la CODEVASF. En effet, seule la production d'alevins d'espèces natives comme le curimatá et le piau (piscivore) est autorisée. Elle ne peut servir qu'à l'empoisonnement des açudes de la vallée du São Francisco. La production de tambaqui, carpe commune, etc. est interdite. En

conséquence, mais aussi par suite du manque de personnel (2 techniciens + 5 employés), la station ne fonctionne qu'au 1/3 de son niveau de production normal et seulement pendant 6 mois de l'année (au cours de la période de reproduction des espèces de 'piracema'). Le reste du temps, les techniciens mettent leur compétence au profit des privés (sous formes d'expertises).

Il a encore quelques années, la station produisait de nombreuses espèces exotiques, parmi lesquelles: le bagre africain (*Clarias* sp., étudié en Hongrie et introduit dans le Nordeste en 1982-1984), le tambaqui, le pacu do Araguay (Mato-Grosso; peut atteindre 18-20 kg), les carpes commune (Israël), 'capim', 'cabeza grande', argentée, le piau, le curimatá, le curimatá-piau, le curimatá-pacu, le tambaqui, ainsi que des espèces du São Francisco: le 'surubi' (mais problèmes dans l'alimentation des larves), le 'dourado' (difficile), le 'matricha', le 'pacamba'. Actuellement, le 'tucunaré' (piscivore) domine les açudes. Les rations utilisées à la station sont à base de maïs. La production y a atteint 7 millions d'alevins/an, mais cette année elle en a produit moins de 2 millions. Les deux techniciens préconisent deux domaines d'études prioritaires: le **fonctionnement et l'amélioration des techniques d'empoissonnement en açudes**, et les **facteurs de contrôle du rendement de la pêche**.

Plusieurs **aquaculteurs privés** se sont installés dans la région, en particulier:

- le 'japonais' de la Fazenda Correnteza et la Fazenda Bergamo rachetée par un italien, Dominico VANUCCI. La crevetticulture du 'japonais', installée à 20 km du Barrage de Sobradinho, compte 33 ha de miroir d'eau (surface impressionnante!), mais sa production serait actuellement arrêtée à cause de la sécheresse. Les espèces élevées étaient *Macrobrachyum rosebergi*, *M. acanturus*, et *M. carcinus* (dit 'pitu').
- le Projet Nilo-Cuelho: élevage de tambaqui et de bagre (mais pas sûr qu'il fonctionne encore).
- la Station de pisciculture de la Fazenda Milano (en plus de sa production vinicole, fameuse dans la région).
- l'entreprise AGROVALE de Juazeiro.

Visite à la CODEVASF de Juazeiro (4/3, 16h30-18h): contact téléphonique préalable avec la Dra. Maria da PAZ (Responsable Aquaculture), que nous n'avons pu rencontrer, car souffrante. La station produit 1,7 million d'alevins pour l'empoissonnement de 29 açudes publics. La Dra. da PAZ nous indique les problèmes liés à l'élevage des revettes d'eau douce dans le Nordeste:

- le problème du marché rendant difficile la commercialisation (produit haut de gamme, prix non abordable pour les populations pauvres; pas d'habitude alimentaire dans l'intérieur),
- le problème technique de la production de post-larves (taux de mortalité élevé, difficulté à reconstituer les stocks),
- le coût élevé des rations.

Tous les projets de crevetticulture sont arrêtés ou mort-nés. Seul le 'japonais' aurait encore une production sur 2 bassins (~3 ha), mais avec beaucoup de difficulté (pour justifier l'emprun). Des privés de Juazeiro ont ouvert un labo pour produire des larves, en attendant la mise en route d'un grand projet FAO-CODEVASF, qui n'est encore jamais venu. Une seule entreprise produirait avec succès des crevettes dans l'Etat d'Alagoas, grâce à une 'méthode israélienne', qu'elle ne veut pas divulguer.

Rencontre avec le Dr. Paulo RODÃO (technicien sur poisson/crevette), à son bureau. Discussion sur les causes de la récession de l'élevage des crevettes de Malaisie (*Macrobrachyum rosebergi*) qui, par le passé, était organisé autour d'une association comptant 22 entreprises. Trois problèmes majeurs:

- Il n'existe pas de ration équilibrée pour l'alimentation à un coût compatible avec les moyens économiques des producteurs du Nordeste. Le plus souvent un aliment à base de poulet et de poisson est utilisé.
- Problèmes techniques de filtration et d'oxygénation de l'eau, compte tenu d'une ressource hydrique limitée. Pour donner une idée: une biomasse de crevettes de 300 kg sur 0,5 ha de miroir d'eau nécessite une oxygénation importante (3-5 % de renouvellement d'eau quotidien) pour éviter l'émergence de blooms algaux.
- Problèmes écologiques en açudes liés à la compétition (ex. avec le 'lambari') et de prédation (poissons: traíra, piranha; oiseau: 'mergulhão').
- Absence de marché et de filières (pas d'installations frigorifiques, de conditionnements (emballages) adéquates).

Le plus gros centre de consommation est Salvador (7-8 h de voyage). La production moyenne est de 1.800 kg/ha/8 mois avec le 'système Hawaïen' de capture sélective d'individus > 35 g (maille) afin

de réduire le cannibalisme. Les post-larves sont produites dans le Rio Grande do Norte, l'Alagoas, à João Pessoa et à l'IPA du Pernambouc.

Discussion sur les expériences de polyculture de poissons:

- système carpe argentée + carpe à grosse tête + porcs (60/ha de miroir d'eau)
- résultats fantastiques avec le système carpe chinoise + tilapia du Nil + carpe commune + curimatá avec 4,8 t/ha/8 mois, en bassins de terre de 1,0-1,5 ha.

Dans les années 84-85, il y a eu un engouement pour le grossissement du bagre africain en açudes (importé d'Afrique, via la Hongrie); depuis quelques années son empoissonnement est interdit par l'IBAMA. Son ennemi naturel est le piranha.

Rendement de la pêche sur le Réservoir de Sobradinho, qui compte 362 km de côte. Il a atteint 29.000 t de poissons/an, mais actuellement n'est que de 4.500 t/an. L'amplitude des variations du niveau d'eau atteint 20 m. La culture de 2.500-3.000 ha d'oignons nécessite un enrichissement du sol en N-P-K. Le suivi de la pêche professionnelle, qui incombe à la BAHIAPESCA, n'est actuellement pas effectué.

Discussions (4/3, soirée) avec E. SABOURIN et P. CARON sur les techniques de conservation du poisson (processus artisanaux et traditionnels, ex. salage) et les équipes impliquées (NUPPA/UFPB à João Pessoa, Dept. Nutrition/UFPE à Recife). Possibilités de coopération sur un projet de recherche appliquée au conditionnement du poisson: (1) identification des pratiques traditionnelles, (2) contrôle de la qualité des produits, et (3) introduction d'innovations (poissons d'açudes, 'carne de sol'; processus de Deshydratation & Imprégnation par Immersion' (D2I), voir Antoine COLLIGNAN, CIRAD/SAR de Montpellier).

TAUA (CE)

Visite à l'Association pour le Développement Educatif et Culturel (ADEC) (5/3, 10h-10h30): contact rapide avec Manoel Loiola de SENA, son président. Cette association réunit les artisans de Taua sur différentes activités (cardage du coton, travail du cuir, etc.)

Visite au Syndicat des Travailleurs Ruraux (STR) de Taua (5/3, 11h-12h): contact avec Joaquim RODRIGUES Filho, son président. Constatation: suite à trois années de sécheresse, les poissons ont disparu des petits açudes. L'expérience d'"Abobora" en bassins d'élevage intégré de tilapia, curimatá, carpe commune et porcs a eu du succès en 1989-1990 (années de faible pluviosité): 5 projets ont été mis en place par l'EMATER, en accord et avec la participation des petits producteurs locaux. Comme le municipe consomme peu, les années de forte production piscicole, le poisson est commercialisé à Fortaleza. Le problème majeur est que les pêcheurs ont un contrat d'exclusivité avec un commerçant ('atravessador') qui, le plus souvent est propriétaire des filets et des canots. Les pêcheurs exploités économiquement par l'atravessador (bénéfice jusqu'à 1.000 % sur le prix du kg) vivent dans des conditions d'extrême dénuement, sans aucune possibilité d'investissement. La consommation la plus importante concerne le tilapia, le curimatá et la traíra (pour les plus pauvres). Aucun açude de Taua n'est enregistré sur le cadastre comme communautaire (seule exception, l'açude de Massapé, construit et géré par 13 familles (initialement, 25). Par expérience, il est plus facile de travailler au niveau d'une famille, que d'une communauté. Une idée réalisable: associer un projet de pisciculture pour petits producteurs ruraux à un programme d'aide alimentaire aux écoles ('merenda escolar').

Visite de l'Açude Trici (5/3, 13h30-17h30): Volume maxi de l'açude 16,37 millions de m³. Discussion avec des pêcheurs du campement sur les rendements de la pêche et les prix de vente. Quelques chiffres: en moyenne, production de ~50 kg poisson/pêcheur/jour, 1.000 kg/semaine/8 pêcheurs, communauté de 30 pêcheurs, prix d'achat par l'atravessador ~80 Cr\$/kg, prix de vente pratiqué par l'atravessador à Recife 400-500 Cr\$/kg (voir plus pour les grands tilapias)... soit 500-600 % de gain. Conservation du poisson très précaire et aspect sanitaire douteux. Les poissons non eviscérés sont disposés sur une barre de glace, dans du papier journal, à l'intérieur d'une caisse en bois ou d'un vieux congélateur hors d'état de marche (pas d'électricité sur le site) d'une contenance de 0,5 à 1 m³. Cette caisse est recouverte d'un plastique noir et disposée à l'ombre (relative) de palmes. Le stockage du poisson dure jusqu'au vendredi, où il est transporté pour Fortaleza en camion bâché. Poissons examinés: en majorité, tilapia

et curimatá de 15-20 cm. Quelques poissons séchés sur place et vendus ~1.000 Cr\$/kg à Fortaleza. Il est surprenant de constater qu'il n'existe aucune commercialisation localement et que le poisson d'açudes est vendu dans les grandes métropoles côtières où il rentre en compétition avec le poisson marin, sans doute beaucoup plus frais et plus apprécié. Le pouvoir d'achat en moyenne plus élevé des consommateurs urbains justifie peut-être ce choix.

Visite de l'Açude Favelas (6/3, 8h30-13h): Contact sur place avec AGENOR (technicien du DNOCS, responsable de la fiscalisation) et RAIMUNDO. L'açude a été construit en 1987, mais il n'a déversé qu'une seule fois en 1989, et jamais plus depuis! Sa conductivité est très élevée: Rémy mesure 5.000 μSi le long de la berge du campement de pêcheurs ainsi qu'au pied de la vanne du barrage. Une communauté de 50 pêcheurs permanents s'est installée sur cet açude. Les poissons dominants sont le tilapia et le curimatá. Les pêcheurs préfèrent la 'pescada', mais ils n'en pêchent plus depuis 2-3 ans. De plus, la Station d'Ico n'en produit plus pour l'empoisonnement. Il y a aussi des sardines, mais leur pêche est interdite. Nous avons constaté la présence de restes de nombreux 'cascudos' sur la plage. Dans le groupe, un pêcheur de crevettes. Celles-ci sont communément et par erreur appelées 'pitu'; en fait, il s'agit de l'espèce 'canaleta' introduite d'Amazonie par le DNOCS dans les années 50. Le pêcheur nous a montré un sac (~3 L) de crevettes qu'il décortique lui-même et préserve sur de la glace; elles aussi sont destinées à la vente à Fortaleza. Pour leur capture, il utilise des nasses cylindriques réalisées avec des petites baguettes de bois. Il en possède 60 au total, qu'il immerge pour une nuit à 50-100 m du rivage à ~1 m de profondeur, le long d'une corde tendue entre les troncs d'arbres qui se dressent encore dans l'açude. L'appât utilisé est une boule ($\varnothing = 3-4$ cm) confectionnée à base d'enveloppes de grains de riz. Par ailleurs, les pêcheurs de l'açude Oros viennent occasionnellement pêcher à Favelas. Ils peuvent capturer des crevettes jusqu'à concurrence de 60 sacs de 6 kg/jour. Les pêcheurs de Favelas vivent dans des conditions misérables (hutes en branchages et boue séchée, toits de palmes), sans aucune condition d'hygiène. Comme pour Trici, le poisson de Favelas est vendu à Fortaleza (300-400 Cr\$/kg), mais ce sont les pêcheurs eux-mêmes qui affrètent un camion chaque semaine (coût aller/retour 200.000 Cr\$, c-a-d ~ 2.000 F). Pour profiter du camion vide au retour, ils ramènent des barres de glaces, moins chères à Fortaleza; il y a pourtant une fabrique de glace à Taua. Seulement une très faible partie de la pêche est vendue sur Taua, et toujours par l'intermédiaire d'un 'atravessador', le même qu'à Trici. Celui-ci achète le poisson à 80 Cr\$/kg. Cependant, au restaurant de Taua, chaque tilapia grillé (~20 cm) est vendu 100 Cr\$. Les pêcheurs utilisent des filets dormants de 3 brasses de profondeur qu'ils posent de 18h à 6 h. Comme les arbres n'ont pas été coupés avant la mise en eau de l'açude, les pêcheurs sont souvent obligés de plonger pour récupérer les poissons et dégager les filets pris dans les enchevêtrements de branchages qui couvrent encore le fond. Le volume de l'açude a atteint un maximum de 30,1 millions de m^3 en 1990, mais actuellement il n'en représente que moins de 10 %!

Visite de l'Açude Varzea do Boi et la Station de Pisciculture du CEDAP (6/3, 14h-18h): Paulo CIDRÃO, technicien du CEDAP, nous accompagne. Cet açude a été construit en 1958 dans le cadre du 1^{er} grand programme d'urgence ('bataillon'). D'un maximum de 52 millions de m^3 , le volume de l'açude est actuellement inférieur au volume mort qui est de 3,3 millions de m^3 . A cause de la sécheresse des trois dernières années, la station est fermée depuis janvier 1993 et les géniteurs ont été expédiés sur la station d'Ico. La station compte 6 bassins d'environ 0,5 ha et 6 bassins supplémentaires en construction (abandonnés faute de moyens), une unité de filtre à sable et un bâtiment pour la reproduction induite par hypophysation. Elle produisait des carpes, tambaqui, pescada et tilapias.

FORTALEZA (CE)

Visite à l'Administration Centrale du DNOCS (7/3, 9h30-12h30): Prise de contact avec le Dr. José Napoleão de CARVALHO, Directeur du Secteur Pisciculture, et le Dr. Helio RESENDE de MELO, son adjoint. Le Dr. de CARVALHO nous rappelle que:

- le DNOCS a 60 ans d'expérience en pisciculture dans le Nordeste, dans les domaines de la recherche appliquée, la production d'alevins et la fiscalisation de la pêche,
- la plupart des études du DNOCS ont été réalisées en collaboration avec les universités, l'IBAMA, la GTZ, le CEDAP, etc.

- le DNOCS de Fortaleza gère 49 açudes publics au Céara.

Suite à mon exposé rapide des objectifs de notre projet avec l'UFRPE, nos interlocuteurs montrent beaucoup d'intérêt et expriment leur volonté d'y collaborer, en mettant à notre disposition les moyens du DNOCS, en particulier l'équipe technique et l'infrastructure de leur Station Expérimentale de Pentecoste. Le Dr. de CARVALHO insiste sur l'importance de développer des opérations de recherche et développement sur la région de Taua, compte tenu de son intense sécheresse et de l'extrême carence de sa population pauvre. Les espèces les mieux étudiées sont le curimatá, le tilapia, le tambaqui et le pirapitinga (ces 2 dernières espèces ne se reproduisent pas naturellement en açudes), mais l'intérêt devrait maintenant aussi se porter sur le tucunaré. Il y a 60 ans, les espèces dominantes étaient le curimatá, la traíra et la pescada do piauí. Maintenant, plus de 75 % de la production totale de la pêche en açudes sont représentés par les espèces introduites par le DNOCS. Selon le Dr. de CARVALHO, ce résultat est une preuve indirecte de la contribution significative de l'empoisonnement à l'augmentation du rendement de la pêche. Cependant, ce résultat ne peut palier le manque de suivi des conditions techniques permettant le succès de cette pratique. Actuellement, les 7 stations de pisciculture du DNOCS (plus cinq autres prévues) assurent une production de ~20 millions d'alevins. Cette année, compte tenu de l'assèchement de nombreux açudes après 3 années de sécheresse extrême, la demande en alevins pourrait bien dépasser les capacités de production, surtout si une partie importante de l'initiative privée se lance dans la pisciculture intensive. Selon le Dr. de CARVALHO, les thèmes prioritaires en recherche appliquée sont:

- la pisciculture en cages flottantes ('gaíolas'): elle pose le problème de la surveillance, particulièrement en açudes publics,
- la polyculture en bassins ('viveros'): des projets pilotes ont déjà été réalisés en cages flottantes,
- la pisciculture semi-intensive en petits açudes, comme celle préconisée dans le Manuel du Petit Açude; le problème est l'impossibilité de contrôler la dynamique des populations naturelles de poissons, quand ces açudes sont alimentés par des cours d'eau temporaires ('riachos'),
- la promotion de l'élevage de poissons par l'initiative privée (petits producteurs, fazenderos), compte tenu d'une situation économique particulièrement favorable: le DNOCS vend ses alevins à un prix très bas (~ 2 Cr\$/100), bien inférieur au coût de production.

Il existe un bon potentiel de production pour la piaba (*Astyanax* sp.), la sardine et 2 espèces de crevettes ('géante de Malaisie' = *M. rosenbergi* et 'canaleta' d'Amazonie). Il serait possible d'utiliser des produits chimiques, comme le 'timbo' et la roténone, pour éliminer les poissons piscivores avant empoisonnement des petits açudes; cependant, la situation est confuse concernant l'utilisation de ces produits. En effet, pour ce qui est du 'timbo', composé ichthyotoxique naturel utilisé pour la pêche par les indiens d'Amazonie, le piranha est l'espèce la plus sensible; mais l'IBAMA a interdit l'exploration et la culture des plantes qui servent à sa fabrication. La roténone est, quant à elle, un produit de synthèse dont l'utilisation est aussi réglementée et d'un coût prohibitif pour une utilisation autre que pour la recherche: le fabricant brésilien ayant été contraint d'arrêter sa production, le produit est le plus souvent importé des USA.

La production naturelle moyenne dans les 100 açudes publics du Nordeste contrôlés par le DNOCS est de 122 kg/ha et 14.000 t/an. Le problème majeur qui limite cette production est le manque de motivation de l'initiative privée. Le DNOCS n'a actuellement pas les moyens d'augmenter la diffusion de ses travaux en technologie piscicole (rapports, 'Boletim Técnico', brochures, livres) qui est devenue insuffisante. L'un des volets de notre projet pourrait être de compléter l'expérience et les propositions techniques du DNOCS et de contribuer à leur valorisation (conférences, documents papier, vidéos, etc.). En effet, le DNOCS est en phase de restructuration: son personnel technique a vieilli et aurait besoin d'être renouvelé (aucun concours depuis 5 ans). Le DNOCS voudrait développer des échanges technico-scientifiques avec des partenaires étrangers et promouvoir des séjours dans son Centre de Pentecoste pour des chercheurs seniors, afin de relancer les expérimentations. Le Centre maintient une coopération avec le gouvernement Hongrois et a eu par le passé une convention avec l'Université d'Alabama. Il bénéficie d'une très bonne infrastructure (bassins, labos, amphithéâtre, etc.), mais manque maintenant d'équipements de labo, de ressources et de personnel technique. Notre visite y est prévue pour le lendemain.

Visite à l'IBAMA, Secteur Agriculture, Projet PAPEC (7/3, 14h-17h): contact avec les Drs. Wagner José de MELO SOARES (ingénieur des Pêches), Nikkel S. CHRISTENSEN (consultant de la GTZ en

Agriculture & Pêche), Bemd MITLEWSKI (consultant en pêche de la GTZ-GOPA, à l'IBAMA de Belem), Glaura BARROS (ingénieur des pêches de l'IBAMA), DEJALNA (ingénieur des Pêches de l'IBAMA); discussion avec José Augusto MEGREROS ARAGÃO (responsable de la Division Pêches), Géovanio MILTON de OLIVEIRA (Chef du CEPENE, Récife) et Cartito MATOS (ingénieur des pêches IBAMA/CE). Ce secteur de l'IBAMA a passé une convention avec la GTZ, le DNOCS et le CEDAP pour un projet de recherche (de 1990 à fin 1995) sur la limnologie et la technologie de la pêche de 10 açudes publics administrés par le DNOCS dans la région nord du Céara (Tianga, Sobral, São Gabriel, Pentecoste, Urururatan, Iraçuba, Umirim, Managuape, Solonopolis, Patu). Les thèmes principaux abordés sont:

- la technologie de pêche du tambaqui (filets spéciaux),
- l'éducation des collectivités rurales aux problèmes de l'environnement ('educação ambiental'),
- le travail d'extension en commun avec les associations de travailleurs ruraux,
- les techniques d'empoisonnement,
- les statistiques de pêche (données de production),
- la diversité spécifique des communautés de poissons (sujet de thèse de Mme Glaura BARROS, à l'UFCE),
- la relation entre coûts et bénéfices de l'empoisonnement (sujet de thèse de M. DEJALNA).

Les variables limnologiques suivies sont: pH, O₂, conductivité, transparence, température, NO₃, NH₄, PO₄P, comptages de phyto et de zooplancton (pompages à différentes profondeurs). Les espèces empoisonnées sont le tilapia du Nil et le tambaqui (tailles > 12 cm en présence de prédateurs, tailles > 5 cm en absence). Le suivi est effectué par l'intermédiaire des statistiques de pêche, complétées actuellement par des pêches expérimentales (utilisation de filets de différentes mailles, travail d'un thésard). Ce projet n'a pas donné lieu à publications.

Des entretiens, il ressort clairement que le groupe de l'IBAMA ne peut s'engager dans de nouveaux travaux collaboratifs avant 1996. Par contre, il me semble indispensable d'harmoniser nos objectifs, nos approches et nos méthodes analytiques avec ceux de l'IBAMA avant le lancement de nos opérations de terrain. Une discussion des résultats majeurs obtenus et des problèmes rencontrés serait même idéale, mais peu être utopique. Il nous est suggéré de prendre contact avec le Dr. Clemson PINHEIRO, directeur de la Station de Pisciculture Paulo Vieras de l'IBAMA à 50 km de Récife. Les domaines prioritaires à développer sont:

- établissement et valorisation des **statistiques de production piscicole des açudes** (établir une méthodologie, des bases de données),
- quantification des **facteurs de contrôle de cette production** (abiotiques et biotiques; technologies de l'empoisonnement et de la pêche), et
- quantification du **rôle et de l'impact des prédateurs** (tucunaré, pescada do piaui, traíra).

En ce qui concerne l'aspect restauration des systèmes urbains dégradés, envisagé dans notre projet, les **lagunes eutrophisées servant à l'alimentation en eau de la ville de Fortaleza**, pourraient se prêter à des expériences de biomanipulation.

Visite à la Station Expérimentale de Pentecoste du DENOCS (8/3, 7h30-13h30) avec le Dr. J.N. de CARVALHO, rencontres avec les Drs. Marcelo FEITAN da VIERA (Responsable Aquaculture), Pedro EYMARD (Responsable du Laboratoire de Limnologie) et Mme Maria do Socorro Chacon de MESQUITA (Responsable du Service de Technologie & Nutrition du Poisson).

Pendant le trajet (véhicule et chauffeur du DNOCS), discussion avec le Dr. de CARVALHO. D'après lui, les espèces à privilégier sont:

- la carpe commune (ponte de juillet à décembre),
- le tilapia du Nil (ces deux espèces à croissance rapide peuvent être utilisées en pisciculture intensive et semi-intensive), et
- le tambaqui se révèle être un prédateur du mollusque hôte intermédiaire du cycle de la bilharziose.

Des études visant à estimer la perte de variabilité génétique des souches de géniteurs ont été réalisées avec le concours du CEPTA (Pirassununga, SP) sur les géniteurs de tilapia et de tambaqui. Elles montrent qu'il n'y a pas encore de problème. L'açude Pentecoste est utilisé pour des usages multiples: irrigation, cultures de décrue ('vazante'), consommation domestique d'eau, pêche, etc. Actuellement son volume ne représente que 10 % du volume maxi (400 millions de m³). La finalité du

Centre Expérimental de Pentecoste est de réaliser des recherches dans le domaine des pêches et de la pisciculture continentales sur l'ensemble de l'aire d'activité du DNOCS. La production d'alevins (3 millions l'an dernier) est utilisée pour l'empoissonnement des açudes publics et privés. L'une des priorités du Centre est la diffusion de technologies par l'intermédiaire de conférences, stages et cours. Le secteur de la pisciculture concerné va de la sélection des reproducteurs, la reproduction artificielle, l'élevage de larves et d'alevins, jusqu'à l'empoissonnement. Le Centre n'effectue pas de suivis de production post-empoissonnement.

Discussion avec le Dr. FEITAN da VIERA. Quelques indications techniques sur l'hypophysation: le prix d'achat de l'extrait d'hypophyse est très élevé (200-300 US\$/g) et il faut en injecter 4-7 mg/kg chez une femelle de tambaqui, contre 4,5 mg/kg chez la carpe. La méthode du sondage (canule humaine) est utilisée pour vérifier au préalable l'état de maturation des ovocytes. Deux injections sont nécessaires. Par exemple, la ponte a lieu ~ 280 h après la première injection chez le tambaqui; une femelle produit ~ 15 % de son poids de corps en oeufs; un kg d'oeufs nécessite 1 cm³ de sperme pour être fécondé; le Centre de Pentecoste maintient un cheptel de 100 géniteurs de tambaqui; une femelle de 10 kg produit ~ 150.000 oeufs (c-a-d, ~ 1,5 kg), dont, en moyenne, 80 % seront fécondés (~ 280.000) et 35 % de ceux-ci (~ 98.000) survivront jusqu'au stade alevins. Dans les açudes publics, il pourrait donc y avoir un problème de réduction de la variabilité génétique chez les populations issues des empoissonnements à partir de cette lignée de géniteurs; ceci reste à vérifier.

Discussion avec le Dr. EYMARD. Le suivi de la qualité d'eau et du plancton en açudes est assuré par l'IBAMA qui a passé une convention avec la GTZ pour étudier 9 açudes du nord du Céara avec une fréquence d'échantillonnage de 3 mois sur la période 1990-1995 (voir plus haut, la visite à l'IBAMA). Pour ce qui est des bassins de pisciculture, les variables limnologiques suivies sont l'O₂, la température, le pH et les teneurs en NO₃ et NH₄. Il faut souvent procéder à des correction de dureté et de conductivité de l'eau (400 à > 1.000 µSi). Le problème majeur est celui de la ponte du tambaqui, difficile à obtenir actuellement (comme pour le pirapitinga et le pacu-curimatá): les ovules sont présents simultanément à des tailles très différentes, sans qu'il se produise de ponte. On suggère que l'une des causes pourrait être l'augmentation de salinité liée à la baisse du niveau d'eau dans l'açude Pentecoste qui alimente en eau les bassins. Deux autres problèmes cruciaux sont l'alimentation adéquate des alevins et l'élimination de leurs prédateurs en bassins. Une substance chimique, le triclorofor, est utilisée à une concentration de 1 ppm pour éliminer les cyclopidés prédateurs. Le macrozooplancton est dominé par des calanides du genre *Diaptomus*. La biomasse de rotifères peut atteindre 5 mL/100 L, mais le taux de survie des alevins de carpes n'est que d'environ 35 %. Certains copépodes sont porteurs de virus qui affectent en particulier la survie des alevins de curimatá. Cette espèce utilise le périphyton toute sa vie, en plus des détritiques et du benthos. Afin de stimuler la croissance du périphyton (dominé par les diatomées) pour l'alimentation des alevins, les bassins reçoivent un enrichissement initial en nutriments suivi d'une période de 30 jours sans renouvellement de leur eau; cela permet également le développement des invertébrés associés (chironomides). Deux bassins sont réservés à l'élevage de tilapias rouges, hybrides de *T. mossambicus* x *T. niloticus* (non commercialisés pour le moment).

Discussion avec la Dra. de SOCORRO et visite du laboratoire de technologie du poisson. Elle nous a démontré la grande variété des modes de conditionnement possibles de la chair de poisson à l'aide de moyens technologiques très rudimentaires: friture, cuisson à l'eau, à la vapeur, salage, filet, 'fishburger', saucisse, ... jusqu'à la réalisation d'articles de maroquinerie avec la peau de tilapia (voir photos). Tout cet univers de pratiques artisanales et d'innovations reste à développer. Le potentiel économique du revenu de ces pratiques depuis le niveau familial jusqu'à celui de l'industrialisation est encore inexploré. Il y a une carence de formations pour des extensionnistes dans ce domaine.

Deux suggestions du Dr. de CARVALHO:

- Valoriser les travaux du DNOCS: à cause du manque de moyens matériels, il y a maintenant un retard d'environ 3 ans dans la publication des résultats d'études limnologiques et de pêches entreprises par le DNOCS.
- Les espèces à privilégier pour la pisciculture sont des espèces à croissance rapide, comme les tilapias et les carpes; les polycultures les plus prometteuses en rendement sont celles de tilapia + carpe, et de tilapia + carpe + tambaqui.

Visite à la FUNCEME, Division de Télédétection (9/3, 8h30-11h15): Discussion avec la Dra. Aparecida

de ZÉ SAMPAIO (ingénieur). La Dra. Gleuba BORGES de CARVALHO, responsable du Service, avec qui j'avais pris contact depuis la France, sur la recommandation du Dr. Mario VALERIO (INPE), était absente; elle participait à Fortaleza au Congrès Latino-Américain sur la Désertification.

La FUNCEME est, pour le Nordeste, l'institution la plus compétente et la mieux équipée dans le domaine de la télédétection appliquée au suivi météorologique et de l'évaluation des ressources hydriques. Elle sert de modèle pour le développement des institutions ('nucleos de meteorologia') des autres états. Ses activités concernent principalement le Céara, mais s'étendent aussi aux autres états, via des contrats, des collaborations, des formations professionnelles, des transferts de technologies.

La Division de Télédétection de la FUNCEME réalise l'inventaire des açudes du Céara dont la taille des miroirs d'eau est supérieure à 5 ha. Un premier inventaire a déjà été réalisé à partir de photos papier d'images Landsat TM (bandes 3, 4 et 5, en compositions colorées) de 1985 au 1:250.000. L'actualisation est actuellement en cours à partir de photos noir&blanc d'images de 1990 au 1:100.000. La période idéale utilisée pour les images (faible nébulosité, période sèche avancée) est le mois d'août. Cette actualisation sera terminée en fin d'année. La FUNCEME a une convention avec l'IBAMA pour cartographier la végétation: les données sont transférées à la FUNCEME qui actualise les miroirs d'eau. Le laboratoire de télédétection de la FUNCEME possède des équipements informatiques similaires à ceux du Laboratoire de Télédétection de l'ORSTOM de Montpellier: deux SUN SPARC Station 1+, plus quatre micro GATEWAY 2000 486/33c; par contre, il utilise les SIG mis au point par l'INPE. La FUNCEME dispose en fait de peu de moyens pour la diffusion large de ses travaux. C'est le Ministère de l'environnement qui fournit les moyens à l'IBAMA et la CODEVASF; au Ministère, le responsable pour les questions de télédétection est le Dr. Waugran Soares GALVÃO, géologue. Nous avons eu l'opportunité d'examiner les cartes réalisées, en particulier sur le municipe de Tauga que nous venons de visiter. Si les limites des açudes < 5 ha ne sont pas dessinées, en revanche la position de leur barrage (mur de terre) est indiquée. Nous avons donc discuter des moyens matériels et humains nécessaires pour inventorier les petits miroirs d'eau.

Pour ce qui est de la formation professionnelle et de la réalisation de travaux sous contrat, la FUNCEME - dont les ressources humaines sont limitées - a passé une convention avec le CNPq qui fournit des bourses RHAÉ à des stagiaires (aspect délicat: le montant de ces bourses est supérieur à celui du salaire des fonctionnaires de la FUNCEME). L'octroi de ces bourses dépend à la fois de l'intérêt de la FUNCEME et d'un quota annuel fixé par le CNPq. Le fait que notre projet avec l'UFRPE soit financé par le CNPq, pourrait donc faciliter l'octroi d'une ou plusieurs bourses pour réaliser les inventaires d'açudes sur les municipes choisis dans le Pernambouc. L'institution partenaire à contacter à Recife est le LAMEPE qui dépend du SAGRI (Secrétariat de l'Agriculture du PE). Pour les aspects évaluation de qualité de l'eau par images satellites, contacter la Dra. Evelyn NOVO, à l'INPE, ainsi que la SEMACE (SuperIntendance de l'Environnement de l'Etat du Ceará) qui effectue le suivi de la qualité des eaux (aspects sanitaires, préservation, contrôle de pollutions, etc.).

Visite à l'ESPLAR (9/3, 11h30-13h): Discussion avec le Dr. Eduardo MARTINS BARBOSA, Directeur des Programmes; était aussi présent le Dr. Pedro JORGE, Président. Tout d'abord, Rémy fait le résumé de nos visites à Tauga et Fortaleza. Le Dr. MARTINS nous dresse un bilan et les perspectives des expériences de partenariat de l'ESPLAR avec le MAE et le CIRAD. L'ESPLAR met en oeuvre des projets de développement agricole et d'élevage avec l'appui des organismes de coopération. Le municipe de Tauga représente à la fois une base de recherches (site pilote) et un lieu d'expérimentation privilégié depuis plusieurs années. L'ESPLAR mène des négociations avec les propriétaires et forme des extensionnistes. Son champ d'activités couvre les aspects sociaux et économiques d'exploitation des ressources naturelles et d'impacts de cette exploitation sur l'environnement. Ses objectifs servent d'appui à l'élaboration d'une politique gouvernementale, en orientant des actions de développement en fonction d'une proposition technique développée par un organisme de recherche (ex. CIRAD ou ORSTOM). En respectant leur légitimité, les expériences acquises sont transférées à d'autres Etats, par l'intermédiaire des préfectures et de programmes plus amples.

L'ESPLAR a une expérience de travail sur la caractérisation des communautés de pêcheurs, qu'il s'agisse de pêcheurs sur les grands açudes publics (ex. étude des açudes Pereira de Miranda et Caxitoré: ESPLAR 1991) ou de petits agriculteurs sur les petits açudes (ex. la collaboration à Tauga entre l'ESPLAR et le MAE, via Remy TRIER). Actuellement, l'ESPLAR a une convention avec l'IBAMA pour réaliser une évaluation socio-économique du système pêche à Pentecoste (région de la

station expérimentale du DNOCS, près de Recife). Le Secrétariat de Sciences et Technologies du Ceará (SECITECE) contribue également au financement de ce étude. Schématiquement, on peut distinguer **trois types de pêcheurs**:

- **les pêcheurs extérieurs** : ils dépendent d'un 'atravessador' - qui leur fournit le camion, la glace, les barques, etc. Ils voyagent dans tout le Nordeste (cas de l'açude public Varzea do Boi à Taua, CE, où les pêcheurs viennent de l'açude Oros),
- **les pêcheurs locaux**: ils dépendent aussi d'un atravessador (ex. cas des açudes publics de Taua),
- **les petits agriculteurs, pour qui la pêche peut être une activité complémentaire de l'agriculture et/ou de l'élevage**: Ce sont souvent des petits agriculteurs affiliés à un syndicat de travailleurs ruraux. Ils peuvent ainsi bénéficier d'un revenu à leur 'retraite' (ex. cas du 'fazendero pescador').

Visite au Service de Documentation de l'Administration Centrale du DNOCS (9/3, 16h-17h): Discussion avec Mme MARFIZA, responsable du service. Une conclusion s'impose, le DNOCS a de plus en plus de **difficultés financières pour éditer sa production scientifique et technique**. Il y a un retard de trois ans dans la publication des numéros du 'Boletim Tecnico', la revue de l'institut. Le Service de Documentation n'a également plus les moyens de s'abonner à des revues extérieures ou d'acheter des livres. Une solution pourrait être l'établissement d'une **bourse d'échanges entre publications du DNOCS et publications d'institutions étrangères**. Mme MARFIZA m'a clairement indiqué l'intérêt de son service pour de tels échanges avec l'ORSTOM. Je me suis donc engagé à discuter cette possibilité auprès de notre Service des Editions. Mme MARFIZA m'a fait don du volume commémoratif des 80 ans du DNOCS qui présente les caractéristiques techniques des grands barrages publics construit par cet organisme dans le Nordeste. Je profite de cette occasion pour faire l'acquisition de tous les volumes/tirés-à-parts disponibles du 'Boletim Tecnico' ainsi que les manuels/brochures concernant les açudes et leur mise en valeur piscicole.

De 17 à 18h, discussion finale avec le Dr. de CARVALHO qui m'a confirmé son intérêt pour le deux problématiques de notre projet: l'évaluation/optimisation d'empeisonnement en grands açudes et la pisciculture plurispécifique semi-intensive en petits açudes non pérennes. Il ma assuré de son appui, de celui de son équipe et de son homologue à Recife. Il regrette que nous n'ayions pas choisi des sites pilotes au Céara, mais souhaite vivement qu'une coopération scientifique et technique puisse s'instaurer entre le DNOCS, l'ORSTOM et le Dept. des Pêches de l'UFRPE (qu'il connaît bien) afin qu'un programme d'envergure régionale puisse être mis en place. Il est disposé à collaborer et propose, en particulier, les moyens logistiques et humains de la Station Expérimentale de Pentecoste.

JOÃO PESSOA (PB)

Visite à l'Université Fédérale de la Paraíba (UFPB) (10/3, 15h-18h): contact avec la Prof. Takako WATANABE, limnologue du Dept. de Systématique & Ecologie, qui a réalisé quelques uns des rares travaux de limnologie sur les açudes du Nordeste. Elle est parfaitement francophone, puisqu'elle a fait il y a 5-6 ans un post doctorat avec les Prof. Jean CAPBLANCQ et Alain DAUTA, à l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Il y a deux ans environ, elle a réalisé une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques de huit petits açudes (barrages de terre) situés le long de la BR 230 entre João Pessoa et Campina Grande: il s'agit de Massangana (municipe de Cruz do Espírito Santo), Café do Vento et Caruçú (Sapé), Vila Nova (Cajá), Ladeira Grande et Chaves (Gurinhém), km 101 et Juarez Távora (Juarez Távora). Elle travaille actuellement sur deux grands açudes (Manuaba, 26.10⁶ m³, et Gramame, 31.10⁶ m³) et sur des açudes de la région agricole de São Gonzalo, près de Souza. Elle encadre huit étudiants sur divers thématiques (physico-chimie, écologie du plancton, prédation des poissons planctophages, techniques d'échantillonnage, écologie du périphyton, décomposition des plantes aquatiques, caractérisation de la qualité des eaux par bioessais, etc.). Elle collabore avec le Dr. Alain PASSERAT-DE-SILANS (enseignant-chercheur français, actuellement et jusqu'en fin d'année à Montpellier, au Lab. d'Hydrologie de l'USTL) sur les problèmes d'évaporation dans les açudes et sa possible réduction par l'utilisation de macrophytes. Nous avons discuté la possibilité d'une coordination de nos travaux sur les açudes du Pernambouc et de la Paraíba, ainsi que celle de collaborer avec Alain sur des expérimentations avec des macrophytes en vue de réduire l'évaporation (suite à discussion déjà engagée à Montpellier).

Discussion rapide avec la Prof. Ierecê Lucena ROSA, sa collègue ichthyologue, qui travaille sur la

caractérisation et l'écologie des communautés de poissons des açudes. Elle devait m'accompagner pour visiter les açudes étudiés par la Prof. WATANABE. Cette visite a dû être annulée à cause de contraintes professionnelles (date limite d'envoi de projets pour le CNPq).

Discussion au Dept. d'Ecologie de l'UFPB avec les étudiants de la Prof. T. WATANABE (11/3, 8h-9h): aspects techniques de la construction d'enceintes en polyéthylène ('enclosures') et d'expérimentations *in situ* sur le fonctionnement des chaînes trophiques pélagiques, en particulier les aspects de prédation/brouillage des poissons sur le plancton. Conseils en fonction de notre expérience sur le réservoir de Broa, à l'Univ. de São Carlos (SP).

Visite à la Fundação Nacional da Saude (FNS) (11/3, 9h30-11h): Sur la suggestion de Mme Laura PASSERAT-DE-SILANS (épouse d'Alain) qui travaille à la FNS sur les vecteurs des maladies transmissibles, discussion avec le Dr. Marcos Soares PORTO - responsable du **Programme de Contrôle de la bilharziose** ('esquistossomose' en portugais) dans la Paraíba, membre du Comité de l'OMS - en compagnie de Ronilson José da PAZ (étudiant de T. WATANABE). Malgré les contraintes de ses obligations professionnelles, le Dr. PORTO prend le temps de nous faire un état des lieux de la maladie dans la Paraíba et un résumé de l'historique et des activités de la FNS.

L'aire d'endémisme couvre le bassin de la Paraíba (18 municipes), Managua (25), le littoral sud (5; le plus peuplé et le plus à risque, en raison de l'origine congolaise dominante de ses populations: pays d'hyperendémisme) et Curimatá (1). Les objectifs de la FNS sont le diagnostic et le traitement précoce. En raison du coût élevé du diagnostic, le palliatif adopté est d'éviter que les individus atteints ne développent les formes graves de la maladie. Donc, le FNS s'investit dans l'éducation de la santé et l'assainissement de base (en fournissant les conditions socio-économiques).

Un rapide historique. Avant le gouvernement COLLOR, il y avait trois organismes chargés du domaine de la santé:

- la **Délégation Fédérale de la Santé**, dépendant du Ministère de la Santé, et assurant la coordination des actions de l'ensemble des organismes,
- la **Fondation CESP**, dont l'action d'assistance était ponctuelle et limitée à quelques municipes (les plus touchés),
- la **SUCAN**, qui réalisait un travail de contrôle des vecteurs de maladies transmissibles en 'réservoirs' (maloma, chagas, peste, placoma, dingue, etc.), sur l'ensemble de l'Etat.

Avec le gouvernement COLLOR, il y a eu fusion de ces organismes. Cette fusion aurait pu être bénéfique si elle avait été planifiée, mais elle a été intempestive et sans études préalables. Il s'en suit une complète désorganisation: la FNS est en pleine restructuration, ses orientations et stratégies sont à redéfinir; en fait, il n'y a pas de nouvelle structure opérationnelle. Les techniciens travaillent à temps complet ('dedicação exclusiva'), sans orientations, mais sous une influence politique forte. Depuis le gouvernement SARNEY, il y a une grande ingérence du pouvoir politique en place, résultant par des licenciements de personnels, remplacements par des politiques (ou parents de politiques) sans formation professionnelle en santé et liés aux intérêts privés: ils s'engagent à 'travailler' pour promouvoir leur candidat. La FNS s'est malheureusement associée à la corruption, ce qui a résulté en une mauvaise impression pour la population. Comme des personnes incompetentes occupent de plus en plus de hautes fonctions en vue d'un seul bénéfice politique, l'esprit de corps qui dominait par le passé a fait place au désintérêt des personnels. Dans la pratique, le système de santé ne progresse pas comme il devrait. Il y a un grave problème d'articulation des actions entre les différents ex-organismes: il n'y a pas d'intégration réelle, ce qui minimise l'impact de toute action engagée. Actuellement, les techniciens offrent leurs services à l'extérieur, en favorisant l'initiative privée, ce qui était inconcevable auparavant.

L'initiative du Programme sur la bilharziose revient dans les années 70 à la vision globale du Prof. Paulo Almada MACHADO, écologue de l'INPA. Il a développé un programme holistique, en mettant l'accent sur l'environnement, en particulier le contrôle des réservoirs, et l'éducation dans le domaine de la santé, dans tous les états du Nordeste. Le résultat le plus concret de ce programme est de s'être étendu à toutes l'aire endémique et d'avoir éradiqué les formes graves de la maladie. Aujourd'hui, le risque d'épidémie de ces formes est extrêmement faible: seulement 12% de la population de l'aire endémique ont la maladie (cela représente environ 1,5 million de personnes). En dehors de l'aire endémique (région côtière), il y a quatre foyers liés à l'usage de l'irrigation

dans l'intérieur de l'Etat: Sumé, Boquerão (9%), Condado (0,2%) et Souza. Dans l'aire endémique, la proportion de la population touchée par la maladie est en régression depuis une quinzaine d'années, comme le montre le tableau suivant:

Année	% malades	Commentaires
< 1977	> 25	50% des municipes avaient > 20% de malades
1977	8,4	Mise en place du programme A. Machado
1985	8,9	Programme interrompu; fonds transférés pour lutter contre une recrudescence de moustiques (<i>Aedes aegypti</i>) vecteurs de la fièvre jaune
1990	12,6	Mise à disposition de nouveaux moyens matériels et humains

Origine de la zone endémique: La zone littorale est endémique parce que l'eau y est plus abondante. A l'origine, ce sont les esclaves noirs venus d'Afrique qui ont amené la maladie. Ils travaillaient dans les plantations de canne à sucre le long du littoral. Son développement n'a atteint des stades graves qu'entre la fin du XIX siècle et le début du XX siècle, lorsque les esclaves se sont réfugiés dans des campements fortifiés appelés 'quilombos' pour résister aux colonisateurs portugais. Le plus fameux est le quilombo dos Palomares dans l'Etat d'Alagoas. Dans ces campements, la maladie a atteint des seuils critiques à cause des fortes densités humaines. L'hôte intermédiaire, le mollusque *Biomphalaria*, se développe en rivières et eaux stagnantes.

Il existe différentes formes de lutte biologique contre le *Biomphalaria*, en particulier l'utilisation d'extraits végétaux, d'autres mollusques, de champignons, de bactéries, et même de poissons malacophages. Il semblerait que des expériences de laboratoire avec un poisson, *Astronotus ocellaris* (?), aient donné des résultats encourageant, mais que l'efficacité d'un tel contrôle n'ai jamais été testé en vraie grandeur sur le terrain.

Les açudes peuvent(pourraient?) favoriser le développement de la bilharziose, mais aussi de la malaria. L'aire endémique de la malaria est également littorale, mais beaucoup plus étroite que celle de la bilharziose. Certains moustiques, comme l'*Anopheles darlingi*, préfèrent l'ombre (végétation, berges), mais d'autres se développent en zones éclairées. Pour leur contrôle biologique, il pourrait être imaginé d'utiliser un compétiteur (poisson?). Dans le Nordeste, il y a un grand nombre de cas observés de maladie (la plupart en provenance d'Amazonie): 69 cas en 1990, 48 cas en 1991, 27 cas en 1993. Dans la Paraíba: 56 cas sur un total de 146 en 1987 et 19 cas sur 150 en 1988, avec tous les foyers dans le littoral sud de l'Etat. Dans le sertão, il est difficile de trouver le vecteur *Anopheles aquasales*; par contre la vulnérabilité est bien supérieure dans l'aire endémique. Cependant, 90% des cas détectés proviennent de l'aire non-endémique.

Discussion au Dept. d'Ecologie de l'UFPA (11/3, 14h30-16h00) avec Bernardo B. do ABIATTY (étudiant de T. WATANABE) sur son sujet de thèse: techniques et plans d'échantillonnage du plancton en estuaires, facteurs de contrôle de sa dynamique, principalement en estuaire. Bernardo est très enthousiaste sur la perspective de développer un cadre théorique pour son étude. Il est déjà particulièrement bien documenté sur le sujet (CJFAS, Science, Hydrobiologia, etc.). Je lui recommande les travaux de Philippe CECCHI sur l'estuaire du Fleuve Sénégal (une copie de sa thèse lui sera envoyée).

Recherche d'une location de voiture (12/3, 9h-11h) pour visiter les sites recommandés par François MOLLE: DNOCS à Caicó, Fazenda de "l'américain" à São Bento, EMATER de Catolé do Rocha. Aucune petite voiture disponible chez les principaux loueurs de João Pessoa; prix exorbitants pour la fin de semaine, compte tenu de la distance à parcourir et du prix du km. Finalement, une petite Uno 1000 est disponible chez Localiza pour moins de 400 F (+ frais d'essence) du samedi 19 h au lundi 8 h (rendue à l'aéroport de Recife). Trop dangereux de prendre la route de nuit, donc circuit limité à Caicó.

Rédaction préliminaire de la 1ère partie du rapport de mission: mise à profit de l'après midi et de la soirée du 12/3.

CAICÓ (RN)

Dimanche 13/3: Journée de conduite et de prise de vues photo sur la diversité des petits açudes. Avec < 5 km² /açude, cette région présente l'une des densités en açudes es plus élevées du Nordeste! Circuit de 900 km en voiture, en partie le long de la BR 230: João Pessoa -> Campina Grande -> Patos -> Caicó -> Campina Grande -> Recife.

Trajet João Pessoa -> Caicó (départ 4h, arrivée midi): Très impressionnant paysage très vallonné: le long de la BR 230, pendant environ 200 km autour de Campina Grande, des dizaines de petits açudes limités par des murs de terre sont visibles simultanément jusqu'à l'horizon. La route située en remblai sert aussi de barrage à des petits açudes. Ils se succèdent de part et d'autre de la route. La distance qui les sépare n'est que de l'ordre du kilomètre. Les dimensions de leurs miroirs d'eau sont très variables (de l'ordre de 1 à 5 ha). Certains sont complètement dépourvus de plantes aquatiques, d'autres sont complètement couverts des lentilles d'eau; entre ces deux extrêmes existent tous les intermédiaires.. Après Campina grande, la sécheresse s'intensifie, en particulier à Soledade et Juazeirinho où les açudes publics de ces municipes sont pratiquement vides. Le long de la route, on croise de longues files d'adultes et d'enfants ramenant des seaux d'eau de l'açude au village. Au bord d'un açude à la sortie de Juazeirinho règne une grande activité: pour leur consommation domestique, des villageois remplissent d'eau les citernes d'une dizaine de charrettes tirées par des ânes...

Visite à Manuel DANTAS (frère de Roberto, le technicien qui travaillait avec François MOLLE) à Caicó. Il confirme que les institutions restées actives sur le municipe sont l'ENATER et le DNOCS, dont la station de pisciculture est encore en fonctionnement. L'açude public Itane est en eau, mais les autres ont séché. Roberto fait actuellement un 'mestrado' à l'USP de Piracicaba.

RÉCIFE (PE)

Discussion avec l'équipe du Dept. des Pêches de l'UFPE: (14/3) Rencontre avec la Dra. de SÁ MARINHO (Directrice du Dept.), le Prof. Ayrton COSTA (limnologue et fondateur du Dept.), la Dra. Rosangela LESSA (océanographe, partenaire de notre collègue ORSTOM de Montpellier, Jean Michel STRETTA, spécialiste TOA de télédétection appliquée aux bancs de thons de l'Atlantique) et la Dra. Lucia (botaniste, phytoplanktonologue). Accueil, visite du Dept. et analyse du plan et du contenu du cours de spécialisation 'Ecologia e Manejo Pesqueiro de Açudes' prévu en fin d'année et auquel nous participerons. Le 15/3, entretien avec le Dr. Pedro Noberto de OLIVEIRA, ingénieur aquaculteur de l'IBAMA à Tamandaré, à propos de l'utilisation de structures flottantes. Recommandation de prendre contact avec la Dra. Claudia CHAMIXAES, du Dept. de Biologie de l'UFPE, spécialiste des algues et du périphyton et représentante de la SBL pour le Nordeste (doctorat à l'UFSCar de São Carlos sous la direction du Dr. Carlos BICUDO). Consultation de bibliographie sur les açudes disponible au Dept.

SÃO PAULO (SP)

Visite à l'INPE de São José dos Campos (16/3, 16h-18h): Discussion avec le Dr. Mario VALERIO, chercheur senior en télédétection. Les Drs. Jener DE MORAES (chercheur du CENA de Piracicaba, qui a effectué un stage au Lab. de Télédétection de l'ORSTOM à Montpellier jusqu'en fin 1993), C. de CARVALHO (FCMRH-Fortaleza) et T. CARDOSO (IBGE-Salvador/SIG Nordeste) m'ont recommandé de le rencontrer pour (1) évaluer le type d'images satellitaires appropriées à un inventaire des petits açudes du Nordeste, ainsi que leur disponibilité, et (2) identifier les institutions concernées et les coopérations à développer.

L'utilisation d'images digitales Landsat TM est le meilleur choix compte tenu de la taille de la zone concernée. Par ailleurs, l'INPE vient seulement de renouveler son contrat avec SPOT qu'il avait interrompu pendant 2 ans. La FUNCEME est l'institution qui a le plus de compétences dans ce domaine et peut offrir des formations et un encadrement technique pour la réalisation du travail. Les bourses RHAÉ du CNPq pour des étudiants de 'mestrado' y sont tout à fait adaptées. On peut chercher des candidats à l'UFPE, et contacter directement la FUNCEME pour des recommandations sur les labos d'accueil, en particulier les groupes de compétence ("nucleos de meteorologia") dans les autres états: pour le Pernambouc, il s'agit du LAMEPE.

Quelques précisions techniques: L'échelle des images papier Landsat (1:100.000), est trop grande

pour le repérage des petits açudes - ce qui explique que la FUNCEME s'arrête aux açudes > 5 ha. Les compositions colorées (canaux 2, 3, 4) permettent d'avoir une idée de la sédimentation (avantage sur le noir & blanc). Par contre, le traitement digital de bandes magnétiques offre beaucoup plus de possibilités. Si la qualité est bonne on peut agrandir l'image jusqu'à 1:25.000. La meilleure option pour repérer l'eau est d'utiliser les canaux 3, 4 et 5. L'INPE a développé le logiciel SPRING sur station UNIX pour l'analyse d'images, ainsi qu'un SIG sur PC. La FUNCEME utilise ce SIG et a la capacité de former des spécialistes. L'idéal est d'établir une coopération technique entre l'UFRPE/ORSTOM et la FUNCEME (via la Dra. Gleuba) pour faire l'acquisition des images auprès de l'INPE et faire effectuer les analyses d'images sur le Pernambouc par une équipe du LAMEPE (boursiers RHAE ou recrutement?). Par la suite, cette étude peut être étendue aux autres états du Nordeste via leur labo de météo respectif (par exemple, celui de Campina Grande pour la Paraíba).

Coût des images et délai d'acquisition:

- Composition colorée papier 1:100.000: 500 US\$/quadrant,
- Bande magnétique 5 canaux: 630 US\$/quadrant,
- Si l'image est disponible à l'INPE, délai de 60-80 jours pour la livraison, sinon pas de prévision.

Le Dr. VALERIO ne connaît pas le prix des images SPOT, par contre il est possible de contacter M. Laurent MARTIN (voir ses coordonnées dans la liste des adresses en annexe), un français qui se charge du contact entre l'INPE, la Société SPOT-Images et l'ESCA, une entreprise privée chargée de la distribution.

Le Dr. VALERIO a prévu de visiter des collègues de Toulouse cette année. Il aimerait bien en profiter pour visiter le Labo de Télédétection du Centre ORSTOM de Montpellier. Je me suis engagé à lui fournir une lettre d'invitation.

Visite au CENA/USP de Piracicaba (17/3, 9h-15h): visites des labos et discussion avec Jener DE MORAES. Nous avons d'abord assisté à la défense de thèse de Mselle Marisa PICCOLO dont le sujet est "Conséquences de la conversion de la forêt en pâturages sur le cycle C, N, P vers l'atmosphère". Ce travail a été réalisé dans une fazenda du Rondônia. Il fait appel à des analyses isotopiques (en particulier des comparaisons de $\delta^{15}\text{N}$ dans le sol et la litière, entre forêts et pâturages, sols tropicaux des régions de Rondônia, Belem et Manaus et des régions tempérées), utilise des modèles mathématiques et un SIG pour les extrapolations régionales. Nous avons ensuite visité le Dr. Luiz Antonio MARTINELLI qui travaille avec le Dr. Bruce FORSBURG (INPA-Manaus) sur l'identification de l'origine du matériel végétal utilisé par les espèces de poissons concernées par les pêcheries commerciales amazoniennes. Leurs principales conclusions sont que (1) les plantes de type C_3 représentent la principale source de carbone (82-98%) pour 34 espèces de poissons, et (2) le phytoplancton est la principale source de carbone pour les characiformes détritiphages d'importance commerciale. Leurs résultats sont fondés sur des analyses de la composition isotopique de la forme stable du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) du phytoplancton, des arbres de la forêt immergée, des macrophytes de types C_3 et C_4 , et du périphyton. De telles analyses pourraient être utiles pour identifier les réseaux trophiques dans les açudes; le CENA pourrait y apporter son appui. Avec Jener, le Dr. MARTINELLI et Marcial BERNOUX (ancien coopérant français recruté au CENA) nous avons ensuite discuté de télédétection, de repérage géographique avec le GPS Magellan 5000Pro et de langages de simulation dynamique (logiciels Stella® et Vensim™).

BRASILIA (DF)

Visite à la Compagnie de Traitement des Eaux de Brasilia (CAESB) (18/3, après-midi): Discussion et visite des expérimentation en cours sur le Lac Paranoa avec mes collègues Fernando STARLING (CAESB) et Mauro RIBEIRO (Réserve Ecologique de l'IBGE). Nous collaborons depuis un certain nombre d'années sur un programme de réhabilitation de la qualité des eaux du Paranoa par des moyens écologiques, appelés "biomanipulations de réseaux trophiques" dans le jargon technique. L'eutrophisation du réservoir d'alimentation en eau de Brasilia continue malgré la mise en service d'unités de traitement tertiaire (élimination du phosphore > 90 % dans les eaux rejetées) dans les deux stations d'épuration. Les fleurs d'eau à cyanophycées persistent. Nous avons en effet diagnostiqué une exaspération du recyclage des nutriments - en particulier le phosphore - due à une biomasse excessive de poissons omnivores détritiphages (de l'ordre de plusieurs tonnes à l'hectare de

tilapias microphages et de carpes benthophages). Des résultats préliminaires de F. STARLING semblent confirmer qu'une réduction de la biomasse piscicole, associée à une modification de sa composition (introduction de carpes argentées) entraîne une réduction des biomasses algales (élimination des cyanophycées et réduction des structures de taille). La caractérisation des peuplements de poissons du réservoirs et des rivières affluentes, ainsi que des relations habitats-poissons, a été réalisée par M. RIBEIRÃO dans le cadre de sa thèse (orientateur Dr. Miguel PETRERE, UNESP) qu'il soutiendra en avril. Son étude fait appel à une approche originale combinant des analyses multivariées et de la modélisation spatiale. Les analyses des conditions sanitaires des communautés de poissons des différents bras du Paranoa sont en cours. Si leurs résultats sont dans les normes pour la consommation, la pêche artisanale pourrait être progressivement libérée dans certaines régions du réservoir. De façon simultanée des moyens de conservations seraient mis en oeuvre ainsi que des circuits de débarquement et de distribution. Cette **opération de réduction de la biomasse piscicole a le double avantage de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux à un très faible coût** (un projet d'installation d'aérateurs a dû être abandonné à cause de son coût prohibitif) et de **procurer une subsistance alimentaire et un revenu additionnel aux populations pauvres installées à la périphérie de la ville.**

Ce type de problématique devrait à mon avis s'inscrire dans le cadre de l'Action Incitative "L'eau dans la ville" du DEC, en plus des opérations concernant l'hydrologie urbaine. Dans le cadre de notre projet de coopération avec l'UFRPE, une **opération de récupération de la qualité biologique des eaux du Réservoir de Tapacura** qui sert d'alimentation pour la ville de Recife pourrait être envisagée. Il existe actuellement une convention entre le Dept. des Pêches de l'UFRPE (Dr. Ayrton COSTA) et la Compagnie de traitement des Eaux de la Ville de Recife (COMPESA) pour une étude de bilan écologique. Malheureusement, ou peut-être plutôt heureusement, le problème d'eutrophisation a disparu momentanément... car le réservoir s'est asséché (voir plus bas le chapitre de propositions et la 2ème partie du rapport). C'est effectivement une solution radicale auquel nous n'avions pas songé!?. Il est par contre probable que les problèmes réapparaîtront avec la remise en eau lors de la saison des pluies.

Visite à Michel MOLINIER, Représentant ORSTOM pour le Brésil (19/3, après-midi): Déjeuner et discussion sur les objectifs, les modalités pratiques et les perspectives de développement régional de notre nouveau programme açudes. Visite de Jean-Loup GUYOT.

4. QUELQUES PROPOSITIONS DE THÈMES & COLLABORATIONS POUR LE PROJET ORSTOM/UFRPE/CNPq (non ordonnées)

Ces propositions ont été prises en compte au cours des entretiens de définition du programme pour le CNPq avec nos partenaires brésiliens de l'UFRPE (voir la 2ème partie du rapport de mission, période du 20 au 30 mars).

Aspects économiques/filières/marché du poisson en petits açudes

- voir la GTZ (cf. le rapport sur la pêche en açudes réalisé par ESPLAR/IBAMA, envoyé par le Dr. E. M. BARBOSA, directeur de l'ESPLAR)
- voir la participation de Catherine AUBERTIN, Dept. SUD (cf. 2ème partie du rapport)

Aspects reproduction/alevinage/pisciculture

- domaine privilégiée de collaboration du CIRAD (cf. discussions préliminaires avec J. LAZARD & J. F. TOURRAND)

Technologie du poisson

- voir le rapport de la GTZ
- Dra. M. S. C. de MESQUITA (DNOCS-Station de Pentecoste)

Production d'alevins pour l'expérimentation et le projet d'extension aux petits producteurs ruraux

- la meilleure possibilité est la Station de Pentecoste du DENOCS; recontacter le Dr. J. N. de CARVALHO, Directeur du Secteur Pisciculture du DNOCS de Fortaleza
- voir aussi le siège de la CODEVASF à Brasilia, discuter avec M. ALBERT

Elevage de crevettes

- analyse des conditions d'élevage en vue d'une amélioration des rendements
- le meilleur site compte tenu des nombreuses expériences de privés dans la région est Pétrolina; voir ABEL, technicien de la Station de la CODEVASF à Pétrolina qui a travaillé sur les crevettes à Rio de Janeiro

Quatre sites pilotes pour le projet d'extension de la pisciculture aux petits producteurs ruraux (donne une dimension régionale au programme)

- Município de Tauá (CE): zone parmi les plus arides du Nordeste; 1.000 petits açudes, quelques expériences d'açudes communautaires, quatre açudes publics où la pêche est bien implantée; présence des coopérations allemande et française (domaines agropastoral, irrigation); travaux de Rémy Trier (coopérant MAE), du CIRAD, de l'ESPLAR, de l'EMATER; existence d'une Association de Travailleurs Ruraux (dynamique). Collaboration de longue date avec l'ESPLAR et le CIRAD.
- Région de Caíco (RN): reprendre contact avec l'EMATER et le DNOCS
- Région de João Pessoa (PB): collaboration avec l'équipe de limnologie de la Dra. T. WATANABE (UFPB); reprendre également contact avec la Dra. Anemarie KONIG (UFPB de Campina Grande) rencontrée au Congrès de la SBL à Manaus en 1992) dont la spécialité est la limnologie et les aspects sanitaires des açudes urbains.
- Municípios de Ibimirim/Serra Talhada/Parnamirim (PE): équipe de l'UFRPE, SAGRI, IPA, etc.

Inventaire, Pérennité, Qualité d'eau et Potentialité Piscicole des Petits Açudes du Nordeste

- Collaboration ORSTOM/UFRPE avec la FUNCEME (Dra. Gleuba): utilisation de Landsat TM, digital/5 canaux, de préférence images de 1993 ou 1994 (fournies par l'INPE, voir Dr. M. VALERIO); étude pilote de la méthodologie sur les quatre sites à deux époques (avril-mai et nov.-janv.); nécessité de mesures de terrain (turbidité, chlorophylle) pour calibrer les mesures satellitaires; mise en place d'une base de données (SIG?); détermination du potentiel piscicole (hectares de miroir d'eau disponibles) par région en fonction de critères (pérennité > 6-8 mois, connexion avec un cours d'eau {existence ou non de populations naturelles de poissons}, empoissonnement {espèces, tailles, proportions}, occurrence de déversement, présence et développement des macrophytes {refuges, aliments}, autres usages {irrigation, cultures de décrues, abreuvoirs des bêtes, pêche}, présence d'une autre source d'eau potable, qualité d'eau {libération de l'açude pour la consommation}, proximité d'habitations {surveillance indispensable des ressources}, etc.).
- Si les résultats sont probants, extension du projet à quatre états du Nordeste (PE, CE, PB, RN), plus comparaisons historiques des images de 1985 et 1990 (en complément à la cartographie des açudes du Céara > 5 ha, en cours de réalisation par la FUNCEME). Contribution au SIG Nordeste.
- Tirer parti des bourses RHAE du CNPq, plus possibilité d'échanges et de stages de formation entre la FUNCEME et les labos de télédétection des Centres ORSTOM de Montpellier et de Cayenne; éventuellement échanges et transferts de technologies avec l'INPE.

Typologie écologique et fonctionnelle des açudes

En fonction de leurs caractéristiques géomorphologiques, hydrologiques, physico-chimiques, biologiques, de leur taille (public, communautaire, privé), usages (unique/multiple), du type d'empoissonnement pratiqué, etc. - Analyses multivariées des variables limnologiques et halieutiques - Relations entre productivité piscicole (rendement de la pêche, pêches expérimentales, mesures de croissance biologique) et structure trophique/biomasse des peuplements (poissons piscivores, omnivores, herbivores, zooplanctophages, benthophages, etc.; plancton; macrophytes; benthos; etc.). Analyses sur les açudes des quatre sites pilotes (voir inventaire).

Expérimentation sur les synergies trophiques entre espèces de poisson - Applications pour la polyculture et la restauration des açudes urbains eutrophes - Ecologie des poissons omnivores

- utilisation de facilités expérimentales du Centre Expérimental de l'UFRPE à Récife et de ses campus ruraux, du Centre Expérimental du DNOCS à Pentecoste, de la Station Bastos Tigre à Parnamirim.
- construction de facilités expérimentales additionnelles: mésocosmes à terre, enceintes *in situ*, cages flottantes, etc.

Restauration de la qualité d'eau de réservoirs urbains eutrophes (biomanipulation):

Objectif = monter une équipe compétente dans le domaine de l'écotechnologie, approche pionnière sur les systèmes tropicaux. Collaboration possible entre équipes sur trois sites:

- Lac Paranoa (Brasilia, DF): expérimentations en cours (réduction de biomasse + introduction de carpes argentées); lutte contre la prolifération d'algues filamenteuses cyanophycées; coordinateurs: Drs. F. STARLING (CAESB) et M. RIBEIRO (Réserve Ecologique IBGE)
- Açude Tapacura (Récife, PE): même problématique (installations expérimentales à mettre en place dans le cadre du programme Açudes, et de l'Action Incitative l'Eau dans la Ville); coordinateurs: Drs. A. COSTA (Dept. Pêches/UFRPE), X. LAZZARO (ORSTOM)
- Lac de Villeret (Massif Central, France): même problématique, même type d'expérimentations. Objectif: comparaison des approches appropriées aux systèmes tempérés et tropicaux, comparaisons des réponses entre sites. Mise en place du même type d'installations (mésocosmes, enclos). Coordinateurs: Drs. J. DEVAUX (Univ. B. Pascal, Clermont Fd), I. DOMAIZON (étudiante de thèse), X. LAZZARO.

Perspective envisageable pour 1995-1996: élaboration d'un projet CEE entre partenaires brésiliens, hollandais, espagnol et français.

Analyse et amélioration de l'efficacité des protocoles d'empoisonnement

Analyse des techniques et engins de pêche en vue d'une amélioration des rendements

Analyse des protocoles de grossissement (en açudes, bassins dérivés, cages flottantes, etc.) en vue de l'amélioration des productions

Synthèse et valorisation des données sur la pêche et la pisciculture en açudes

- collaboration avec DNOCS, UFCE (Dr. B. SILVA, J. GURGEL), IBGE/Brasilia (Dr. M. RIBEIRO), UNESP (Dr. M. PETRERE)

Ecologie Humaine

- Prof. ARIVAS à l'UFRPE (info. SABOURIN)
- Prof. Nivaldo NORDI (rencontré chez la Dra. WATANABE) intègre le 14/3 l'UFSCar de São Carlos, SP (particulièrement intéressé de donner suite à son travail de thèse concernant les pêcheurs des açudes de la Paraíba; va m'en envoyer un exemplaire)

5. BESOINS EN MATÉRIEL

- **matériel limnologique de terrain**: filets à plancton, bouteilles à prélèvement (type Van Dorn; pour les açudes publics profonds), tubes à prélèvement phytoplancton/physico-chimie (intégration verticale, pour açudes peu profonds), dragues/tubes à benthos, pompes à main
- **matériel de pêche expérimentale**: filets maillants, sennes, sennes tournantes, petit chalut, éperviers; marques (pour expériences de marquage/recapture); deux embarcations (un canot métallique large adapté pour la pêche électrique; un canot pneumatique de type Zodiac pour

prélèvements, avantages: léger, rapide, remorquage + transport faciles) une remorque de route pour chacun; deux moteurs hors-bord de 40 CV (puissance minimale pour déplacement rapide sur les grands açudes et chalutage; utilisation possible simultanée des 2 embarcations); un matériel de pêche électrique adaptable à l'embarcation métallique.

- **matériel de positionnement dynamique:** trois GPS avec sortie data-logger, type Magellan 5000Pro ou Garmin (pour positionnement des petits açudes par rapport aux images Landsat, et calcul des surfaces des miroirs d'eau)
- **matériel de laboratoire:** pHmètre, oxymètre, turbidimètre, quantamètre (avec data loggers), balances de précision, microscope stéréoscopique, microscope inversé, tubes à dessin (pour comptages), pompes péristaltiques (filtrations), deux bancs de filtration/fractionnement (2 x 6 postes)
- **petit matériel (consommables) de laboratoire:** réactifs chimiques, verrerie, filtres
- **matériel informatique:** micro PC486 portable et/ou Power Macintosh (permet de faire tourner à la fois des logiciels PC et Mac), table à digitaliser format A3 (pour cartographie + comptage plancton), disque dur portable (> 250 Mb), scanner A4 (pour cartographie/inventaire), imprimante laser, imprimante couleurs >300 dpi (cartes, graphiques, transparents), lecteur de CD (bases de données, bibliographie), lecteur de cartouches (stockage cartes, données, images), modem
- **logiciels:** Microsoft Office (Word + Excel + Access), SigmaScan (comptage plancton, calculs morphométrie), Systat, Vensim (modélisation écosystèmes, bilans hydrologiques, bioénergétique, production halieutique, etc.), MapInfo (SIG), etc.
- **matériel de bureau:** photocopieuse, fax
- **moyens pour construction d'enceintes expérimentales:** 10 piscines circulaires en fibres de verre (profondeur 0,5 m, diamètre 2,4 m; interactions piscivores/proies), cordes de polypropylène (macrophytes artificiels), 20 enceintes cylindriques (profondeur 2,2 m, diamètre 1,8 m, volume 5,5 m³; interactions poissons/qualité d'eau, croissance d'alevins), cages flottantes en filet (25-30 m³; élevage d'alevins et compétition entre espèces), toile plastifiée et filet pour compartimentage d'aires *in situ* (expérimentations dans les açudes, comparaison de croissances et d'interactions entre espèces, en présence/absence de prédateurs et/ou de macrophytes, etc.), cordages, ancrages, etc.
- **matériel de plongée:** deux équipements complets (bouteilles, détendeurs, ceintures, masques, palmes, bouées, combinaisons) pour l'étude des comportements de poissons/crevettes, de la distribution de la végétation aquatique et du benthos, l'appui aux pêches expérimentales, l'installation et le suivi des expérimentations en enceintes *in situ*, etc.
- **moyens pour achat d'images digitales Landsat:** 6 quadrants (3 municipes x 2 saisons), env. 630 US\$/quadrant, soit total de 3.780 US\$ (~25 KF).
- **véhicule utilitaire:** véhicule tout terrain, capacité 8 personnes, double cabine/pickup

6. SIGLES DES INSTITUTIONS

CAESB	Compagnie de Traitement des Eaux de Brasilia
CEDAP	Centre de Développement Agro-Pastoral?
CENA	Centre d'Energie Nucléaire en Agriculture
CEPTA	Centre d'Etudes et de Recherches Techniques en Aquaculture
CODEVASF	Consortium de Développement de la Vallée du São Francisco
CNPq	Conseil National Brésilien de la Recherche Scientifique
DNOCS	Département National des Ouvrages contre la Sécheresse
ESPLAR	ONG Brésilienne (Centre de Recherche & Consultant)
FNS	Fondation Nationale de la Santé
FUNCEME	Fondation de Météorologie et de Ressources Hydriques du Céara
GTZ	Coopération Technique Allemande
IBAMA	Institut Brésilien pour l'Environnement
IBGE	Institut Brésilien de Géographie Statistique
INPE	Institut National de Recherches Spatiales
Projet TAPI	Projet 'Technologies Appropriées à la Petite Irrigation'

Projet UPPA	Projet 'Utilisation Productive des Petits Açudes'
SCT	Secrétariat de Sciences et Technologies
SECITECE	Secrétariat de Sciences et Technologies du Ceará
SEMACE	SuperIntendance de l'Environnement de l'Etat du Ceará
USP	Université de S�o Paulo
UFSCar	Université Fédérale de S�o Carlos (SP)

7. BIBLIOGRAPHIE

Pêche et pisciculture

Général

- Aguiar E. N., S. V. B. Braga, J. N. Carvalho & R. S. Costa. 1985. Considera es sobre a pesca no a ude p blico Várzea da Volta (Mora jo, Ceará, Brasil). B. T c. DNOCS, Fortaleza 43: 203-233.
- ALPHA. 1992. Subprojeto Pescado - Ibimirim, PE. Diagnóstico dos Pescadores do Açude Francisco Saboya. Vol. 1. - Diagnóstico. Instituto Alpha de Pesquisa e Planejamento; Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Agricultura, PRORURAL, Programa de Apoio ao Pequeno Produtor Rural - PAPP, Acordo N  2718-BR SDR/SUDENE/BIRD, Recife, 187 p.
- Anonimo. 1993? Proposta para elabora o de um subprojeto de produ o de pescado em águas interiores no sertão de Pernambuco. Multigr.
- Ceballos B. S. O., Konig A., Lima E. O. & J. D. Brasileiro. 1990. Fontes de água usadas por comunidades rurais da Paraíba. I. Qualidade de água de barreiros, cacimbas e cacimboes. III  Encontro Nac. Microbiol. Ambient., 3-6 Dez. 1990, São Paulo, SP.
- Ceballos B. S. O., Konig A., Lima E. O., Brasileiro J. D & J. D. M. Arauko. 1991. Fontes de água usadas por comunidades rurais da Paraíba. II. Qualidade de águas de açudes de pequeno e medio porte. 43  Reunião da SBPC, UFRJ, 14-17 Julho 1991, Rio de Janeiro.
- DNOCS. 1990. Normas técnicas para a prática de piscicultura intensiva em perimetros irrigados do DNOCS. Fortaleza, 24 p.
- DNOCS. 1990. Normas Técnicas destinadas   Propaga o artificial de peixes. Fortaleza, 14 p.
- DNOCS. 1990. Normas Técnicas para Opera o de Peixamento. Fortaleza, 18 p.
- Dourado O. F. 1981. Principais peixes e crustáceos dos açudes controlados pelo DNOCS. DNOCS, Fortaleza, 40 p.
- Fontenele O. & E. A. Duarte. 1983. Resultados da pesca commercial no açude "Francisco Saboya", ex-poço da Cruz (Ibimirim, Pernambuco, Brasil). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 41: 187-200.
- Galli L. F. & C. E. C. Torloni. 1984. Cria o de Peixes. Livraria Nobel S.A., São Paulo, 119 p.
- Gesteira T. C. V. 1978. Aspectos Biológicos Ligados   Productividade da Pesca nos Açudes Públicos da Area do "Polígono das Secas" - Nordeste do Brasil. Disserta o de Mestrado, Curso de Pós-gradua o em Zoologia, Univ. Federal do Rio de Janeiro. Prof. Orientador: Melqui des Pinto Paiva, D. Sc. 143 p.
- Gurgel J. J. S. 1993. Sobre el aprovechamiento pesquero de embalses construidos en el Brasil, especialmente en la region del semi-arido. Avances en el Manejo y Aprovechamiento acuicola de embalses en America Latina y el Caribe. In J. R. J. Palacios & E. Varsi (eds.), Avances en el Manejo y Aprovechamiento acuicola de embalses en America Latina y el Caribe. FAO-Proyecto Aquila II, Mexico: 32-71.
- Gurgel J. J. S. & J. V. F. Freitas. 1971. Estudos experimentais sobre a prepara o de peixes salgados-secos no Nordeste Brasileiro. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 29: 29-40.
- Jensen J. W. & A. Carneiro Sobrinho. 1990. Cartilha do Criador de Peixes. DNOCS, 5a. Edi o, Fortaleza, 50 p.
- Molle F. 1994. Suggestions pour la définition d'un projet de recherche sur l'aquaculture dans les açudes du Nordeste brésilien. Centre ORSTOM de Montpellier, multigr. 11 p.
- Morrison B. R. S. 1988. The use of rotenone in fisheries management. Scottish Fisheries Information Pamphlet 15: 1-15.
- Sampaio A. R. 1993. Piscicultura Continental - Métodos e Práticas. Expressão Gráfica e Editora, 77 p.
- Silva J. W. B. 1981. Recursos Pesqueiros de Aguas Interiores do Brasil, Especialmente do Nordeste. DNOCS, Dir. Pesca e Piscicultura, Fortaleza, CE, 98 p.
- Silva J. S. 1993. Estudo da Ictiofauna e da Pesca no Açude Eng  Francisco Saboya - Ibimirim, PE.

Relatório das actividades desenvolvidas no estágio supervisionado, Instituto de Ecologia Humana e Depto. de Biologia da UFRPE, Recife, 40 p.

Avifauna

Nepomuceno F. H. & O. Fontenele. 1982. Predatismo do martim pescador, *Ceryle* spp (Alcedinidae) sobre peixes em criação na estação de piscicultura "Valdemar C. de França" (Maranguape, Ceará, Brasil). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 27-42.

Crevettes

Nogueira F. A. P. 1988. Estudo do conteúdo gástrico do camarão canela, *Macrobrachium amazonicum*, Heller, 1862, capturado no açude público Pereira de Miranda, Pentecoste, Ceará, Brasil. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 46: 37-49.

Pinheiro S. M. X., V. L. B. Abreu, S. C. Façanha & J. W. B. Silva. 1988. Resultados de um cultivo do camarão gigante da Malásia, *Macrobrachium rosenbergii*, de Man, 1900, em cativeiro. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 46: 51-67.

Silva J. W. B., F. A. Pinheiro, J. A. M. Augusto & J. J. S. Gurgel. 1981. Análise dos resultados de pescarias experimentais do camarão pitu, *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758), realizadas na Bacia do Rio Curu (Ceará, Brasil), no período de julho de 1878 a junho de 1980. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 89-126.

Silva J. W. B., F. A. Pinheiro, J. A. M. Augusto & J. J. S. Gurgel. 1982. Relações entre alguns parâmetros biométricos de exemplares de camarão pitu, *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758), da Bacia do Rio Curu (Ceará, Brasil), obtidos em pescarias experimentais, realizadas no período de julho de 1978 a junho de 1980. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 181-192.

Apaiari

Silva J. W. B., C. A. Nobre & J. N. Carvalho. 1982. Considerações sobre a reprodução e o aproveitamento de desova do apaiari, *Astronotus ocellatus ocellatus* Spix, na estação de piscicultura Valdemar Carneiro de França (Maranguape, Ceará, Brasil). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 193-216.

Carpes

Freitas J. V. F. 1988. Estudo de algumas características físicas e da composição química da carpa espelho, *Cyprinus carpio*, (L. 1758) vr. *specularis*, criada em cativeiro. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 46: 5-21.

Silva J. W. B., F. A. Pinheiro, M. I. S. Nobre & F. M. Barros Filho. 1983. Resultados de um cultivo de carpa espelho, *Cyprinus carpio* L., 1758 vr. *specularis*, em viveiro natural. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 41: 251-280.

Curimatá pacu

Fontenele O. & E. A. Vasconcelos. 1977. Avaliação dos resultados da disseminação da curimatá pacu, *Prochilodus argenteus* Spix & Agassiz, em açudes do Nordeste do Brasil. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 35: 121-139.

Matrinchã

Braga R. A. 1982. Depleção aparente de matrinchã, *Brycon hilarii* (Val., 1849) em pesqueiras do Rio São Francisco, Brasil. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 175-180.

Pacu

Nuñer A. P. O. 1991. Abordagem sistematica do crescimento em viveiros povoados com pacu, *Piractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Plano de Pesquisa, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Depto. de Hidrobiologia, São Carlos, SP., 22 p.

Pirarucu

Fontenele O. & E. A. Vasconcelos. 1982. O pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier, 1817), nos açudes do

Nordeste: resultados de sua aclimação e prováveis causas de depleção de seus estoques. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 43-66.

Sardinha

Braga R. A. 1982. Indução de desova de sardinha, *Triportheus angulatus angulatus* (Spix) por hipofisacção. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 165-174.

Tambaqui

Carneiro Sobrinho A., F. R. Melo, J. W. B. Silva & M. I. S. Nobre. 1988. Resultados de um ensaio sobre o cultivo do híbrido de tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, com a pirapitinga, *C. brachypomum* Cuvier, 1818. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 46: 23-36.

Freitas J. V. F. & J. J. S. Gurgel. 1985. Estudo de alguns parâmetros biométricos e da composição química do tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 e pirapitinga, *Colossoma brachypomum* Cuvier, 1818, criados em cativeiro. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 43: 47-66.

Tilápias

Carneiro Sobrinho A., F. R. Melo, A. B. Silva & L. L. Lovshin. 1982. Considerações sobre a obtenção de híbridos machos das Tilápia do Nilo, *Sarotherodon niloticus* Linnaeus (XX) e de Zanzibar, *Sarotherodon hornorum* Trewaras (YY). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 67-76.

Chacon J. O., J. W. B. Silva & M. I. S. Nobre. 1986. Resultados preliminares de cultivos da Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* L., 1766. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 44: 69-80.

Freitas J. V. F., J. J. S. Gurgel & Z. L. Machado. 1981. Estudos sobre a melhoria do processamento da salga e secagem da Tilápia do Nilo, *Sarotherodon niloticus*, no Açude Araras, CE. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 71-88.

Melo F. R., A. Carneiro Sobrinho, A. B. Silva & J. W. B. Silva. 1985. Resultados de um experimento de cultivo consorciado de híbridos de tilápias (*Oreochromis hornorum* Trew. x *O. niloticus* L. 1766) com suínos. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 43: 25-46.

Silva A. B., M. A. Oliveira & A. Carneiro Sobrinho. 1982. Ensaio preliminar do cultivo da Tilápia do Nilo, *Sarotherodon niloticus* Linnaeus (XX e YY) em gaiolas suspensas. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 77-96.

Tucunaré commum

Fontenele O. & J. T. Peixoto. 1979. Apreciação sobre os resultados da introdução do tucunaré comum, *Cichla ocellaris* (Bloch & Schneider, 1801), nos açudes do Nordeste brasileiro, através da pesca comercial. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 37: 109-134.

Polycultures

Nobre M. I. S., F. A. Pinheiro, J. W. B. Silva & R. Nonato Filho. 1986. Resultados de um policultivo de carpa espelho, *Cyprinus carpio* L., vr. *specularis*, com o híbrido de Tilápias (*Oreochromis hornorum* Trew. x *O. niloticus* L., 1766) alimentados com torta de babaçu, *Orbignya martiana* (B. Rodr.). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 44: 37-68.

Riera P. M. C., J. W. B. Silva & M. I. S. Nobre. 1985. Resultados de um ensaio sobre policultivo de carpa espelho, *Cyprinus carpio* L., 1758 vr. *specularis*, e tilapia do Congo, *Tilapia rendalli* Boulenger 1912, em viveiro do Centro de Pesquisas Ictiológicas "Rodolpho von Ihering" (Pentecoste, Ceará, Brasil). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 43: 83-108.

Silva J. W. B., F. A. Pinheiro, A. Carneiro Sobrinho & M. I. S. Nobre. 1985. Resultados de um experimento sobre o policultivo de tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, com machos de tilápia do Congo, *Tilapia rendalli* Boulenger, 1912, em viveiros naturais. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 43: 151-180.

Limnologie

Gadelha C. L. M., T. Watanabe & A. M. PASSERAT-DE-SILANS. 1990. Liberação de nutrientes inorgânicos durante o processo de decomposição de *Ludwigia natans* (Ell.) (Dicotyledoneae: Onagraceae) e de *Salvinia auriculata* (Aubl.) (Pterydophyta: Salviniaceae). Acta Limnol.

- Brasil. 3: 633-652.
- Melo H. A. R. & J. A. M. Augusto. 1982. Estudos limnológicos do açude público "Eng^o Venicius Berredo", ex. "Pedras Brancas" (Quixadá, Ceará, Brasil). B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 217-278.
- Nogueira F. A. P. 1982. Observações preliminares sobre o cultivo de microalgas da classe Chlorophyceae. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 97-153.
- Watanabe T. 1990. Perifiton: comparação de metodologias empregadas para caracterizar o nível de poluição das águas. Acta Limnol. Brasil. 3: 593-615.
- Watanabe T., J. Capblancq & A. Dauta. 1988. Utilisation des bioessais "in situ" (substrats artificiels) pour caractériser la qualité des eaux de rivière à l'aide du périphyton. Annls Limnol. 24: 111-125.
- Watanabe T., C. L. M. Gadelha & A. M. Passeras-de-Silans. 1990? Análise estatística da relação entre a presença de plantas aquáticas e parâmetros físico-químicos da água de açudes. ??: 582-594.
- Wright S. 1981. Alguns dados da física e da química das águas dos açudes nordestinos. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 21-32.
- Wright S. 1981. Da física e da química das águas do Nordeste do Brasil. II - Clorretos e carbonatos. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 33-46.
- Wright S. 1981. Da física e da química das águas do Nordeste do Brasil. III - Condições thermicas. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 47-60.

Développement en agriculture, élevage et pisciculture

- Bazin F. & Grupo de Interesse sobre Manejo de Agua. 1993. Levantamento dos Açudes do Município de Tauá-CE, Principais Resultados de Possibilidades de Utilização Produtiva. ESPLAR/SRT/Tauá, SUDENE, UPPA/DPP/APR, Governo do Ceará/SRH, Recife, 38 p.
- Courcier R. 1993. O Projeto Pintadas - Uma Experiência de "Pesquisa-Desenvolvimento" no Sertão Baiano. SUDENE/CAR/UPPA, Ed. Massangana, Recife, 132 p.
- Falcão J. A. 1981. Cartilha do Constructor de Pequenas Barragens de Terra. DNOCS, Fortaleza, 54 p.
- Duque J. G. 1980. O problema de alimentação animal no sertão do Nordeste. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 38: 119-130.
- Molle F. & E. Cadier. 1992. Manual do Pequeno Açude - Construir, conservar e aproveitar pequenos açude no Nordeste brasileiro. SUDENE/ORSTOM/TAPI, 521 p.
- Sabourin E. 1994. Utilização Produtiva dos Pequenos Açudes - Difusão da proposta Técnica 1991-1993. Projeto de Utilização Produtiva de Pequenos Açudes - Cooperação técnica Franco-Brasileira na SUDENE, 52 p.

Physique, chimie, hydrologie et météorologie

- Aguiar F. G. 1980. A margem da meteorologia do Nordeste. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 38: 131-154.
- Anonimo. 1993. Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas - Subprograma Piloto I, Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Agricultura, multigr., 11 p.
- Borges M. C. A. 1981. Subsídios aos estudos de transposição de vazões dos Rios Tocantins e São Francisco para o Nordeste. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 127-144.
- Brito P. R. F., L. R. F. Lima, J. C. Santos & D. A. Silva. 1993. Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Agricultura e Irrigação, multigr., 16 p.
- Cadier E. 1991. Hydrologie des Petits Bassins du Nordeste Brésilien Semi-Aride. Thèse de Doctorat, Hydrologie et Sciences de l'Eau, Univ. Montpellier II, 396 p.
- Costa N. F. 1985. Açude público Mari - Estudos de enchente e regularização. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 43: 113-150.
- Ferreira Filho W. M. & M. C. A. Borges. 1982. Proposição de uma metodologia para o controle de água dos açudes públicos do Nordeste brasileiro. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 40: 5-26.
- Governo do Estado de Pernambuco. 1992. Relação de Barragens Construídas por Ordem Alfabética de Município. Secretaria de Habitação, Saneamento e Obras (SHSO), Diretoria de Recursos Hídricos (DIRH), Recife (PE), 18 p.
- Laraque A. 1991. Comportements Hydrochimiques des "Açudes" du Nordeste Brésilien Semi-Aride. Thèse Doctorat, Montpellier II, 455 p.
- Macêdo M. V. A. 1981. Características Físicas e Técnicas dos Açudes Públicos do Estado do Ceará.

- DNOCS, Fortaleza, 140 p.
- Molle F. 1989. Geometria dos Pequenos Açudes. SUDENE/DPG/DPRN, Grupo de Trabalho de Hidrometeorologia, Dir. Programa de Apoio ao Pequeno Produtor Rural, Depto. Recursos Hídricos, 126 p.
- Molle F. 1991. Caractéristiques et potentialités des "açudes" du Nordeste brésilien. Thèse Doctorat, Hydrologie & Sciences de l'Eau, Univ. Montpellier II, 380 p.
- Nouvelot J. F. 1974. Planificação da Implantação de Bacias Representativas - Aplicação à Area da SUDENE. SUDENE/DRN & ORSTOM/Missão Hidrológia, Recife, 91 p.
- Oliveira A. R. B. 1982. Influence de la construction des réservoirs dans le bilan hydrologique - Application au Fleuve Acarau (Nordeste du Brésil). Thèse Docteur-Ingénieur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris & Univ. P et M. Curie-Paris VI, 322 p.
- Oliveira E. G. 1983. Características Físicas e Técnicas dos Açudes Públicos do Estado de Pernambuco. DNOCS, Fortaleza, 86 p.
- SUDENE. 1985. Recursos Naturais do Nordeste - Investigação e Potencial (Sumário). 4a. Edição, Recife, 192 p.

Socio-économie et environnement

- Bazin F. 1993. Evolução Histórica dos Sistemas de Produção Agropecuária da Região de Tauá-CE. SUDENE, UPPA/DPP-APR, Cooperação Técnica Francesa-MAE, Recife, 37 p.
- ESPLAR. 1991. Análise Sócio-Econômica das Comunidades Pesqueiras dos Açudes Pereira de Miranda e Caxitoré. Joana D'arc de Oliveira (Ed. ESPLAR), Fortaleza, CE, 194 p.
- Molle F. 1990. Marcos Históricos e Reflexões sobre a Açudagem e seu Aproveitamento. SUDENE/DPP/RHD, SUDENE/DPG/PRN, Cooperação Francesa, 189 p.
- Molle F. 1994. Quelques aspects historiques de la problématique de l'eau dans le Nordeste brésilien. Article proposé pour les Cahiers de la Recherche-Développement, 11 p.
- Tigre C. B. 1980. As regiões ecológicas do Nordeste e seus recursos florestais, econômicos e recreativos. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 38: 109-118.
- Vieira V. P. P. 1981. Avaliação de projetos de recursos hídricos - Impacto econômico, social, ambiental e regional. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 145-172.
- Vieira V. P. P. 1981. Impacto ambiental dos projetos de recursos hídricos. B. Téc. DNOCS, Fortaleza 39: 173-187.

8. REMERCIEMENTS

Je suis particulièrement reconnaissant à François Molle pour m'avoir transmis sa passion et son expérience sur le Nordeste et ses açudes pendant son séjour à Montpellier, ainsi que pour ses conseils pour cette mission et notre futur programme. Je remercie Eric Sabourin et Rémy Trier pour leur hospitalité, leur organisation des contacts et pour m'avoir fait partagé leurs terrains dans le Pernambouc et le Céara; sans eux cette mission de prospective n'aurait pu avoir lieu. Je remercie également Patrick Caron (CIRAD-SAR à Pétrolina), Takako et Tadeu Watanabe (UFPB à João Pessoa) et Fernando Starling (CAESB à Brasilia) pour leur accueil et hospitalité, ainsi que Jean Marc Ecoutin pour le prêt de son GPS.

Note: La synthèse des réunions et visites de sites avec nos partenaires du Dept. des Pêches de l'UFRPE fait l'objet de la 2ème Partie du Rapport de Mission (20-30 mars 1994)

Montpellier, le 25 avril 1994

GRAND PROGRAMME "PETITS BARRAGES"
ORSTOM - DEC

PROJET DE RECHERCHE SUR LA PÊCHE ET L'AQUACULTURE
DANS LES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN

- Caractérisation de leur fonctionnement limnologique et écologique,
utilisation productive et impact socio-économique -

RAPPORT DE MISSION
(2ème Partie: 20-30 mars 1994)
- version préliminaire -

Visites des açudes et des sites à Serra Talhada, Parnamirim et Ibimirim (PE)
& préparation du projet avec les partenaires brésiliens

rédigé par Xavier Lazzaro

Participants du Projet: Jean Pierre Carmouze (DEC)
Catherine Aubertin (SUD)
Olga Odinetz (DEC)
Michel Jégu (DEC)
Xavier Lazzaro (DEC)

RAPPORT DE MISSION, PARTIE I (2-19 mars 1994)
Discussions de préparation du projet ORSTOM/UFRPE/SAGRI/CNPq et
visites des sites sur les municipes de Serra Talhada, Parnamirim et Ibimirim (PE)

Xavier Lazzaro (DEC)

1. OBJECTIFS DE LA MISSION

Les

2. REUNIONS ET VISITES DES SITES

RECIFE

Accueil de l'équipe à l'aéroport

Discussion à la 'Pousada de Casa Forte'

Réunion au Dept. des Pêches de l'UFRPE

Présentation des pré-projets

SERRA TALHADA

Visite de la Station de l'UFRPE

Visite de l'açude SACO I

Visite de la Station de Pisciculture de l'IPA à Saco I

Réunion du groupe à la Station de l'UFRPE

PARNAMIRIM

Visite à la Préfecture de Parnamirim

SERRA TALHADA

Visite à la Station de l'IPA à Saco I

IBIMIRIM

Visite à la Station d'Agriculture Irriguée d'Ibimirim (EAIL) de l'UFRPE

Visite à la Station du DNOCS

Visite à la Station de Pisciculture 'Bastos Tigre' du DNOCS

Visite à l'açude Poço da Cruz - Discussion avec les pêcheurs

RECIFE

Réunion du groupe à la 'Pousada de Casa Forte'

Réunion au Dept. de Pêches de l'UFRPE

Visite au Centre de Pisciculture du Dept. des Pêches de l'UFRPE

Visite au Dept. de Technologie Rurale de l'UFRPE - Photométrie aérienne

Discussion avec le Dr. Lisboa

Visite au LAMEPE

Visite au Secrétariat de Sciences, Technologie et Environnement (SECTMA)

3. CONCLUSIONS - GRANDS AXES DU PROJET

Sous-projet Socio-Economie

Sous-projet Limnologie, Ecologie, Pêche et Pisciculture

4. LISTE DES CONTACTS

5. RELEVÉS GÉOGRAPHIQUES AU GPS

Site	Date Heure	Lat. Long.	Altitude	Set	ETE	DOP
AÇUDE FAVELAS, CE	6/3/94	S 5'58.91'				
• tour de la vanne de fond	11h00 LT	W 40'07.43'	517 m	7/8	69 m	3,7
	6/3/94	S 5'58.93'				
• extrémité ouest mur barrage	11h15 LT	W 40'07.47'	545	7/8	33	1,6
	6/3/94	S 5'59.14'				
• extrémité est mur barrage	11h28 LT	W 40'07.32'	454	7/8	37	1,8
AÇUDE VARZEA DO BOI, CE	6/3/94	S 5'54.54'				
• face vanne sur mur barrage	16h00 LT	W 40'15.52'	457	8/8	28	1,2
	6/3/94	S 5'54.49'				
• extrémité ouest barrage	16h15	W 40'15.32'	424	8/8		
AÇUDE CACHOEIRA II, PE	22/3/94	S 7'58.47'				
• centre mur barrage - canalisation	17h41	W 38'19.31'	473	5/8	30	1,3
AÇUDE CHAPÉU, PE	23/3/94	S 7'59.99'				
• face vanne sur mur barrage	11h06	W 39'33.99'	530	6/8	52	2,5
	23/3/94	S 8'04.85'				
• face deversoir	12h11	W 39'34.63'	535	6/7	33	1,4
AÇUDE POÇO DA CRUZ, PE	24/3/94	S 8'30.53'				
• extrémité est mur barrage	10h00	W 37'42.26'	486	7/8	61	3,1
STATION PISC. BASTOS TIGRE, PE	24/3/94	S 8'32.71'				
• centre bassins face labo	12h04	W 37.39.66'	481 m	7/8	50	2,1

6. FIGURES

Les cartes ont été réalisées par Barbara Chollet, géographe en contrat CES avec X. Lazzaro, au centre ORSTOM de Montpellier (logiciel Aldus FreeHand® sur Macintosh).

Fig. 1 Schéma synthétique de la proposition technique du projet "Utilisation Productive des Petits Açudes (1991-1993)", convention SUDENE/MAE-Coopération Technique Française (Sabourin 1994).

Fig.2 Couverture LANDSAT des Etats du Nordeste. La position des images Landsat est indiquée par leur numéro de référence. Les images couvrant les différents sites sont les suivantes:

- Municipie de Taua (CE): 217-64
- Région de Caicó (RN): 215-64
- Région João Pessoa-Campina Grande (PB): 214-65, 215-65
- Municipie de Parnamirim (PE): 217-66
- Municipie de Serra Talhada (PE): 216-66
- Municipie d'IBIMIRIM (PE): 215-66

Fig.3 Position géographique des images Landsat sur les municipes de Parnamirim, Serra Talhada et Ibimirim (PE). Les quadrants respectifs sont: 217.66-B, 216-66-B et 215.66-B.

Fig.4 Carte de l'Etat du Pernambouc indiquant la position des municipes de Parnamirim, Serra Talhada et Ibimirim (distances entre 300 et 500 km de Recife).

Fig.5 Carte des açudes du Municipie de Parnamirim (PE): les açudes inclus dans le projet sont les açudes publics de Chapéu et Entremontes, et 9 petits açudes municipaux construits sur le cours d'eau Brigada.

Fig.6 Carte des açudes du Municipie de Serra Talhada (PE): les açudes inclus dans le projet sont les açudes publics Saco I et Cachoeira II, plus quelques petits açudes privés de petits producteurs.

Fig.7 Carte des açudes du Municipio de Ibimirim (PE): l'açude inclus dans le projet est l'açude public Poço da Cruz.

7. TABLEAUX

Tab.1 Modèles utilisés pour estimer la biomasse piscicole dans les réservoirs à partir des variables d'état. Liste de quelques variables indépendantes (en portugais) trouvées être significatives dans les meilleurs modèles, et leurs abréviations. Liste établie à partir d'études en rivières, lacs et réservoirs de régions tempérées. Abréviations anglo-saxonnes conservées par soucis de standardisation.

Tab.2 Comparaison des caractéristiques des açudes publics choisis pour notre projet d'études limnologiques et piscicoles. La sommes des capacités hydriques des municipes de Parnamirim + Serra Talhada + Ibimirim = 1.157.780.032 m³ = 45,5 % de la capacité hydrique totale de tous les açudes publics de l'Etat du Pernambouc (2.546.365.929 m³ en 794 açudes publics). La somme des capacités hydriques des açudes Chapéu + Entremontes + Saco I + Cachoeira II + Poço da Cruz = 1.097.328.645 m³ = 43,1 % de la capacité hydrique totale de tous les açudes publics du Pernambouc.

Tab.3 Liste des espèces de poissons et de crustacés (*) capturés dans les açudes de la région du Nordeste du Brésil, et leurs origines respectives (N = native, RA = fleuve Amazone, RSF = fleuve São Francisco, C = Chine, RP = fleuve Parnaíba, A = Afrique) (source Gurgel 1993).

Montpellier, le 30 avril 1994

\\Reports2\ProjetAçudes\RapportMissionRéunion\AçudesRappor2tMission3/94

Tableau 1

Abbréviation	Variable	Abbréviation	Variable
BASSIN HYDROGRAPHIQUE			
AR	Chuva anual	MBS	Inclinação media da bacia
BP	Perimetro da bacia	RR	Indice do relieve
DA	Drainage area	SO	Ordem do riacho
MBE	Elevação media da bacia	TSL	Comprimento total do riacho
MBL	Extensão media da bacia	WC	Condição da bacia hidrográfica
MORPHOMÉTRIE DU RÉSERVOIR			
ALPHA	Coeficiente geométrico α de forma	NS	Superfície mínima do espelho de água do reservatório
ARWS	Superfície do espelho de água do reservatório	S	Superfície do espelho de água do reservatório
AGE	Idade do reservatório	SVR	Razão superfície:volume do reservatório
AMZ	Profundidade anual media do reservatório	XS	Superfície máxima do espelho de água do reservatório
BDI	Indice de desinvolvimento das margems	XZ	Profundidade máxima do reservatório
K	Coeficiente geométrico K de forma	LZ	Profundidade local
MSVR	Razão media superfície:volume do reservatório		
STRUCTURE DE L'HABITAT			
AAV	Superfície da vegetação aquatica	PAC	Percentagem coberta da area
AC	Superfície of all cover	PAV	Percentagem da area como vegetação aquática
AOV	Superfície da vegetação ripariana dominante	PB	Percentagem da area como cobertura de ramagem
AOV<1	Superfície da vegetação ripariana dominante <1 m acima da água	PBL	Percentagem da area como cobertura de rochas e troncos
AOV1-2	Superfície da vegetação ripariana dominante 1-2 m acima da água	PEB	Percentagem de margems erodadas
ARBV	Superfície de escombros, rochas e vegetação áquatca	RC1	Cobertura de rochas < 0,1 m ²
BS	Indice de estabilidade de margem	RC2	Cobertura de rochas > 0,3 m ²
LUB	Comprimento de margem escavada	RCO	Indice de cobertura
NR	Numero de rochas	REB	Indice de margems erodadas
NR>30	Numero de rochas > 30 cm	TCR	Indice total de cobertura
BIOLOGIE - POISSONS			
AFY	Captura anual de peixes	NFPS	Número de especies de peixes piscívoros

BWXF	Peso individual da maior classe de tamanho da população de peixes	PFBR	Razão peixes piscívoros:peixes forageros
CPUE	Índice de captura por unidade de esforço	PRBV	Factor de preferência para escombros, rochas e vegetação aquática
DAY	Número de dias a partir da data?	MABF	Biomassa anual media da comunidade de peixes
ED	Estimativa do número de ovos depositados por m ²	NFSC	Número de especies de peixes nas capturas
FAC	Captura anual de peixes	PUB	Factor de preferência para margem escavada
FABP	Produção anual biológica de peixes	PSC	Biomassa anterior de peixes
MEI	Índice morfoedáfico	R	Rango de especies
NFS	Número de especies de peixes		
BIOLOGIE - PLANCTON			
CHL	Clorófila-a do fitóplankton	PPP	Produção primaria do fitóplankton
MCHLS	Media para o verão da clorófila do fitóplankton	XCHLS	Maxímo para o verão da clorófila do fitóplankton
PB	Biomassa do fitóplankton	ZMB	Biomassa do macrózooplankton
BIOLOGIE - BENTHOS			
BB	Biomassa do bentos	BBMZ	Razão biomassa do bentos:profundidade media
BIOLOGIE - MACROPHYTES			
MANA	Densidade de macrófitas padronizada por area	MBNA	Biomassa de macrófitas padronizada por area
PHYSIQUE - SUBSTRAT			
AB	Superfície de substrato de rochas	PR	Percentagem em substrato de descombro
ACS	Superfície de substrato de pedras	PS<1	Percentagem em sedimento fino < 1 mm
D90	90º percentilo do tamanho do substrato	PS16-256	Percentagem da area em substrato de 16-256 mm
MSPS	Tamanho medio das partículas do sedimento	RS	Índice de substrato
PBS	Percentagem em substrato de rochas	SSA	Area com substrato apropriado para desovar
PFS	Percentagem em substrato fino	SSC	Índice de substrato
PG	Percentagem em substrato de cascalho		
PHYSIQUE - EAU			
MANTU	Turbidez anual media	NTU	Turbidez
MASD	Profundidade anual media do disco de Secchi	RWT	Índice da temperatura da água
MAT	Temperatura anual media do ar	RXST	Índice da temperatura máxima da água no verão
MAWT	Temperatura anual media da água	SD	Profundidade do disco de Secchi
MAXT	Temperatura anual máxima da água	XST	Temperatura máxima da água no verão
NT5P	Temperatura anual mínima da água nos 5 últimos dias	XT5P	Temperatura máxima da água nos 5 últimos dias

CHIMIE - EAU			
BOD	Demanda bioquímica em oxigénio da água	PLNA	Carga em fósforo padronizada por area
C	Condutividade	PPS	Fósforo particulado por frações de tamanho
DOR	Gama de oxigénio dissolvido	PPSS	Inclinação das frações de tamanho do fósforo particulado
MAL	Alcalinidade media	PPSM	Tamanho medio das frações de fósforo particulado
MBOD5	Media anual de 5 dias da demanda bioquímica em oxigénio da água	RCH	Índice da dureza do calcío
MC	Condutividade media	RMH	Índice da dureza do magnesio
MTH	Media da dureza total	RPO	Índice do fósforo organico
MTOC	Media do carbono organico total	RSU	Índice do sulfato
MTP	Media do fósforo total	RTA	Índice da alcalinidade total
NDO	Mínimo do oxigénio dissolvido	SCD	Classe de solo dominante no redor
N	Nitrógeno	SU	Sulfato
NN	Nitrato	TDS	Solidos dissolvidos totais
NPR	Razão nitrógeno:fósforo	TN	Nitrogeno total
P	Fósforo	TON	Nitrogeno organico total
PH	pH	TP	Fósforo total
HYDROLOGIE			
AIWV	Volume anual de água entrando pelo tributario	MAE	Media anual da evaporação
AOWV	Volume anual de água saído pelo sangradouro	MAV	Media anual do volume de água do reservatorio
AVS	Variança anual da superfície do espelho de água do reservatorio	MAWLF	Media anual da flutuação do nivel de água
AVV	Variança anual do volume do reservatorio	V	Volume do reservatorio
HRT	Tempo de residência hidráulico do reservatorio	XV	Volume máximo do reservatorio

Tableau 2

Nom de l'açude (date de construction)	Organisme responsable	Capacité en m ³ (surface en ha)	Bassin hydrographique	Finalité	Capacité hydrique totale du municipe (% du total)
PARNAMIRIM					576,948,032
Chapéu (?-?)	CISAGRO	188,000,000 (?)	Brigida	irrigation, perenisation	(32.6)
Entremontes (1980-1982)	DNOCS	348,297,500 (4,605)	Brigida	irrigation, perenisation	(60.4)
SERRA TALHADA					76,782,000
Saco I (1932-1936)	DNOCS	36,000,000 (560)	Pajeu	approvisionnement de S. Talhada, irrigation	(46.9)
Cachoeira II (1958-1965)	DNOCS	21,031,145 (390)	Pajeu	approvisionnement de S. Talhada, irrigation	(27.4)
IBIMIRIM					504,050,000
Poço da Cruz (1937-1957)	DNOCS	504,000,000 (5,600)	Moxoto	irrigation	(99.9)

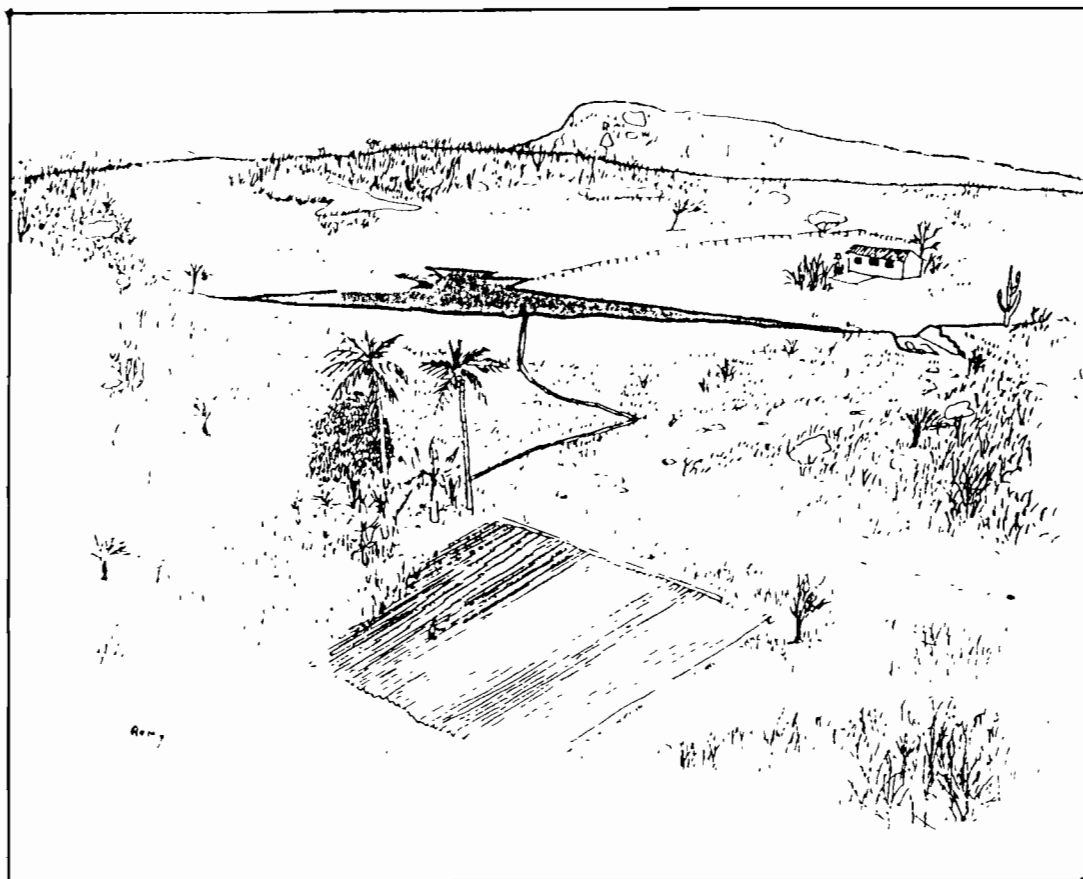
Source des données: CISAGRO/CODEVASF/COMPESA/CONDEPE/DIRET. SANEAMENTO-SHSO/DNOCS, in "Relação de barragens construídas por ordem alfabética de municípios, 08/07/92, Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Habitação, Saneamento e Obras (SHSO), Diretoria de Recursos Hídricos (DIRH), 18 p.

Tableau 3

Nom commun	Nom scientifique	Abbréviation	Origine
Acará zebú	<i>Geophagus surinamensis</i>	GS	N
Acará comum	<i>Cichlasoma bimaculatum</i>	CB	N
Apaiaria	<i>Astronotus ocellatus</i>	AO	RA
Beiru	<i>Curimatus cibiatus</i>	CC	N
Camarão canela*	<i>Macrobrachium amazonicum</i>	MA	RA
Bagre branco	<i>Selenapsis hertzbergi</i>	SH	N
Cangati	<i>Trachycoristes galeatus</i>	TG	N
Curimatá comum	<i>Prochilodus cearensis</i>	PC	N
Curimatá pacú	<i>Prochilodus argenteus</i>	PA	RSF
Carpa comum	<i>Cyprinus carpio</i>	CP	C
Pescada cacunda	<i>Plagioscion surinamensis</i>	PSU	RA
Pescada do Piaúi	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	PSQ	RP
Piau comum	<i>Leporinus friderici</i>	LF	N
Piau verdadeiro	<i>Leporinus elongatus</i>	LE	RSF
Piau de vara	<i>Schizodon dissimilis</i>	SD	RP
Pirambeba	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	SR	N
Piranha	<i>Serrasalmus nattereri</i>	SN	N
Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>	AG	RA
Pirapitinga	<i>Colossoma brachypomum</i>	CB	RA
Muqim	<i>Synbranchus marmoratus</i>	SM	N
Tilapia do Congo	<i>Tilapia rendalli</i>	TR	A
Tilapia do Nilo	<i>Oreochromis niloticus</i>	ON	A
Tambaquí	<i>Colossoma macropomum</i>	CM	RA
Tucunaré comum	<i>Cichla ocellaris</i>	CO	RA
Tucunaré pinima	<i>Cichla temensis</i>	CT	RA
Traíra	<i>Hoplias malabaricus</i>	HM	N
Sardinha	<i>Triportheus angulatus</i>	TA	N

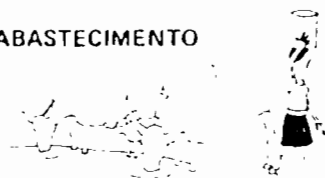
Figure 1

ESQUEMA DA PROPOSTA UPPA

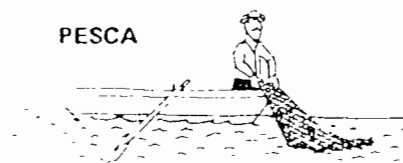


O PEQUENO AÇUDE: VÁRIOS BENEFÍCIOS PARA O SERTÃO

ABASTECIMENTO



PESCA



IRRIGAÇÃO



VAZANTE



ETATS DU NORDESTE
Couverture Landsat

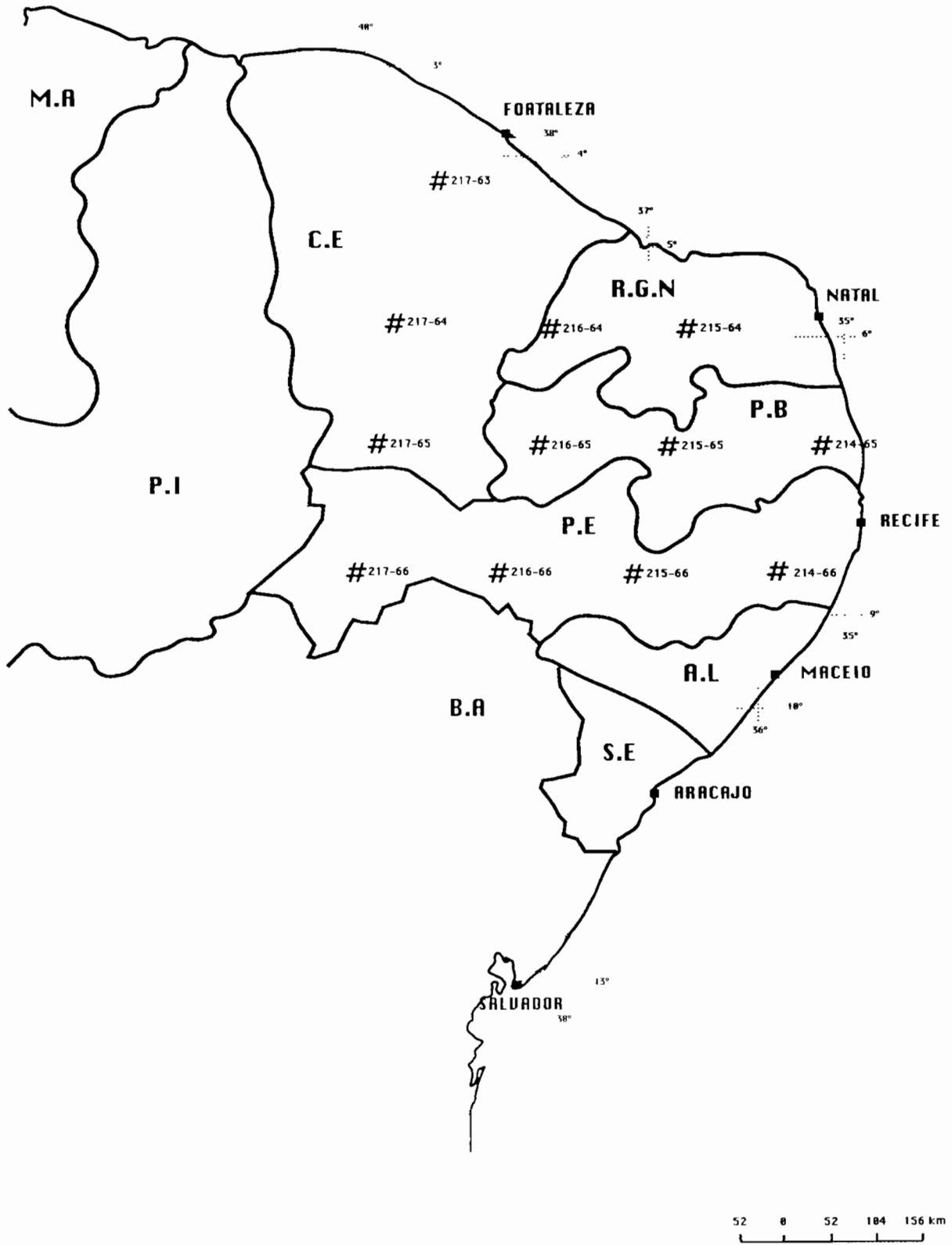


Figure 2

Figure 3

POSIÇÃO GEOGRAFICA DAS IMAGENES LANDSAT
relativas aos Municípios de Parnamirim, Serra Talhada e Ibimirim
(Estado de Pernambuco)

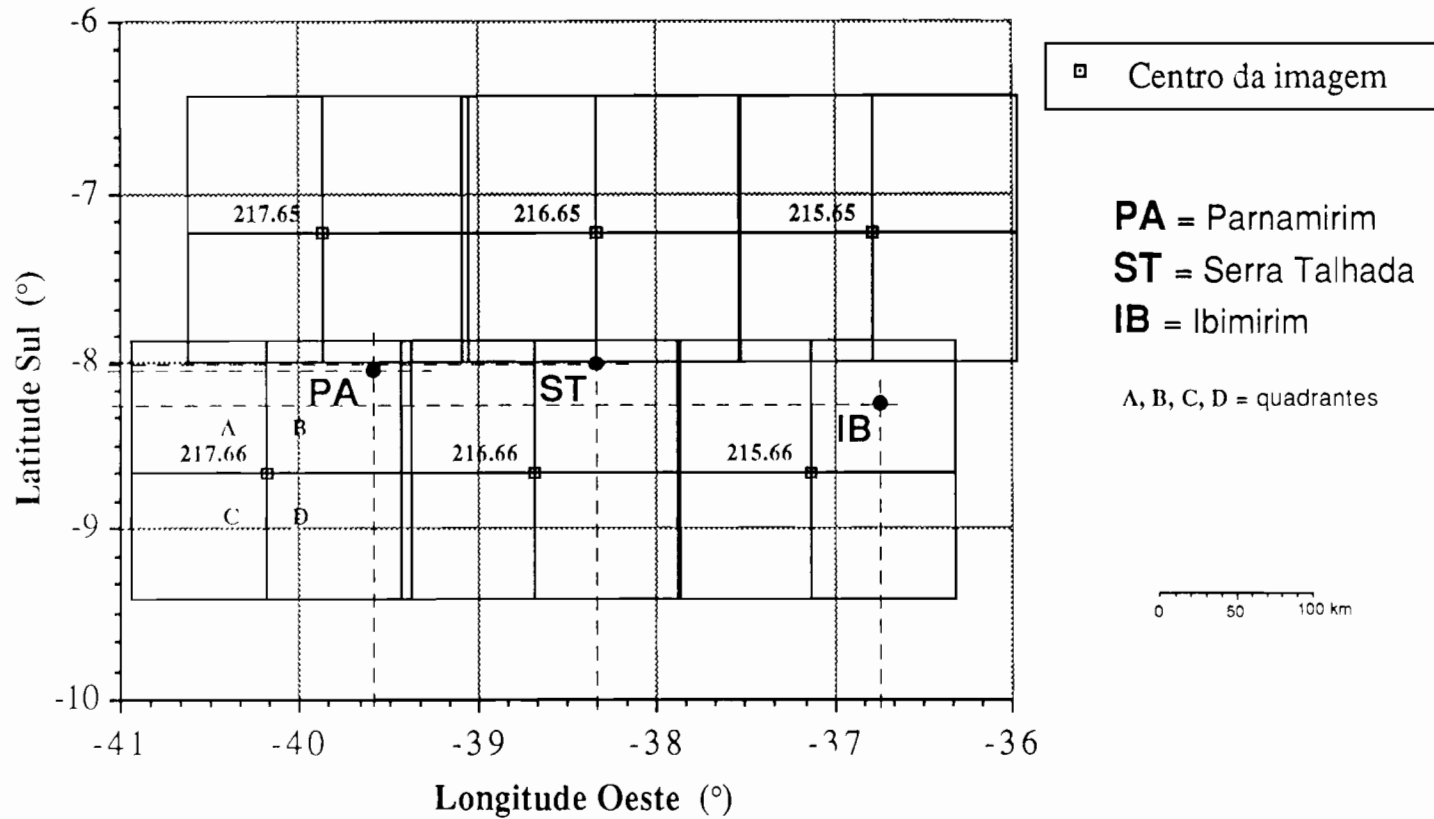
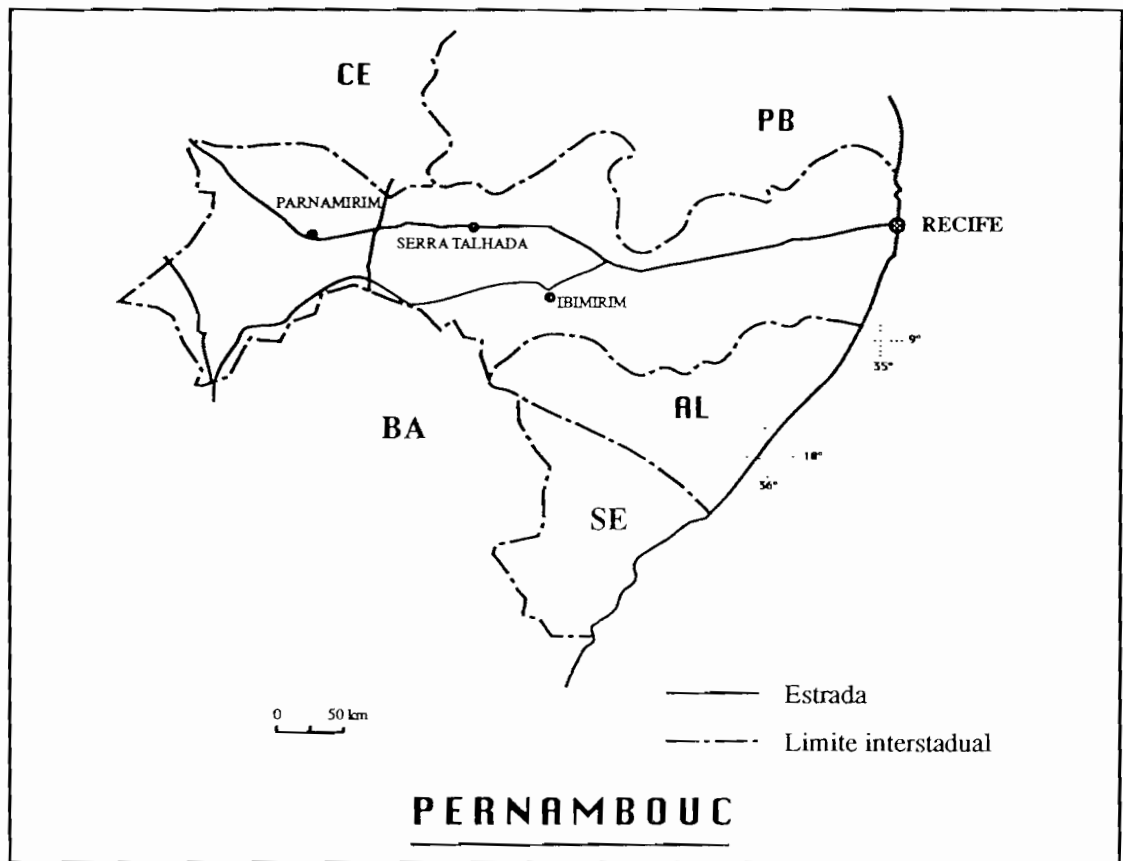


Figure 4



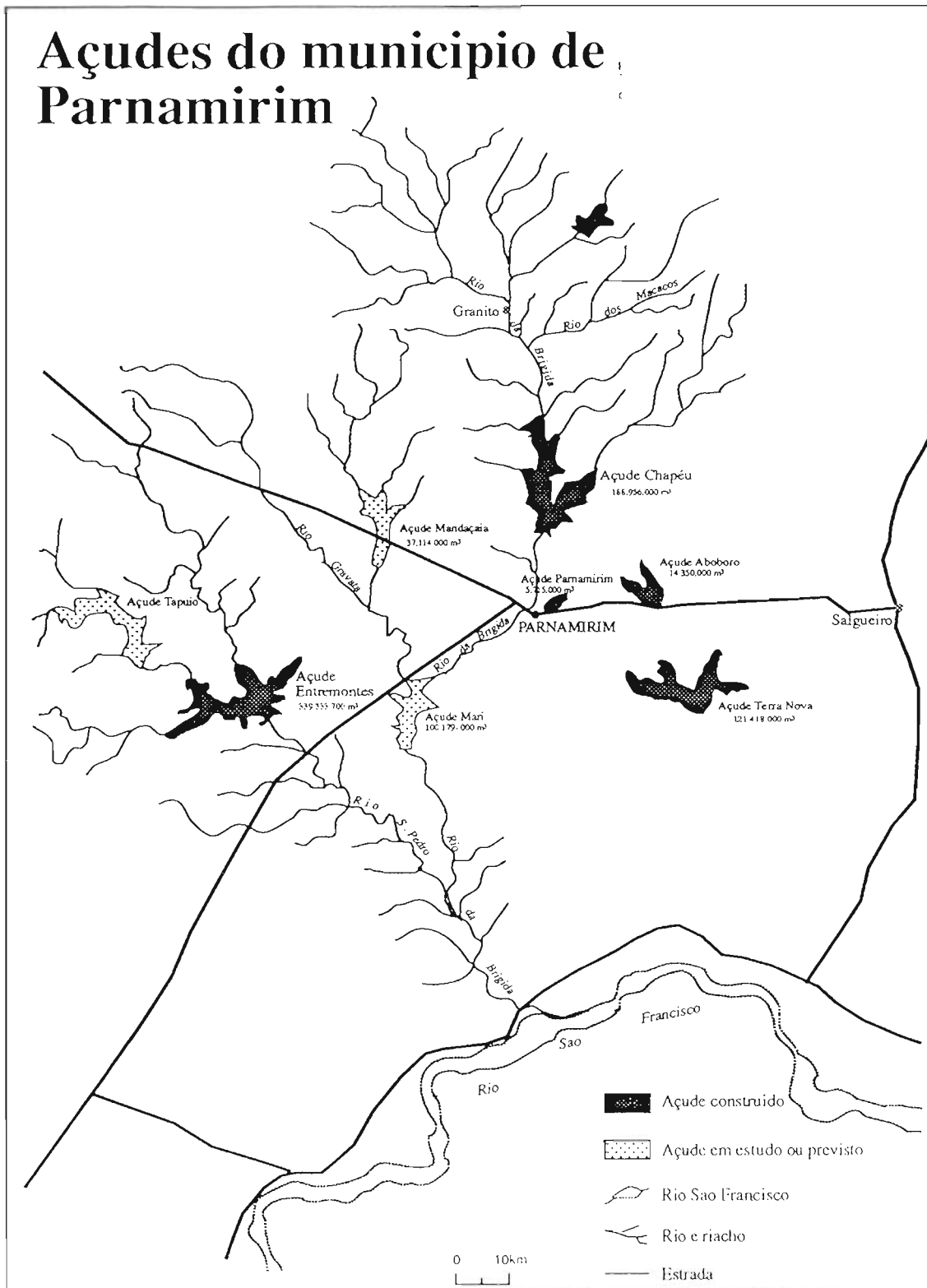


Figure 5

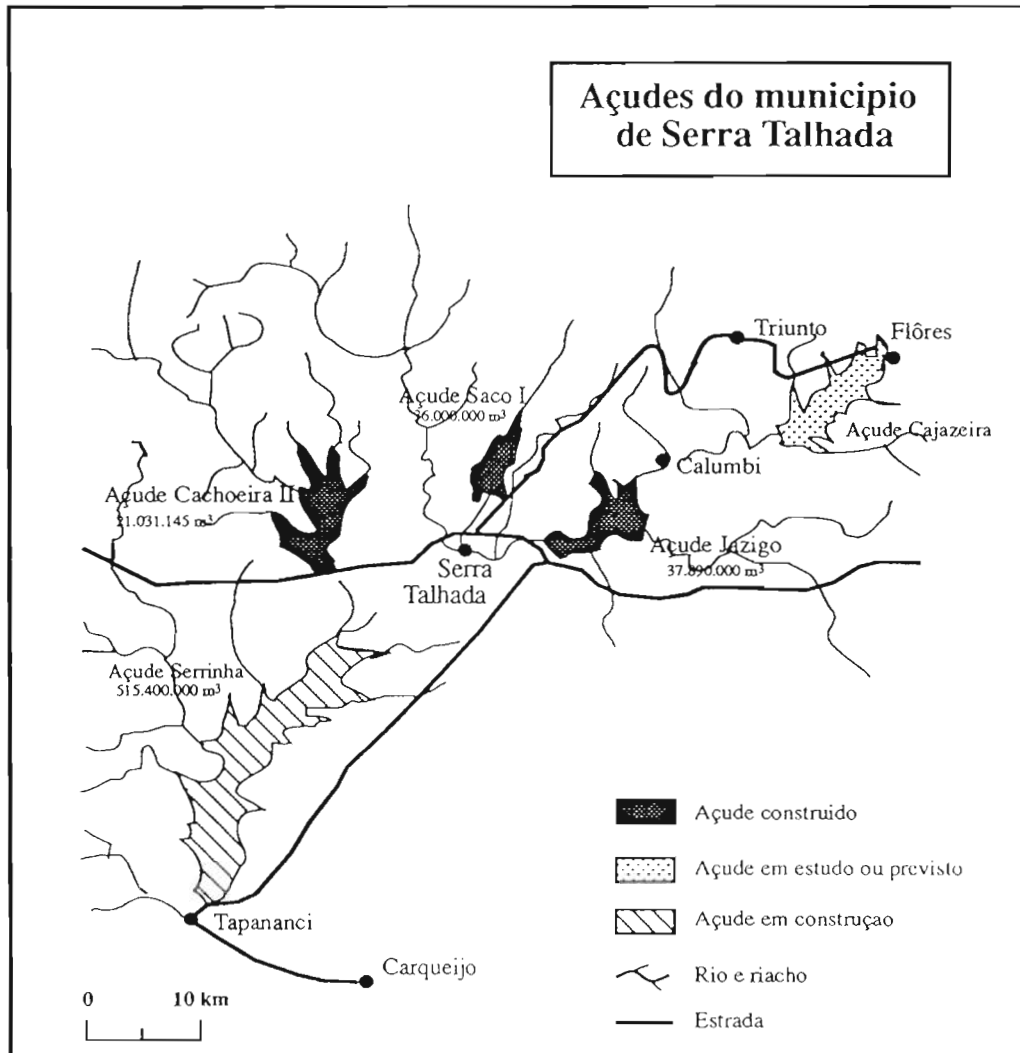


Figure 6

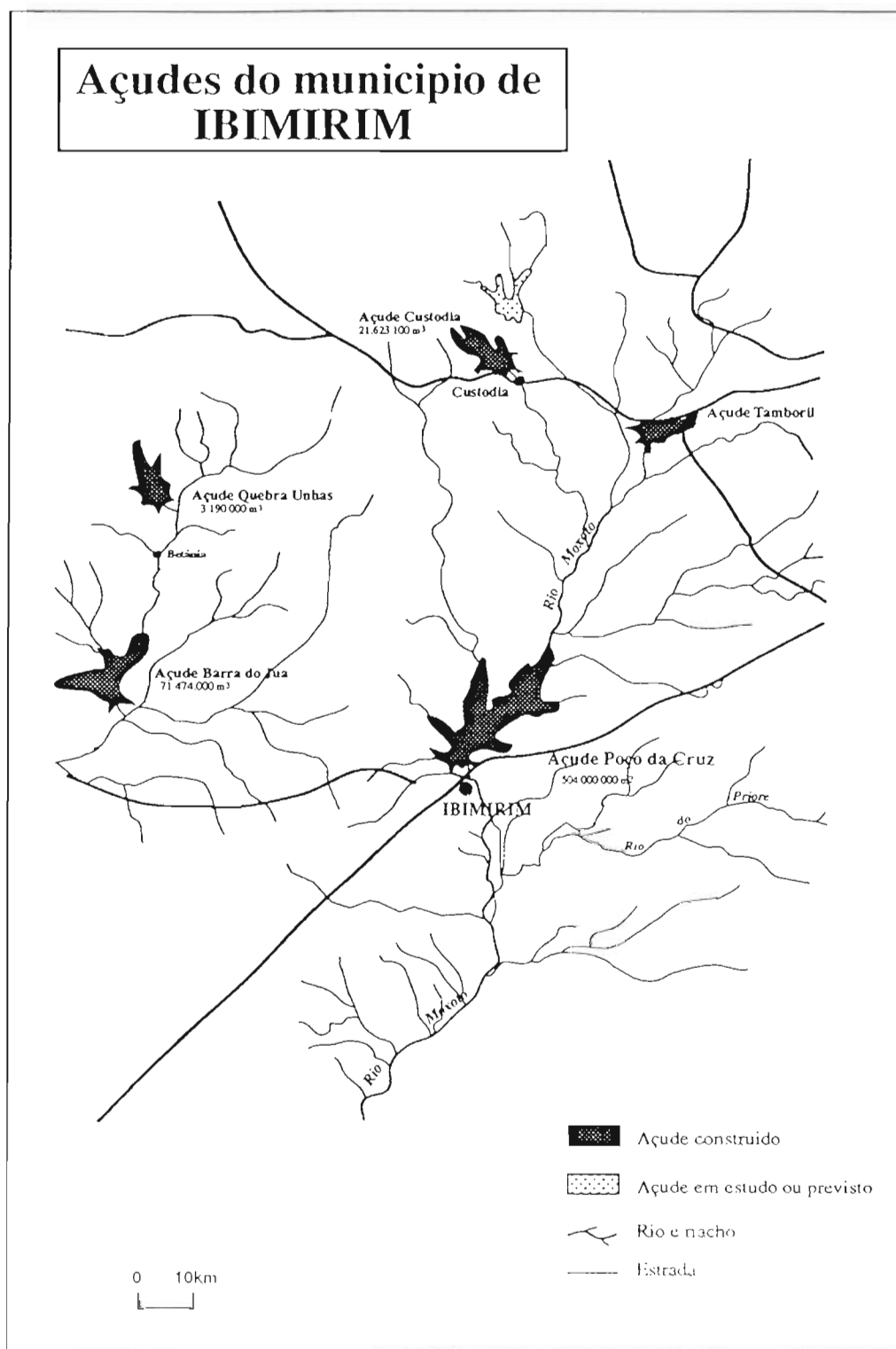


Figure 7

GRAND PROGRAMME "PETITS BARRAGES"
ORSTOM - DEC

PROJET DE RECHERCHE SUR LA PÊCHE ET L'AQUACULTURE
DANS LES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN

- Caractérisation de leur fonctionnement limnologique et écologique,
utilisation productive et impact socio-économique -

L'ALBUM PHOTOS DES AÇUDES
(Version préliminaire)

Xavier Lazzaro (DEC)

*Photos de quelques açudes des Etats du Pernambouc (PE),
Ceará (CE), Paraíba (PB) et Rio Grande do Norte (RN),
prises à l'occasion de la mission de mars 1994*

Montpellier, avril 1994

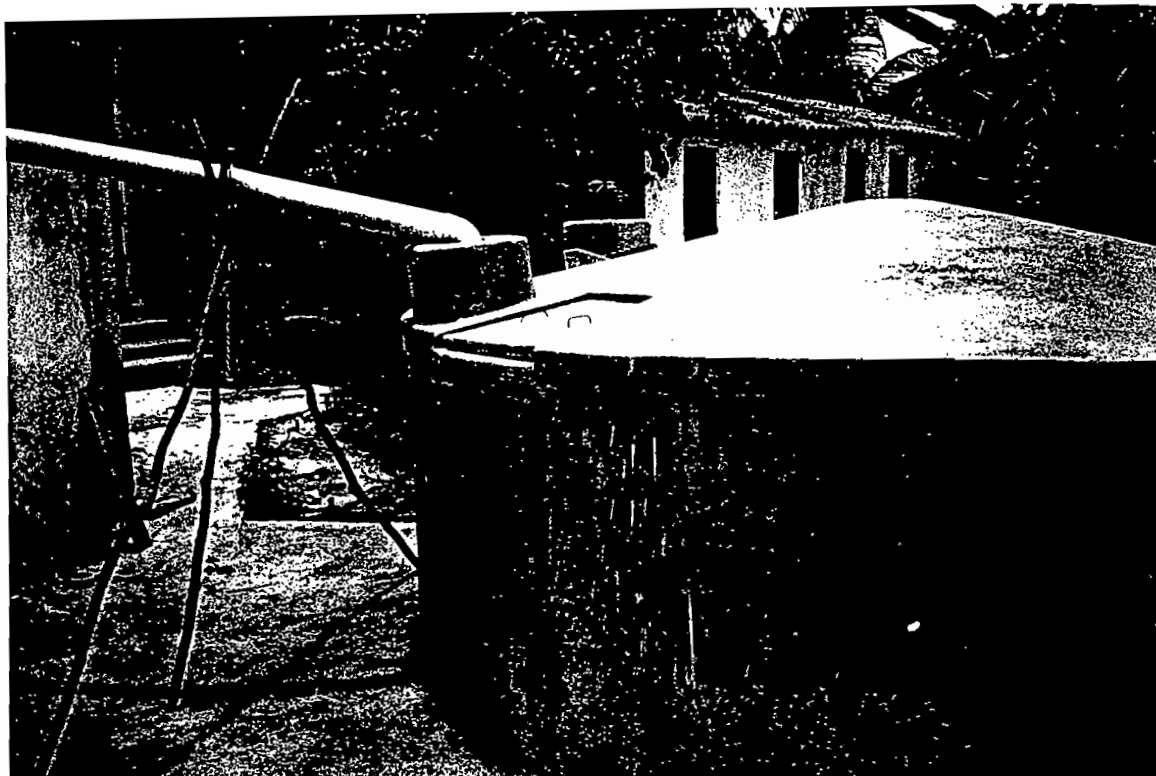


Photo A0 Citerne de plaques pour la collecte d'eau de pluie - Tauga, CE.



Photo A2 Déversoir de l'açude public Trici, CE.



Photo A3 Vue générale de l'açude public Trici, CE. Après trois années de sécheresse l'açude n'est plus qu'à moins de 10% de son volume normal. On peut noter les arbres qui immergent de l'eau.



Photo A5 Lieu de stockage des poissons du campement de pêcheurs au bord de l'açude Trici, CE. Les poissons sont stockés sur une barre de glace dans les caisses en bois, avant d'être transportés, une fois par semaine, par camion jusqu'à Fortaleza.



Photo A9 Açude comunitaire du municipe de Taua, CE. Vue amont depuis la digue de ce qui reste de l'açude après trois années de sécheresse.



Photo A10 Açude comunitaire du municipe de Taua, CE. Vue aval depuis la digue de la culture de maïs sur le bas fond.



Photo A11 Petit açude du municípe de Taua, CE. Le remblai de la route sert de barrage. On peut noter une accumulation de lentilles d'eau sur la berge sous le vent.



Photo A13 Petit açude du municípe de Taua, CE. Vue rapprochée de l'accumulation de lentilles d'eau. La clôture en branchages tressés est utilisée comme limite de pâturage en saison sèche. Cet açude n'est donc probablement pas pérenne.



Photo A14 Açude public Favelas à Taua, CE. Vue générale après trois années de sécheresse. Au fond, on peut noter sur les troncs blancs émergés la limite antérieure de l'eau, en noir.



Photo A19 Açude public Favelas, à Taua, CE. Vue générale vers la digue du barrage (à droite, surplombée par la route). Au fond, les troncs blancs émergés.

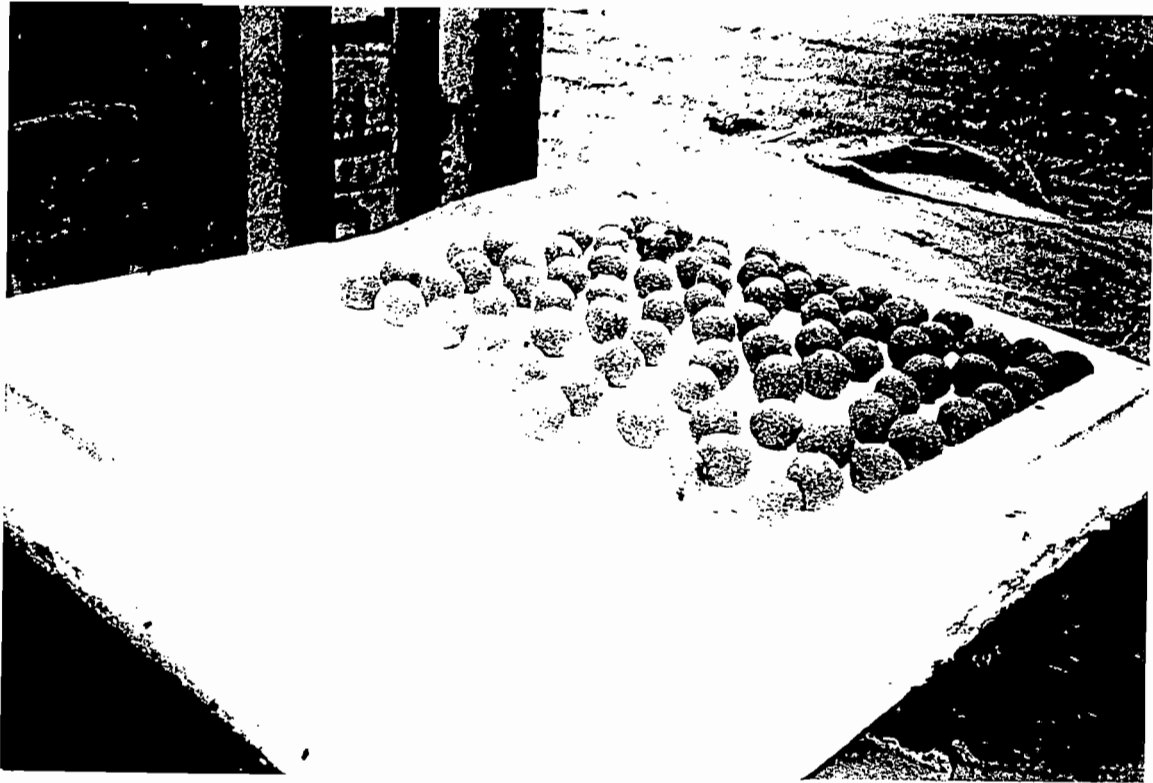


Photo A20 Boulettes préparées à base d'enveloppe de riz, utilisées comme appât dans les nasses à crevettes. Açude Favelas, à Taua, CE.



Photo A21 Açude public Favelas, Taua, CE. Gros plan de la zone de pêche, depuis la berge du campement de pêcheurs. On note leurs barques en bois et les arbres morts émergés.



Photo A23 Barques de pêcheurs, Açude Favelas, Taua, CE.



Photo A24 Pêcheur de crevettes posant ses nasses amarées sur une ligne entre deux troncs. Açude Favelas, Taua, CE.



Photo A25 Pêcheur de crevettes, açude Favelas, Taua, CE. Gros plan des nasses.



Photo A28 Berge de l'açude Favelas après trois années de sécheresse. Une nouvelle série d'échelles limnimétriques a dû être installée pour suivre la descente du niveau des eaux (4 échelles visibles sur la diagonale descendante de la gauche vers la droite de l'image).



Photo A30 Açude public Favelas, Taua, CE. Cultures maraichères suspendues.

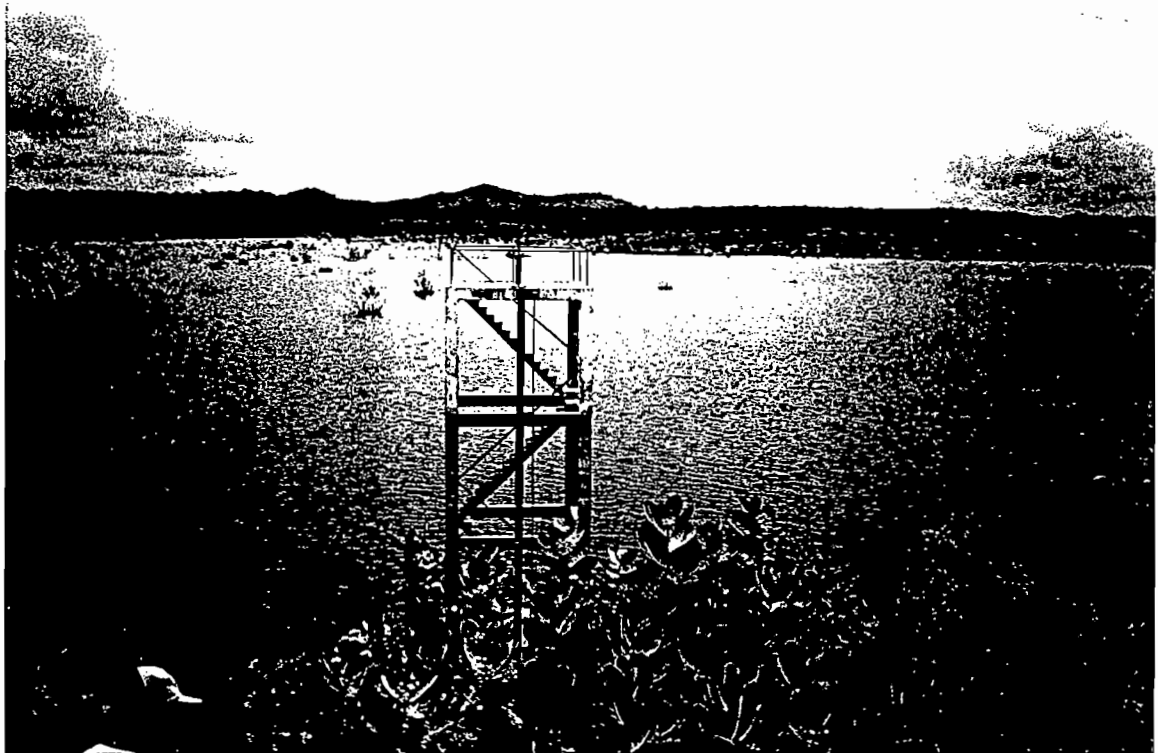


Photo A32 Açude public Favelas, Taua, CE. Vue de la tour de la vanne de fond, depuis la digue du barrage. La marque du niveau d'eau d'eau antérieur est encore visible (avant dernier niveau).



Photo A33 Açude public Favelas, Taua, CE. Vue du campement de pêcheurs, depuis la digue du barrage.



Photo A34 Açude public Favelas, Taua, CE. Vue générale vers l'amont. Le niveau d'eau est descendu d'environ 10 m; la végétation aquatique littorale est absente.



Photo A35 Açude public Favelas, Taua, CE. Vue générale du bas fond, depuis la digue du barrage.

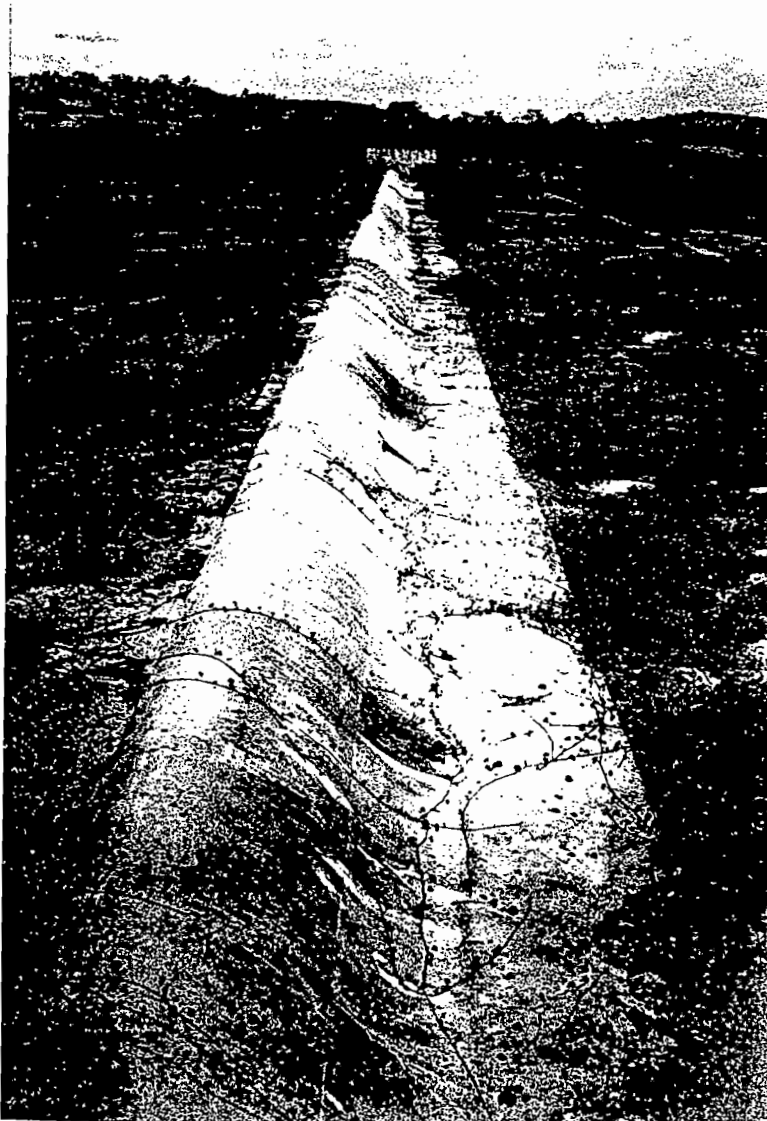


Photo A36

Açude public Favelas, Taua, CE.
Vue générale du déversoir.
L'açude n'a déversé qu'une
seule fois (en 1989)
depuis sa construction.

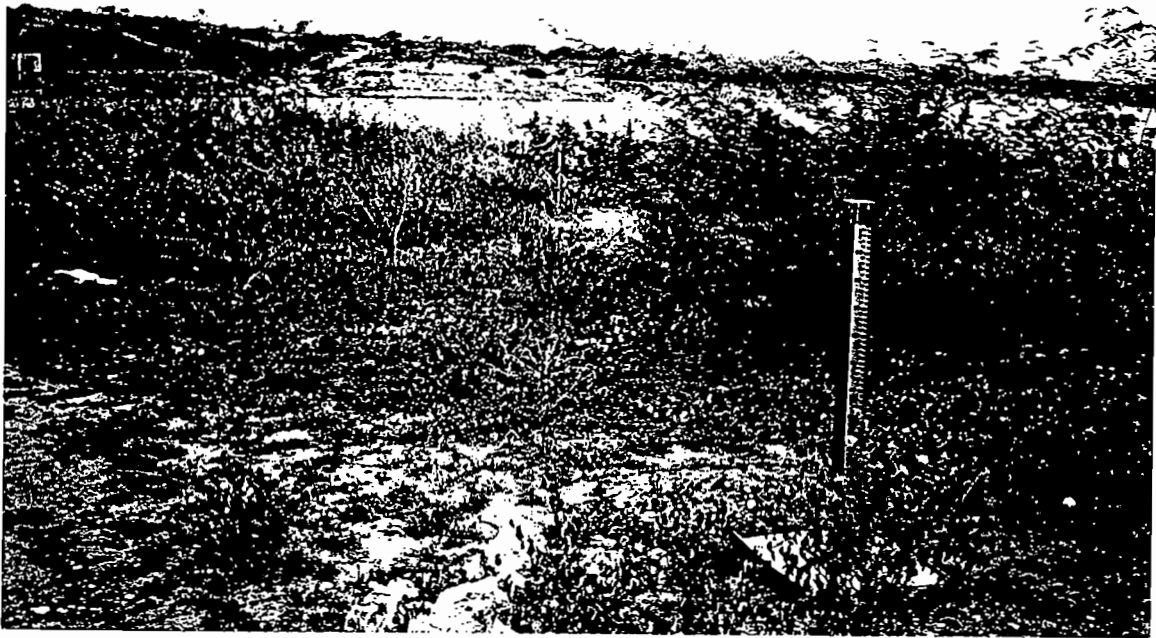


Photo B0 Açude public Favelas, Taua, CE. Echelle limnimétrique près du barrage.



Photo B2 Station de pisciculture du CEDAP, au bord de l'açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Vue du filtre biologique et des bassins. La station alimentée en gravitaire fut fermée en janvier 1993, lorsque le niveau de l'açude tomba au dessous du volume mort.

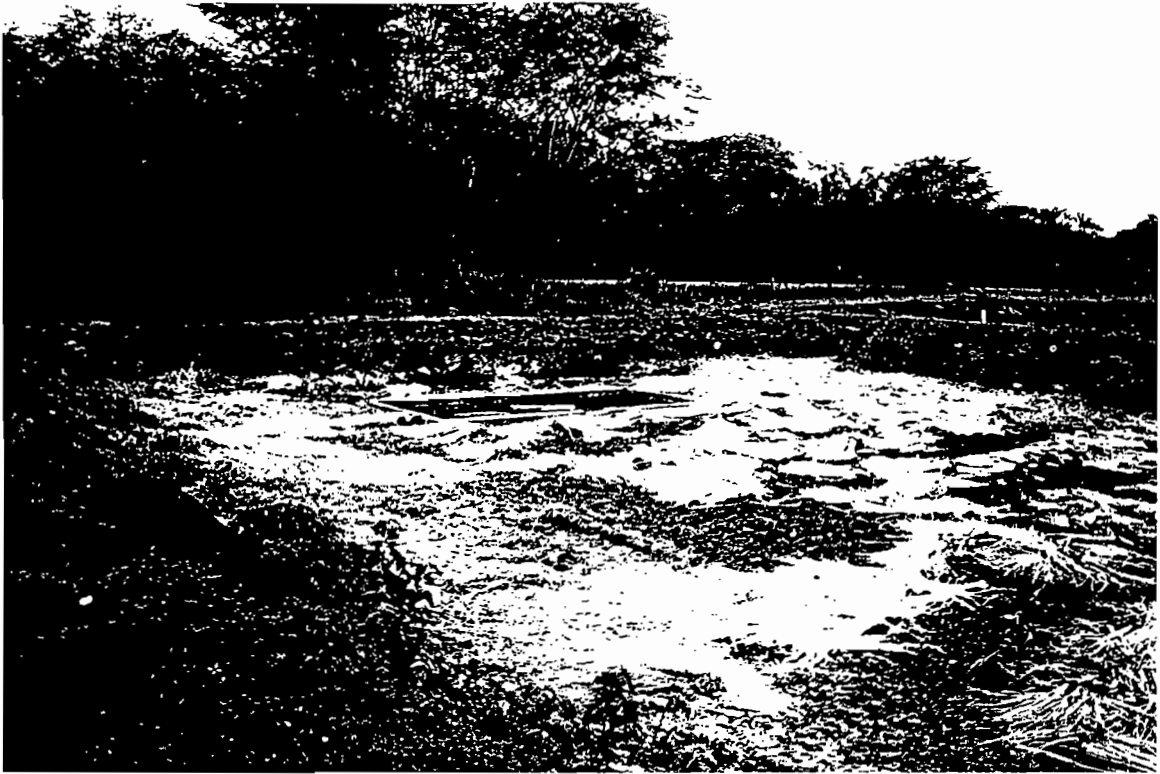


Photo B3 Station de pisciculture du CEDAP, au bord de l'açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Défrichage des bassins en espérant la remise en eau à la faveur de la saison des pluies.

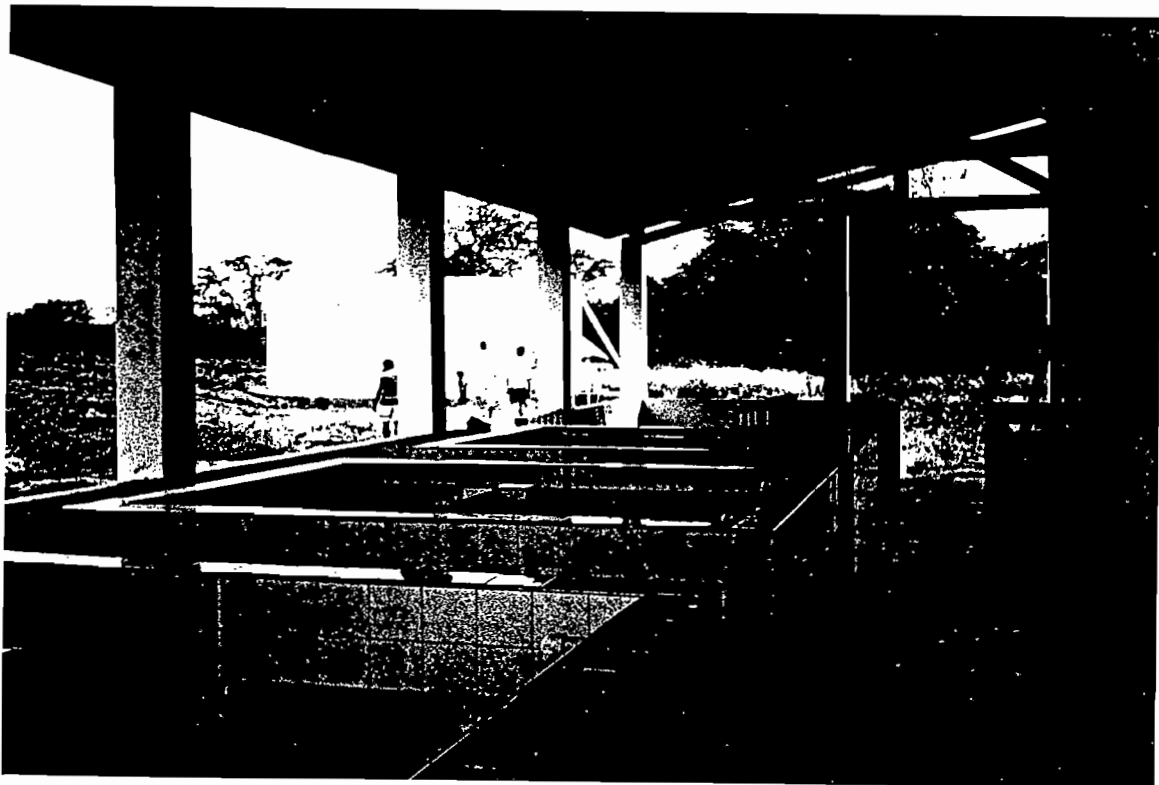


Photo B5 Station de pisciculture du CEDAP, au bord de l'açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Bassins de manipulation des géniteurs et citerne de décantation des eaux en provenance de l'açude (au fond).



Photo B6 Açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Au premier plan, la vanne sur laquelle est encore visible le niveau d'eau antérieur; au fond, ce qui reste de l'açude vu de la digue du barrage.



Photo B8 Açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Gros plan vers l'amont depuis la digue. Ce qui reste du lit du canal d'évacuation est visible à gauche.

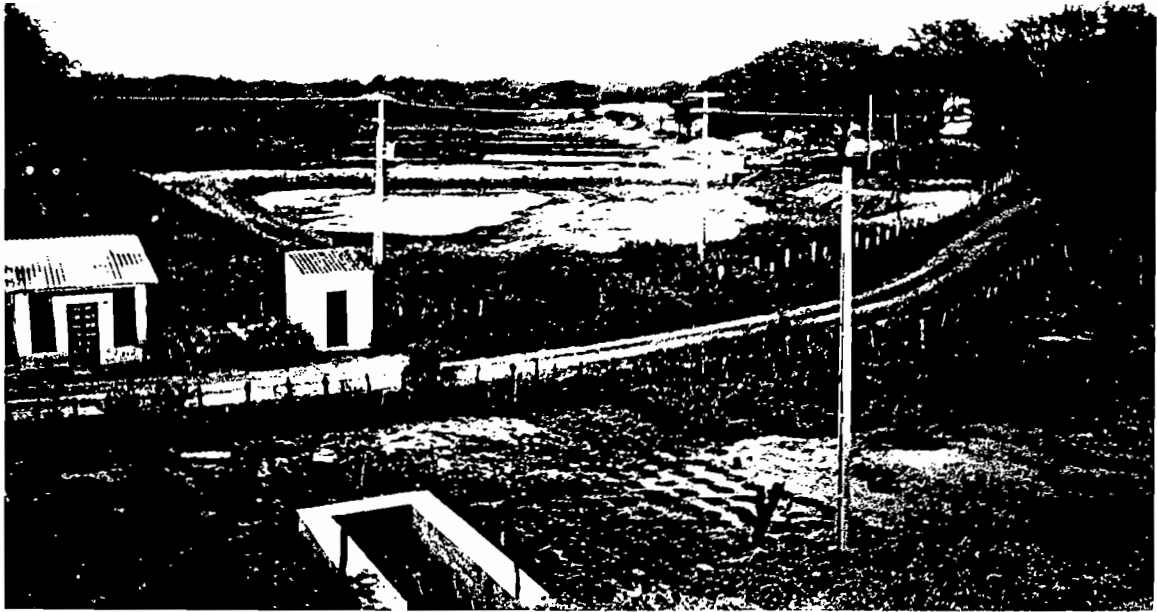


Photo B9 Vue générale de la station de pisciculture du CEDAP en aval de la digue de l'açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Au premier plan, le canal gravitaire et la station de pompage, au fond les bassins.



Photo B10 Açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Vue de la digue du barrage vers le déversoir.



Photo B14 Açude public Varzea do Boi, Taua, CE. Vue de l'açude depuis la digue du barrage.



Photo B18 Açude public Pentecoste du DNOCS, CE. Poissons pêchés: curimatá, sardinha, trairá, tucunaré, ...



Photo B19 Station expérimentale du DNOCS à Pentecoste, CE. Capture de géniteurs (femelles) de tabaqui



Photo B24 Station expérimentale du DNOCS à Pentecoste, CE. Capture d'une femelle de tabaqui pour induction par hypophysation.



Photo B25

Station expérimentale du DNOCS à Pentecoste, CE. Incubateurs de larves dans la remorque lèguée par la mission de coopération hongroise.



Photo C9 Petit açude le long de la BR230 entre João Pessoa et Campina Grande.



Photo C10 Petit açude le long de la BR230 entre João Pessoa et Campina Grande (PB). Le remblai de la route sert de digue pour le barrage.



Photo C11 Petits açudes le long de la BR230 entre João Pessoa et Campina Grande (PB).



Photo C9 Petit açude le long de la BR230 entre João Pessoa et Campina Grande (PB).



Photo C14 Petit açude pluvial de type 'barreiro' le long de la BR230 entre Campina grande et Juazeirinho (PB).

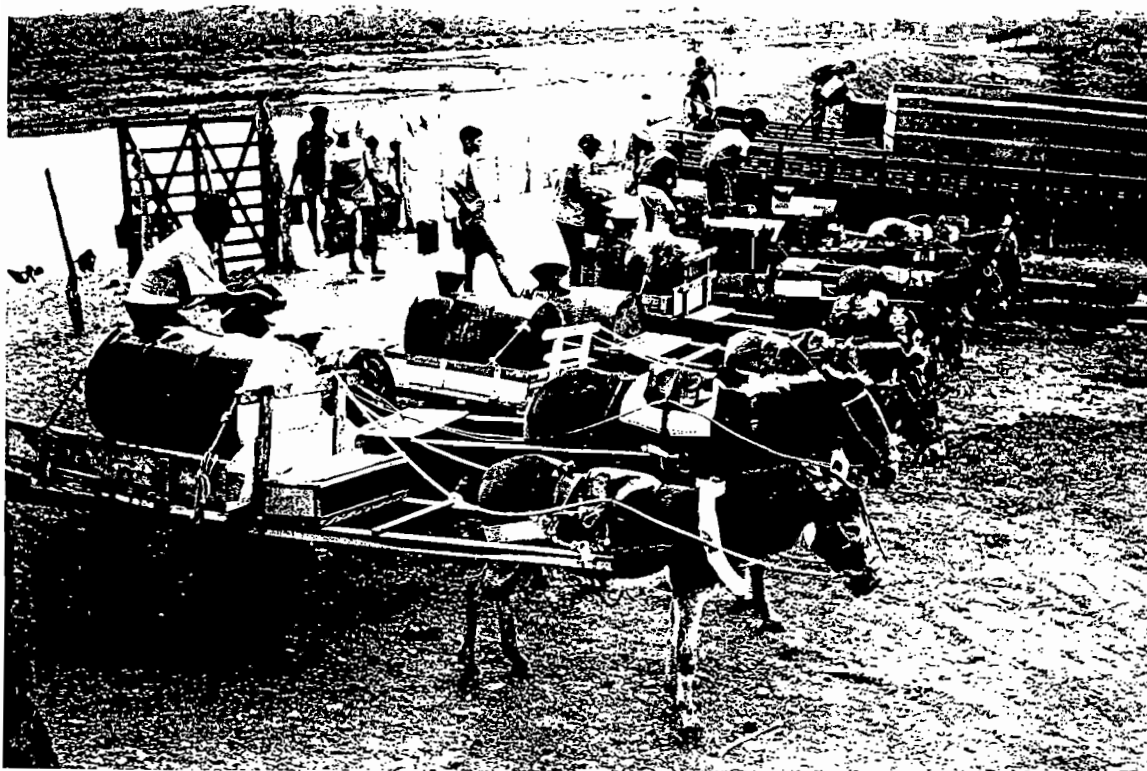


Photo C17 Açude public à la sortie de Juazeirinho (PB). Remplissage des citernes tirées par des ânes pour le ravitaillement d'eau de la population.

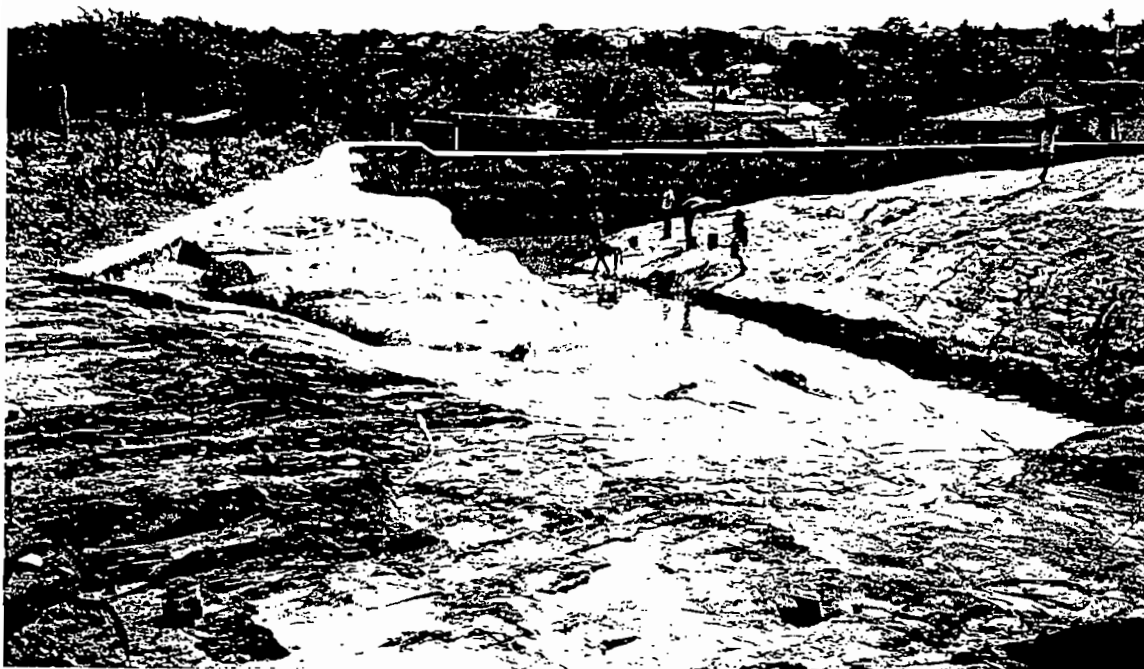


Photo C18 Les derniers efforts de ravitaillement sur l'açude public presque vide dans Juazeirinho (PB).



Photo C19 Petit açude le long de la BR230 entre Campina Grande (PB) et Caicó (RN).



Photo C22

Petit açude entièrement recouvert de lentilles d'eau le long de la BR230 entre Campina Grande (PB) et Caicó (RN).

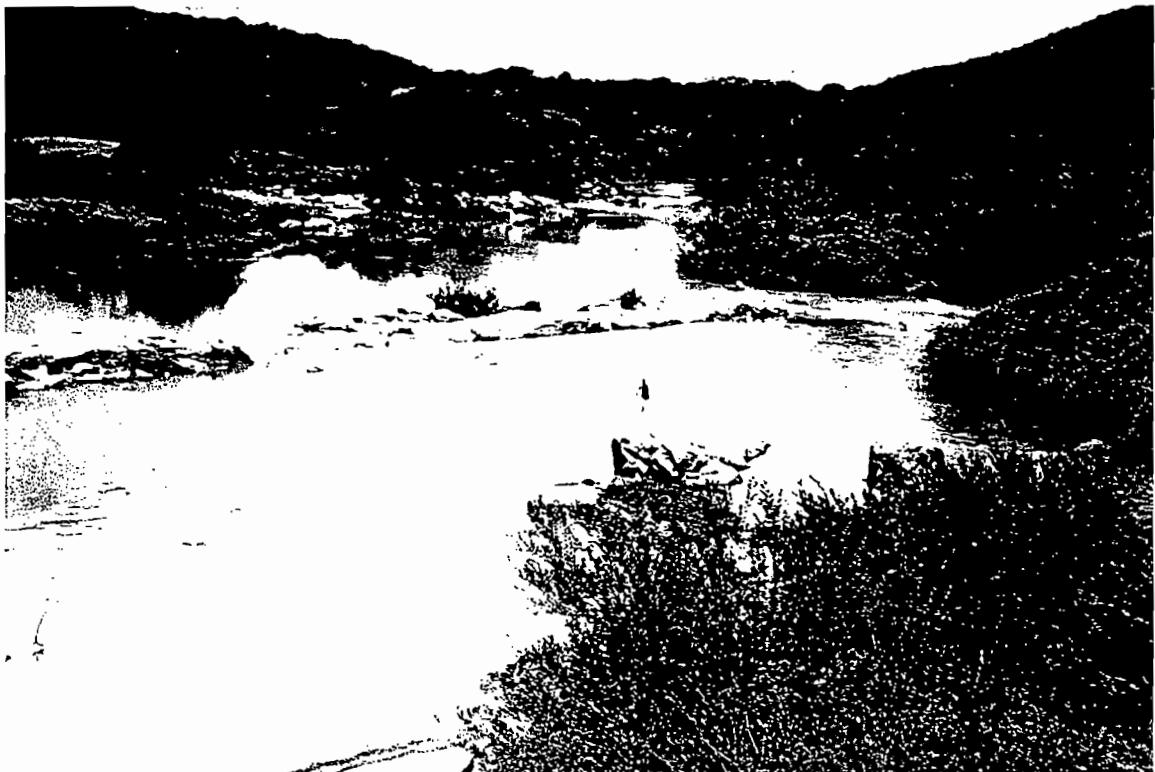


Photo C26

Pêche à l'épervier dans un petit cours ('riacho') en crue juste après quelques pluies. Quelque part le long de la BR230 avant Santa Luzia (PB).



Photo C36 Déversement de l'açude public Jazigo, avant Serra Talhada, PE. Le seul déversement vu pendant tout le périple dans le Nordeste.



Photo D4 Açude public Saco I de l'IPA, Serra Talhada, PE. Vue générale depuis la station de pisciculture vers la digue surélevée du barrage (entre les deux monts).



Photo D8 Açude public Saco I, Serra Talhada, PE. Résultat d'une pêche: tilapia nilotica et filets de tilapia préparés pour l'exportation vers Recife.

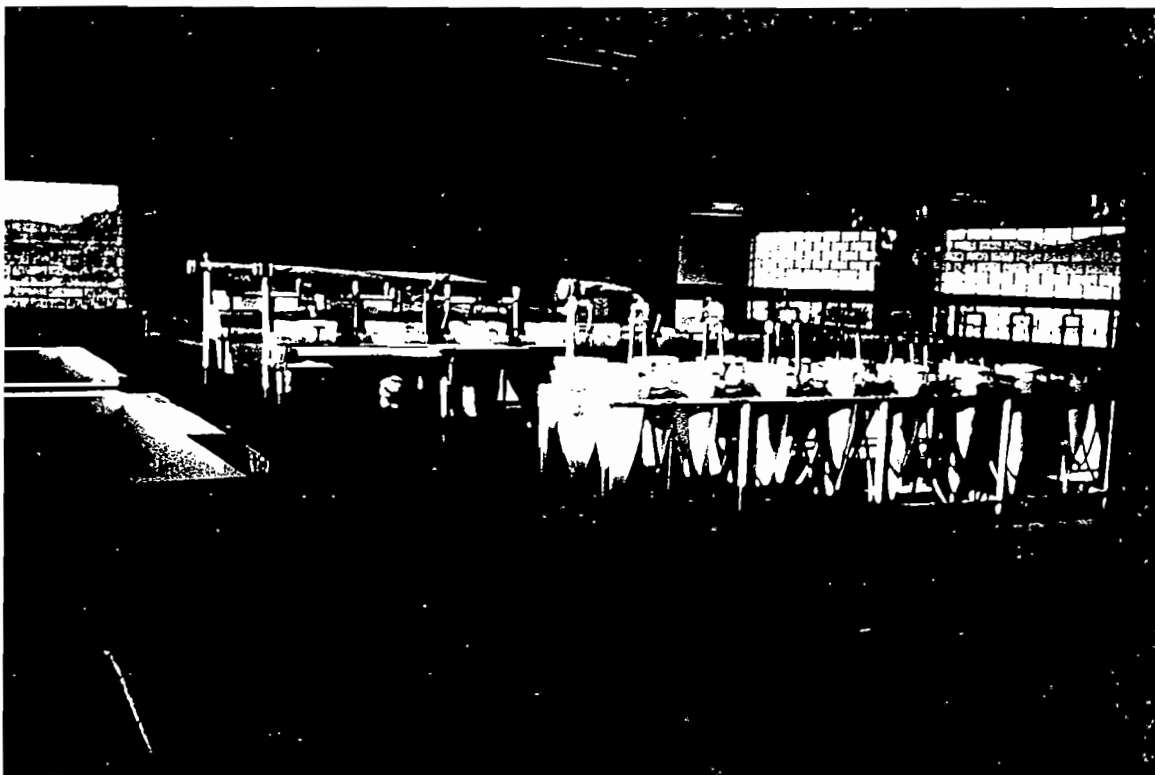


Photo D9 Station de pisciculture de l'IPA au bord de l'açude Saco I, Serra Talhada, PE. Vue des incubateurs dans le laboratoire (principalement pour les larves de tambaqui).

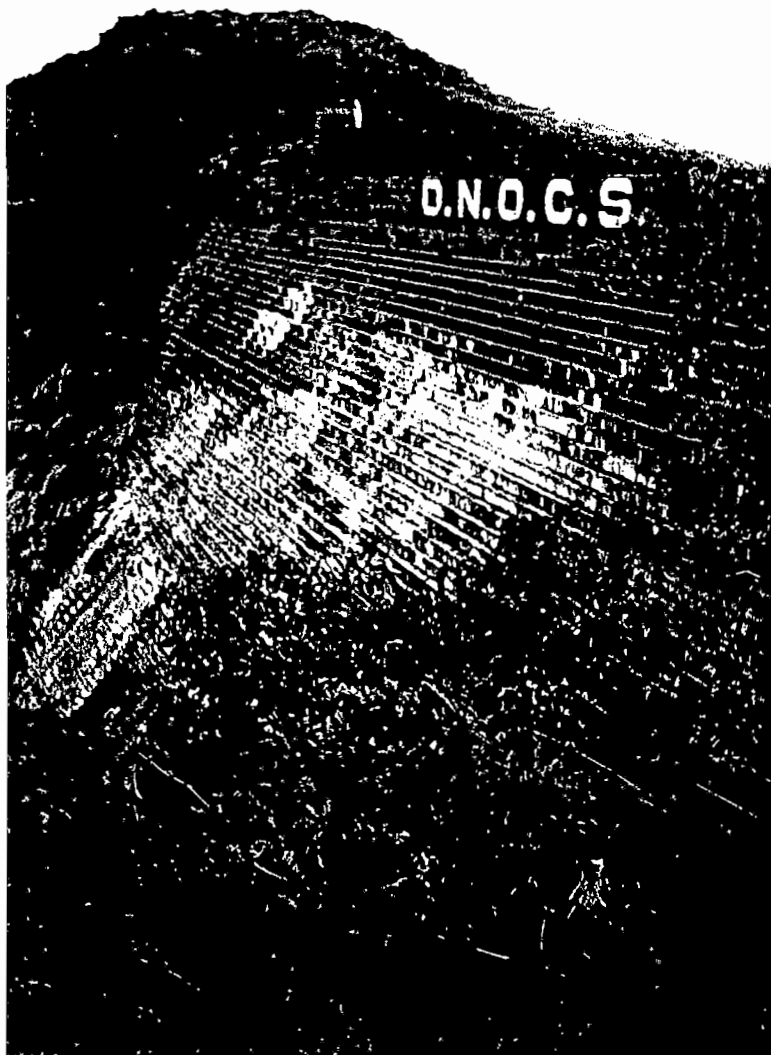


Photo D10 Mur du barrage de l'açude Cachoeira II du DNOCS, Serra Talhada, PE.



Photo D11 Açude public Cachoeira II du DNOCS, Serra Talhada, PE. Vue des blooms d'algues depuis le mur du barrage.



Photo D12 Açude public Cachoeira II du DNOCS, Serra Talhada, PE. Vue vers l'amont au couchant.



Photo D15 Açude public Chapéu, Parnamirim, PE. Vue de la vanne depuis la digue.



Photo D16 Açude public Chapéu, Parnamirim, PE. Vue générale après trois années de sécheresse. Les niveaux d'eau successifs sont visibles sur les arbres et la végétation des rives.



Photo D17 Açude public Chapéu, Parnamirim, PE. L'eau 'bien verte' près de la digue du barrage: vue de la tour de la vanne.



Photo D21 L'un des 9 petits açudes construits sur le Brigida (au fil de l'eau sur 30 km) sur fonds d'urgence par la Préfecture de Parnamirim, PE. La végétation aquatique est très abondante et la diversité des habitats est sans doute très favorable au développement des populations piscicoles.

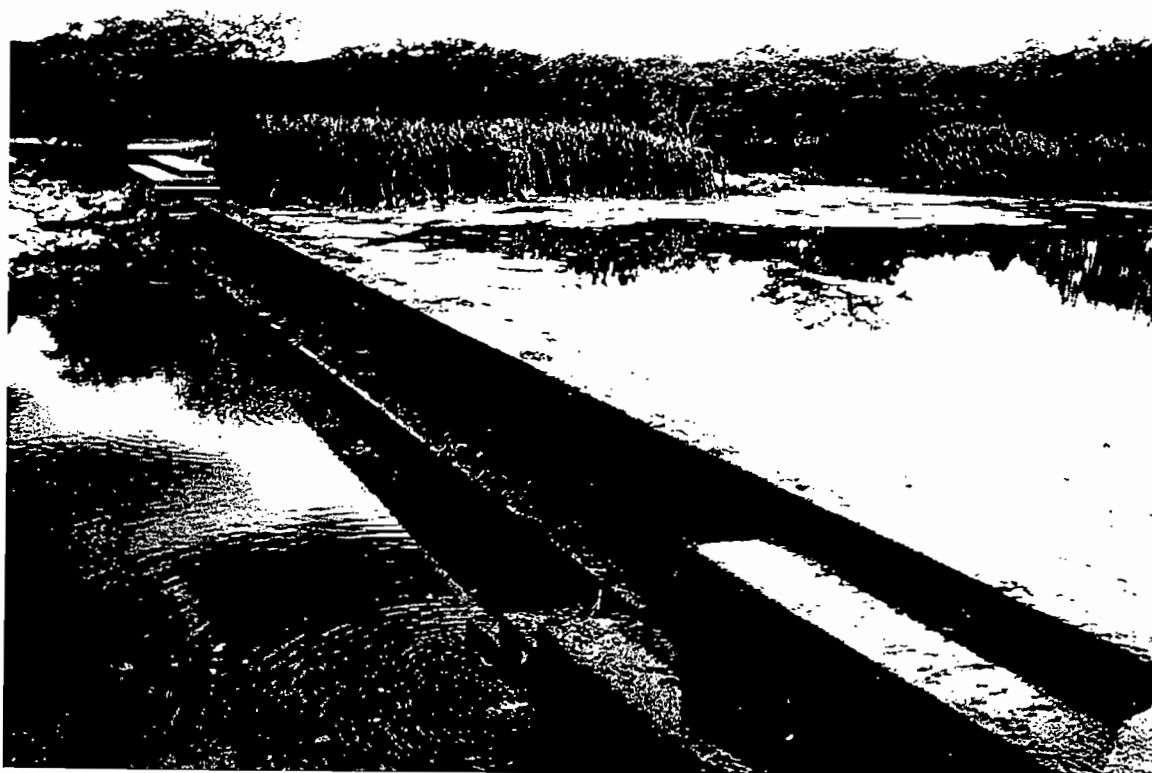


Photo D22 Mur en pierres cimentées de l'un des petits açudes construits sur fonds d'urgence par la Préfecture de Parnamirim, PE.

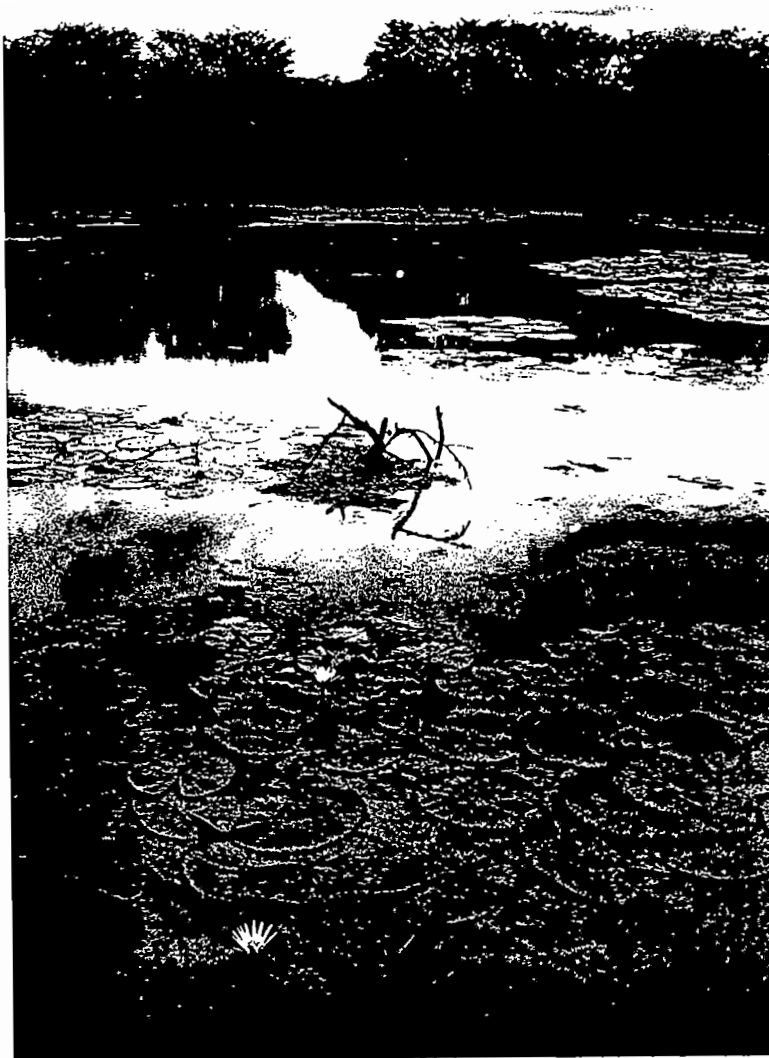


Photo D23

Gros plan de la végétation aquatique de l'un des petits açudes construits sur fonds d'urgence par la Préfecture de Parnamirim, PE.



Photo D27

Açude public Poço da Cruz du DNOCS, Ibimirim, PE. Vue générale de la baisse du niveau des eaux après trois années de sécheresse.

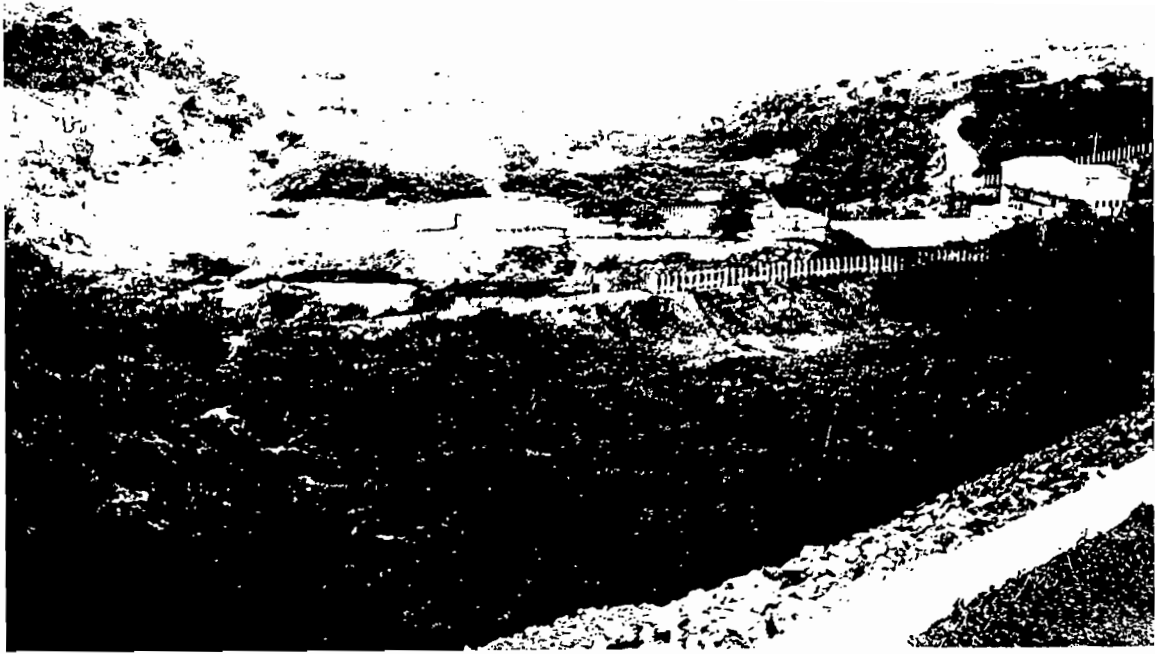


Photo D30 Açude public Poço da Cruz du DNOCS, Ibimirim, PE. Vue en aval des installations du DNOCS (désaffectées, à droite) et du canal gravitaire (du centre vers le haut à gauche) alimentant le grand périmètre irrigué 'Moxoto' du DNOCS.

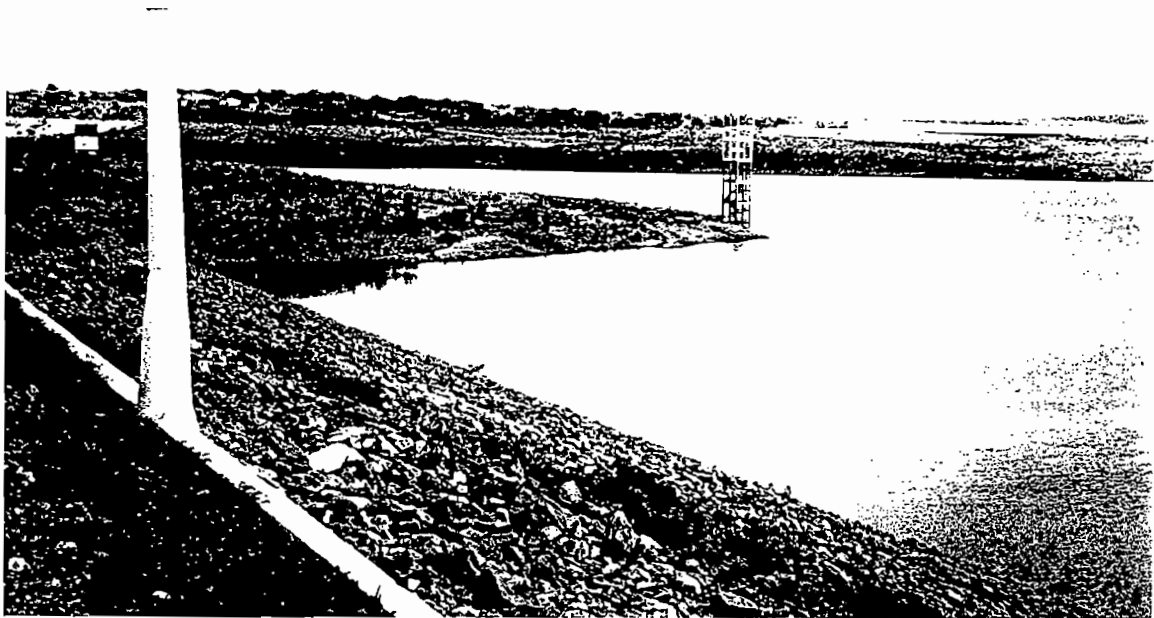


Photo D31 Açude public Poço da Cruz du DNOCS, Ibimirim, PE. Vue amont depuis la digue du barrage. On note le niveau antérieur de l'eau à mi-hauteur sur la tour de la vanne.



Photo D34 Station de pisciculture 'Bastos Tigre' du DNOCS, en aval de l'açude public Poço da Cruz, Ibimirim, PE. Vue de l'équipe dans le laboratoire d'incubation des larves.



Photo D36 Açude public Poço da Cruz du DNOCS, Ibimirim, PE. Vue de l'un des 12 bassins de 80 m x 40 m (encore en eau) et des canaux d'alimentation. On note le parfait entretien des bassins (berges opposées en pentes douces cimentées).

- **RAPPORTS DE LA MISSION
DE SEPTEMBRE 1992**

RAPPORT DE MISSION - RECIFE, BRESIL

16-18 septembre 1992

**PROPOSITION DE
GRAND PROGRAMME
"USAGES MULTIPLES
DES AÇUDES
DU NORDESTE BRÉSILIE"**

Possibilité de Coopération Hydrologie-Hydrobiologie

Xavier LAZZARO*
Ecologiste Aquatique, CR1, UR2C, DEC

Montpellier le 12 octobre 1992

***Adresse Actuelle:**

**ORSTOM - Lab. HOT, 911 Avenue Agropolis, BP 5045, 34032
Montpellier, France
Tel. (33) 67.61.74.50, Fax: (33) 67.54.78.00
e-mail: lazzaro@orstom.orstom.fr**

Justificatifs de Mission

Les hydrologues de l'ORSTOM coopèrent dans le Nordeste depuis près de trente ans. La parution cette année du manuel pratique "Manual do Pequeno Açude" (François MOLLE & Eric CADIER 1992. SUDENE, ORSTOM, TAPI, 521 p.) constitue une synthèse technique de cette coopération.

Au DEC, le thème de recherche "Gestion multiple des Petits Barrages dans les régions tropicales semi-arides" est prioritaire, compte tenu d'une volonté d'intégrer les compétences des hydrologues et des hydrobiologistes, c'est-à-dire aussi bien les aspects quantitatifs (bilans en eau) que qualitatifs (contrôle de la qualité de l'eau, gestion des ressources aquatiques). Deux programmes en sont représentatifs: le "Programme Petits Barrages de l'IDESSA en Côte d'Ivoire" (responsable K. TRAORE; point bibliographique et proposition d'action sous la responsabilité de Philippe CECCHI, hydrobiologiste de l'UR2D), avec extension possible au Burkina Faso, et le "Programme Açudes du Nordeste Brésilien" (responsable Eric CADIER).

Depuis mon affectation (1983-1987) à l'Université Fédérale de São Carlos (UFSCar) et à l'Université de São Paulo (USP), je m'intéresse au fonctionnement des barrages tropicaux et je me suis attaché à maintenir des relations étroites avec la communauté universitaire des limnologues brésiliens. J'ai profité de mon invitation par la Société Brésilienne de Limnologie de participer comme conférencier au IV Congrès Brésilien de Limnologie à Manaus pour connaître le Programme Açudes du Nordeste. Durant ce congrès, j'ai discuté des particularités de ces systèmes avec Mme Anne-Marie KONIG, professeur au Dept. de Génie Civil de l'Université Fédérale de la Paraíba, qui présentait un travail sur les aspects microbiologiques et sanitaires d'un açude urbain, l'Açude Velho de Campina Grande. Disposant de quelques jours après le congrès, j'ai exposé à Michel MOLINIER, représentant de l'ORSTOM au Brésil, mes motivations pour une visite d'information dans le Nordeste. Très favorable à mon initiative, il m'a encouragé à prendre contact auprès de diverses institutions à Recife afin (1) d'évaluer les besoins brésiliens en matière de recherches et de coopération sur les systèmes aquatiques du Nordeste, en particulier les possibilités de collaboration entre hydrologues et hydrobiologistes, et (2) d'identifier des partenaires potentiels.

Personnalités Rencontrées

Mes premiers contacts à Recife ont été organisés par Pierre AUDRY, pédologue de l'ORSTOM, en poste au Centre d'Energie Nucléaire de l'Université Fédérale du Pernambouc. Pendant les 3 jours de ma visite (16-18 septembre), j'ai rencontré les personnalités suivantes (voir listes des sigles et des contacts en Annexes 1 et 2):

UNIVERSITÉS

• Université Fédérale du Pernambouc (UFPE)

- Prof. Sylvio CAMPELLO, responsable technique de la SUDENE, hydrologue, collaborateur de l'ORSTOM sur le Programme Açudes

- **Université Fédérale Rurale du Pernambouc (UFRPE)**

- Prof. Paulo BURGOS, responsable des Ressources des Pêcheries, ex. fonctionnaire de la SUDENE
- Prof. Ayrton COSTA, responsable du Département de la Pêche

ORGANISMES RÉGIONAUX

- **Compagnie de Contrôle de la Pollution de l'Environnement et d'Administration des Ressources en Eau du Pernambouc (CPRH)**

- Dr. Carlos MOREIRA LIMA, Directeur des Ressources Naturelles

- **Compagnie du Pernambouc d'Assainissement de l'Eau (COMPESA)**

- Dr. Zamir PORCIUNCULA, Directeur Technique

- **Secrétariat de la Planification, des Sciences, de la Technologie et de l'Environnement du Gouvernement de l'Etat du Pernambouc (SCT/PE)**

- Dr. Maria do Carmo MARTINS SOBRAL, Directrice de l'Environnement

- **Secrétariat de l'Habitation et de l'Assainissement (SHS/PE)**

- Dr. Mario VALENÇA, Directeur des Ressources en Eau

Bilan de la Mission

Des discussions avec les différentes personnalités rencontrées il ressort que:

- (1) La SUDENE et le DNOCS sont des institutions vieillissantes **en perte de vitesse** et sans moyens financiers. Compte tenu de la conjoncture économique et politique actuelle au Brésil, de nombreux fonctionnaires sont contraints à prendre leur retraite et ne sont pas remplacés. Ces institutions ne semblent plus être de bons partenaires scientifiques pour l'ORSTOM.
- (2) Par contre, au Brésil les régions deviennent de plus en plus autonomes et les pouvoirs sont décentralisés aux Etats. On voit apparaître beaucoup de **dynamisme dans les structures régionales et locales chargées de la gestion des ressources en eau**. C'est le cas du SCT/PE qui est demandeur d'un programme scientifique et de coopération avec l'ORSTOM pour, en particulier, l'intégration de données biologiques à un système cartographique et de gestion des bassins hydrographiques du Nordeste.
- (3) Compte tenu de la brièveté de ma visite, une **mission complémentaire** est nécessaire. Elle devrait se situer au niveau des responsables du DEC afin d'analyser (1) **l'opportunité d'un Programme de Recherche Hydrologique et Hydrobiologique sur les Usages Multiples des Açudes du Nordeste**, (2) les conditions offertes par la(les) contrepartie(s) brésilienne(s), c'est-à-dire, les moyens matériels et des garanties de durée et (3) les possibilités de financements internationaux (PNUD, Banque Mondiale, CE, etc.). Il me semble qu'un tel **programme multidisciplinaire sur les aspects quantitatifs et biologiques des ressources en eau** dans cette région tropicale peu développée du Brésil correspond bien à **une thématique forte et prioritaire du DEC**.

Possibilités de Programmes de Recherches, de Coopération Scientifique et Partenaires Scientifiques Potentiels

Au cours des entretiens (voir le résumé en Annexe 3), deux groupes d'institutions ont exprimé clairement

une demande de coopération scientifique avec l'ORSTOM:

(1) **Programme SCT/PE - CPRH: Cartographie et gestion intégrée (hydrologie + hydrobiologie) des bassins hydrographiques du Nordeste**

A l'occasion d'une réunion de planification entre la SCT/PE et la CPRH, j'ai été convié par le Prof. CAMPELLO et la Dra. MARTINS SOBRAL à présenter les techniques de biomanipulations de chaînes trophiques pour la restauration de lacs et réservoirs tropicaux eutrophes (utilisation de l'action d'organismes pour contrôler la croissance des végétaux indésirables) et exposer quelques résultats de mes travaux expérimentaux sur les effets des poissons sur la qualité de l'eau. L'objet de cette réunion était de planifier l'intégration de données limnologiques et piscicoles (recueillies par diverses institutions, en particulier les universités dans le cadre de leurs programmes de recherche) à une banque existante de données hydrologiques et pluviométriques des Etats du Nordeste. Il s'agit de **cartographier, par Etat, non seulement le potentiel et l'utilisation des ressources en eaux, mais le potentiel et l'utilisation des ressources piscicoles (structure et abondance des communautés, productivités de la pêche et de l'aquaculture) et la qualité des eaux (problèmes de nuisances: eutrophisation, fleurs d'eau, etc.) pour une gestion intégrée (hydrologie + hydrobiologie) des bassins hydrographiques du Nordeste** (voir Figure 1). Une synthèse de ces informations pourrait aboutir à l'établissement d'une typologie de systèmes en fonction des usages souhaités (eau de consommation, irrigation, pêche, pisciculture, etc.). Les Dr. MARTINS SOBRAL (SCT/PE), MOREIRA LIMA (CPRH) et VALENÇA (SHS/PE) m'ont clairement affirmé l'intérêt de leurs instituts pour une collaboration technique de l'ORSTOM sur ce programme.

Un tel programme d'envergure régionale et combinant à la fois les aspects "recherche et développement" est, me semble-t-il, d'un **grand intérêt scientifique pour l'ORSTOM** car il permet à la fois de **valoriser l'expérience hydrologique déjà acquise et de favoriser le développement d'équipes pluridisciplinaires (hydrologues + hydrobiologistes) spécialisées dans la gestion à la fois des ressources en eau et aquatiques.**

(1) **Programme COMPESA - UFRPE: Gestion piscicole et restauration écologique de systèmes eutrophisés (Barrage de Tapacura, Recife)**

Le Dr. PORCIUNCULA et le Prof. COSTA viennent de signer une **convention entre la COMPESA et le Département des Pêches de l'UFRPE** pour une étude limnologique et piscicole du **Barrage de Tapacura** en vue de sa **restauration**. En opération depuis 20 ans, le Barrage de Tapacura (98 millions de m³), qui fournit plus de 50 % de l'alimentation en eau de Recife, s'est progressivement eutrophisé et la qualité de ses eaux s'est dégradée pour la consommation à cause du développement de plus en plus fréquent de fleurs d'eau à cyanophycées (surtout *Microcystis*, occasionnellement *Anabaena*). Jusqu'à présent, les empoisonnements successifs que le barrage a subi en vue de développer la pêche, ainsi que la dégradation physico-chimique de ses eaux (problème d'augmentation de salinité, en particulier) n'ont fait l'objet d'aucun programme de suivi. Pour contrôler la croissance des algues, il est envisagé que le programme de restauration associe la gestion piscicole à la réduction des apports externes en nutriments (mise en service d'une station de déphosphatation). Cette convention pourrait être étendue par la suite au Barrage de Pirapan, actuellement en construction et destiné à répondre à l'accroissement de la demande en eau de la ville de Recife. Le Dr. PORCIUNCULA et le Prof. COSTA sont demandeurs d'une coopération technique de l'ORSTOM dans le cadre de cette convention COMPESA - UFRPE à la fois sur les aspects recherche (fonctionnement limnologique et piscicole) et développement (restauration).

L'**originalité et l'intérêt scientifique de ce programme pour l'ORSTOM** viennent de ce qu'il associe la **recherche de type universitaire** (cours, travail de terrain, formations doctorales) à des **impératifs pratiques d'aménagement** (contrôle de nuisances et gestion de ressources aquatiques). Cette coopération permettrait de **constituer à l'ORSTOM un groupe multidisciplinaire spécialisé dans la restauration de plans d'eau tropicaux eutrophisés** (aspects hydriques, écologiques et sanitaires). En acquérant cette expertise, l'ORSTOM pourrait aisément accéder à une place de **leader sur ces systèmes** en pleine expansion (conséquence de la croissance des villes et du développement industriel et agricole). Contrairement à leurs équivalents tempérés, ces systèmes tropicaux dégradés sont encore, pour la plupart, vierges de toute manipulation visant à résoudre les problèmes d'incompatibilité d'usages de leurs eaux (consommation, récréation, pêche, aquaculture, irrigation, etc.). Une

telle recherche de compétences serait bien évidemment **génératrice de nombreuses collaborations internationales** avec des institutions et/ou laboratoires étrangers ayant déjà acquis une suprématie dans le domaine des technologies de récupération de systèmes aquatiques eutrophes, en régions tempérées (USA, Canada, Hollande, France, Allemagne, par exemple).

SUGGESTION DE PROGRAMME INTERNATIONAL ET DE PARTENAIRES SCIENTIFIQUES

Que les deux demandes de collaboration technique ci-dessus soient considérées séparément ou conjointement, leur **intérêt scientifique pour l'ORSTOM** provient:

- de leur appartenance à une **thématique forte au DEC** (multidisciplinarité hydrologie + hydrobiologie) génératrice de nouvelles compétences (gestion des usages multiples et restauration de systèmes aquatiques tropicaux);
- de **conditions institutionnelles favorables** compte tenu de la volonté de collaboration étroite entre trois types d'organismes brésiliens (compagnies de traitement des eaux et de contrôle de pollution, pouvoirs publics régionaux, universités) et la possibilité de coopération entre trois pays au moins si un financement international est recherché (Brésil, France, autre pays de la CE et/ou USA);
- de la **combinaison d'aspects académiques** (recherches et formations universitaires) et de **développement** (gestion de ressources en eau et aquatiques); les formations doctorales devraient être privilégiées par la **participation des chercheurs ORSTOM à des programmes de "pos-graduação" d'universités du Nordeste, mais aussi d'autres régions plus développées** (São Paulo, Brasilia, Belo Horizonte..) disposant de programmes de bon niveau en limnologie, écologie aquatique, génie sanitaire, hydrologie, ressources naturelles..; cette participation aux formations doctorales favoriserait les collaborations interuniversitaires et permettrait l'appui permanent d'étudiants à plein temps sur les divers aspects du programme de recherche;
- de la possibilité de **transferts (Sud-Sud) de connaissances et de technologies avec le Programme ORSTOM "Petits Barrages Africains"**.

Les collaborations institutionnelles qu'un Programme "Usages Multiples des Açudes du Nordeste Brésilien" pourrait susciter sont présentées dans l'organigramme de la Figure 2.

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier Pierre AUDRY pour m'avoir organisé les premiers contacts et si souvent conduit à mes rendez-vous, ainsi que pour la gentillesse de son accueil. Je suis reconnaissant à Michel MOLINIER pour m'avoir encouragé dans mon entreprise et à son épouse pour avoir mis à ma disposition la documentation sur les açudes de la Représentation ORSTOM à Brasilia. J'ai beaucoup apprécié la sincérité, la confiance et l'amitié de mes nouveaux collègues brésiliens qui m'ont transmis suffisamment de leur enthousiasme pour me convaincre de l'intérêt scientifique d'un programme. Je remercie MM. DURAND et GIBON de la Commission scientifique n° 3 pour avoir contribué au financement de ma participation au IV Congrès de la SBL à Manaus, ce qui, par la même occasion, m'a permis de réaliser cette mission.

Diffusion

- Bernard POUYAUD, hydrologue, Chef du DEC (Montpellier)
- Christian LÉVÊQUE, hydrobiologiste, Responsable de l'Hydrobiologie au DEC (Paris)
- Michel MOLINIER, hydraulicien, Représentant ORSTOM au Brésil (Brasilia)
- Pierre AUDRY, pédologue (Recife)
- Didier PAUGY, hydrobiologiste, Responsable UR2C (Paris)
- Jacques LEMOALLE, hydrobiologiste, Responsable UR2D (Montpellier)
- Jean René DURAND, hydrobiologiste, Représentant de la Commission Scientifique n°3 (Paris)

ANNEXE 1

Liste des Sigles

UNIVERSITÉS

- **Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)**
Université Fédérale du Pernambouc
- **Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)**
Université Fédérale Rurale du Pernambouc
- **Universidade Federal do Ceará (UFCE)**
Université Fédérale du Ceara
- **Universidade Federal da Paraíba (UFPB)**
Université Fédérale de la Paraíba

ORGANISMES RÉGIONAUX

- **Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos (CPRH)**
Compagnie Pernamboucaise de Contrôle de la Pollution de l'Environnement et d'Administration des Ressources en Eau
- **Companhia Pernambucana de Saneamento da Agua (COMPESA)**
Compagnie du Pernamboucaise d'Assainissement de l'Environnement
- **Depto. de Acuicultura da Secretaria da Agricultura do Pernambuco (DASA/PE)**
Département d'Aquaculture du Secrétariat de l'Agriculture de l'Etat du Pernambouc
- **Secretaria do Planejamento, Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente do Governo do Estado de Pernambuco (SCT/PE)**
Secrétariat de la Planification, des Sciences, de la Technologie et de l'Environnement du Gouvernement de l'Etat du Pernambouc
- **Secretaria de Habitação e Saneamento do Governo do Estado de Pernambuco (SHS/PE)**
Secrétariat de l'Habitation et de l'Assainissement du Gouvernement de l'Etat du Pernambouc
- **Fundação de Apoio a Ciência e Tecnologia do Pernambuco (FACEPE)**
Fondation pour l'Appui de la Science et de la Technologie de l'Etat du Pernambouc (équivalent de la FAPESP pour l'Etat de São Paulo)
- **Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF)**
Compagnie pour le Développement de la Vallée du San Francisco
- **Instituto Tecnológico do Pernambuco (ITEPE)**
Institut Technologique de l'Etat du Pernambouc

ORGANISMES FÉDÉRAUX

- **Departamento Nacional de Águas e Energia Eletrica (DNAEE)**
Département National des Eaux et de l'Energie Electrique
- **Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS)**
Département National pour la Lutte contre la Sécheresse
- **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE)**
Superintendance pour le Développement du Nordeste
- **Instituto de Pesquisa Agropecuaria (IPA)**
Institut de Recherches en Agriculture et Elevage
- **Laboratorio de Meteorologia do Brasil (LAMEB)**
Laboratoire de Météorologie du Brésil

ANNEXE 2

Liste des contacts

ORSTOM

Pierre AUDRY

Pédologue ORSTOM, Centro de Energia Nuclear/UFPE
Avenida boa Viagem nº 2434 - Apto. 901 -Bairro Boa Viagem
CEP 51.021, Recife, PE

UNIVERSITÉS

Sylvio C. CAMPELLO

Prof., Consultor em Recursos Hidricos
Centro de Tecnologia / Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Depto. de Eng.a Civil, Cidade Universitaria
Recife, PE

Cláudia B. CASTELO BRANCO CHAMIXAES

Prof. Adjunte
Universidade federal de Pernambuco (UFPE)
Centro de Ciências Biologicas, Depto. de Botanica
R. prof. Nelson Chaves, s/n, Cidade Universitaria
CEP 50.670-901, Recife, PE

Paulo BURGOS

ex. fonctionnaire de la SUDENE
Prof. Adjoint, Curso de Recursos Pesqueiros,
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Rua Setubal, 984 Apto. 202 - Bairro Boa Viagem
CEP 51.021, Recife, PE

Ayrton Fernandes DA COSTA

Prof. Adjoint, Curso de Engenharia de Pesca
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Depto. de Pesca
Dois Irmãos
CEP 52.079, Recife, PE

Jarbas STUDART GURGEL

ex. fonctionnaire du DNOCS
Prof., Curso de Engenharia de Pesca
Universidade Federal do Ceara
Depto. de Pesca
Fortaleza, CE

Takako WATANABE

Prof. Adjunte, Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Depto. de Sistemática e Ecologia
CEP 58.059-900, João Pessoa, PB

Anne Marie KONIG

Prof. Area de Eng. Sanitária e Ambiental
Depto. de Eng. Civil, Centro de Ciências e Tecnologia
Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - Campus II
C. Postal 948
CEP 58100-970, Campina Grande, PB

ORGANISMES RÉGIONAUX

Lorivaldo CAVALCANTE

Chefe do Depto. de Aquicultura
Secretaria da Agricultura do Pernambuco
Recife, PE

Maria do Carmo MARINS SOBRAL

Dr. Ing., Diretora de Meio Ambiente
Governo do Estado de Pernambuco
Secretaria do Planejamento, Ciência Tecnologia e Meio Ambiente
Rua da Moeda, 46
CEP 50.030, Recife, PE

Carlos Frederico MOREIRA LIMA

Diretor de Recursos Naturais
Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos (CPRH)
Rua Santana nº 367, Casa Forte
CEP 52060, Recife, PE

Zamir PORCIUNCULA

Diretor Técnico
COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento da Água)
Bairro Dos Irmãos
CEP 52.079, Recife, PE

Clemio TORRES

Diretor de Recursos Hídricos
Diretoria do Meio Ambiente do Pernambuco
Depto. de Recursos Hídricos
Recife, PE

Mario VALENÇA

Diretor de Recursos Hídricos
Governo do Estado de Pernambuco
Secretaria de Habitação e Saneamento
Av. Cruz Cabugá, 111 - Santo Amaro
CEP 50.040, Recife, PE

ANNEXE 3

Résumé des Entretiens

Entretien avec le Prof. CAMPELLO

Le Prof. CAMPELLO a dressé un panorama synthétique de la gestion des ressources aquatiques dans le Nordeste brésilien.

- A la SUDENE, le responsable du Dept. des Ressources des Pêcheries est le Prof. Paulo BURGOS et le responsable du Dept. des Ressources en Eau est le Prof. Geraldo de Azevedo GUZMAN.
- Le Dept. Environnement de la SCT/PE est dirigé par la Dra. Maria do Carmo MARTINS SOBRAL et le Dr. Clemio TORRES est responsable du Dept des Ressources en Eau.
- La FACEPE est un organisme de financement important pour la recherche universitaire au Pernambouc.
- Le DNOCS, dont le siège se trouve à Fortaleza (Céara), développe des programmes de pisciculture (en amont des açudes) et de pêche artisanale (en aval des açudes). Dans le Céara, le DNOCS réalise des projets d'adaptation d'espèces exotiques, comme les tilapias (Afrique), les carpes (Europe, Chine), le tambaqui et le tucunaré (Amazonie). Malheureusement, ces programmes de recherche sont peu intégrés. Il s'agit plutôt d'unités de production (systèmes canards, porcs, poissons), comme c'est le cas pour la CODEVASF qui a son siège à Petrolina (près du grand barrage de Sobradinho, dans le Pernambouc).
- L'IPA, installé dans la ville de Serra Talhada (Pernambouc), possède un programme d'empeisonnement (plus crevettes dulçaquicoles) des açudes. Son programme de coopération entre états est encore peu actif, mais son programme régional est bien meilleur, avec notamment une coopération française.
- Finalement, l'UFRPE à Recife possède un Département des Pêches, pôle très actif au niveau régional et national, dans l'enseignement de la Limnologie, de l'Ingénierie des Pêches et de l'Environnement, avec son responsable le Prof. Ayrton COSTA (un des pionniers de la limnologie, de l'écologie aquatique et de l'élevage des crevettes d'eau douce au Brésil, depuis 35 ans) et le Prof. Paulo BURGOS (ex. fonctionnaire de la SUDENE). Par ailleurs, le Prof. COSTA m'a vivement été recommandé par le Dr. IVONILZO (ancien de la SUDENE et du CNPq).

Réunion à la SCT/PE

Cette réunion au siège a été très brève et informative. Etaient présents les Drs. Eliana ECKHARDT, Elisabeth BRAGA (Education de l'Environnement), Ivaldo FERREIRA et Artemis PERREIRA (architecte, Planification de l'Environnement).

Réunion à la CPRH avec les Drs. MARTINS SOBRAL, MOREIRA LIMA & VALENÇA

Mon exposé a suscité d'autant plus d'intérêt que le but de la réunion était de planifier l'intégration de données limnologiques (aspects qualité des eaux) et ichtyologiques (souvent inexistantes pour les açudes) recueillies par divers instituts à une base de données hydrologiques et pluviométriques existante (aspects quantitatifs seuls pris en compte jusqu'à présents). Il s'agit de constituer un **Système Centralisé de Gestion des Bassins Hydrographiques du Nordeste** à composante géographique (type S.I.G.) afin de rationaliser le choix des usages multiples de chaque açude et de son bassin versant en fonction de ses caractéristiques (morphométriques, hydrauliques, hydrologiques, physico-chimiques et biologiques). L'objectif est d'établir un **cadastre régional aussi bien de la qualité que de la quantité des eaux** (avec le même maillage) à partir de suivis d'échantillonnage sur les açudes et les puits pluviométriques. Afin de réduire les coûts de collecte de données sur une région aussi vaste, il est proposé que chaque institution (universités, agences de bassin, etc.) travaillant sur un ou plusieurs systèmes alimente en continu une base de données informatisée. En contrepartie, chacune de ces institutions a accès à l'ensemble des données de cette base. Aussi bien les données anciennes qu'actuelles devraient être prises en compte. Le LAMEB et le DNAEE y participeront avec leurs réseaux de puits pluviométriques.

Très intéressés par la poursuite d'une collaboration avec l'ORSTOM, les Drs. MARTINS SOBRAL,

MOREIRA LIMA et VALENÇA m'ont suggéré:

- (1) de faire une analyse des problèmes pratiques rencontrés dans la gestion des açudes (par exemple, pollution, eutrophisation, salinisation, dégradation de la pêche, etc.) auprès de la SUDENE, de la COMPESA, de l'UFPE et de l'UFRPE et
- (2) d'envoyer une proposition de travail à Mme MARTINS SOBRAL.

Entretien avec le Prof. PORCIUNCULA

Etait présent le Dr. Ivo ANDRADE (ingénieur chimiste). Il a surtout été question des problèmes d'eutrophication¹ (fleurs d'eau à cyanophycées, salinisation) du lac de barrage de Tapacura (98 millions de m³) qui fournit plus de 50% de l'eau potable pour la ville de Recife et de la convention COMPESA-UFRPE qui vient juste d'être signée par les Profs. PORCIUNCULA et COSTA. Le programme de recherche porte sur la structure des communautés piscicoles en fonction des caractéristiques limnologiques afin d'envisager des manipulations de communautés capables de restaurer la qualité des eaux. Il a également été évoqué les cas similaires d'eutrophication du Lac Paranoa à Brasilia et du Lac de la Pampulha à Belo Horizonte où le sulfate de cuivre est utilisé de façon massive afin de contrôler la croissance des cyanophycées. Compte tenu des effets de toxicité à long terme (accumulation dans le sédiment), il n'est pas envisagé d'avoir recours à cette technique pour le Lac de Tapacura. mais plutôt d'intervenir sur la chaîne trophique en altérant les communautés piscicoles (par retrait sélectif d'un éventuel excédant de biomasse, modification des réglementations de la pêche, introductions d'espèces microphages et/ou de piscivores, etc.). L'ITEPE serait contracté pour réaliser les analyses chimiques. Cette expérience sera très utile pour le futur Lac de Pirapan, actuellement en construction pour faire face à la demande croissante en eau de la ville de Recife. Le Dr. PORCIUNCULA est très intéressé par une collaboration avec l'ORSTOM pour la récupération du Lac Tapacura dans le cadre de cette convention COMPESA-UFRPE. L'intérêt de ce projet d'aménagement est qu'il favorise également les activités académiques (recherches écologiques, enseignements et formations doctorales).

Entretien avec le Prof. COSTA

Le Prof. COSTA a tout d'abord fait un rapide historique de sa carrière à l'UFRPE. Il est l'un des premiers limnologues brésiliens (formé aux USA). Il organise chaque année (depuis 20 ans) un cours d'ingénierie de la pêche et est passé maître dans l'élevage des crevettes d'eau douce qu'il reproduit depuis 35 ans. Il vient d'écrire en 1991 un manuel d'écologie des eaux douces ("Introdução a Ecologia das Águas Doces". Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Imprensa Universitaria, 297 p.) dont les chapitres Lacs artificiels et Pêche et Pollution Limnique présentent des informations utiles sur les açudes du Nordeste.

Nous avons ensuite discuté de son projet sur le Lac Tapacura, dans le cadre de la convention UFRPE-COMPESA et avons trouvé des centres d'intérêt communs et de convergence de vues concernant l'utilisation de biomanipulations pour la restauration de la qualité de l'eau et la gestion des ressources piscicoles de systèmes eutrophes. Il nous a semblé qu'il existait là un réel potentiel pour une collaboration de l'ORSTOM avec ces deux institutions (aspects "recherche et développement").

Entretien avec le Prof. BURGOS

Le Prof. BURGOS (ex. fonctionnaire de la SUDENE, actuellement professeur à l'UFRPE) a dressé un bilan des productivités piscicoles des açudes et des institutions qui en ont la gestion:

- Dépendant du DNOCS, le Centre de Pisciculture Von Hering à Pentacosta (90 km de Fortaleza) comprend 5 stations qui produisent au total 130 millions d'alevins par an. Beaucoup de fonctionnaires du DNOCS ont pris leur retraite et ne sont pas remplacés (en raison de la conjoncture politique actuelle défavorable). Depuis un certain nombre d'années, le DNOCS a une convention de coopération avec l'Auburn University (USA) dans le domaine de la technologie du poisson (reproduction, production, ration, etc.) et de la limnologie des bassins d'élevage d'écloseries. L'élevage de tambaqui et de pirapitinga est un succès, par

¹ Le terme "eutrophication" caractérise le phénomène anthropique, en distinction du terme "eutrophisation" réservé au phénomène naturel.

contre celui du mapara (microphage d'Amazonie) n'est pas dominé. Actuellement, il y existe des conditions favorables pour développer des programmes combinant pisciculture et irrigation.

- La CODEVASF, qui par le passé avait une convention d'assistance technique avec la Hongrie pour développer les méthodes d'hypophysation (reproduction induite) d'espèces natives, gère 5 stations et produit 30 millions d'alevins par an. Ces alevins servent à empoissonner les barrages hydroélectriques sur le fleuve São Francisco. Actuellement, la CODEVASF manque d'un service d'assistance technique pour la production de carpe et de peixe-pato. Elle produit avec succès le surubi et obtient de bons résultats en polycultures de tambaqui + tilapia + carpe (14-16 T/ha) et de peixe-porco + tilapia (6 T/ha), et de bonnes productions de tilapia (12 T/ha) par usage d'enrichissements organiques (fumier).
- La SUDENE, actuellement en perte de vitesse, se réduit à trois jeunes sans expérience. Elle a le contrôle de 272 grands açudes publiques (mais il y a environ 40.000 petits açudes privés) qui représentent 17 billions de m³ d'eau gérés par le DNOCS. Il n'existe malheureusement pas d'Administration de la Pêche dans le Nordeste. Les rapports annuels estiment la pêche en açudes à actuellement 14.000-15.000 T de poissons (contre 20.000 T par le passé). Il y a 10.700 pêcheurs artisanaux et 7.000 bateaux artisanaux (dont seulement 100-132 sont motorisés). Certains açudes ont des productivités de pêcheries très élevées: de 200 à 1.000 kg/ha, alors que la moyenne du Nordeste est seulement de 115 kg/ha. La productivité annuelle du barrage de Sobradinho (300 km d'extension) estimée à 27-32 T (seulement 60 kg/ha) par Jacques Bar, atteindrait aujourd'hui 3.000-4.000 kg/ha (stock de surubi, principalement), avec 3.000 pêcheurs et 2.000 bateaux. Il y a actuellement un programme de pisciculture semi-intensive dans le Nordeste, avec 150 stations dans le Pernambouc et 150 stations dans la Bahia. Le constat du Prof. BURGOS est que les açudes représentent donc un réel potentiel pour la pêche mais qu'il reste entièrement à valoriser (voir Tableaux 1). Cependant, au DNOCS, il y a encore trop peu d'études limnologiques pour comprendre et gérer le fonctionnement de ces systèmes.

Densité des açudes du Nordeste brésilien (1965)

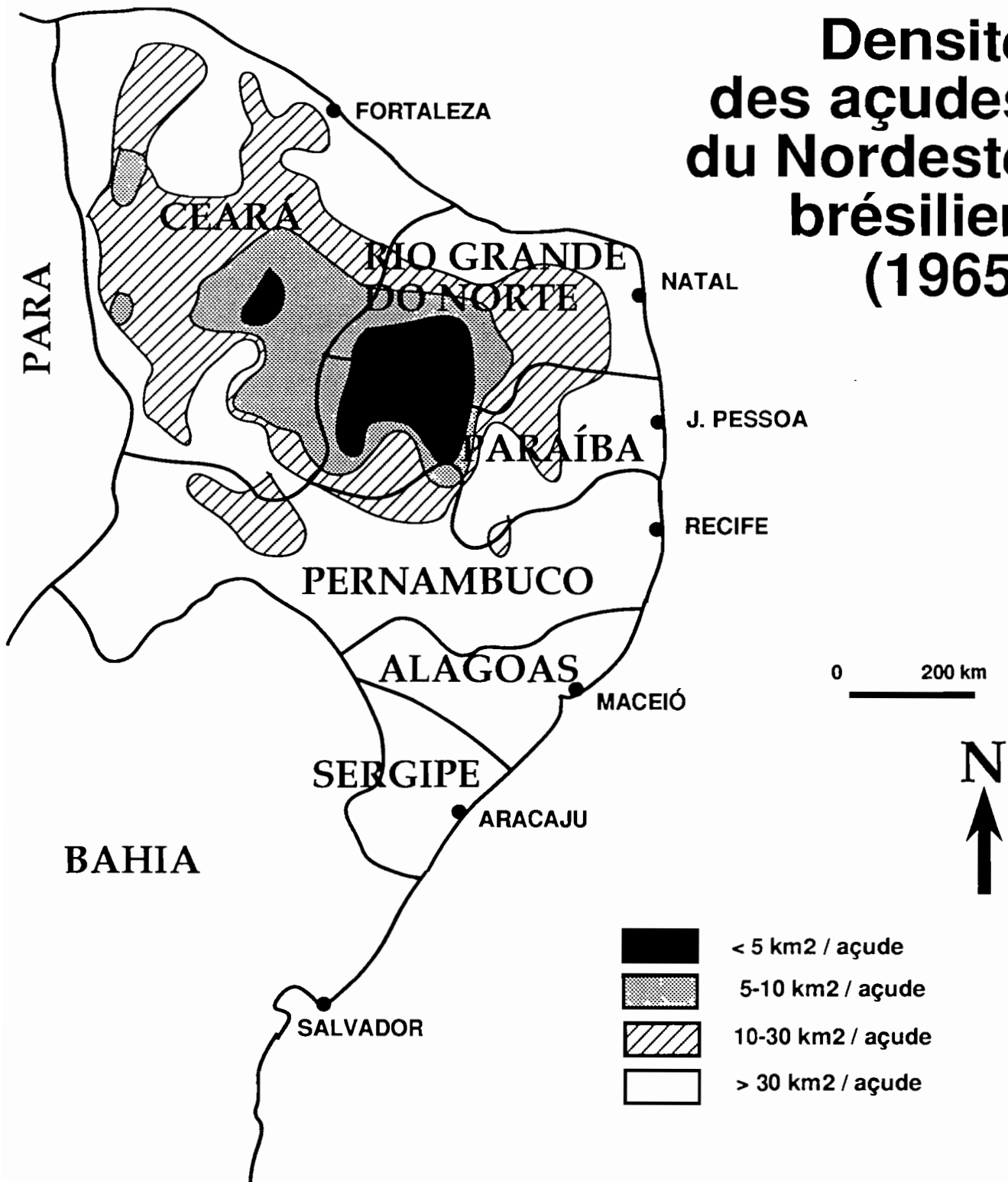


Figure 1: On estime à 70.000 le nombre d'açudes de plus de 1.000 m². Il y a 1.200 à 1.500 açudes publiques de capacité supérieure à 100.000 m³, dont près de 450 barrages de plus de un million de m³. Dans certaines régions, la densité limite peut aller jusqu'à un açude pour 1,5 km². Le Nordeste est, après l'Inde, la région qui comporte le plus d'açudes au monde. (d'après Molle & Cadier 1992)

TENTATIVE D'ORGANIGRAMME POUR UN PROGRAMME 'USAGES MULTIPLES DES AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN'

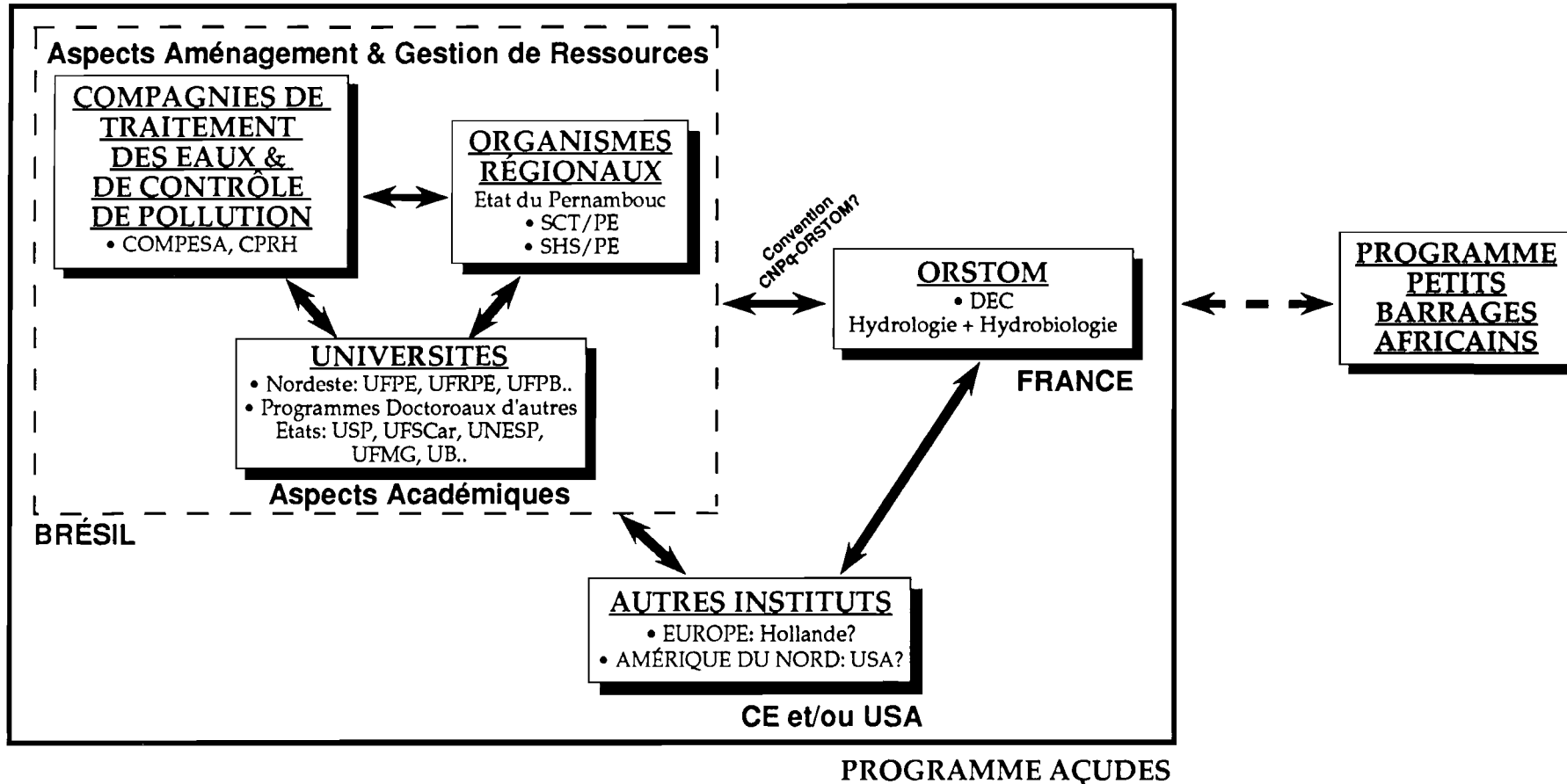


Figure 2: Relations triangulaires entre les Instituts participants et entre les pays impliqués, plus relations possibles entre le Programme 'Açudes du Nordeste' et 'Petits Barrages Africains'. Les possibilités de financements (PNUD, Banque Mondiale, etc.) ne sont pas abordées ici.

A) CONTRIBUTION DES ESPÈCES AU DÉSEMBARQUEMENT DE LA PÊCHE DANS LES AÇUDES CONTRÔLÉS PAR LE DNOCS EN 1977

Zone	Nom commun	Espèce	%	Tonnage
3	Apaíri	<i>Astronotus ocellatus</i>	3.5	513.71
1	Beiru	<i>Cunmatus sp.</i>	1.2	181.02
1	Cangati	<i>Trachycorystes galeatus</i>	0.2	29.42
3	Camarão	<i>Macrobrachium amazonicus*</i>	18.1	2680.82
1	Curimatá comum	<i>Prochilodus cearensis*</i>	6.6	980.58
4	Curimatna pacu	<i>P. maggravii</i>	-	0.36
3	Pescada cacunda	<i>Plagioscon sunnamensis</i>	0.6	90.04
2	Pescado do Piauí	<i>P. squamosissimus*</i>	20.3	3012.01
1	Piau comum	<i>Leponnus linderici</i>	1.7	250.72
4	Piau verdadeiro	<i>L. elongatus</i>	0.4	56.23
1	Piranha	<i>Pygocentrus spp.</i>	-	9.84
1	Pirambeba	<i>P. rhombus</i>	0.4	56.23
3	Pirarucu	<i>Arapama gigas</i>	1.1	5.54
1	Sardinha	<i>Triphorteus rotundatus</i>	6.3	169.02
5	Tilapia du Congo	<i>Tilapia rendalli*</i>	10.4	925.59
5	Tilapia du Nile	<i>Oerochromis niloticus*</i>	1.1	1533.01
1	Traíra	<i>Hoplias malabancus*</i>	12.6	1636.02
3	Tucunaré comum	<i>Cicla ocellaris*</i>	2.6	1870.97
3	Tucunaré pinima	<i>C. temensis</i>	2.6	396.43
	autres			391.26
	Total			14796.26

* Importance économique élevée
Zones 1 = bassin local, 2 = bassin du Paraiba, 3 = bassin de l'Amazonas,
4 = bassin du São Francisco, 5 = Afrique
(source DNOCS 1978, in Costa 1991)

B) PRODUCTION DES PÊCHERIES BRÉSILIENNES (EN TONNES*)

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Production mondiale	71 055 200	72 019 600	74 840 400	76 762 900	77 256 500	83 096 600	84 945 300
Production brésilienne	855 291	817 550	820 010	830 639	874 114	948 723	959 302
Poissons marins	728 590	629 950	622 670	622 720	668 769	737 221	747 800
%	85.19	77.06	75.94	74.97	76.51	77.71	77.95
Poissons limniques	126 701	187 600	197 340	207 919	205 345	211 502	(E) 211 502
%	14.81	22.94	24.06	25.03	23.49	22.29	22.05

* Poids frais (poissons, crustacés, mollusques, etc.) équivalent aux quantités débarquées.
E = estimé
(source: FAO, Yearbook of Fisheries Statistics, 1987; in Costa 1991)

C) PRODUCTION DES PÊCHERIES BRÉSILIENNES PAR GROUPE D'ESPÈCES (EN TONNES*)

Groupe	1980	1981	1982	1983	1984
Poissons marins	658477	555777	548865	600862	654323
Poissons limniques	177716	187183	197470	194818	202622
Crevettes marines (Penaeus, etc.)	48037	46332	52093	49177	58644
Crevettes limniques (Macrobrachium, etc.)	9854	10118	10394	10513	8816
Tortues marines	59	57	22	18	13
Tortues limniques	30	39	55	14	64

* Poids frais équivalent aux quantités débarquées
(source: FAO, Yearbook of Fisheries Statistics, 1987)

Tableaux 1: Quelques données comparatives sur la pêche brésilienne océanique & limnique et dans les açudes du Nordeste. (d'après Costa 1991)

**• NOTES TECHNIQUES
&
PROPOSITIONS DE RECHERCHE**

Problématique de la sécheresse

dans le Nord-Est du Brésil

Les problèmes actuels du Nord-Est du Brésil, associés à la sécheresse, ne datent pas d'aujourd'hui. La faim, le pillage, l'exode des populations, la malnutrition et les mortalités ne sont pas des faits nouveaux. Un relevé historique établi par des universitaires de l'Université de Rio Grande do Norte montre que ces faits sont déjà mentionnés à la fin du 16ème siècle.

Des politiques anti sécheresses sont mises en pratique depuis le début du siècle. Elles répètent toutes deux défauts majeurs, à savoir une mauvaise utilisation des sommes importantes destinées au développement de programmes de secours publics et une distorsion entre les ressources employées et les résultats obtenus par les programmes dits permanents. C'est cette constante historique qui définit ce qui est appelé l'industrie de la sécheresse. Elle est devenue tellement familière qu'elle est acceptée comme une composante culturelle de sorte que les parts respectives de l'incompétence et de la corruption ne sont pas toujours bien séparées.

Dans le domaine de l'incompétence qui fait que la politique appliquée ne fait qu'aggraver la vie du petit producteur, diverses constatations sont à relever :

- 1 - l'ignorance totale des coûts réels des programmes anti-sécheresse
- 2 - la contradiction entre les politiques qui disent privilégier les groupes les plus vulnérables aux effets de la sécheresse et les plans d'action mis en oeuvre par le gouvernement.

Un exemple : les barrages Armando Ribeiro Gonçalves et Oiticica permettent selon les sources officielles l'aménagement de 50 000 hectares de terres irrigables. Pourtant l'appui du gouvernement aux projets d'irrigation à grande production, à travers la construction d'infrastructures publiques et les coûts élevés de l'irrigation empêchent le petit producteur rural de profiter de ces aménagements. Ainsi cette région qui dispose d'un plan d'eau de retenue de 19 000 hectares est toujours incluse dans les décrets de "calamités publiques".

- 3 - L'implantation de programmes de construction de petits lacs de barrages ou açudes (as' sadd = barrage en arabe) et d'irrigation entraîne parfois de grandes pertes pour l'État et les populations. Ainsi la construction du barrage Armando Ribeiro Gonçalves a provoqué la destruction d'importantes réserves minéralogiques et archéologiques qui profitaient à la région. L'infrastructure rurale et urbaine a été également détruite et une grande partie de la population a été expropriée et déplacée avec promesses d'indemnisation incertaines.
- 4 - Les programmes destinés aux petits producteurs sont restreints et manquent de continuité administrative. Ces dernières années ils sont orientés vers des activités d'assistance, ce qui en dit long sur leur manque de consistance et sur leur caractère ponctuel.
- 5 - Par l'absence de dialogue entre les élites et les usagers il n'y a pas d'analyse critique des projets au moment de leur élaboration. La traditionnelle résistance des élites à tout changement se traduit par le licenciement des responsables qui dénoncent les

vices et suggèrent des modifications dans les programmes d'aménagement par la censure d'expertises internationales qui dénoncent les dangers de certaines mesures.

6 - L'intervention historique du pouvoir public dans ce secteur lié à la sécheresse n'a fait qu'aggraver les contradictions culturelles : sous-emploi - concentration des terres et des revenus. Ainsi, l'État est le principal acteur du processus de concentration foncière par l'appropriation de terre pour la construction des grands barrages. En plus de procéder à l'expropriation en masse du travailleur rural et du petit propriétaire il a détruit les formes traditionnelles de survie de ces derniers. La pratique d'une politique d'assistance ces dernières décennies les a rendu encore plus dépendant vis-à-vis du gouvernement en entrant dans une société de consommation "artificiellement créée".

La réalisation des grandes constructions de barrages a entraîné une survalorisation du sol agricole et par suite une spéculation foncière qui rend difficile la concrétisation des projets d'irrigation et de colonisation prévu pour le travailleur rural. Il en résulte que le niveau de pauvreté est le même dans les différentes régions qu'elles soient limitées ou non par le facteur hydrique.

Toutes ces transformations qui résultent pour une bonne part de l'action gouvernementale ont conduit à une déstructuration de l'unité de production familiale en déséquilibrant les parts de la production agricole réservée à la survivance et à la commercialisation, ce qui est en train d'accroître la pauvreté du travailleur rural.

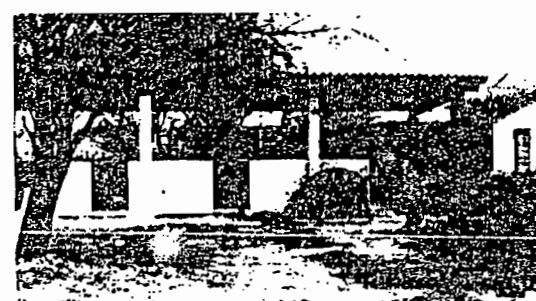
Certains secteurs universitaires font un réel effort pour tenter d'établir une articulation permanente avec les organismes de développement de programmes "sécheresses" pour leur apporter leur connaissances historiques scientifiques et technologiques sur cette problématique de la sécheresse.

En fait, on se rend compte par cette analyse (qui représente un bref condensé d'informations qui m'ont été fournies par les universitaires que j'ai rencontrés au cours d'une mission à Fortaleza, Natal et Recife du 23 au 28 mai 92) que la sécheresse ne s'identifie pas strictement à un problème climatique caractérisé par des étiages prolongés. Elle doit également être comprise comme un processus social responsable de l'absence de production de la pauvreté et de migration des travailleurs de la terre.

A l'heure où nous étudions la possibilité de développer un programme "incitatif" sur les petits barrages du Nord-Est du Brésil en vue de la valorisation de leurs ressources hydriques et halieutiques, il me semble que nous devons tenir compte le mieux possible de cette complexe problématique de la sécheresse et d'envisager d'emblée une proposition pluridisciplinaire incluant les divers aspects socio-économiques.

J.P. CARMOUZE

Le 14 juin 1993

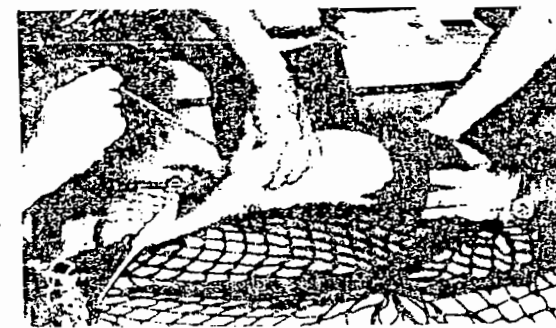


Uma área de produção

Uma das primeiras preocupações do atual Reitorado foi reestruturar os campi avançados da UFRPE. Assim, os prédios da Estação Experimental de Parnamirim foram reformados e passaram a oferecer condições para estudos práticos e alejar, até por demorados períodos, professores e estudantes, quando da realização de pesquisas, trabalhos de extensão e treinamento

prático profissionalizante. Ali não só ocorreram obras em pedra e cal mas uma reestruturação total no setor administrativo, alocando permanentemente no campus profissionais em ciências agrárias, técnicos agrícolas, estagiários e funcionários, que melhor administraram a estação e dinamizaram as áreas de produção. Ultimamente, várias culturas irrigadas e de sequeiro vem sendo trabalhadas e os resultados têm sido excelentes com comercialização da produção, cujos recursos obtidos servem à manutenção da própria estação, assim como o abastecimento do restaurante universitário.

Os destaques ficam com as culturas permanentes como os bananais irrigados que, além de setor produtivo, servem de campo de estudos e de demonstração aos pequenos produtores sertanejos, como forma redentora do semi-árido. Além dos setores de pesquisa e produção agrícola foram introduzidas outras culturas, através de convênios e programas do Governo Federal, como apicultura, caprinocultura, avicultura e suinocultura. Os dois últimos através pela introdução de reprodutores de raça pura para cruzamento com as espécies nativas, buscando melhoria na qualidade das criações dos sertanejos.

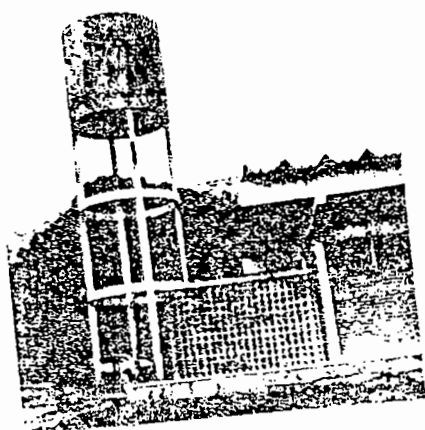
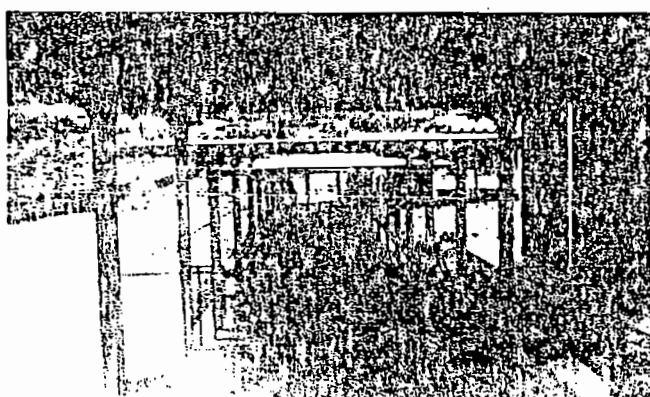
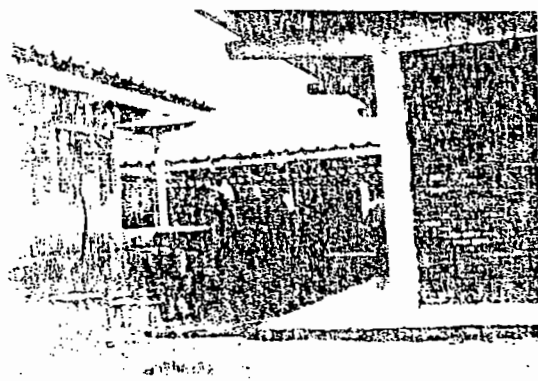
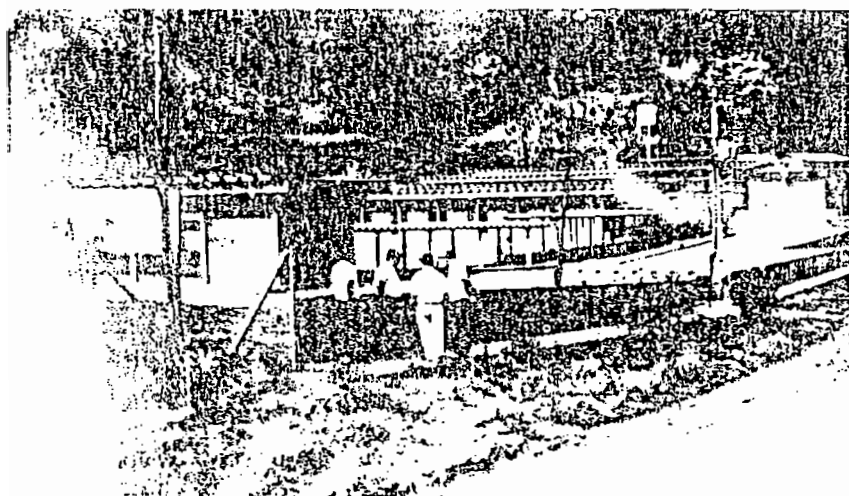


Pesquisa e fomento em piscicultura

A área de Engenharia de Pesca, notadamente a Base de Piscicultura, sofreu nos últimos meses importantes reformas estruturais. O prédio sede da base foi restaurado, bem como os tanques internos e a bateria de incubadeiras indispensáveis aos trabalhos de desenvolvimento. Foi construída ainda a sala d'água e a sala tríplice com o laboratório de análises, com um total de oito mil metros cúbicos. Também os tanques externos de aeração foram totalmente renovados, sendo os antigos substituídos

canal que alimenta os viveiros da base. Os investimentos, com recursos próprios e através de convênios, possibilitam melhores condições para aulas práticas dos alunos de Engenharia de Pesca, além de incrementar o auto-produtivo da base, baseando uma produção cada vez maior de alevinos de algumas espécies já adaptadas na região, para trabalhos anteriores, possibilitando o fechamento ao pequeno produtor rural. Hoje a Base de Piscicultura já pode atingir metas de produção de alevinos para fomento, não só das espécies mais tradicionais como carpa e tilápia, como também bastante produtivas como o

tambaqui e da curimatã. Os alevinos são comercializados com o público em geral a preços competitivos de mercado, sendo esta receita replicada em melhoramentos da base. A produção de alevinos atende também às pesquisas que são desenvolvidas em alguns rios pernambucanos, como o Capibaribe que vem sendo repovoado. A experiência prevê um peixamento periódico de quarenta mil alevinos/mês, objetivando recuperar a capacidade piscosa do rio, num trabalho de convênio entre a UFRPE e a Superintendência de Desenvolvimento da Pesca, através do Núcleo Piscicultura de Surubim.



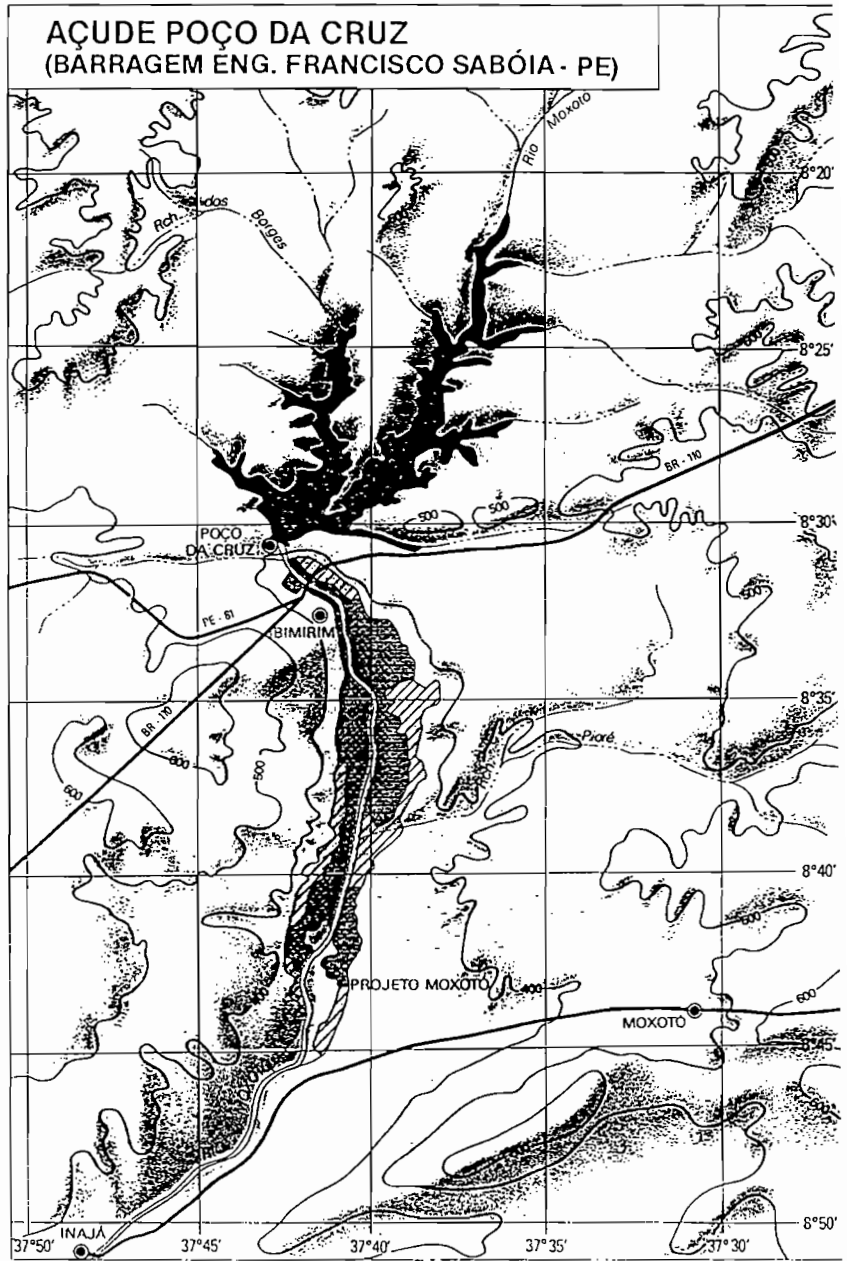
Fértil terreno árido

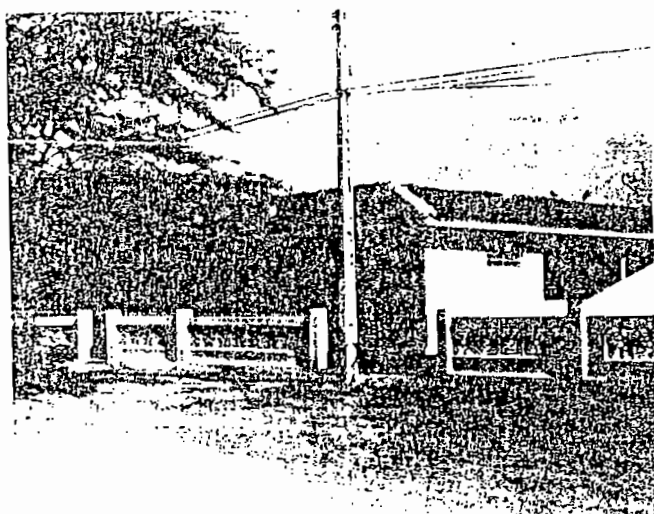
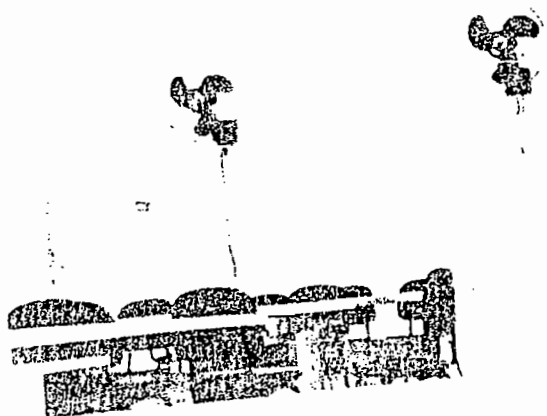
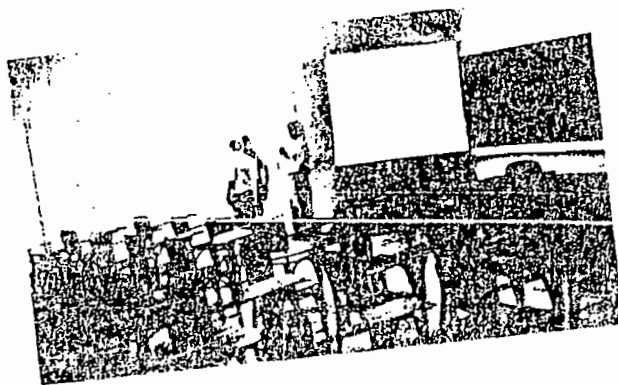
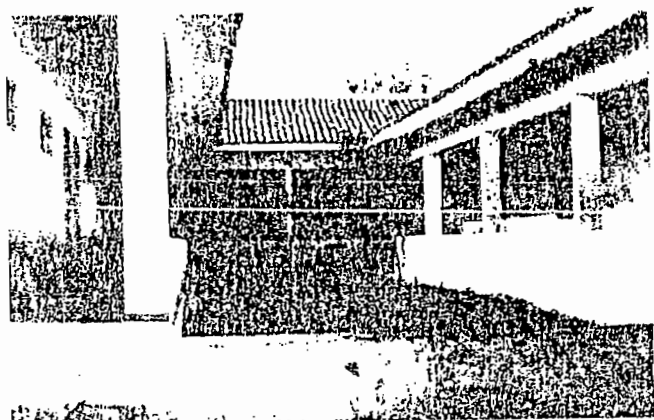
Centro de Pesquisa em Pequena Irrigação. Uma viçosa semente lançada em um fértil terreno árido pela Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE. Obra apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq e financiada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento BID. O maior investimento isolado já feito em

território brasileiro por este Banco. O Centro terá uma ação regional. Ele ocupa cinco hectares da Fazenda Saco, de propriedade de Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária IPA, no município de Serra Talhada. São dois mil metros quadrados de área construída, num total de nove blocos, abrigando duas salas de aula, um auditório, três laboratórios (Botânica e Física de Solos, Fitossociologia e Fisiologia e Química de Solos), salas reservadas para funcionários, quatro alojamentos (feminino/masculino), setor administrativo, amoxarifado, refeitório, cozinha, oficina mecânica e área de serviços.

Além das inúmeras atividades de ensino, pesquisa e extensão, o novo Centro terá por objetivo ainda atender ao pequeno produtor sertanejo, especialmente, quanto às vantagens da irrigação e os perigos que ela pode causar sendo mal administrada. Vislumbrando a irrigação como única salvação para o semi-árido, a UFRPE desenvolveu mais este esforço científico e político-administrativo, objetivando não só a melhor formação dos técnicos das Ciências Agrárias, como uma maior produtividade da região e que, conseqüentemente, auxiliasse à fixação do homem em suas origens, evitando, entre outros agravantes, a migração literária.

AÇUDE POÇO DA CRUZ
(BARRAGEM ENG. FRANCISCO SABÓIA - PE)





UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - 11

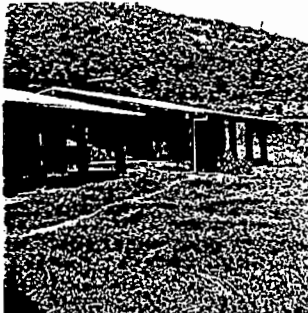
Moxotó também pesquisa



I bimirim, Sertão, terras semi-áridas, no entanto, produtivas, graças a milhares de hectares circundados por dois imensos canais perenes denominados Perímetro Irrigado do Moxotó. Ali, também, a UFRPE foi lançada mais uma fertil semente, através de convênio com o Departamento Nacional de

Obras Contra a Sequeidão - ENOCS, que lhe cedeu instalações e glebas de terras para pesquisas e treinamentos, face à instituição do Centro de Tratamento e Capacitação em Agricultura Irrigada, apoiada pelo Programa de Irrigação do Nordeste-PROINE. São quatro prédios restaurados e adaptados para salas de aula, auditório, laboratórios, alojamentos, gabinete administrativo e residência para funcionários. Os campos experimentais, secos e de sequeiro, fazem as mediações do Centro, dentro do Perímetro, sendo desenvolvidos trabalhos de pesquisa, treinamento e assistência técnica, inovando-se na área das ciências humanas, contando

com a comunidade ali residente e com os colonos. Os meios ofertados ao ensino, à pesquisa e à extensão, são compatíveis ao desenvolvimento ótimo de qualquer trabalho, haja visto que o Perímetro é, por si só, um excelente laboratório para a prática da Agricultura Irrigada. Pelos termos do convênio cabe à Universidade treinar técnicos de nível médio e superior, recrutar e selecionar participantes para treinamento, de recursos humanos, prestar apoio técnico e material necessários ao perfeito desenvolvimento acadêmico dos cursos e assistir tecnicamente em especial, aos pequenos irrigantes do Moxotó.



0: refeitório, residências para administrado-
noxarifado, cozinha e lavanderia

GOVERNO FEDERAL
Ministério da Educação
Universidade Federal Rural de
Pernambuco
Pró-Reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

**CENTRO DE
TREINAMENTO E
PESQUISA EM PEQUENA
IRRIGAÇÃO**

Presidente da República
JOSÉ RIBAMAR SARNEY
Ministro
**CARLOS CORRÊA
SANT'ANNA**

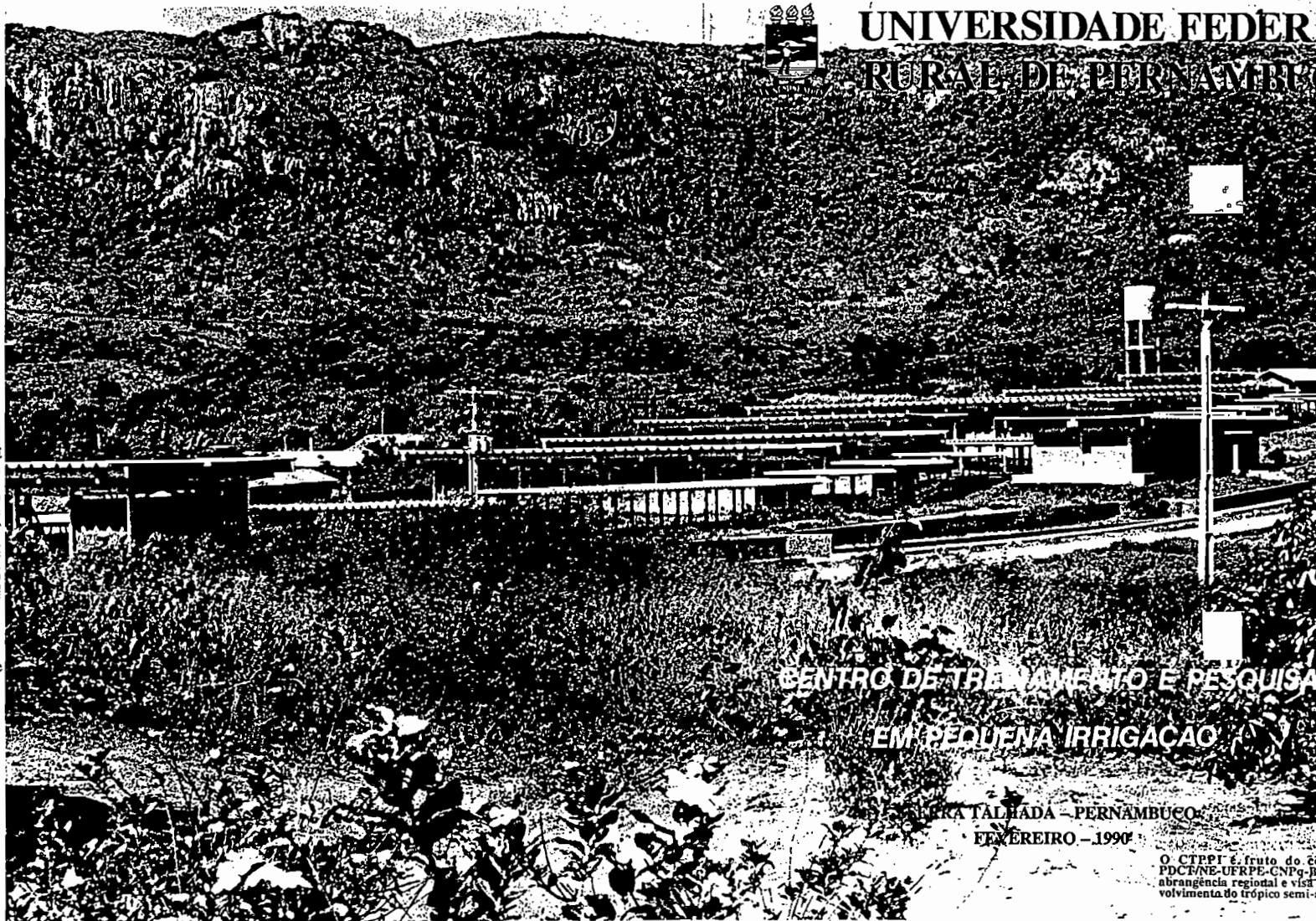
Reitor
Prof. **JOÃO BAPTISTA
CLIVEIRA DOS SANTOS**
Vice-Reitor
Prof. **RILDO SARTORI
BARBOSA COELHO**
Pró-Reitor de Pesquisa

Prof. **ROMERO MARINHO DE
MOURA**
Coordenador Geral
Prof.

JOSÉ ESPINHARA DA SILVA
Coordenador Administrativo
Engº Agrônomo **GEOVÁ
SEVERO DE LIMA**
Coordenador de Ensino,
Pesquisa e Extensão
Engº Agrônomo **CIRDES
NUNES MOREIRA**

Concepção, adaptação de texto e
fotos - Ivaldo Calheiros
Arte-finalista: Deusredith A. da Silva

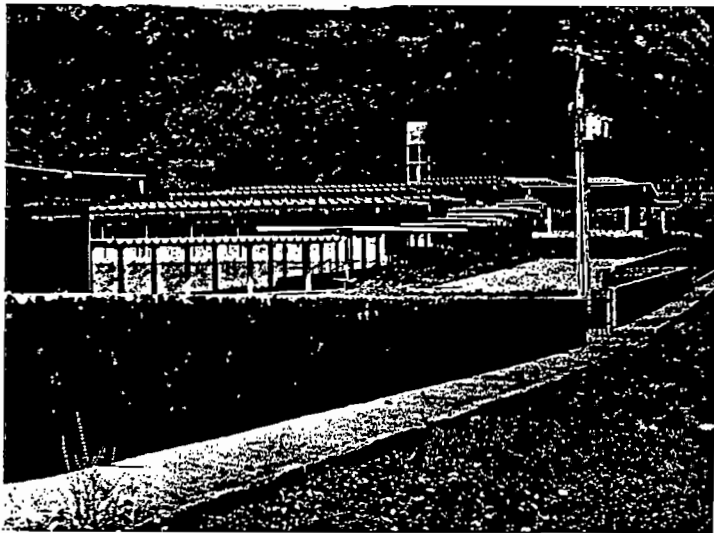
Endereços:
CTPPI - Fazenda Saco/56.900
Serra Talhada - PE
UFRPE - Pró-Reitoria de
Pesquisa e Pós-Graduação
Av. Dom Manoel de Medeiros,
s/n - Dois Irmãos
50.000 - Recife - PE
Fones: 268-5477 e 268-6714 /
Telex - (081) 1195



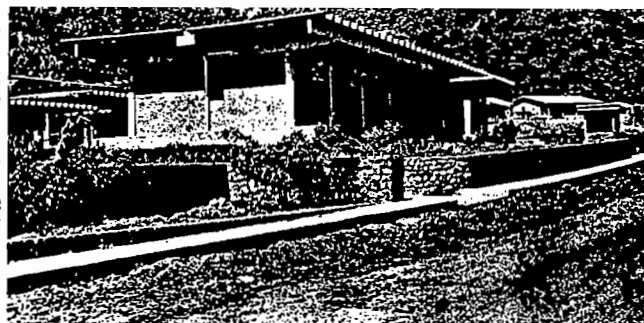
**CENTRO DE TREINAMENTO E PESQUISA
EM PEQUENA IRRIGAÇÃO**

SERRA TALHADA - PERNAMBUCO
Fevereiro - 1990

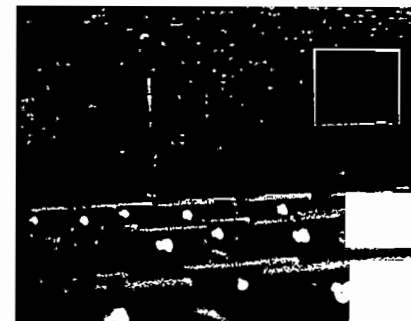
O CTPPI é fruto do êxito
PDCE/NE-UFRPE-CNPq-IL
abrangência regional e visãõ
volvimento do trópico semi-árido



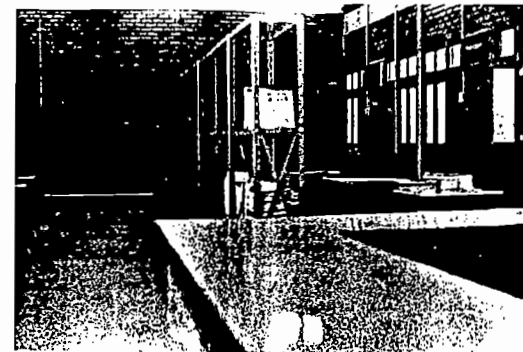
Bloco central do conjunto, com uma visão do amplo estacionamento



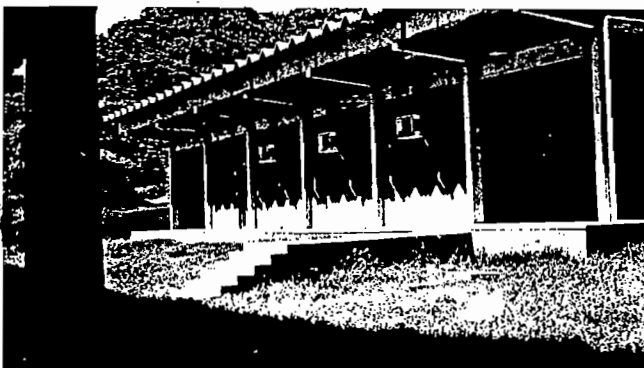
Vista do bloco Administrativo, com setor de Apoio Técnico-Pedagógico



Auditório, com setenta lugares, podendo servir como anfiteatro e atender a seminários



Dois salas de aula, biblioteca com 120m² de área e três laboratórios, de Hidráulica, Solo-Água-Planta e Fitossanidade-Fitotecnia



Quatro alojamentos confortáveis para alunos e professores (masculino e feminino), com capacidade para 40 pessoas



Área de 8.000m² para demonstrações de pequena irrigação do semi-árido

O Centro de Treinamento e Pesquisa em Pequena Irrigação – CTPPI é um organismo de abrangência regional, sob a administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que o projetou e executou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. Constitui o maior investimento isolado deste banco em território brasileiro.

Encampado pelo Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste – PDCT/NE, o CTPPI contribuirá para o desenvolvimento agrícola do semi-árido.

Ele atuará junto às instituições da Região na oferta de subsídios úteis à estruturação de uma política desenvolvimentista para o Nordeste, que seja global e, sobretudo, participativa.

Localizado na Fazenda Saco, em Serra Talhada, por cessão da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, o centro detém a necessária infra-estrutura para realização de treinamentos e pesquisas, atendendo a agricultores, estudantes de níveis médio e superior, bem como a profissionais em processo de capacitação, além de servir de base à realização de pesquisas voltadas para a realidade semi-árida, sob a ordenação da UFRPE e demais Universidades nordestinas.

Finalmente, ainda está no âmbito da competência do CTPPI atender a programas de atividades de extensão e assistência rural ao produtor agrícola, contribuindo para o aprimoramento no uso de novas tecnologias, especialmente com relação ao pequeno irrigante.

01. HISTÓRICO

A atual Universidade Federal Rural de Pernambuco, originou-se da Escola Superior de Agricultura e Veterinária "São Bento", fundada a 3 de novembro de 1912, por D. Pedro Roeser, Abade do Mosteiro de São Bento, em Olinda, Estado de Pernambuco.

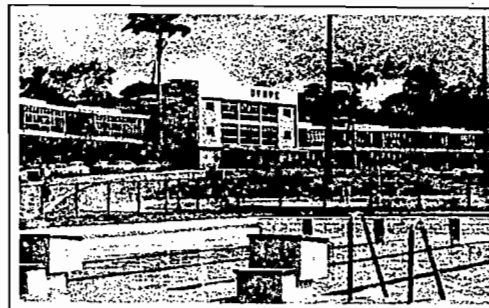
Em 1917, o Curso Superior de Agricultura transferiu-se para o Engenho Tapera, da Ordem Beneditina, em São Lourenço da Mata, Pernambuco.

Em 1938, a recém-estatizada Escola Superior de Agricultura de Pernambuco foi transferida para o atual "Campus" de Dois Irmãos, havendo sido a base para a criação da Universidade Rural de Pernambuco, em 24 de julho de 1947, constituída então pela Escola Superior de Veterinária, Curso de Magistério de Economia Rural Doméstica e a Escola Agrotécnica de São Lourenço da Mata.

A 4 de julho de 1955 a UFRPE foi federalizada, passando, em 1967, do Ministério da Agricultura para o Ministério da Educação e Cultura, com a denominação de Universidade Federal Rural de Pernambuco.

02. OBJETIVOS

- Formar profissionais no âmbito das Ciências Agrárias e correlatas;
- realizar pesquisas básicas e aplicadas, que colaborem com o desenvolvimento regional;
- oferecer cursos de Pós-Graduação "latu sensu" e "strictu sensu";
- através da Extensão Universitária, repassar os conhecimentos gerados na Universidade e discutí-los com a sociedade.



Campus Dois Irmãos

03. CURSOS DE GRADUAÇÃO OFERECIDOS

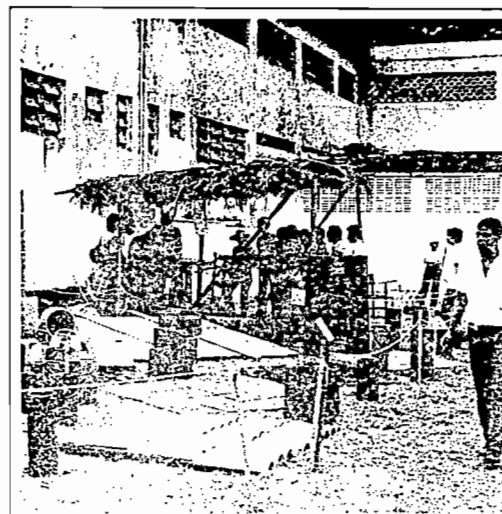
- . Agronomia
- . Bacharelado em Ciências Biológicas
- . Bacharelado em Ciênc. Econômicas - ênfase em Econ. Rural
- . Bacharelado em Ciênc. Sociais - ênfase em Sociologia Rural
- . Economia Doméstica
- . Engenharia Florestal
- . Engenharia de Pesca
- . Licenciatura em Ciências Agrícolas
- . Licenciatura em Ciências Biológicas
- . Licenciatura em Estudos Sociais - Habilitação em Ed. M e C.
- . Licenciatura em Física
- . Licenciatura em História
- . Licenciatura em Matemática
- . Licenciatura em Química
- . Medicina Veterinária
- . Zootecnia

04. CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADOS) OFERECIDOS

- . Administração e Comunicação Rural
- . Botânica
- . Ciências do Solo
- . Fitossanidade
- . Medicina Veterinária
- . Nutrição Animal

05. CURSO DE NÍVEL MÉDIO OFERECIDO

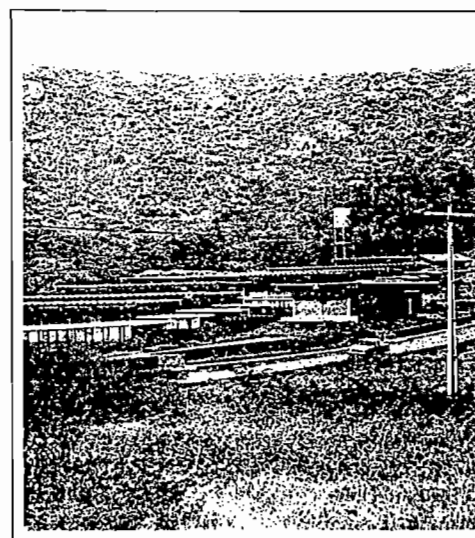
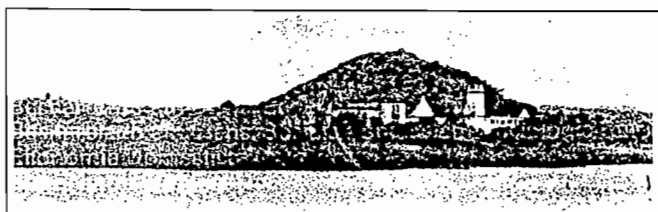
- . Técnico Agrícola (este curso é ministrado no Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas, em São Lourenço da Mata)



Colégio Agrícola

06. "CAMPI" E BASES DA UFRPE EM PERNAMBUCO

- . Base de Pesquisa de Aves Migratórias na Corôa do Avião - Igarassu.
- . "Campus" sede em Dois Irmãos - Recife
- . Centro de Treinamento e Pesquisa em Pequena irrigação em Serra Talhada.
- . Clínica de Bovinos de Garanhuns
- . Estação Ecológica do Tapacurá Prof^o João Vasconcelos Sobrinho em São Lourenço da Mata.
- . Estação Experimental de Agricultura irrigada em Parnamirim
- . Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina
- . Estação Experimental de Caprinos e Ovinos de Pesqueira
- . Estação Experimental de Pequenos Animais de Carpina
- . Estação Experimental de Solos, Irrigação e Drenagem de Ibimirim.



INFORMAÇÕES

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ATIVIDADES DE EXTENSÃO
Rua D. Manoel de Medeiros s/nº - Dois Irmãos
Cep. 52.071 - Recife - PE.
Telefone PABX: (081) 441.4577
RAMAL: 290 ou 289
Telex: (081) 1195
FAX: (081) 4414697



IMPRENSA
UNIVERSITÁRIA
DA UFRPE

REITOR:

Prof. Manoel Francisco de Moraes Cavalcanti

VICE-REITOR

Prof. Rildo Sartori Barbosa Coêlho

PRÓ-REITORES

Ensino de Graduação
Profª Marizene de Jesus Azevedo Coelho

Pesquisa e Pós-Graduação
Prof. Emílio C. de Oliveira Filho

Atividades de Extensão
Prof. Severino Mendes Azevedo Júnior

Planejamento
Prof. José Francisco de Araújo

Imprensa Universitária
Prof. Joselito Nunes

CONHEÇA
A UFRPE



Universidade Federal Rural
de Pernambuco

**SYSTEME OCDE (1982):
CLASSIFICATION SIMPLIFIEE DES LACS ET RESERVOIRS
EN FONCTION DES USAGES DESIRES,
ESTIMATION DE LEUR PRODUCTION PISCICOLE¹**

**Note technique pour un programme de gestion
des usages multiples de petits barrages tropicaux²
par Xavier Lazzaro³**

**1. CLASSIFICATION SIMPLIFIEE DES LACS ET RESERVOIRS EN FONCTION DES
USAGES DESIRES**

Dans le cadre de son programme international d'étude des relations entre la charge en nutriments (particulièrement le phosphore) et la qualité de l'eau liée à l'eutrophisation, l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economiques (OCDE) a développé un système de classification de lacs (OECD 1982) inspiré de l'approche empirique de VOLLENWEIDER (1976). Ce système OCDE qui a largement fait ses preuves est fondé sur l'étude d'une centaine de plans d'eau de différents statuts trophiques, situés principalement dans des pays de la zone tempérée (USA, Canada, Australie, Japon et 14 pays d'Europe de l'ouest). RYDING & RAST (1989) ont appliqué ce système aux données du Lac Mcllwaine, réservoir de la République du Zimbabwe (18°00'S, au sud ouest d'Harare, 26.3 km², 250 10⁶ m³, profondeur moyenne 9.4 m) soumis à des usages multiples conflictuels (approvisionnement en eau potable, loisir, irrigation, pêcheries).

A partir des résultats de ses travaux, l'OCDE a développé deux schémas de classifications: la classification aux limites trophiques fixes et celles aux limites trophiques ouvertes. Le premier schéma (plutôt caractéristique de lacs tempérés profonds) semble assez limité, dans la mesure où le recouvrement des valeurs de certains paramètres, d'un statut trophique à l'autre, est inévitable. Le deuxième schéma est préférable. Il surpasse cette limitation en utilisant une évaluation statistique des données pour estimer des moyennes et ses écart-types pour chaque paramètre et statut trophique. Ces descriptions trophiques n'ont pas de signification absolue. Elles sont utilisées soit pour caractériser le 'statut' en nutriments d'une masse d'eau, soit pour décrire les effets des nutriments sur la qualité globale

¹ Le système plus détaillé de classification de la qualité de l'eau fondé sur le Technical Standard (1982) utilisé en Allemagne fera l'objet d'une note séparée.

² Cette note, la première d'une série, a pour objectif de contribuer à la réflexion sur le développement d'un programme multidisciplinaire de recherche sur la gestion des usages multiples de petits barrages tropicaux (Afrique et Amérique du sud), en particulier les aspects quantitatifs (hydrologie) et biologiques des ressources en eau (qualité des eaux, pêche, aquaculture, etc.).

³ ORSTOM, Lab. HOT, 911 avenue Agropolis, 34032 Montpellier - Tel. 67.61.74.50, Fax: 67.54.78.00, E-mail: lazzaro@orstom.orstom.fr

des eaux ou sur ses conditions trophiques. Un programme de contrôle de l'eutrophisation d'un lac ou d'un réservoir est généralement fondé sur l'obtention de certaines conditions trophiques ou de certaines caractéristiques de la qualité des ses eaux.

D'une façon pratique, pour caractériser le statut trophique d'un plan d'eau (lac ou réservoir) à l'aide du schéma de classification aux limites trophiques ouvertes, on dispose des informations suivantes:

- Le tableau des valeurs limites pour les cinq paramètres principaux (phosphore total, azote total, chlorophylle-a, valeur pic de chlorophylle-a, profondeur du disque de secchi) caractéristiques de la qualité des eaux (Tableau 1)
- Le tableau des valeurs de ces paramètres pour le plan d'eau considéré (par exemple, ici le Lac McIlwaine; Tableau 2)
- Si nécessaire, l'abaque permettant d'estimer la valeur pic de la concentration en chlorophylle-a à partir de la concentration annuelle moyenne observée (Fig. 1)
- Les distributions de probabilités des statuts trophiques pour chacun des paramètres (Figs. 2-5; ici l'azote total n'est pas montré)
- Et, finalement, le tableau de classification trophique du plan d'eau considéré (Tableau 3), où à chaque paramètre sont associées les probabilités de distribution (en %) du (ou des deux) statut(s) trophique(s) caractéristique(s) obtenues à partir des Figs. 2-5

Afin d'analyser si les caractéristiques trophiques du plan d'eau considéré sont appropriées aux usages désirés, ou quels usages peuvent être développés, il suffit de comparer ce dernier tableau (Tableau 3) à un tableau de contraintes d'usages (Tableau 4, par exemple).

2. ESTIMATIONS EMPIRIQUES DE LA PRODUCTION PISCICOLE

Plusieurs auteurs ont démontré l'existence de:

- relations positives entre concentration moyenne estivale en chlorophylle (**chl_a**) et charge normalisée en phosphore (**P_{cn}**) (par exemple JONES & LEE 1986, voir Figs. 6-7),
- relations négatives entre profondeur moyenne estivale du disque de secchi (\bar{x}_s , c'est-à-dire la transparence) et charge normalisée en phosphore (**P_{cn}**),
- relations positives entre taux de consommation de l'oxygène hypolimnique et charge normalisée en phosphore, ainsi que de
- relations positives entre production piscicole annuelle (**FY**, "fish yield" en kg/ha/an) - ou sa biomasse moyenne - et la concentration en phosphore (total **TP**, ou charge normalisée **P_{cn}**).

Tout au plus, cinq ou six variables facilement mesurables sont nécessaires pour obtenir une estimation (un ordre de grandeur) de la production - ou biomasse - piscicole que le milieu considéré peu potentiellement produire - ou supporter - en fonction de ses caractéristiques trophiques. Ces relations empiriques ne permettent pas, bien sûr, de prédire directement les aspects qualitatifs (composition des

peuplements en espèces et/ou groupes trophiques, conditions de croissance) de cette ressource piscicole. Les variables les plus fréquemment utilisées sont les suivantes:

a) Variables mesurées

Chla = concentration moyenne annuelle de la chlorophylle-a du phytoplancton, en $\mu\text{g chla/L}$

TP = concentration en phosphore total, en $\mu\text{g P/L}$

L(P) = charge annuelle en phosphore, normalisée par la surface du plan d'eau, en $\text{mg P/m}^2/\text{an}$

\bar{x} = profondeur moyenne annuelle, en m

τ_{ω} = temps de résidence hydraulique, en année

\bar{x}_s = profondeur moyenne annuelle du disque de secchi, en m

b) Variables calculées

q_s = profondeur moyenne + temps de résidence hydraulique = \bar{x} / τ_{ω} , en m/an

P_{cn} = charge normalisée en phosphore (d'après "normalized P loading") = $[L(P) / q_s] / [1 + \sqrt{\tau_{\omega}}]$, en mg P/m^3

Une des premières approches empiriques est celle de OGLESBY (1977) qui a dérivé une relation logarithmique entre la production piscicole (**PY**) et la biomasse phytoplanctonique (exprimée comme la concentration estivale moyenne en chlorophylle, **Chl_s**):

$$\text{FY (g PS/m}^2/\text{an)} = 1.17 \log \text{Chl}_s (\mu\text{g chla/L}) - 1.92$$

$$(n = 19, r^2 = 0.84)$$

BULON & WINBERG (1981) (voir aussi BRECK (1981)) ont développé une relation positive quasi linéaire entre la production piscicole (**PY**) et la production primaire phytoplanctonique (**PP**) de différents types de lacs, y compris des lacs de barrage tempérés et tropicaux:

$$\text{FY (g PS/m}^2/\text{an)} = (1.8 \pm 0.99) 10^{-3} \text{PP (kcal/m}^2/\text{an)}$$

$$(n = 42)$$

pour lesquels la gamme de production primaire était de 170-14000 kcal/m²/an et celle de la production piscicole de 0.4-26 kg/m²/an (environ 4-260 kg/ha/an). De manière générale, sur la gamme complète des valeurs, les relations production piscicole vs. phosphore et production piscicole vs. production primaire ont une forme sigmoïde (courbe logistique).

HANSON & LEGGETT (1982) ont développé une des premières relations entre production piscicole (**FY**) et concentration en phosphore total (**TP**), pour les lacs tempérés (Fig. 8):

$$\text{FY (kg/ha/an)} = 0.072 \text{TP } (\mu\text{g P/L}) + 0.92$$

$$(n = 21, r^2 = 0.84)$$

et, en considérant la profondeur moyenne (\bar{z}):

$$\text{FY ((kg/ha/an)} = 0.071 \text{TP } (\mu\text{g P/L}) + 0.165 \bar{z} \text{ (m)} - 1.164$$

$$(r^2 = 0.96)$$

Utilisant les données de OGLESBY (1977; n = 16) et de HANSON & LEGGETT (1982; n = 19), JONES & LEE (1986) et LEE & JONES (1991) ont ensuite développé une relation logarithmique entre la production piscicole annuelle (FY) et la charge normalisée en phosphore (P_{cn}) (Fig. 9):

$$FY \text{ (g PS/m}^2\text{/an)} = 0.7 \log P_{cn} \text{ (mg P/m}^3\text{)} - 1.86$$

$$(n = 35, r^2 = 0.86)$$

4. COMPARAISONS ENTRE PLANS D'EAU TEMPERES ET TROPICAUX

La littérature concernant la limnologie des lacs et réservoirs des régions tropicales et subtropicales est très abondante mais malheureusement dispersée dans des publications et revues souvent difficiles à obtenir. Dans son travail de synthèse sur ces systèmes, THORNTON (1987) constate que tous les symptômes de l'eutrophisation normalement observés dans les lacs et réservoirs de la zone tempérée ne se manifestent pas toujours dans les systèmes tropicaux/subtropicaux (voir une courte revue dans RYDING & RAST 1989). Le Tableau 5 fait la comparaison entre les valeurs limites tempérées et tropicales de quelques indicateurs de statut trophique. On note, en particulier, que les systèmes tropicaux souvent présentent une limitation en azote et de très faibles rapports N/P qui favorisent la dominance des algues planctoniques bleues-vertes (cyanophycées) fixatrices d'azote atmosphérique. Celles-ci sont capables, cycliquement, de former des fleurs d'eau. D'autres systèmes tropicaux sont limités en phosphore. De manière générale, il semble que les lacs et réservoirs tropicaux/subtropicaux sont capables de tolérer une charge beaucoup plus importante en phosphore que les systèmes tempérés, mais c'est l'inverse pour l'azote. Par contre, les effets de modifications du temps de résidence de l'eau sur la concentration en phosphore et le statut trophique sont semblables dans les systèmes tempérés et tropicaux. Les arguments en faveur de la faible saisonnalité (ou son absence) des systèmes tropicaux sont maintenant très controversés. Il semble même que le contrôle de l'eutrophisation puisse se faire de manière assez semblable dans les lacs et réservoirs tropicaux/subtropicaux et tempérés (voir par exemple HILL & RAI 1982).

Le Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Science (CEPIS, installé à Lima, Pérou) a pour objectifs de développer des méthodologies simplifiées pour l'évaluation des phénomènes d'eutrophisation dans les lacs tropicaux d'eaux chaudes et d'aboutir à des procédures quantitatives (y compris des modèles) similaires à celles développées par l'OECD (1982); voir par exemple, SALAS (1983). Une autre contribution importante dans ce domaine est celle de HART & ALLANSON (1984) qui fait le compte rendu d'une table ronde sur l'aménagement de la qualité de l'eau dans l'hémisphère sud, dans les domaines de l'eutrophisation, l'irrigation, la régulation des rivières, la turbidité et les pêcheries.

5. CONCLUSIONS

En l'absence de données limnologiques de base concernant les petits barrages sur lesquels on se propose de travailler, le système OCDE a l'avantage de faire des prédictions sur les statuts trophiques et les productivités piscicoles à partir de mesures simples d'acquisition. Compte tenu du grand nombre de systèmes à caractériser (> 500 en Côte d'Ivoire et Burkina Fasso et > 70.000 au Brésil), la stratégie d'échantillonnage est un sans doute le facteur limitant qui dépend des moyens de terrains (matériels et humains) et analytiques sur lesquels on peut compter. Faut-il échantillonner une ou deux fois par an le plus grand nombre possible de systèmes, ou seulement plus fréquemment quelques systèmes considérés comme caractéristiques (représentatifs de la diversité de l'ensemble)? De toute évidence la base de données constituée permettra d'établir si le système OCDE développé sur de grands systèmes tempérés peut s'appliquer aux petits barrages tropicaux/subtropicaux. Dans le cas contraire, il faudra développer de nouveaux abaques et/ou modifier les paramètres du statut trophique à prendre en compte. De toute façon une approche écologique simultanée est indispensable. Il naîtra peut-être de tout ceci de nouveaux concepts?

REFERENCES

- Bernhardt, H. 1981. Reducing nutrient inflows. In: Rast, W. & J. J. Kerekes, (compilers). Proceedings of the International Workshop on the Control of Eutrophication. A-2361 Laxenburg, Austria, October 12-15, 1981: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): 43-51.
- Breck, J. E. 1981. Relationship between primary production of waters and fish yield (In Russian). In: Winberg, G. G. (ed.), The basis of Freshwater Ecosystem Investigation. Zoological Institute, Academy of Sciences, Leningrad, USSR.
- Bulon, V. V., & G. G. Winberg. 1981. The basis of Freshwater Ecosystem Investigation, Relationship between primary production of waters and fish yield (In Russian). In: G. G. Winberg, (ed.), Zoological Institute, Academy of Sciences, Leningrad, USSR.
- Hanson, J. M., & W. C. Leggett. 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 257-263.
- Hart, R. C. & B. R. Allanson. 1984. Limnological criteria for management of water quality in the southern hemisphere. Report No. 93. South African National Scientific Programmes, Foundation for Research and Development, Pretoria, Republic of South Africa, 181 p.
- Jones, R. A. & G. F. Lee. 1982. Recent advances in assessing impact of phosphorus loads on eutrophication-related water quality. *Water Res.* 16: 503-515.

- Jones, R. A., & G. F. Lee. 1986. Eutrophication modeling for water quality management: an update of the Vollenweider-OECD model. *Water Quality Bulletin*, 11: 67-74.
- Lee, G. F., & R. A. Jones. 1991. Effects of eutrophication on fisheries. *Reviews in Aquatic Sciences*, 5: 287-305.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Final Report., (OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control). Environment Directorate, OECD, Paris, 154 p.
- Oglesby, R. T. 1977. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop, production, and morphoedaphic factor. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 34: 2271-2279.
- Ryding, S. O., & W. Wast. 1989. The control of eutrophication of lakes and reservoirs. UNESCO (Paris) & The Parthenon Publishing Group, 314 p.
- Salas, H. 1983. Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos calidos, antes lagos tropicales. Resumen del Segundo Encuentro del Proyecto Regional , Organización Panamericana de la Salud (Pan American Health Organization), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Peru, 33 p.
- Thornton, J. A. 1985. Nutrients in Africa lake ecosystems: Do we know all? *J. Limnol. Soc. S. Afr.* 12: 6-21.
- Thornton, J. A. 1987. Aspects of eutrophication management in tropical/subtropical regions: A review. *J. Limnol. Soc.* 13: 25-43.
- Thornton, J. A, & W. K. Nduku. 1982. Lake Mcllwaine: the eutrophication and recovery of a tropical African man-made lake. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands, 251 p.
- Vollenweider, R. A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83.

LEGENDE DES TABLEAUX

- Tableau 1 Valeurs OCDE limites (moyennes annuelles*) pour le système de classification trophique ouvert (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Tableau 2 Valeurs caractéristiques des paramètres de la qualité de l'eau du Lac Mclwaine, vers 1980 (d'après THORNTON & NDUKU 1982).
- Tableau 3 Classification trophique du Lac Mclwaine, fondée sur le système simplifié de classification (d'après RYDING & RAST 1989).
- Tableau 4 Classification des usages de l'eau de lacs et réservoirs fondée sur les conditions trophiques (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après BERNHARDT 1981).
- Tableau 5 Comparaison des valeurs limites tempérées et tropicales pour plusieurs indicateurs de statuts trophiques (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après THORNTON 1985, 1987).

LEGENDES DES FIGURES

- Fig. 1 Relation entre concentration annuelle moyenne de chlorophylle et concentration pic en chlorophylle pour les lacs et réservoirs, montrant la détermination du pic de chlorophylle pour le Lac Mclwaine (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Fig. 2 Distribution de probabilités des catégories trophiques fondées sur la concentration annuelle moyenne en phosphore total (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Fig. 3 Distribution de probabilités des catégories trophiques fondées sur la concentration annuelle moyenne en chlorophylle (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Fig. 4 Distribution de probabilités des catégories trophiques fondées sur la concentration pic en chlorophylle (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Fig. 5 Distribution de probabilités des catégories trophiques fondées sur la profondeur annuelle moyenne du disque de secchi (modifié par RYDING & RAST 1989 d'après OECD 1982).
- Fig. 6 Relations entre concentration annuelle moyenne en chlorophylle-a (haut), profondeur annuelle moyenne du disque de secchi (milieu), taux de consommation de l'oxygène hypolimnétique (bas), et la charge normalisée en phosphore pour les plans d'eau nord-américains (d'après JONES & LEE 1982 in JONES & LEE 1986).
- Fig. 7 Mise à jour de la relation VOLLENWEIDER-OECD entre charge normalisée en phosphore et concentration en chlorophylle (d'après JONES & LEE 1986).
- Fig. 8 Relation entre phosphore total (TP en $\mu\text{g P/L}$) et production piscicole annuelle (FY en kg/ha/an) (d'après HANSON & LEGGETT 1982).
- Fig. 9 Relation entre charge normalisée en phosphore (en mg P/m^3) et production piscicole annuelle (en $\text{g PF/m}^2/\text{an}$) (d'après JONES & LEE 1986).

Tableau 1

Lazzaro - Système OCDE - 3/2/93 - 8

OECD boundary values for open trophic classification system (annual mean values)* (modified from OECD, 1982)

Parameter		Oligo-trophic	Meso-trophic	Eutrophic	Hyper-trophic
Total phosphorus ($\mu\text{g P/l}$)	\bar{x}	8.0	26.7	84.4	
	$\bar{x} \pm 1 \text{ SD}$	4.85-13.3	14.5-49	48-189	
	$\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$	2.9-22.1	7.9-90.8	16.8-424	
	Range	3.0-17.7	10.9-95.6	16.2-386	750-1200
	n	21	19 (21)	71 (72)	2
Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)	\bar{x}	661	753	1875	
	$\bar{x} \pm 1 \text{ SD}$	371-1180	485-1170	861-4081	
	$\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$	208-2103	313-1816	395-8913	
	Range	307-1630	361-1387	393-6100	
	n	11	8	37 (38)	
Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$)	\bar{x}	1.7	4.7	14.3	
	$\bar{x} \pm 1 \text{ SD}$	0.8-3.4	3.0-7.4	6.7-31	
	$\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$	0.4-7.1	1.9-11.6	3.1-66	
	Range	0.3-4.5	3.0-11	2.7-78	100-150
	n	22	16 (17)	70 (72)	2
Chlorophyll <i>a</i> peak value ($\mu\text{g/l}$)	\bar{x}	4.2	16.1	42.6	
	$\bar{x} \pm 1 \text{ SD}$	2.6-7.6	8.9-29	16.9-107	
	$\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$	1.5-13	4.9-52.5	6.7-270	
	Range	1.3-10.6	4.9-49.5	9.5-275	
	n	16	12	46	
Secchi depth (m)	\bar{x}	9.9	4.2	2.45	
	$\bar{x} \pm 1 \text{ SD}$	5.9-16.5	2.4-7.4	1.5-4.0	
	$\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$	3.6-27.5	1.4-13	0.9-6.7	
	Range	5.4-28.3	1.5-8.1	0.8-7.0	0.4-0.5
	n	13	20	70 (72)	

*the geometric means (after being transformed to base 10 logarithms) were calculated after removing values which were greater than, or less than, two times the standard deviation obtained (where applicable) in the first calculation.

\bar{x} = geometric mean

SD = standard deviation

() = the value in brackets refers to the number of variables (n) used in the first calculation.

Tableau 2

Relevant water quality parameters for Lake McIlwaine, circa 1980 (from J.A. Thornton & Nduku, 1982)

Parameter	Value
Total soluble phosphorus concentration	40 $\mu\text{g/l}$
Mean inorganic nitrogen concentration ¹	110 $\mu\text{g/l}$
Mean chlorophyll concentration	9 $\mu\text{g/l}$
Maximum (peak) chlorophyll concentration ²	30 $\mu\text{g/l}$
Mean Secchi depth	1.8 m

¹Sum of ammonia, nitrate and nitrite nitrogen

²Projected value from Figure A 1, based on mean chlorophyll concentration of 9 $\mu\text{g/l}$

Tableau 3

Lazzaro - Système OCDE - 3/2/93 - 9

Trophic classification of Lake McIlwaine, based on simplified classification system

Parameter	Major Trophic Probability
Mean total phosphorus*: (*total soluble phosphorus)	55% mesotrophic; 38% eutrophic
Mean chlorophyll:	50% eutrophic; 40% mesotrophic
Projected peak chlorophyll.	50% eutrophic; 34% mesotrophic; 16% hypertrophic
Mean Secchi depth:	50% eutrophic; 38% hypertrophic; 10% mesotrophic

Tableau 4

Intended lake and reservoir water uses as related to trophic conditions (modified from Bernhardt, 1981)

Desired utilization	Trophic state	
	Required	Still tolerable
Drinking water production	oligotrophic	mesotrophic
Bathing purposes	mesotrophic	slightly eutrophic
Low-water improvement		
with long distance supply line	—	mesotrophic
without long distance supply line	—	slightly eutrophic
Fish culture		
salmonid waterbodies	oligotrophic	mesotrophic
cyprinid waterbodies	—	eutrophic
Providing process water	mesotrophic	slightly eutrophic
Cooling water production	—	eutrophic
Water sports (without bathing)	mesotrophic	eutrophic
Landscaping in recreation areas	—	slightly eutrophic ¹
Irrigation (by means of channels)	—	strongly eutrophic
Energy production	—	strongly eutrophic ^{2,3}

¹Within the scope of landscaping, a eutrophic state caused by the natural aging process, can even be desirable.

²Without consideration of the eventual water quality requirements for the receiving canal.

³Not valid for river power plants which may be impaired by macrophyte and algal growths

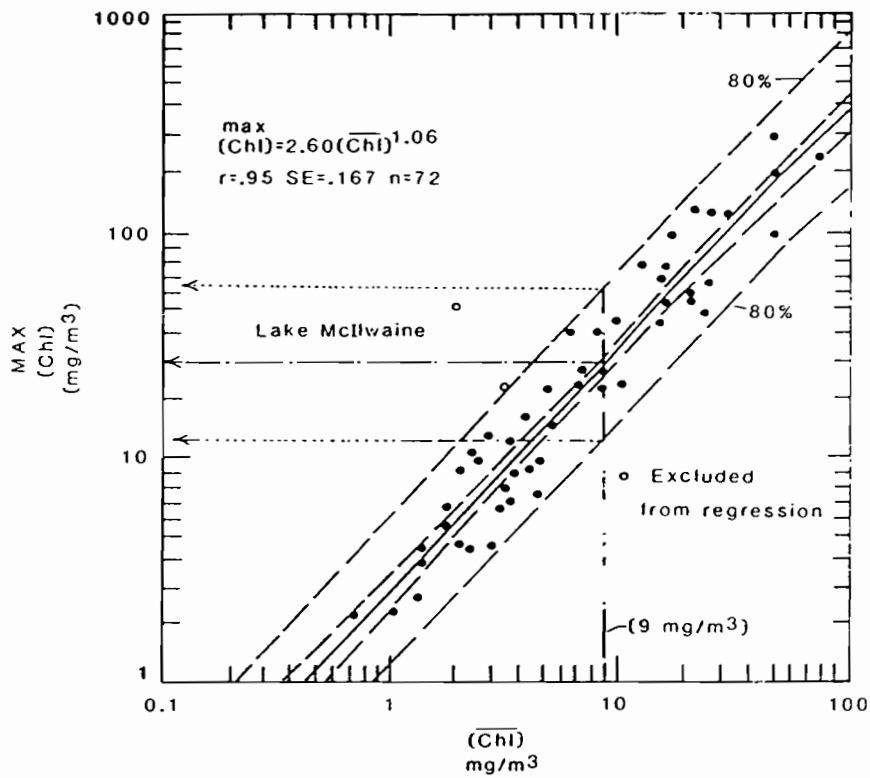
Tableau 5

Comparison of temperate and tropical boundary values for several trophic state indicators (modified from J.A. Thornton, 1985, 1987)

Trophic indicator	Mean boundary value between mesotrophic and eutrophic conditions		References
	Temperate lakes	Tropical lakes	
Mean primary productivity (g C/m ² .day)	1.0	2-3	Robarts (1982)
Chlorophyll <i>a</i> (µg/l)	10-15	10-15	Walmsley and Butty (1980) ¹
Total phosphorus (µg P/l)	30	50-60	J.A. Thornton and Nduku (1982) ¹
Total nitrogen (µg N/l)	50-100	20-100	Wood (1975) ¹
Nutrient limitation often by	phosphorus	nitrogen	Toerien <i>et al</i> (1975) ¹
Dominant algal types	diatoms	blue-green algae	J.A. Thornton (1985)
Photosynthetic efficiency	< 1%	> 2-3%	Wetzel (1975) ¹

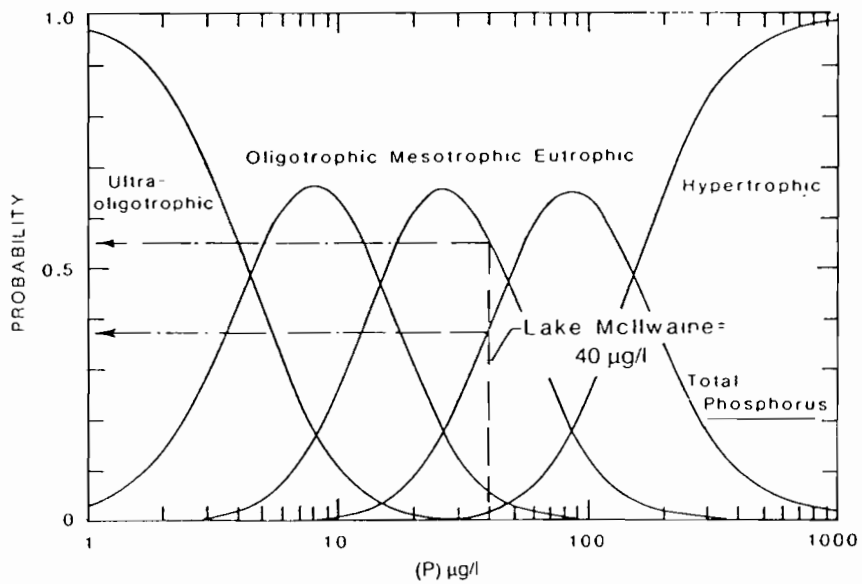
¹As cited in J.A. Thornton (1987)

Figure 1



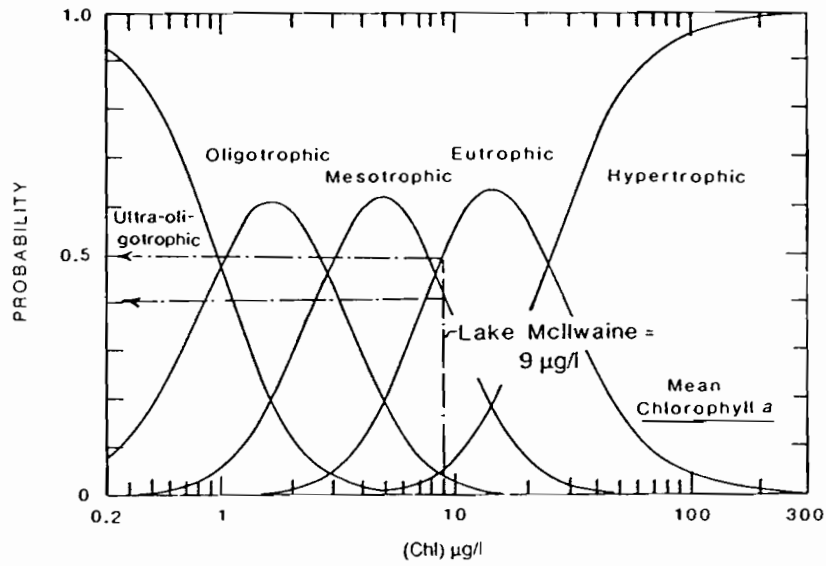
Relationship between mean and peak chlorophyll levels in lakes and reservoirs, showing peak value for Lake McIlwaine (modified from OECD, 1982)

Figure 2



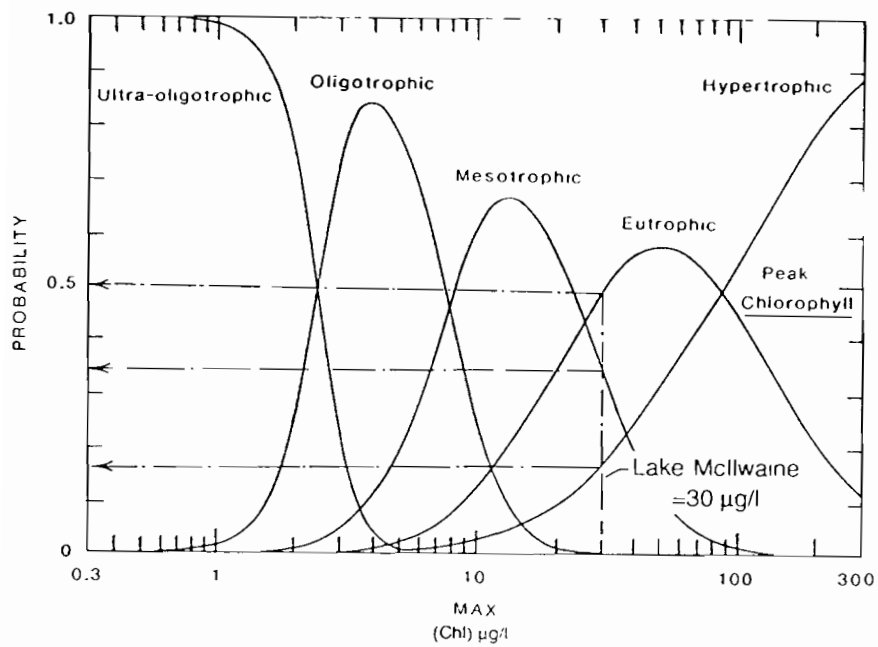
Probability distribution of trophic categories based on total phosphorus (modified from OECD, 1982)

Figure 3



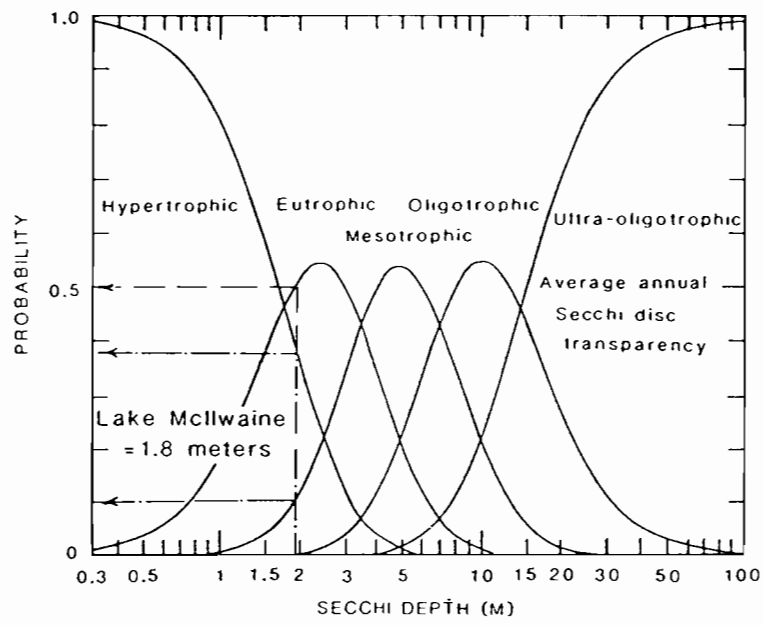
Probability distribution of trophic categories based on mean chlorophyll (Modified from OECD, 1982)

Figure 4



Probability distribution of trophic categories based on peak chlorophyll (modified from OECD, 1982)

Figure 5



Probability distribution of trophic categories based on mean Secchi depth (modified from OECD, 1982)

Figure 6

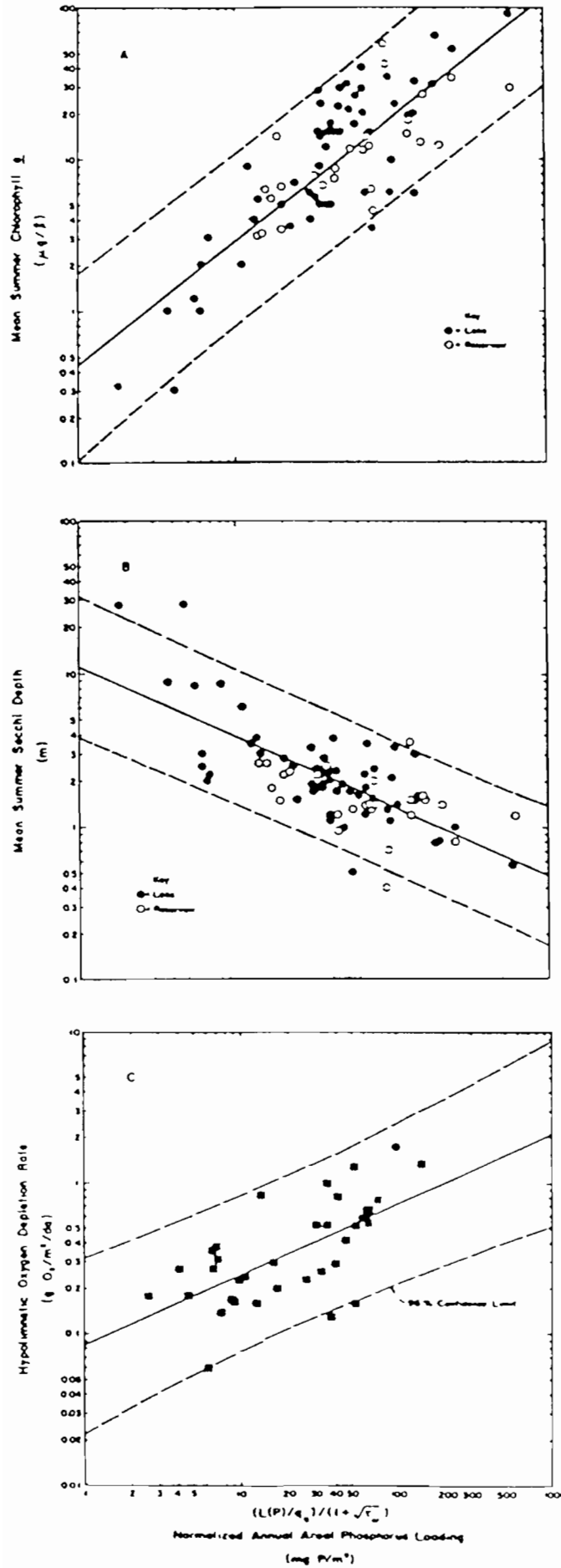
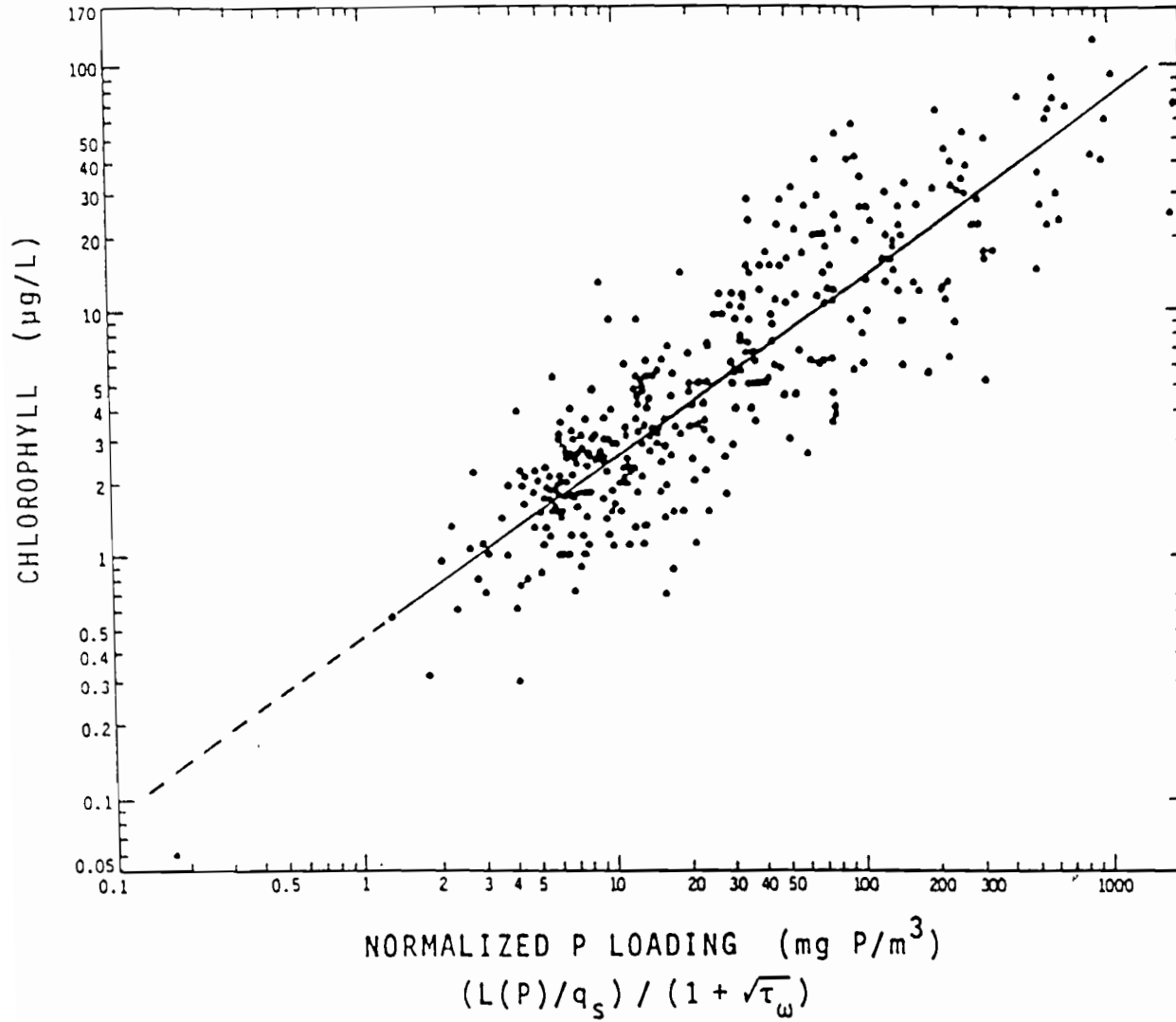
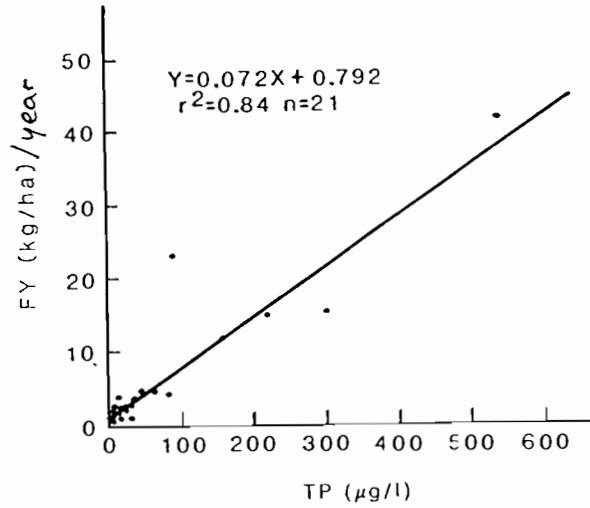


Figure 7



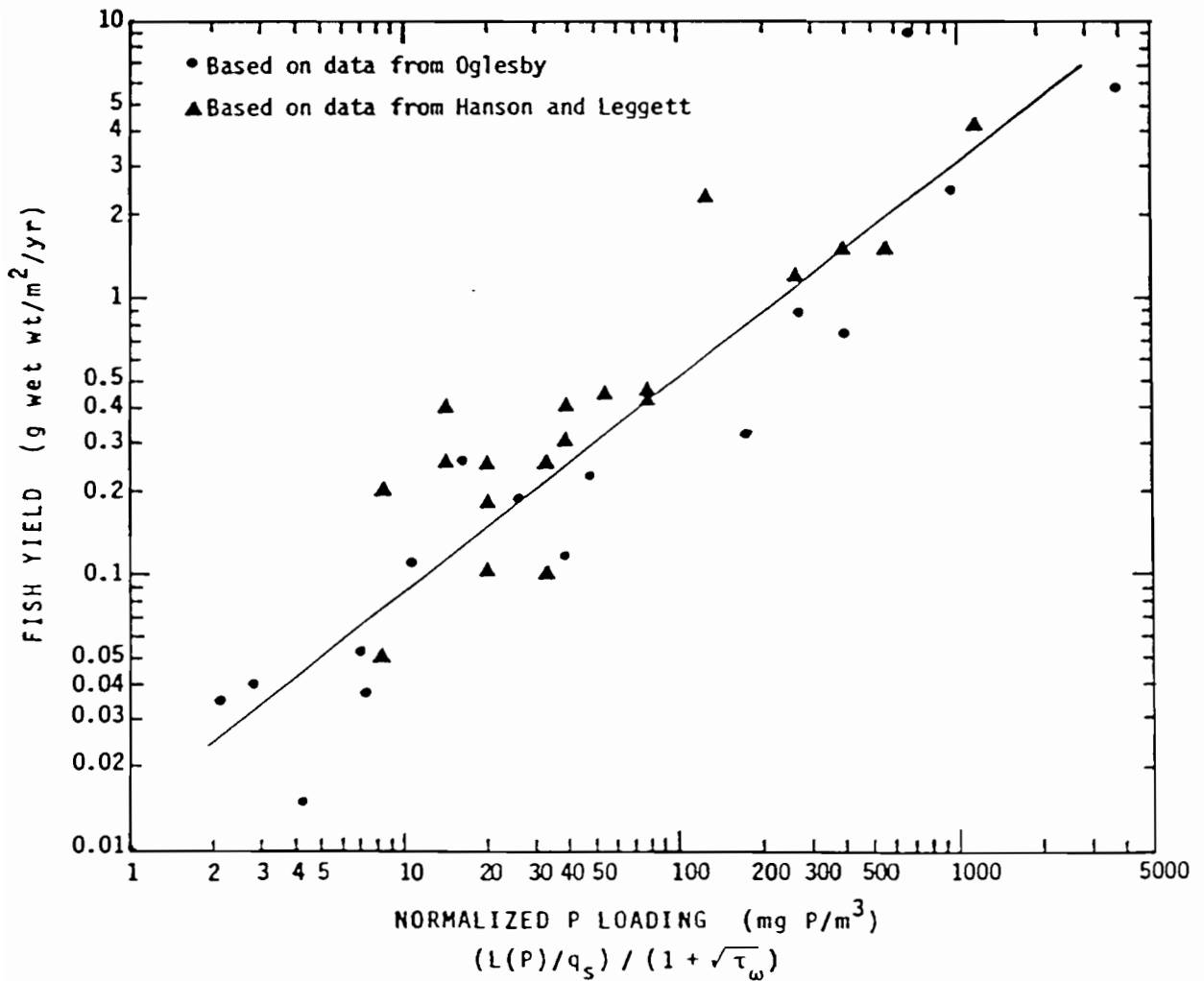
Updated Vollenweider-OECD normalized p loading — chlorophyll response relationship. (After Jones, R. A. and Lee, G. F., *WHO Water Qual. Bull.*, 11(2), 67, 1986).

Figure 8



Relationship between total phosphorus (TP) and fish yield (FY) (from Hanson & Leggett, 1982)

Figure 9



Relationship between normalized P loading and fish yield.

Aménagement des Lacs et Réservoirs Tropicaux et Subtropicaux

UTILISATION D'INDICES COMME PRÉDICTEURS DE BIOMASSE, PRODUCTIVITÉ ET STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS PISCICOLES DE LACS ET RÉSERVOIRS¹

Note technique n°2 pour un programme de gestion des usages multiples de petits barrages tropicaux²

par Xavier Lazzaro³

1. POURQUOI DÉVELOPPER DES INDICES PRÉDICTIFS EMPIRIQUES?

L'un des objectifs des pêcheries continentales est d'équilibrer de façon aussi précise que possible la production des populations de poissons avec la somme des mortalités naturelle et par pêche (Fig. 1).

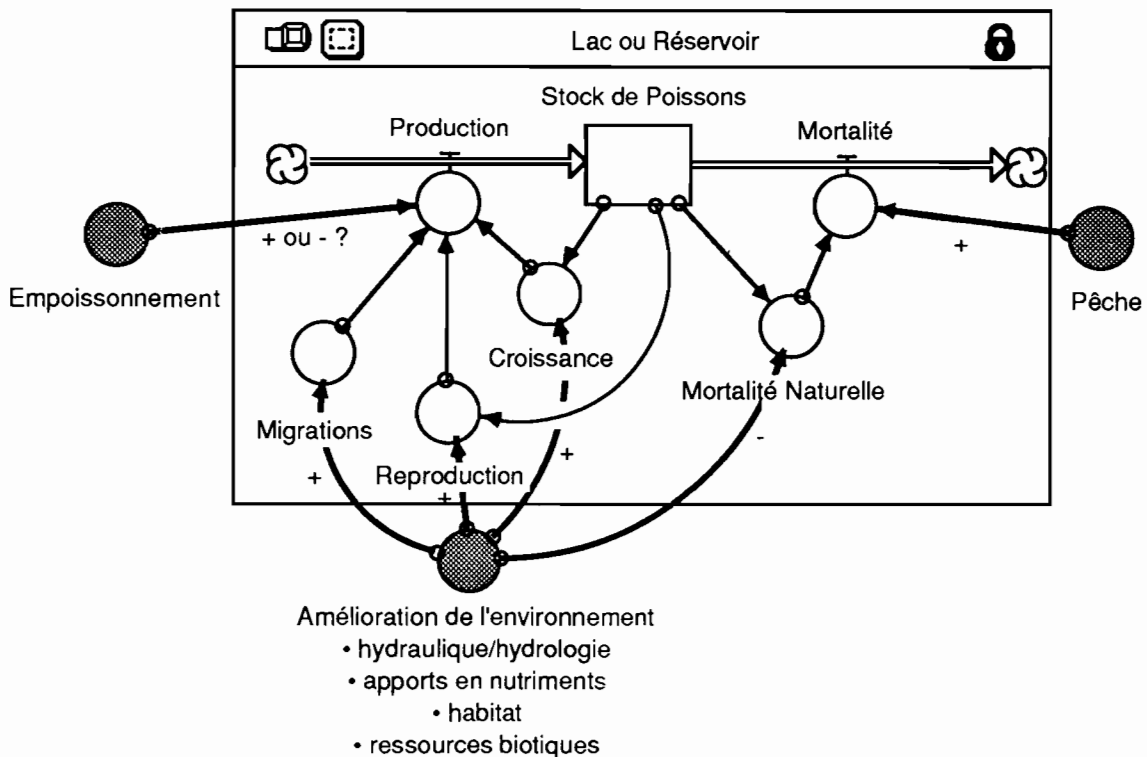


Figure 1. Les facteurs écologiques (en blanc) et anthropiques (en grisé) de contrôle des stocks piscicoles multispécifiques en lacs et réservoirs. Ce schéma est très synthétique et ne montre pas toutes les relations causales. En particulier, il ne montre pas les effets des interactions interspécifiques sur les processus de production et de mortalité du stock, et l'impact de l'empoisonnement de certaines espèces sur le recrutement, la reproduction et la croissance globales du stock. La symbolique utilisée est celle du logiciel de simulation dynamique Stella™ où la variable d'état ('Stock de poissons') est indiquée par un encadré rectangulaire, les flux ('Production' et 'Mortalité') par des doubles flèches, les autres variables par des encadrés circulaires et les relations causales entre variables par de simples flèches.

Pour cette raison, les biologistes des pêches ont besoin de connaître comment varie la production piscicole selon les écosystèmes et les peuplements. L'un des moyens de parvenir à cette

connaissance est de déterminer quels sont les caractéristiques des lacs qui ont le plus d'effet sur le taux de production de poissons. Une approche analytique des mécanismes fonctionnels mis en jeu est cependant extrêmement lourde et impossible à entreprendre sur l'ensemble des milieux exploités. Des chercheurs ont donc adopté une approche empirique pour tenter de faire émerger des relations simples entre des variables abiotiques et/ou biotiques facilement mesurables et des estimateurs de l'abondance et/ou de la production piscicole. Ainsi, depuis plus d'une trentaine d'années, de nombreux indices ont été développés (souvent à partir des données de la littérature) sur une gamme très large de lacs et réservoirs, tempérés et tropicaux, petits à grands, peu à très productifs. Ces indices sont utilisés le plus souvent pour la gestion des stocks piscicoles des systèmes sur lesquels ils ont été développés. Cependant, ils peuvent également servir à faire des prédictions sur des systèmes similaires (proches ou non) qui n'ont pas fait l'objet d'études fines et intensives de leur fonctionnement. Cette application semble particulièrement attrayante dans le cadre du Programme Incitatif 'Petits Barrages' (Côte d'Ivoire, Nordeste du Brésil), où l'un des objectifs est d'évaluer les ressources piscicoles d'une multitude de systèmes d'une même région, ou d'un même bassin versant, à partir de suivis et d'études expérimentales sur quelques systèmes considérés comme représentatifs.

Les choses seraient relativement simples si la relation entre les caractéristiques de l'environnement et celles du stock piscicole était unidirectionnelle. Mais, il n'en est rien (Fig. 2 et section 6).

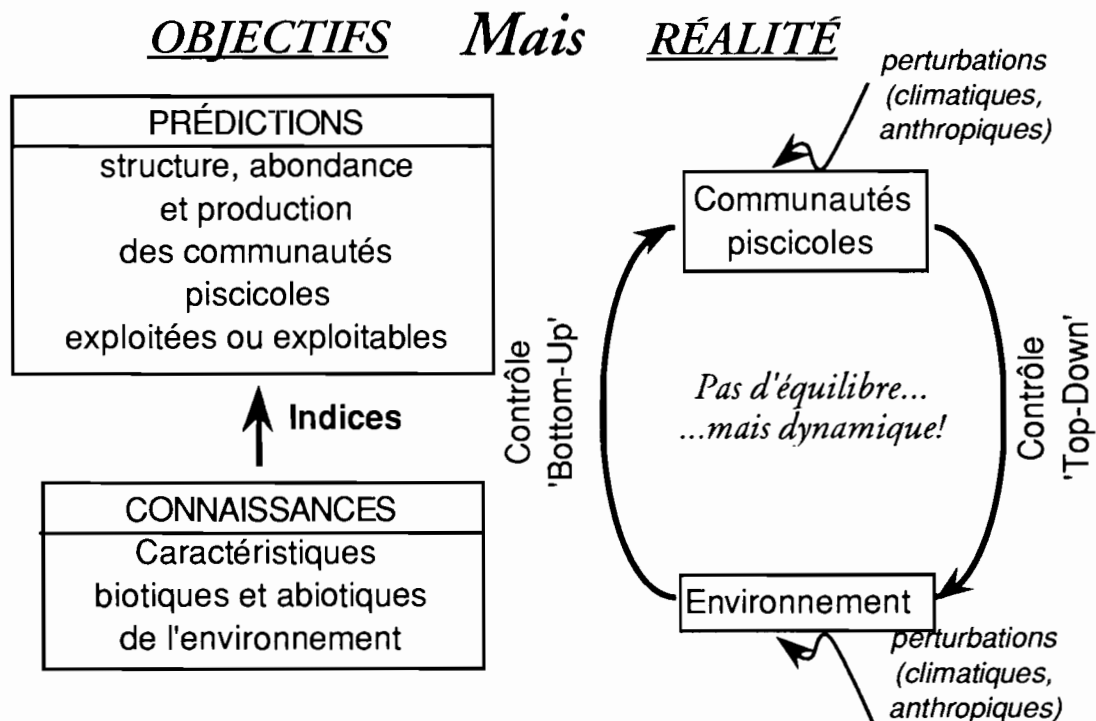


Figure 2. Le principe d'utilisation des indices comme prédicteurs de la productivité piscicole des lacs et réservoirs (à gauche) et les 'problèmes' de la réalité écologique (à droite). Les poissons et leur environnement abiotique et biotique interagissent; ils font partie d'une boucle dynamique (pas d'équilibre), comme en témoignent les fortes variabilités entre systèmes et interannuelles. Les communautés piscicoles sont structurées et contrôlées par l'environnement (contrôle 'Bottom-Up', ou contrôle ascendant par les ressources), mais, en contrepartie, ces mêmes communautés piscicoles, via leur activités trophiques, modifient leur environnement (contrôle 'Top-Down', ou contrôle descendant par les consommateurs).

2. LES VARIABLES INDÉPENDANTES UTILISÉES DANS LES INDICES PRÉDICTIFS

Les variables indépendantes utilisées sont indiquées dans le Tableau 1. Elles peuvent être classées entre variables abiotiques et biotiques:

Variables abiotiques:**Morphométriques**

- Aire, Age = surface en eau et âge du plan d'eau
- \bar{Z} = profondeur moyenne du plan d'eau

Physico-chimiques

- Berges = indice de développement des berges
- Alc = alcalinité
- T° = température moyenne de l'air
- Secchi = profondeur moyenne du disque de secchi
- TR = temps de résidence = 1 / temps de renouvellement
- TN = azote total
- TP = azote total
- TDS = solides totaux dissous

Variables biotiques:

- MEI = TDS / \bar{Z} = indice morphoédaphique
- Phyto, Chla = biomasse et chlorophylle du phytoplancton
- PP = production primaire du phytoplancton
- Benthos = biomasse benthique
- Macrophytes = biomasse de macrophytes
- BP = biomasse piscicole
- W = masse corporelle de la plus grande classe de taille de poissons

3. LES DIFFÉRENTS TYPES D'INDICES PRÉDICTIONNELS

Les essais précoces de corrélérer les biomasses ("standing crops") piscicoles aux variables de l'environnement ont été motivés par la nécessité de prédire les capacités de charge des réservoirs (Rounsefell 1946). L'idéal poursuivi par les biologistes gestionnaires de réservoirs est que des indices fondés sur des mesures faciles à obtenir de un (ou quelques) paramètres devraient être suffisants pour faire des prévisions sur des systèmes individuels. En effet, la taille, le nombre (cas des petits barrages ivoiriens et des açudes brésiliens) et la complexité du fonctionnement des réservoirs rendent les suivis intensifs irréalisables (problèmes de logistique, de coût et de temps).

Les indices prédictifs utilisent des modèles univariés (prédictions à partir de la mesure d'une seule variable indépendante) ou multivariés (à partir d'une combinaison de variables indépendantes). Les équations de quelques uns de ces indices sont indiquées dans les tableaux 2-4. Ces indices peuvent être classés en 3 types, selon qu'ils estiment:

- la biomasse piscicole (FB): à partir de pêches expérimentales (E)
- la productivité piscicole (FP): à partir de mesures de croissance biologique (B)
- la production piscicole exploitée (CPUE, FC): à partir de pêches commerciales (C), sportives ou artisanales (S)

Les indices prédictifs les plus répandus sont ceux qui estiment les captures de poissons par pêche ("catch" ou "yield"). En effet, fondés sur des relations empiriquement observées, les indices prédictifs ne requièrent pas la connaissance fine du fonctionnement des communautés piscicoles. Par contre, l'utilisation de modèles mathématiques complexes pour la prédiction des productions biologiques de poissons nécessite des descriptions quantitatives d'importantes interactions biotiques et abiotiques.

Les mesures de biomasses et de croissances obtenues expérimentalement permettent de développer des indicateurs fiables des biomasses et productivités piscicoles (FB et FP, respectivement) d'un lac ou d'un réservoir. Par contre, il n'en est pas de même pour les mesures de biomasses capturées par la pêche (rendement CPUE et captures FC) qui ne fournissent qu'une estimation biaisée de la 'réelle' productivité piscicole du milieu. Ces derniers ne permettent donc ni d'établir des comparaisons fiables de biomasses ou productions piscicoles entre milieux, ni d'évaluer l'amélioration de la productivité piscicole d'un milieu soumis à une gestion. Cependant, du fait de leur facilité d'obtention (il n'est pas nécessaire de mettre en place un programme lourd de mesures expérimentales de biomasses, recrutements et croissances plurispécifiques), les indices prédictifs de la productivité piscicole exploitée sont les plus nombreux. Du fait des pressions et des gestions de pêches très variables des systèmes sur lesquels ils ont été développés (très peu utilisent l'optimisation à long terme du MSY, comme Matuszek 1978), il est inapproprié d'utiliser ces indices pour identifier les paramètres de contrôle des productivités piscicoles exploitables et, a fortiori, développer des recommandations fiables sur les modifications à apporter à l'environnement abiotique et biotique pour améliorer le rendement de la pêche.

Ce constat plutôt défavorable de l'usage d'indices fondés sur des mesures de productivité piscicole exploitée n'est pas a priori surprenant. En effet, ces indices représentent des relations linéaires (en log-log) figées entre rendement de la pêche et paramètres du milieu. En principe, ils ne peuvent donc pas prendre en compte une modification de l'efficacité de la pêche (meilleurs engins de capture, augmentation du nombre d'unités de pêche ou de la surface explorée du plan d'eau, etc.). De la même façon, ils ne peuvent faire des prédictions que dans la gamme de valeurs des paramètres et des productivités qui ont été mesurées pour l'établissement du modèle. De façon réaliste, la relation entre productivité piscicole exploitée et le paramètre de l'environnement choisi n'est ni linéaire, ni à l'équilibre; elle peut être de type sigmoïde ou en cloche (présenter un maxima) et évoluer dans le temps avec l'évolution des caractéristiques du milieu et/ou de la pêcherie. Par exemple, au cours de l'eutrophisation d'un milieu, la biomasse et la productivité phytoplanctoniques croissent, mais la composition et la structure du peuplement de poissons changent suite aux modifications des ressources et de l'habitat, les espèces dominantes et celles exploitées peuvent progressivement ou brutalement changer, la proportion exploitable de la biomasse globale du milieu est modifiée, conduisant à une amélioration ou détérioration des rendements.

Bien que beaucoup d'efforts aient été consacrés à développer de modèles fonctionnels fondés sur des relations mathématiques complexes, notre connaissance actuelle du fonctionnement des réservoirs est encore trop limitée pour la construction de modèles réalistes. Bien que des modèles simples peuvent, dans certaines circonstances, reproduire la dynamique des réservoirs et fournir des hypothèses testables (Ploskey & Jenkins 1982), aucune pêcherie n'a encore été gérée avec succès à partir seulement de résultats de simulation (Walters 1980). Ces arguments sont à l'origine de l'engouement pour le développement et l'utilisation d'indices prédictifs empiriques.

La tendance actuelle est d'incorporer des paramètres biotiques dans ces indices prédictifs. D'après Carline (1986), sur un échantillon choisi de lacs, les modèles actuels peuvent rendre compte de plus de 90% de la variabilité en captures ("yields") et de la biomasse piscicole. Cependant, peu de progrès ont encore été réalisés dans l'établissement de relations entre la structure des communautés et les variables environnementales, en particulier sur les systèmes tropicaux et subtropicaux.

En effet, pour décrire la structure fonctionnelle des communautés piscicoles et son évolution spatiale ou temporelle, il y a différentes manières de s'y prendre. On peut utiliser la taxonomie, la classification par niveau trophique, par utilisation de l'habitat, par mode de reproduction, etc. Le meilleur moyen de relier les caractéristiques des communautés piscicoles aux variables environnementales semble être de classer les réservoirs en tenant compte des caractéristiques majeures de l'habitat, puis d'analyser les caractéristiques et le fonctionnement de chacune de ces classes de réservoirs.

4. OÙ EN EST L'ÉTAT-DE-L'ART DES MODÈLES DE PRODUCTION PISCICOLE EN FONCTION DES CONDITIONS DE L'ENVIRONNEMENT?

Aucune synthèse générale large sur les taux de productivité des peuplements de poissons, ni aucune analyse de l'influence combinée des caractéristiques de ces peuplements et des conditions de l'environnement sur leur productivité n'a encore été publiée. De même, aucune relation multivariée générale entre la production piscicole, l'état d'eutrophisation, la morphométrie, la géographie et le climat n'a été encore développée à l'échelle d'une région, ou a fortiori d'une zone climatique (tempérée, tropicale, subtropicale) (Downing & Plante 1993). Si une telle connaissance est d'une grande importance théorique et pratique pour déterminer les caractéristiques biotiques et abiotiques les plus influentes sur la production et le taux de renouvellement d'importantes populations de poissons d'eau douce, il n'est pas inattendu, et plutôt satisfaisant pour l'esprit, de se convaincre que le fonctionnement écologique d'un lac ne peut être approché par une simple équation mathématique et, donc, que l'écologie n'est (heureusement) pas une science finie.

5. LIMITES À L'UTILISATION DES INDICES PRÉDICTIONNELS

5.1. Peut-on faire des prédictions sur les écosystèmes lacustres?

La véritable limite à l'usage d'indices empiriques pour la prédiction des caractéristiques des peuplements piscicoles de lacs et réservoirs est l'état actuel d'avancement des connaissances en écologie des écosystèmes lacustres. Il est bon de rappeler que le but ultime de l'écologie, en temps que

science, est de prédire l'abondance et la distribution des organismes dans le temps et dans l'espace. De la même manière, les recherches sur le fonctionnement des écosystèmes ont pour but de prédire comment la structure d'un écosystème change avec le temps (saisons, années) et comment un écosystème réagit à des perturbations. Ces objectifs font implicitement l'hypothèse qu'il existe des évolutions et des structures parfaitement prévisibles dans un écosystème. La plupart des écologistes sont très sceptiques sur la véracité de cette hypothèse, comme en témoignent les travaux récents sur le rôle du chaos dans la structuration et la hiérarchisation des systèmes écologiques, et ceux des participants à un récent symposium sur les potentiels et limitations des recherches sur les écosystèmes. Dans une synthèse de ce symposium, Lampert (1987) démontre que les évolutions les plus prévisibles dans les lacs sont celles engendrées par les poissons, car ces organismes ne répondent que très lentement aux changements dans l'abondance de leurs ressources alimentaires et ont des cycles de vie longs (> 1 an; comparés à ceux du plancton) et bien réglés. Bien qu'optimiste, Lampert conclue que nous sommes encore très loin d'être capables de construire un modèle prédictif d'un écosystème lacustre. S'il est clair que de grands progrès ont été réalisés sur la prédictibilité des successions planctoniques dans les grands lacs profonds tempérés (voir les travaux du Plankton Ecology Group), il n'en est pas de même pour les systèmes tropicaux et subtropicaux; en particulier les petits, peu profonds et très productifs.

5.2. Cas des petits barrages et des açudes

Par définition, ces systèmes sont petits, peu profonds, généralement très productifs et fortement manipulés par l'homme. Les variabilités interannuelle et intersystème y sont donc souvent très importantes. Ces caractéristiques rendent les prédictions sur les biomasses ou les productivités piscicoles très difficiles et peu fiables. Un certain nombre de circonstances (plusieurs développées par Oglesby 1977) limitent le développement et l'utilisation d'indices prédictifs simples:

- On ne peut faire des prédictions sur la productivité piscicole de systèmes dont les populations sont maintenues par **empoisonnements occasionnels ou annuels** (Downing & Plante 1993); et pour cause... cela découle d'un raisonnement récurrent!
- L'utilisation d'indices prédictifs pose le problème de **prendre en compte l'hétérogénéité spatiale inhérente à chaque lac et chaque réservoir**. Les mesures effectuées à plusieurs stations plusieurs fois par an doivent être converties en une unique valeur moyenne annuelle représentative de l'ensemble du milieu: les erreurs sont donc exagérées. L'établissement d'une fourchette de valeurs est justifiée. Le problème de l'hétérogénéité spatiale est particulièrement crucial pour la mesure de la biomasse phytoplanctonique (biovolume, chlorophylle) et de sa production primaire (quelle méthode? O₂ vs. ¹⁴C, nette vs. brute, bilan horaire vs. journalier, pélagique vs. pélagique + benthique + épiphytique, etc.; quelle période? estivale vs. annuelle... problème des systèmes tropicaux par rapport aux systèmes tempérés). L'acquisition des données de production primaire peut être standardisée par l'utilisation d'incubateurs portables (contrôle de la lumière et de la température).
- Comme indiqué plus haut, si les **enregistrements de captures commerciales** peuvent refléter l'effort de pêche, ils **ne représentent certainement pas la productivité piscicole potentielle** du plan d'eau (Melack 1976).
- Des différences importantes entre plans d'eau peuvent violer l'**homogénéité requise pour l'utilisation de l'index morphoédaphique**.
- A une échelle régionale ou même locale, la **grande variabilité (intersystème et interannuelle) des petits systèmes tropicaux et subtropicaux (≤ 10 km²) rend impossible le développement d'indices prédictifs applicables à des lacs ou réservoirs pris individuellement** (Oglesby 1977; voir Fig. 3). Ceci est une limitation pratique majeure à l'usage des indices pour la gestion individuelle de petits plans d'eau anthropisés de ces régions. En conséquence, ces indices prédictifs de la productivité piscicole exploitée (rendement des pêcheries) ne peuvent avoir pour but que de comparer des ensembles de plans d'eau qui ne diffèrent substantiellement que par la valeur de la variable sélectionnée (Oglesby 1977). Oglesby considère même que les indices basés sur des mesures de chlorophylle ne devraient pas être appliqués aux lacs tropicaux avant que plus d'exemples ne soient étudiés.
- L'influence de l'**apport en matière organique allochthone** semble particulièrement provoquer des écarts par rapport aux indices basés sur le phytoplancton développés pour les grands lacs.

Les plans d'eau recevant des apports organiques substantiels devraient être exclus des modèles, à moins qu'une correction puisse leur être apportée (Oglesby 1977).

- Les systèmes dont le **temps de rétention moyen est $\leq 0,4$ an** (c'est-à-dire un turnover $\leq 0,33$ mois⁻¹) devraient être exclus des indices fondés sur la mesure de la chlorophylle, car leurs productivités piscicoles sont sous estimées par ces indices (Oglesby 1977).
- Les systèmes dont la croissance et la survie des poissons sont significativement influencées par des **substances toxiques** et ceux où les **macrophytes et/ou les épiphytes contribuent de façon importante à la production primaire** devraient être exclus des indices prenant en compte le phytoplancton et le MEI (Oglesby 1977).
- L'**aspect dynamique** est bien trop souvent absent des modèles empiriques. Bien que les concentrations en nutriments (azote, phosphore, alcalinité) aient un effet direct sur la productivité des systèmes, ce sont les valeurs de leurs taux de recyclage ('turnover') qui devraient être inclus dans les équations des indices prédictifs (Melack 1976). Le comblement de cette lacune est particulièrement justifié dans le cas des systèmes tropicaux.
- Les communautés piscicoles sont des **assemblages d'espèces interactives** (Kerr & Ryder 1977). Dans les lacs, les communautés piscicoles présentes sont le résultat d'une longue coévolution entre les espèces, mais dans les réservoirs cette coévolution n'existe pas. Les assemblages d'espèces y dépendent des stocks présents au moment de la fermeture du barrage, des connexions possibles avec les stocks dans les tributaires en amont du plan d'eau et de l'historique des introductions et/ou des empoisonnements successifs. Les **communautés fortement intégrées et coévoluées des lacs** sont donc qualifiées de '**harmoniques**' et les **assemblages lâches des réservoirs de 'astatiques'** par Ryder & Kerr (1978). Ces auteurs considèrent que les communautés harmoniques sont stables et plus persistantes que les communautés astatiques qui sont, le plus souvent, le résultat d'interventions anthropiques.

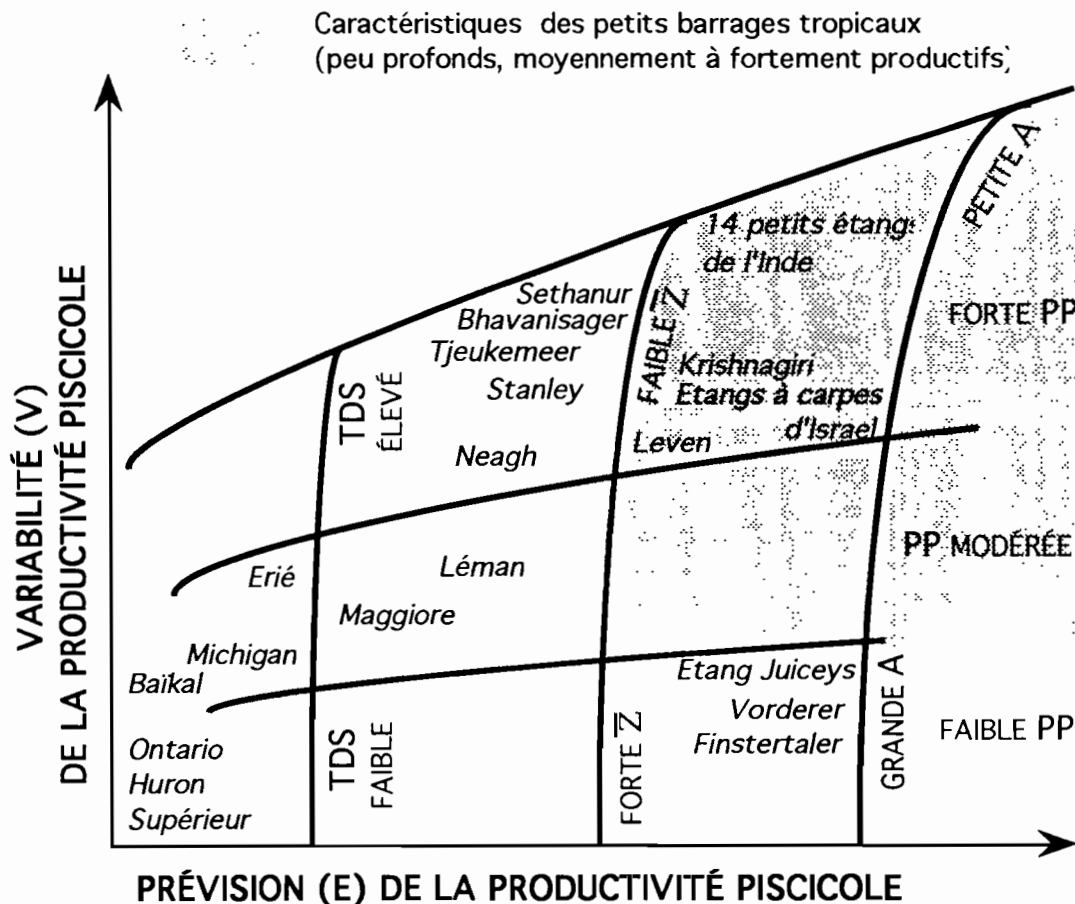


Figure 3. Relation entre la prévision (E) et la variabilité (V) de la productivité piscicole en fonction de différentes caractéristiques abiotiques et biotiques des lacs et réservoirs (d'après Oglesby 1977). Les positions approximatives de différents lacs, étangs et réservoirs tempérés et tropicaux sont indiquées. L'aire correspondant aux caractéristiques des

petits barrages tropicaux est indiquée en grisé. Il est important de noter que cette aire correspond à la zone de variabilité maximale du graphique. Abréviations: TDS = solides dissous totaux, \bar{Z} = profondeur moyenne, A = surface du plan d'eau, PP = production primaire du phytoplancton.

5.3. Problème de prédictions de la biomasse totale de poissons

Les tentatives de prédictions de la biomasse totale de poisson sont peu nombreuses; elles ont été réalisées sur des données restreintes et ont été peu couronnées de succès. Moyle (1956) a obtenu une relation positive entre la biomasse de poisson et le phosphore total de lacs du Minnesota et Jenkins (1967) entre la biomasse de poisson et l'indice morphoédaphique (MEI) de réservoirs des USA. Jenkins améliore le pouvoir prédictif de sa relation en subdivisant les réservoirs par type d'usage de l'eau et type de caractéristiques chimiques. Cette classification par usage peut s'adapter au programme açudes.

5.4. Exemple de l'effet du climat - Tropical vs. tempéré

Voici un exemple qui montre qu'il n'est pas possible d'appliquer directement des indices prédictifs développés sur des systèmes tempérés à des systèmes tropicaux, du fait de différences significatives en productivité. Les rendements de poisson de deux lacs tropicaux (George, Ouganda et Naivasha, Kenya) prédits par le modèle de Hanson & Leggett (1982) prenant en compte le phosphore total et la profondeur moyenne ($FC_p = -1,164 + 0,071 TP + 0,165 \bar{Z}$) sont 8 à 10 fois inférieurs aux rendements observés (FC_o):

Lac	\bar{Z} (m)	TP ($\mu\text{g P}\cdot\text{L}^{-1}$)	FC_o ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	FC_p ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
George	2,4	200	138,4	13,4
Naivasha	4,7	48	25,3	3,0

Cette différence est probablement due à la production piscicole beaucoup plus élevée des lacs tropicaux où les poissons ont une croissance continue et une reproduction toute l'année, ce qui raccourcit les temps de générations. De plus, dans les lacs tropicaux, la plupart des espèces d'importance commerciale sont des herbivores. Le transfert de l'énergie fixée par la photosynthèse vers la biomasse de poisson est donc beaucoup plus efficace dans les lacs tropicaux que dans les lacs tempérés.

6. UNE ALTERNATIVE AUX INDICES EMPIRIQUES: L'ANALYSE EXPÉRIMENTALE DE RELATIONS FONCTIONNELLES

Il est maintenant bien admis que:

- Tandis que les nutriments permettent de rendre compte d'environ 50% de la variance en production primaire des lacs du monde, les différences dans les structures de leurs réseaux trophiques peuvent rendre compte des 50% de variance restants (Carpenter et al. 1985).
- Si les nutriments contrôlent la productivité potentielle des lacs et des réservoirs (contrôle 'Bottom-Up'), ce sont les relations prédateurs-proies qui contrôlent pour les différents niveaux trophiques les niveaux atteints en production et en biomasse, ainsi que la structure réalisée (contrôle 'Top-Down') (McQueen et al. 1986) (voir Fig. 4).

Les recherches récentes démontrent, en effet, que la présence et l'abondance relative de communautés de poissons aux caractéristiques trophiques distinctes (piscivores, planctophages carnivores, microphages filtreurs, benthophages, herbivores, etc.) peuvent modifier:

- la structure de taille et l'abondance du zooplancton,
- la structure et l'abondance du phytoplancton (biomasse algale),
- le recyclage des nutriments (en particulier, azote et phosphore),
- la transparence de l'eau,
- et même le budget de chaleur (température + profondeur de mélange) des lacs et réservoirs (Mazumder et al. 1990).

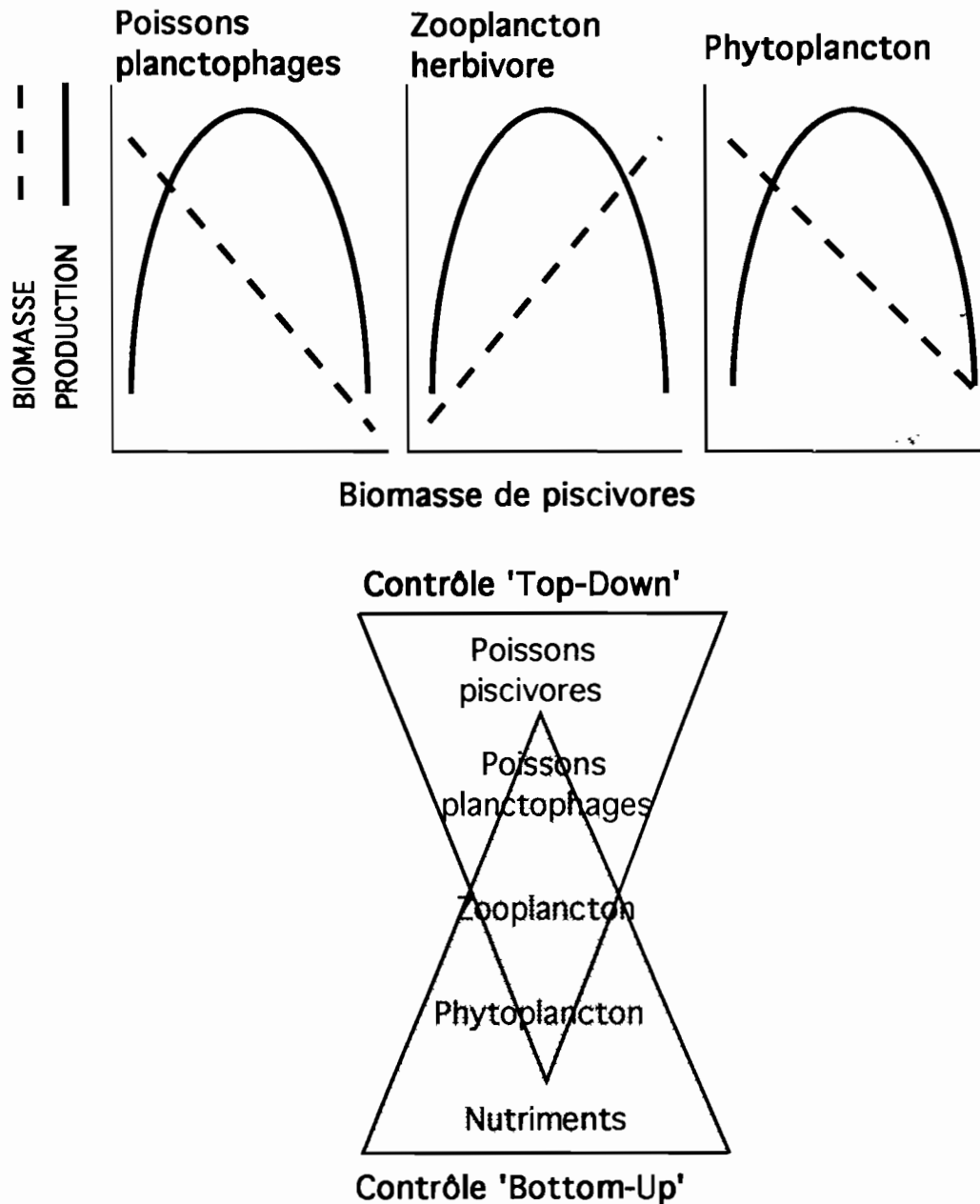


Figure 4. • Diagramme du haut: Effets des interactions en cascade (contrôle 'Top-Down') de la biomasse de poissons piscivores sur la biomasse (ligne pointillée) et la production (ligne continue) des poissons planctophages, du zooplancton herbivore et du phytoplancton (d'après Carpenter et al. 1985).
 • Diagramme du bas: Effets combinés des cascades trophiques (Contrôle 'Top-Down') et de la limitation par les ressources (Contrôle 'Bottom-UP') sur les réseaux pélagiques lacustres. Les intensités de ces effets diminuent en progressant le long des réseaux trophiques (respectivement, vers le bas et vers le haut) (interprété d'après McQueen et al. 1986).

Un exemple du contrôle 'Top-Down' exercé par les poissons planctophages, en fonction de leur biomasse et de leur type trophique, sur les caractéristiques biotiques des eaux (transparence, plancton végétal et animal) est donné par la Fig. 5:

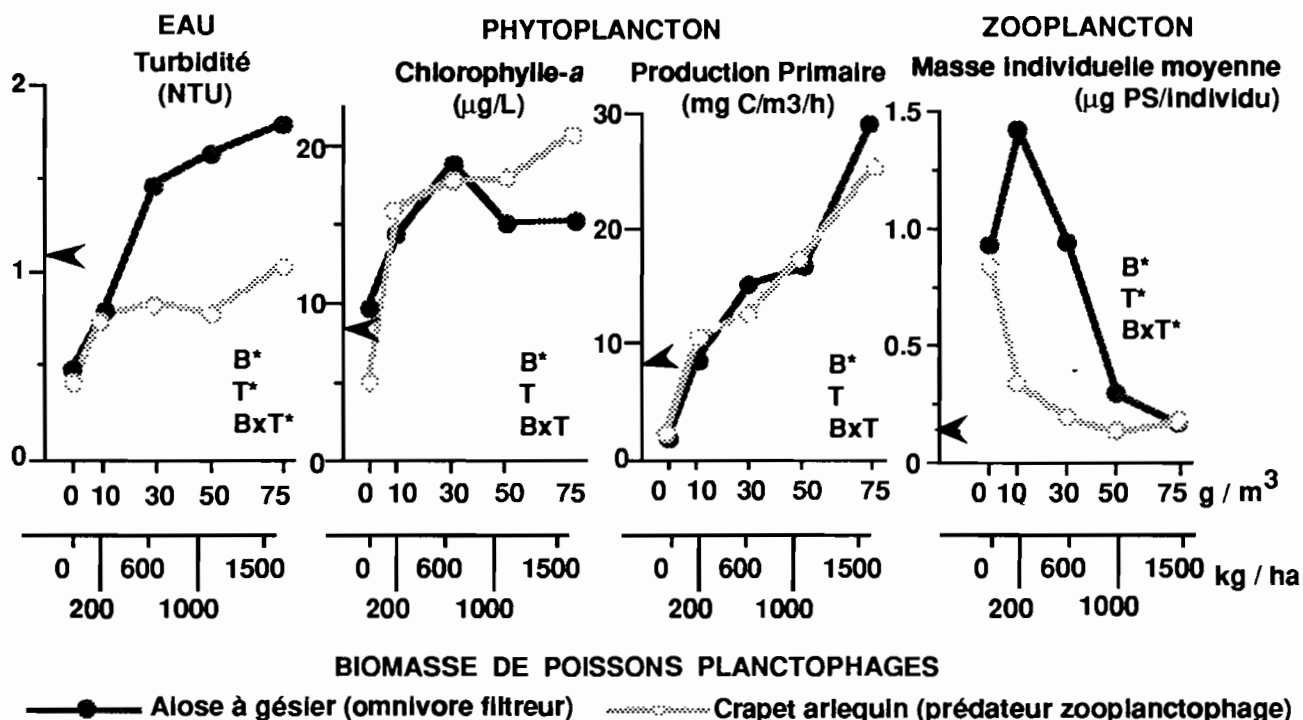


Figure 5. Exemple de contrôle 'Top-Down'. Démonstration de l'effet de la biomasse et du type de poisson planctophage sur la turbidité de l'eau, le phytoplancton et le zooplancton, à partir d'un plan factoriel d'expérience en mésocosmes (d'après les données de Lazzaro et al. 1992).

Tout cela signifie donc que les communautés piscicoles sont capables de modifier les caractéristiques biotiques (état trophique) et abiotiques (physico-chimie) des lacs. Des applications pratiques de cette connaissance écologique sont maintenant utilisées pour la gestion piscicole (introduction de poissons fourrage, contrôle des relations prédateurs-proies), ou même celle de la qualité de l'eau. Depuis une dizaine d'années, des manipulations expérimentales de l'abondance et de la structure des communautés piscicoles à l'échelle de lacs entiers sont en effet entreprises avec succès pour améliorer la qualité biologique des eaux (transparence, abondance des algues, contrôle des nutriments) en fonction des usages désirés (consommation, pêche, esthétique, etc.).

Compte tenu des limitations entrevues ici dans le développement d'indices empiriques capables de prédire de manière fiable les biomasses et productivités piscicoles des petits réservoirs tropicaux, l'utilisation d'une approche prédictive alternative fondée sur l'analyse expérimentale des relations fonctionnelles entre poissons et variables abiotiques et biotiques s'impose. Cette approche sera développée dans une note technique séparée (n°3).

¹ Le 'Système OCDE (1982) de classification simplifiée des lacs et réservoirs en fonction des usages désirés et d'estimation de leur productivité piscicole' a déjà fait l'objet d'une note (X. Lazzaro, 3/2/93, 15 p., 9 figs.).

² Cette note a pour objectif de contribuer à la réflexion sur le développement d'un programme pluridisciplinaire de recherche sur la gestion des usages multiples de lacs et réservoirs tropicaux et subtropicaux (dans le cadre actuel du Programme Incitatif 'Petits Barrages'), en particulier les aspects quantitatifs (hydrologie, irrigation, etc.) et qualitatifs (qualité biologique des eaux, problèmes d'eutrophisation et de pollutions, pêche, aquaculture, etc.) des ressources en eau.

³ ORSTOM, Lab. HOT, 911 Avenue Agropolis, 34032 Montpellier - Tel. 67.61.74..50, Fax: 67.54.78.00, E-mail: lazzaro@orstom.orstom.fr

Tableau 1. Variables indépendantes utilisées par les modèles (Mod; U = univariés, M = multivariés) de prédiction de productions (FP) et biomasses (FB) piscicoles; pourcentages de variances expliqués ($\% = 100 \cdot r^2$), nombre de lacs et réservoirs examinés (n), régions, surfaces des plans d'eau (km²) et références des travaux.

Variables ^a	Mod ^b	%	n	Régions ^c	km ²	FP ^d	Références
Production en lacs							
Aire	U	40-73	39-12			S, C	Rounsefell 1946
\bar{Z}	U	28-92	13			C ¹	Rawson 1952
Aire; \bar{Z} ; Alcalinité	U?	67	138			S or C ²	Hayes & Anthony 1964
\bar{Z} ; MEI	U	54-73	23			S or C? ³	Ryder 1965
TN; PP	U	72	13-11			B ⁴	Hrbáček 1969
PP	U	57-82	24			C ⁵	Melack 1976
PP	U	93	6			B ⁶	McConnell et al. 1977
Phyto; PP	U	74-84	19			S or C? ⁷	Oglesby 1977
Benthos; MEI	U	62-83	11			C ⁸	Matuszek 1978
PP	U	76	18			B ⁹	Liang et al. 1981
TP; TDS; MEI; Benthos; \bar{Z}	U	54-73	21			C, S ¹⁰	Hanson & Leggett 1982
Saison	U	74	43			C, S ¹¹	Schlesinger & Regier 1982
Aire	U	94	27			S, C ¹²	Youngs & Heimbuch 1982
\bar{Z} ; MEI	U	63-92	23			S or C? ¹³	Prepas 1983
Effort	U	61	92			S ¹⁴	Schlesinger & McCombie 1983
PP; BP; TP	U	67-79	14-23			B ¹⁷	Downing et al. 1990
PP; TP	U	68-61	9			B ²⁰	Plante & Downing 1993
\bar{Z} ; TDS	M	46-76	23			S or C? ³	Ryder 1965
\bar{Z} ; TDS	M	63-68	11			C ⁸	Matuszek 1978
Aire; \bar{Z} ; TDS; TP; Benthos	M	40-97	20			S, C ¹⁰	Hanson & Leggett 1982
Saison; MEI	M	81-83	43			S, C ¹¹	Schlesinger & Regier 1982
Aire; \bar{Z} ; TDS	M	95-97	27			S, C ¹²	Youngs & Heimbuch 1982
TP; T [*]	M	83	9			B ²⁰	Plante & Downing 1993
BP; W; T [*] ; TP	M	81-88	32			B ¹⁷	Downing & Plante 1993
Production en réservoirs							
\bar{Z} ; MEI	U	8-20	290			C, S ¹⁵	Jenkins 1982
Chla; TP	U	52-83	25			S ¹⁶	Jones & Hoyer 1982 ^e
Saison; Aire; Age	M	17	?			?	Jenkins & Morais 1971

Tableau 1. (suite)

Variab ^a	Mod ^b	%	n	Régions ^c	km ²	FB ^f	Références
Biomasse en lacs							
Alcalinité	U	27-41	?				Carlander 1985
Benthos/ \bar{Z} ; \bar{Z} ; Benthos	U	20-83	21			E 19	Hanson & Leggett 1982 g
TON; TP; Chla; \bar{Z} ; T°	U	7-73	106			E 18	Quiros 1990 g
Saison; Aire; Secchi; Macrophytes; Indices	M	44-56	?				Schneider 1978 g
Aire; \bar{Z} ; Benthos;	M	35-83	20				Hanson & Leggett 1982
Benthos/ \bar{Z} TON; TP; DOb; ATE; NUM; \bar{Z} ; Chla/TP	M	52-76	106			E 18	Quiros 1990 g
Biomasse en réservoirs							
Alcalinité	U	69	?				Carlander 1955
TR	U	72	?				Jenkins 1976
VS; TR; Aire	U	21-72	?				Aggus & Lewis 1978
MEI	U	21-72	?				Jenkins 1982
TP; Secchi; Chla	U	16-41	?				Ploskey (comm. pers.)
Saison; VS; Berges; TDS	M	52	?				Aggus & Lewis 1978

- a Les abréviations de variables sont: \bar{Z} = Profondeur moyenne; **Aire** = Surface du plan d'eau; **T** = Température de l'air; **Salson** = Durée de la saison de croissance; **Age** = Age du réservoir; **Secchi** = Profondeur du disque de Secchi; **TR** = Temps de résidence; **VS** = Volume annuel de sortie en eau; **Berges** = indice de développement des berges; **MEI** = Indice morphoédaphique; **TDS** = Solides totaux dissous; **TP** = phosphore total; **TN** = Azote total; **PP** = Production phytoplanctonique; **Phyto** = Biomasse phytoplanctonique; **Chla** = Chlorophylle-a; **Benthos** = Biomasse benthique; **Macrophytes** = Abondance des macrophytes; **BP** = Biomasse annuelle moyenne de la communauté piscicole; **W** = Masse corporelle individuelle de la plus grande classe de taille de la population piscicole; **Indices** = Indice 'panfish' (?), indice grossier de poisson(?); **Effort** = Mesure de l'effort de pêche.
- b Types de modèles: quand plus d'un modèle univarié est testé, la variable indépendante donnant la meilleure prédiction est indiquée la première.
- c Les abréviations des régions sont: An = Amérique du nord, Ac = Amérique centrale, As = Amérique du sud, Af = Afrique, Eo = Europe de l'ouest, Ee = Europe de l'est, Aq = Arctique.
- d Les abréviations des productions piscicoles ('catch', 'yields') sont: **S** = Captures par pêche sportive; **C** = Captures par pêche commerciale (¹ moyenne sur 25 ans; ² captures par pêche sportive ou commerciale, à court ou long terme, normalisées par la longueur de la chaîne trophique; ³ enregistrements de captures sur plusieurs années, ou estimations publiées à partir de suivis de pêche intensifs; ⁵ moyenne des captures commerciales sur 3 ans consécutifs; ⁷ captures "...en lacs subissant des pressions de pêche modérées à intenses"; ⁸ Captures annuelles moyennes sur une période de 15 ans de rendement commercial maximum; ¹⁰ Captures de pêches commerciales et sportives sur une période de longue durée (Oglesby & Ryder); ¹¹ Captures de pêches commerciale et sportive supposées être une bonne approximation du MSY du lac; ¹² Données de capture de Ryder, Oglesby et Matuszek; ¹³ Enregistrements de captures de Ryder; ¹⁴ Captures de pêche sportive à partir de 'creel sensus'(?); ¹⁵ Moyenne de toutes les estimations annuelles de captures; ¹⁶ Captures de pêche sportive à partir de 'creel sensus'(?); **B** = Croissance biologique (⁴ Croissance nette de carpes en étangs; ⁶ Croissance nette en piscines expérimentales; ⁹ Croissance nette sur 1 an en lacs et étangs empoisonnés; ¹⁷ Productions annuelles des populations piscicoles, estimées par les méthodes des cohortes, courbes d'Allen, croissances instantannées; ²⁰ Production de salmonidés (truites, ombles, saumons) estimée par les méthodes des courbes d'Allen et de la croissance instantannée).
- e Quelques données en lacs sont incluses.
- f Les abréviations de biomasses piscicoles sont: **E** = Captures par pêches expérimentales (¹⁸ estimations de CPUE avec filets maillants; ¹⁹ estimations à partir d'empoisonnements à la roténone sur l'ensemble du lac ou dans des anses);
- g Quelques données en réservoirs sont incluses.

Tableau 2. Estimations de la biomasse piscicole (FB)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
A partir du phosphore total (TP)			
Hanson & Leggett 1982	$\log_{10} \text{FB} = 0,774 + 0,708 \log_{10} \text{TP}$ avec FB en kg·ha ⁻¹ et TP en µg P·L ⁻¹	0,75	18
A partir de la biomasse du benthos (BB)			
Hanson & Leggett 1982	$\text{FB} = 28,700 + 5,692 \text{BB} / \bar{Z}$ avec FB et BB en kg·ha ⁻¹ , \bar{Z} en m	0,83	20
Modèles multivariés			
Hanson & Leggett 1982	$\text{FB} = 27,738 + 5,674 \text{BB} / \bar{Z} + 0,002 \text{A}$ avec FB et BB en kg·ha ⁻¹ , \bar{Z} en m et A en km ²	0,83	20

Table 3. Estimation de la productivité piscicole (FP)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
A partir de l'indice morphoédaphique (MEI)			
Jenkins 1967			
A partir du phosphore total (TP)			
Moyle 1956 Downing et al. 1990	$\log_{10} \text{FP} = 0,332 + 0,531 \log_{10} \text{TP}$ $\log_{10} \text{FP} = -0,319 + 1,441 \log_{10} \text{TP} - 0,209 (\log_{10} \text{TP})^2$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et TP en $\mu\text{g P}\cdot\text{L}^{-1}$	0,67	14
Plante & Downing 1993	$\log_{10} \text{FP} = -0,47 + 0,95 \log_{10} \text{TP}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et TP en $\mu\text{g P}\cdot\text{L}^{-1}$	0,61	9c
A partir de la chlorophylle (Chla)			
A partir de la production primaire (PP)			
Downing et al. 1990	$\log_{10} \text{FP} = 0,600 + 0,575 \log_{10} \text{PP}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et PP en $\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$	0,79	19
Plante & Downing 1993	$\log_{10} \text{FP} = 0,054 + 0,604 \log_{10} \text{PP}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et PP en $\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$	0,68	9c
A partir de la biomasse piscicole (FB)			
Downing et al. 1990	$\log_{10} \text{FP} = -0,42 + 1,084 \log_{10} \text{FB}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et FB, moyenne annuelle en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	0,67	23
Modèles multivariés			
Downing & Plante 1993	$\log_{10} \text{FP} = 0,32 + 0,94 \log_{10} \text{FB} - 0,17 \log_{10} \text{W}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, FB en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ et W, masse corporelle de la plus grande taille de classe dans la population, en g	0,84	38a
Downing & Plante 1993	$\log_{10} \text{FP} = 0,20 + 0,93 \log_{10} \text{FB} - 0,19 \log_{10} \text{W} + 0,02 \text{T}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, FB en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, W, masse corporelle de la plus grande taille de classe dans la population, en g et T, température de l'air en °C	0,88	38a
Downing & Plante 1993	$\log_{10} \text{FP} = -0,25 + 0,90 \log_{10} \text{FB} - 0,15 \log_{10} \text{W} + 0,29 \text{TP}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, FB en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, W, masse corporelle de la plus grande taille de classe dans la population, en g et TP, phosphore total en $\mu\text{g P}\cdot\text{L}^{-1}$	0,81	38b
Plante & Downing 1993	$\log_{10} \text{FP} = 0,20 + 1,11 \log_{10} \text{TP} - 1,43 \log_{10} \text{T}$ avec FP en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, TP en $\mu\text{g P}\cdot\text{L}^{-1}$, et T, température annuelle moyenne de l'air en °C	0,83	9c

Tableau 4. Estimation de la productivité piscicole exploitée (CPUE, FC)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
A partir de la profondeur moyenne (\bar{Z})			
Quiros 1990	$\log_{10} \text{CPUE} = 4,886 - 0,625 \log_{10} \bar{Z}$ avec CPUE en $\text{kg} \cdot (\text{nuit de filet maillant de } 100 \text{ m}^2)^{-1}$ et \bar{Z} en m	0,46	99
A partir des solides dissous totaux (TDS)			
Hanson & Leggett 1982	$\text{FC} = -1,161 + 0,091 \text{TDS}$ avec FC en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et TDS en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0,62	21
A partir de l'indice morphoédaphique (MEI)			
Oglesby 1977	$\log_{10} \text{FC}_c = -2,24 + 0,69 \log_{10} \text{MEI} \bar{Z}_{25}$ avec FC_c en $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ et $\text{MEI} \bar{Z}_{25} = \text{TDS} / \bar{Z}$ en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; équation valable quand $\bar{Z} \leq 25$ m	0,38	17
Oglesby 1977	$\log_{10} \text{FC}_c = -2,91 + 1,56 \log_{10} \text{MEI} \bar{Z}_{25}$ avec FC_c en $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ et $\text{MEI} \bar{Z}_{25} = \lambda / \bar{Z}$ en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (où λ = conductivité); équation valable quand $\bar{Z} \leq 25$ m	0,59	15
Oglesby 1977	$\log_{10} \text{FC}_c = -2,81 + 1,47 \log_{10} \text{MEI} \bar{Z}_{25}$ avec FC_c en $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ et $\text{MEI} \bar{Z}_{25} = \lambda / \bar{Z}$ en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (où λ = conductivité); équation valable quand $\bar{Z} \leq 25$ m (y compris 14 petits étangs et réservoirs de l'Inde)	0,70	16
Melack 1976	$\text{FY} = 4,1 \text{MEI}^{0,80}$ avec FY en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ $\text{MEI} = \lambda / \bar{Z}$, λ en $\mu\text{mhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ et \bar{Z} en m	0,60	15 ^f
Matuszek 1978	$\log_{10} \text{FC}_t = 0,092 + 0,533 \log \text{MEI}$ avec FC_t , MSY estimé pour toutes les espèces en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et MEI en $\text{ppm} \cdot \text{m}^{-1}$	0,63	22
Matuszek 1978	$\log_{10} \text{FC}_s = 0,109 + 0,455 \log \text{MEI}$ avec FC_s , MSY estimé pour les espèces commerciales (lake trout, lake whitefish, walleye, sauger) en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et MEI en $\text{ppm} \cdot \text{m}^{-1}$	0,64	21
A partir de la température annuelle moyenne de l'air (T)			
Quiros 1990	$\text{CPUE} = 2,245 + 0,084 \text{T}$ avec CPUE en $\text{kg} \cdot (\text{nuit de filet maillant de } 100 \text{ m}^2)^{-1}$ et T en °C	0,10	99

Tableau 4. (suite 1)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
A partir du phosphore total (TP)			
Hanson & Leggett 1982	$FC = 0,792 + 0,072 TP$ avec FC en $kg \cdot ha^{-1}$ et TP en $\mu g P \cdot L^{-1}$	0,84	21
Jones & lee 1986	$FC = 0,7 \log_{10} P_{cn}$ avec FC en $g PS \cdot m^{-2} \cdot ha^{-1}$ et P_{cn} , charge normalisée en phosphore ^d , en $mg P \cdot m^{-3} \cdot an^{-1}$	0,86	35
Quiros 1990	$\log_{10} CPUE = 1,695 + 0,513 \log_{10} TP$ avec CPUE en $kg \cdot (nuit \text{ de filet maillant de } 100 m^2)^{-1}$ et TP en $mg P \cdot m^{-3}$	0,40	99
A partir de l'azote total (TN)			
Quiros 1990	$\log_{10} CPUE = 0,226 + 0,831 \log_{10} TON$ avec CPUE en $kg \cdot (nuit \text{ de filet maillant de } 100 m^2)^{-1}$ et TON, azote total organique en $\mu mol N \cdot L^{-1}$ (avec $1 \mu mol N \cdot L^{-1} = 14 mg N \cdot m^{-3}$)	0,48	99
A partir de la chlorophylle (Chla)			
Oglesby 1977	$\log_{10} FC = -1,92 + 1,17 \log_{10} Chla_s$ avec FC en $g PS \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$ et $Chla_s$, chlorophylle estivale moyenne, en $mg \cdot m^{-3}$	0,84	19
Quiros 1990	$\log_{10} CPUE = 2,769 + 0,427 \log_{10} Chla$ avec CPUE en $kg \cdot (nuit \text{ de filet maillant de } 100 m^2)^{-1}$ et Chla en $mg \cdot m^{-3}$	0,37	99
A partir de la production primaire du phytoplancton (PP)			
Hrbáček 1969	$FY = 3,48 PP^{0,563}$ avec FY en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et PP, production primaire brute, en $g O_2 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$?	?g
Wolny & Grygierek 1972	$FY = -11,01 + 80,72 PP$ avec FY en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ (alevins) et PP, production primaire brute, en $g O_2 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$?	?h
Oglesby 1977	$\log_{10} FC_c = -6,00 + 2,00 \log_{10} PP$ avec FC_c et PP en $g C \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$ (valable quand $A > 10 km^2$; PP = moyenne estivale)	0,74	15
Melack 1976	$FY = 0,91 + 0,113 PP$ avec FY en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et PP, production primaire brute, en $g O_2 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$	0,57	8e
Melack 1976	$FY = 0,95 + 0,122 PP$ avec FY en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et PP, production primaire brute, en $g O_2 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$	0,82	15f
Bulon & Winberg 1981	$FC = (1,8 \pm 0,99) 10^{-3} PP$ avec FC en $g PS \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$ et PP en $kcal \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$?	42

Tableau 4. (suite 2)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
A partir de la biomasse du benthos (BB)			
Matuszek 1978	$\log_{10} FC_t = -0,098 + 0,625 \log BB$ avec FC_t , MSY estimé pour toutes les espèces en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et BB en $kg PS \cdot ha^{-1}$	0,80	11
Matuszek 1978	$\log_{10} FC_s = -0,169 + 0,562 \log BB$ avec FC_t , MSY estimé pour les espèces commerciales (lake trout, lake whitefish, walleye, sauger) en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et BB en $kg PS \cdot ha^{-1}$	0,80	11
Matuszek 1978	$FC_t = -0,688 + 0,774 \log BB$ avec FC_t , MSY estimé pour toutes les espèces en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ et BB en $kg PS \cdot ha^{-1}$	0,83	11
Hanson & Leggett 1982	$FC = 1,385 + 0,133 BB / \bar{Z}$ avec FC et BB en $kg \cdot ha^{-1}$ et \bar{Z} en m	0,48	26
Hanson & Leggett 1982	$FC = 1,293 + 0,012 BB$ avec FC et BB en $kg \cdot ha^{-1}$	0,47	26
Modèles multivariés			
Matuszek 1978	$\log_{10} FC_t = -0,081 - 0,511 \log \bar{Z} + 0,606 \log TDS_t$ avec FC_t , MSY estimé pour toutes les espèces en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$, \bar{Z} en m, et TDS_t sels dissous totaux, en ppm	0,63	22
Matuszek 1978	$\log_{10} FC_s = 0,118 - 0,483 \log \bar{Z} + 0,358 \log TDS_s$ avec FC_s , MSY estimé pour les espèces commerciales (lake trout, lake whitefish, walleye, sauger) en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$, \bar{Z} en m, et TDS_t sels dissous totaux, en ppm	0,65	21
Hanson & Leggett 1982	$FC = 0,793 + 0,007 BB + 0,018 TDS - 0,053 \bar{Z} + 0,00007 A$ avec FC et BB en $kg \cdot ha^{-1}$, TDS en $mg \cdot L^{-1}$, \bar{Z} en m et A en km^2	0,66	26
Hanson & Leggett 1982	$FC = -1,513 + 0,066 TP - 0,141 \bar{Z} + 0,013 TDS$ avec FC en $kg \cdot ha^{-1}$, TP en $\mu g P \cdot L^{-1}$, \bar{Z} en m et TDS en $mg \cdot L^{-1}$	0,97	21
Hanson & Leggett 1982	$FC = -1,164 + 0,071 TP - 0,165 \bar{Z}$ avec FC en $kg \cdot ha^{-1}$, TP en $\mu g P \cdot L^{-1}$ et \bar{Z} en m	0,96	21
Quiros 1990	$\log_e CPUE = -0,764 + 0,903 \log_e TON + 0,102 DO_b$ avec $CPUE$ en $kg \cdot (nuit de filet maillant de 100 m^2)^{-1}$ TON en $\mu mol N \cdot L^{-1}$, et DO_b , oxygène dissous au fond en $mg O_2 \cdot L^{-1}$	0,53	99

Tableau 4. (suite 3)

Références	Relations Variables dépendantes	r ²	n
Quiros 1990	$\log_e \text{CPUE} = 1,079 + 0,595 \log_e \text{TP} + 0,142 \text{DOb}$ avec CPUE en $\text{kg} \cdot (\text{nuit de filet maillant de } 100 \text{ m}^2)^{-1}$ TP en $\text{mg P} \cdot \text{m}^{-3}$, et DOb, oxygène dissous au fond en $\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$	0,52	99
Quiros 1990	$\log_e \text{CPUE} = -0,968 + 0,769 \log_e \text{TON} + 0,119 \text{DOb}$ $+ 0,651 \% \text{ATE} + 0,120 \text{NUM}$ avec CPUE en $\text{kg} \cdot (\text{nuit de filet maillant de } 100 \text{ m}^2)^{-1}$ TON en $\mu\text{mol N} \cdot \text{L}^{-1}$, DOb, oxygène dissous au fond en $\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, %ATE, fréquence d'athérinidés dans les captures, et NUM, nombre d'espèces dans les captures	0,57	99
Quiros 1990	$\log_e \text{CPUE} = 3,191 - 0,550 \log_e \bar{Z} + 0,109 \text{DOb}$ $+ 0,806 \% \text{ATE} + 0,152 \text{NUM}$ avec CPUE en $\text{kg} \cdot (\text{nuit de filet maillant de } 100 \text{ m}^2)^{-1}$ \bar{Z} en m, DOb, oxygène dissous au fond en $\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, %ATE, fréquence d'athérinidés dans les captures, et NUM, nombre d'espèces dans les captures	0,56	99

a Relation estimée pour 100 populations piscicoles de 38 lacs et réservoirs.

b Relation estimée pour 52 populations piscicoles de 38 lacs et réservoirs.

c Relation estimée pour 10 populations de salmonidés de 9 lacs.

d La charge normalisée en phosphore ('normalized P loading') est définie par: $\int \text{Pcn} = [\text{L(P)} / \text{qs}] / [1 + \sqrt{t_w}]$

où L(P) = charge annuelle en phosphore, normalisée à la surface du plan d'eau, en $\text{mg P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$,

$\text{qs} = \bar{Z} / t_w$, \bar{Z} = profondeur moyenne,

et t_w = temps de résidence hydraulique, en année.

e Relation estimée pour 8 lacs tropicaux africains (George, Victoria{Winam Gulf}, Tchad, Albert, Victoria {au large}, Tanganyika {extrémité nord}, Volta, Kainji).

f Relation estimée pour 15 lacs (L), étangs et réservoirs(R) tropicaux au Madras en Inde (Kodaikanal L., Krishnagiri R., Bhavanisager R., Sandynulla R., Stanley R., Sathanur R., Odathurai tank, Yercaud L., Amatravathi R., Ooty L., Chingleput fort moat, K. C. Kulam pond, Vellore fort moat; Chetpat swamp, Ayyankulam temple pond).

g Relation estimée pour des étangs de pisciculture de carpes communes (*Cyprinus carpio*) en Pologne.

h Relation estimée pour des alevins en étangs de pisciculture en Pologne.

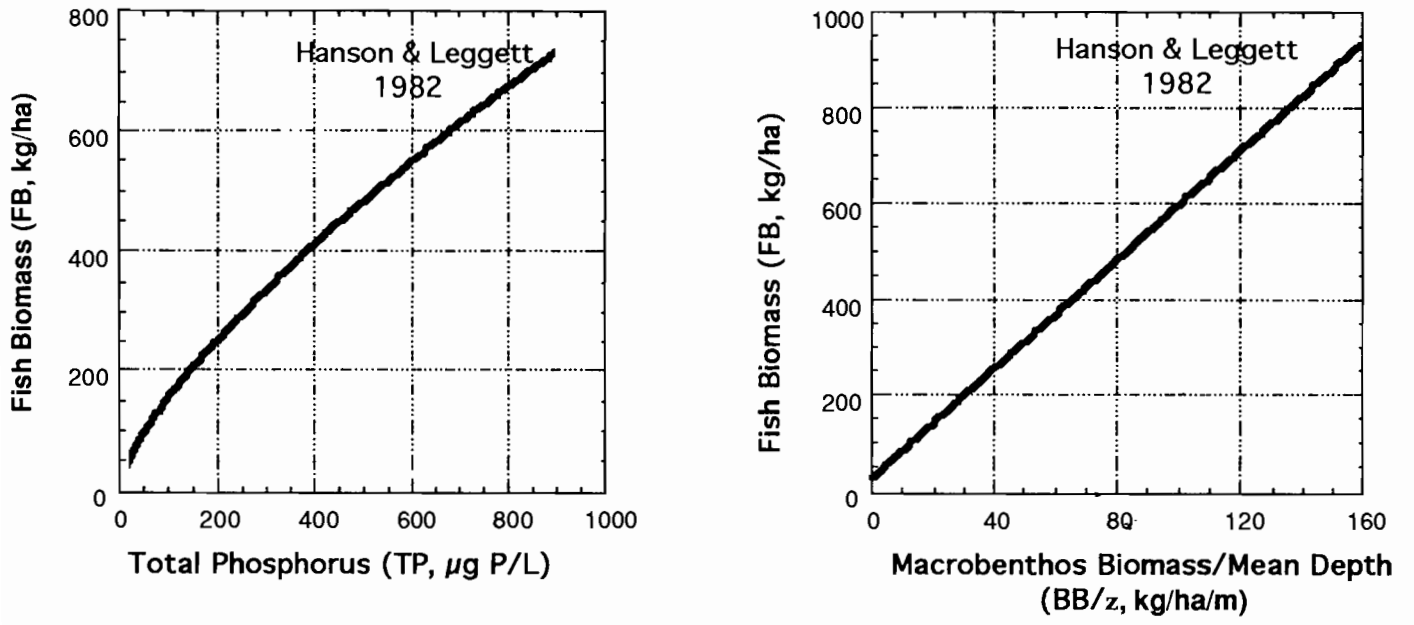


Figure 6. Graphs de quelques modèles prédictifs de la biomasse piscicole (d'après les équations du Tableau 2).

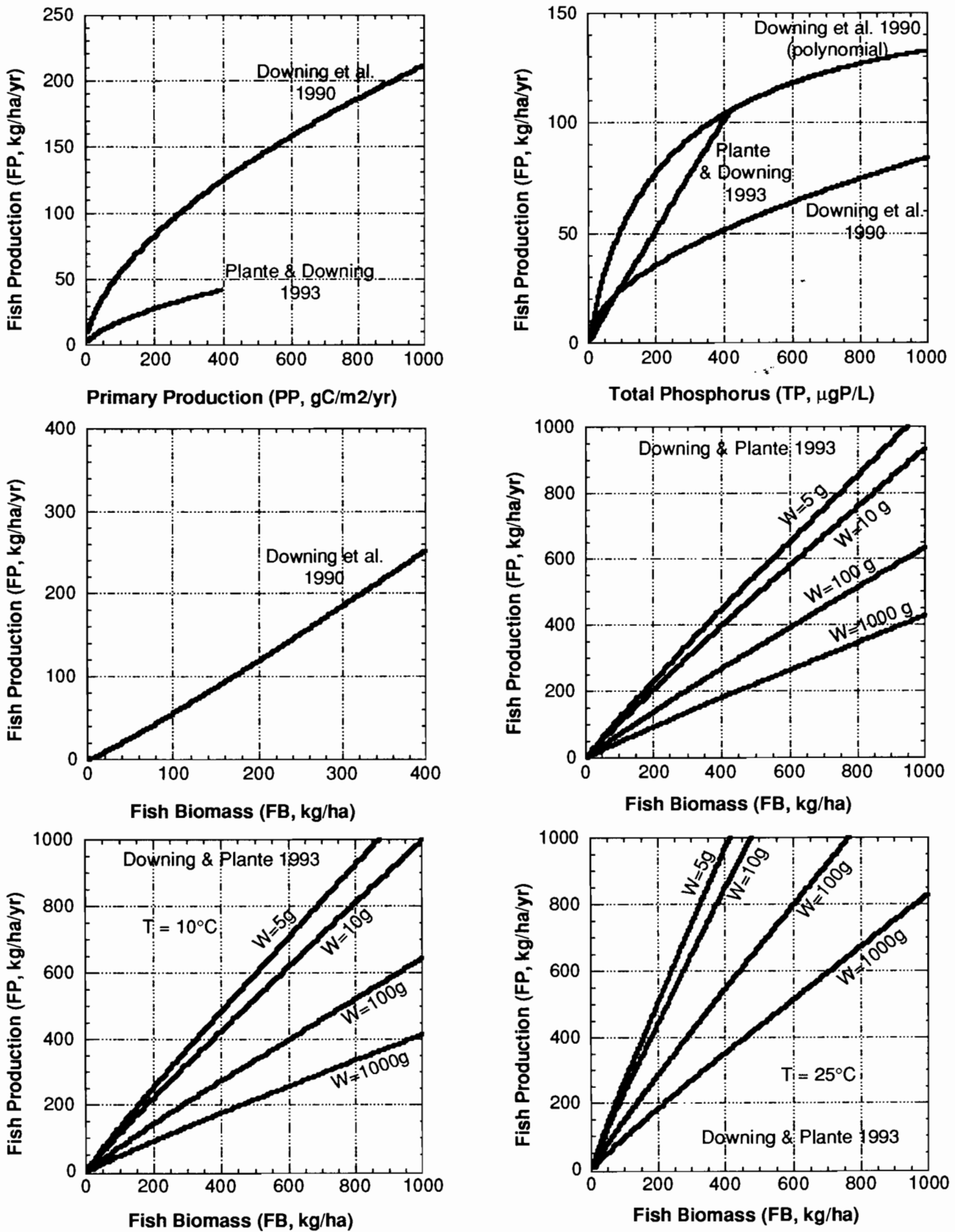


Figure 7. Graphs de quelques modèles prédictifs de la productivité piscicole (d'après les équations du Tableau 3).

Références - Indices Prédicatifs Poissons

- ACMRR/IABO. 1976. Indices for measuring responses of aquatic ecological systems to various human influences. Report of Working Party on Ecological Indices of Stress to Fishery Resources. FAO Fish. Tech. Pap. No. 151: 66 p.
- Aggus L. R. & S. A. Lewis. 1978. Environmental conditions and standing crops of fishes in predator-stocking-evaluation reservoirs. Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies 30: 131-140.
- Aggus L. R., D. C. Carver, L. R. Olmsted, L. R. Rider & G. L. Summers. 1979. Evaluation of standing crops of fishes in Crooked Creek Bay, Barkley Lake, Kentucky. Proc. Ann. Conf. Southeastern Assoc. & Wildl. Agencies 33: 710-722.
- Banse K. & S. Mosher. 1980. Adult body-mass and annual production/biomass relationships of fish populations. Ecol. Monogr. 50: 355-379.
- Baranov I. V. 1961. Biohydrochemical classification of reservoirs in the European USSR. The Storage Lakes of the USSR and their Importance for Fishery Catalog No. 1638-50: 139-183.
- Boudreau P. R. & L. M. Dickie. 1992. Biomass spectra of aquatic ecosystems in relation to fisheries yield. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1528-1538.
- Brylinsky M. & K. H. Mann. 1973. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. Limnol. Oceanogr. 18: 1-14.
- Bulon V. V. & G. G. Winberg. 1981. Relationship between primary production of waters and fish yield (in Russian). In: G. G. Winberg (ed.), The Basis of Freshwater Ecosystem Investigation. Zoological Institute, Academy of Sciences, Leningrad, URSS.
- Carlander K. D. 1955. The standing crop of fish in lakes. J. Fish. Res. Bd Can. 12: 543-570.
- Carline R. F. 1986. Indices as predictors of fish community traits. In G. E. Hall. & M. J., Van Den Avyle (eds.), Reservoir Fisheries Management - Strategies for the 80's. Proceedings of a Symposium held in Lexington, Kentucky, June 13-16, 1983. Reservoir Committee Southern Division, Am. Fish. Soc.: 46-56.
- Carpenter S. R., Kitchell J. F. & J. R. Hodgson. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity - Fish predation and herbivory can regulate lake ecosystems. BioScience 35: 634-639.
- Carpenter S. R., J. F. Kitchell, J. R. Hodgson, P. A. Cochran, J. J. Elser, M. M. Elser, D. M. Lodge, D. Kretchmer, X. He & C. N. von Ende. 1987. Regulation of lake primary productivity by food web structure. Ecology 68: 1863-1876.
- Dickie L. M., S. R. Kerr & P. Schwinghamer. 1987. An ecological approach to fisheries assessment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44 (Suppl. 2): 68-74.
- Dillon P. J. & F. H. Rigler. 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. Limnol. Oceanogr. 19: 767-773.
- Dillon P. J. & F. H. Rigler. 1975. A simple model for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. J. Fish. Res. Bd Can. 32: 1519-1531.
- Downing J. A., C. Plante & S. Lalonde. 1990. Fish production correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 1929-1936.
- Downing J. A. & C. Plante. 1993. Production of fish populations in lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 110-120.
- Evans G. T. & P. Pepin. 1989. Potential for predicting plankton populations (and fish recruitment) from environmental data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 898-903.
- Evans D. O., B. A. Henderson, N. J. Bax, T. R. Marshall, R. T. Oglesby & W. J. Christie. 1987. Concepts and methods of community ecology applied to freshwater fisheries management. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 448-470.
- Fausch K. D., C. L. Hawkes & M. G. Parsons. 1988. Models that predict standing crop of stream fish from habitat variables: 1950-85. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-213, Portland, OR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 52 p.
- Fryer G. & T. D. Iles. 1972. The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa. Oliver & Boyd, Edinburgh, 641 p.

- Grinstead B. G., R. M. Gennings, G. R. Hooper, C. A. Schultz & D. A. Whorton. 1978. Estimation of standing crop of fishes in the PSE (Predator-Stocking-Evaluation) reservoirs. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 30: 120-130.
- Hanson J. M. & W. C. Leggett. 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 257-263.
- Hayes F. R. & E. H. Anthony. 1964. Productive capacity of North American lakes as related to the quantity and trophic level of fish, the lake dimensions, and the water chemistry. *Trans. Am. Fish. Soc.* 93: 53-57.
- Henderson F., R. A. Ryder & A. W. Kudhongania. 1973. Assessing fishery potentials of lakes and reservoirs. *J. Fish. Res. Bd Can.* 30: 2000-2009.
- Henderson F. & R. L. Welcomme. 1974. The relationship of yield to morpho-edaphic index and number of fishermen in African fisheries. *Committee for Inland Fisheries of Africa. Occas. Pap. 1. FAO, Rome, 19 p.*
- Hrbáček J. 1969. Relations between some environmental parameters and the fish yield as a basis for a predictive model. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 17: 1069-1081.
- Jenkins R. M. 1967. The influence of some environmental factors on standing crop and harvest of fishes in U.S. reservoirs. *Reservoir Fisheries Resources Symposia, University of Georgia, Athens. S. Div. Am. Fish. Soc.:* 298-321.
- Jenkins R. M. 1976. Prediction of fish production in Oklahoma reservoirs on the basis of environmental variables. *Ann. Oklahoma Acad. Sci.* 5: 11-20.
- Jenkins R. M. 1982. The morphoedaphic index and reservoir fish production. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 133-140.
- Jenkins R. M. & D. I. Morais. 1968. Effects of thirteen environmental variables on fish standing crop in reservoirs. *Proc. 48th Annu. Conf. Western Assoc. State Game Fish Comm.:* 488-497.
- Jenkins R. M. & D. I. Morais. 1971. Reservoir sport fishery effort and harvest in relation to environmental variables. In G. E. Hall (Ed.), *Reservoir Fisheries and Limnology, Special Publication n° 8, Bethesda, Maryland, Am. Fish. Soc.:* 381-384.
- Jenkins R. M. & D. I. Morais. 1978. Predator-prey relations in the predator-stocking-evaluation reservoirs. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 30: 141-157.
- Jones J. R. & M. V. Hoyer. 1982. Sportfish harvest predicted by summer chlorophyll-a concentration in midwestern lakes and reservoirs. *Trans, Am. Fish. Soc.* 111: 176-179.
- Jones R. A. & G. F. Lee. 1982. Recent advances in assessing impact of phosphorus loads on eutrophication-related water quality. *Water Res.* 16: 503-515.
- Jones R. A. & G. F. Lee. 1986. Eutrophication modeling for water quality management: an update of the Vollenweider-OECD model. *Water Quality Bulletin* 11: 67-74.
- Kerr S. R. & R. A. Ryder. 1977. Niche theory and percid community structure. *J. Fish. Res. Bd Can.* 34: 1952-1958.
- Kitchell J. F., J. F. Koonce, R. V. O'Neil, H. H. J. Shugart, J. J. Magnuson & R. S. Booth. 1974. Model of fish biomass dynamics. *Trans. Am. Fish. Soc.* 4: 786-798.
- Lampert W. 1987. Predictability in lake ecosystems: the role of biotic interactions. In: *Ecological Studies, E. D. Schulze & Z. Wölfer (eds.), 61: 13 pp.*
- Lazzaro, X., R. W. Drenner, R. A. Stein & J. D. Smith. 1992. Planktivores and plankton dynamics: effects of fish biomass and planktivore type. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1466-1473.
- Leach J. H., L. M. Dickie, B. J. Shuter, U. Borgmann, J. Hyman & W. Lysack. 1987. A review of methods for prediction of potential fish production with application to the Great Lakes and Lake Winnipeg. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 (Suppl. 2): 471-485.
- Lee G. F. & R. A. Jones. 1991. Effects of eutrophication on fisheries. *Reviews in Aquat. Sci.* 5: 287-305.
- Leidy G. R. & M. Jenkins. 1977. The development of fishery compartments and population rate coefficients for use in reservoir ecosystem modeling. *Contract Report Y-77-1 prepared by the National Reservoir Research Program, U.S. Fish and Wildlife Service, for the U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.*
- Liang Y., J. M. Melack & J. Wang. 1981. Primary production and fish yields in Chinese ponds and lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110: 346-350.
- Marshall B. E. 1984. Predicting ecology and fish yields in African reservoirs from preimpoundment physico-chemical data. *FAO, CIFA Technical Paper 12, 36 p.*

- Marshall T. R. & P. A. Ryan. 1987. Abundance patterns and community attributes of fishes relative to environmental gradients. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 198-215.
- Matuszek J. E. 1978. Empirical predictions of fish yields of large North American lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107: 385-394.
- Mazumder A., W. D. Taylor, D. J. McQueen & D. R. S. Lean. 1990. Effects of fish and plankton on lake temperature and mixing depth. *Science* 247: 312-315.
- McConnell W. J., S. Lewis & J. E. Olson. 1977. Gross photosynthesis as an estimator of potential fish production. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106: 417-423.
- McQueen D. J., E. L. Mills, J. L. Forney, M. R. S. Johannes & J. R. Post. 1992. Trophic level relationships in pelagic food webs: comparisons derived from long term data sets for Oneida Lake, New-York (USA), and Lake St. Georges, Ontario (Canada). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1588-1596.
- McQueen D. J., J. R. Post & E. L. Mills. 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1571-1581.
- Melack J. M. 1976. Primary productivity and fish yields in tropical lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 105: 575-580.
- Moyle J. B. 1946. Some indices of lake productivity. *Trans. Am. Fish. Soc.* 76: 322-334.
- Northcote T. G. & P. A. Larkin. 1956. Indices of productivity in British Columbia lakes. *J. Fish. Res. Bd Can.* 13: 515-540.
- Oglesby R. T. 1982. The MEI Symposium-overview and observations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 171-175.
- Oglesby R. T. 1977. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop production, and morphoedaphic factors. *J. Fish. Res. Bd Can.* 34: 2271-2279.
- Park R. A., D. Scavia & N. L. Clesceri. 1974. Cleaner, the Lake George model. Rensselaer Freshwater Institute, New York. Eastern Deciduous Forest Biome, USA-International Biological Program, Contribution 186.
- Patten B. C., D. A. Egloff, T. H. Richardson & et al. 1977. Total ecosystem model for a cove in Lake Texoma. In B. C. Patten (Ed.), *Systems Analysis and Simulation in Ecology*. Academic Press Inc., New York, NY, USA: 205-421.
- Plante C. & J. A. Downing. 1993. Relationship of salmonine production to lake trophic status and temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1324-1328.
- Ploskey G. R. 1981. Factors affecting fish production and fishing quality in new reservoirs, with guidance on timber clearing, basin preparation, and filling. Technical Report E-81-11 prepared by the National Reservoir Research Program, U.S. Fish and Wildlife Service, for the U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.
- Ploskey G. R. & R. M. Jenkins. 1982. Biomass model of reservoir fish and fish-food interactions, with implications for management. *North Am. J. Fish. Manag.* 2: 105-121.
- Prepas E. E. 1983. Total dissolved solids as a predictor of lake biomass and productivity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 92-95.
- Quiros R. 1990. Predictors of relative fish biomass in lakes and reservoirs of Argentina. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 928-939.
- Rawson D. S. 1951. The total mineral content of lake waters. *Ecology* 32: 669-672.
- Rawson D. S. 1952. Mean depth and the fish production of large lakes. *Ecology* 33: 513-521.
- Rawson D. S. 1955. Morphometry as a dominant factor in the productivity of large lakes. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 12: 164-175.
- Rawson D. S. 1960. A limnological comparison of twelve large lakes in Northern Saskatchewan. *Limnol. Oceanogr.* 5: 195-211.
- Rigler F. H. 1982. The relation between fisheries management and limnology. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111: 121-132.
- Rounsefell G. A. 1946. Fish production in lakes as a guide for estimating production in proposed reservoirs. *Copeia* 1: 29-40.
- Ryder R. A. 1965. A method for estimating the potential fish production of north-temperate lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 94: 214-218.
- Ryder R. A. 1978. Fish yield assessment of large lakes and reservoirs - a prelude to management. *Ecology of Freshwater Fish Production* 403-423.

- Ryder R. A. & S. R. Kerr. 1978. The adult walleye in the percid community - a niche definition based on feeding behaviour and food specificity. In: R. L. Kendall (Ed.), Selected coolwater fishes of North America. Am. Fish. Soc. Spec. Publ. 11: 39-51.
- Ryder R. A., S. R. Kerr, K. H. Loftus & H. A. Regier. 1974. The morphoedaphic index, a fish yield estimator - review and evaluation. J. Fish. Res. Bd. Can. 31: 663-688.
- Schindler, D. W. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's lakes. Limnol. Oceanogr. 23: 478-486.
- Schlesinger D. A. & A. M. McCombie. 1983. An evaluation of climatic, morphoedaphic, and effort data as predictors of yields from Ontario sport fisheries. Ontario Fish. Tech. Rep. 10, Ont. Ministry Nat. Res., Toronto, Ont., 14 p.
- Schlesinger D. A. & H. A. Regier. 1982. Climatic and morphoedaphic indices of fish yields from natural lakes. Trans. Am. Fish. Soc. 111: 1-150.
- Schneider J. C. 1978. Predicting the standing crop of fish in Michigan lakes. Fisheries Research Report n° 1860, Michigan Department of Natural Resources, Lansing, Michigan, USA.
- Smith E. V. & H. S. Swingle. 1938. The relationship between plankton production and fish production in ponds. Trans. Am. Fish. Soc. 68: 309-315.
- Sreenivasan A. 1968. The limnology of and fish production in two ponds in Chingleput (Madras). Hydrobiologia 32: 131-144.
- Sreenivasan A. 1972. Energy transformation through primary productivity and fish production in some tropical freshwater impoundments and ponds. In Z. Kajak & A. Hillbricht-Ilkowska (eds.), Proc. IBP-UNESCO Symp. on Productivity Problems of Freshwaters. Kazimierz Dolny, Poland, May 6-12, 1970: 505-514.
- Stockner J. G. 1987. Lake fertilization: the enrichment cycle and lake sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) production. In H. D. Margolis & C. C. Wood (eds.), Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) Population Biology and Future Management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.: 198-215.
- Stockner J. G. 1981. Whole-lake fertilization for the enhancement of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in British Columbia, Canada. Verh. Int. Verein. Limnol. 21: 293-299.
- Swingle H. S. & W. E. Swingle. 1967. Problems in Dynamics of Fish Populations in Reservoirs. In Reservoir Fishery resources Symposium. Reservoir Committee of the Southern Division, Am. Fish. Soc., Washington, D.C., USA.
- Walters C. J. 1980. Systems principles in fisheries management. In R. T. Lackey & L. A. Nielsen (eds.), Fisheries Management. Halsted Press, New York, NY, USA: 167-183.
- Welcomme R. L. 1976. Some general and theoretical considerations on the fish yield of African Rivers. J. Fish. Biol. 8: 351-364.
- Wolny P. & E. Grygierek. 1972. Intensification of fish ponds production. In Z. Kajak & A. Hillbricht-Ilkowska (eds.), Productivity Problems of Freshwaters. Polish Scientific Publishers, Warsaw: 563-571.
- Youngs W. D. & D. G. Heimbuch. 1982. Another consideration of the morphoedaphic index. Trans. Am. Fish. Soc. 111: 151-153.

Importance de la "Restauration et Réhabilitation de Plans d'Eau Eutrophisés en Zones Tropicales" pour le développement

Note de Xavier Lazzaro¹

Depuis 1982, je m'intéresse aux relations entre poissons, plancton et qualité biologique des eaux. Au cours de cette année (ma deuxième année d'élève ORSTOM), j'ai travaillé aux USA avec deux spécialistes, à l'Université de Washington (Seattle), puis à Texas Christian University (FtWorth). Cela m'a permis, en outre, de développer une synthèse¹. De 1983 à 1987, j'ai été affecté à l'Université Fédérale de São Carlos et à l'Université de São Paulo (São Carlos) au Brésil pour mettre au point les méthodologies d'études et réaliser des expérimentations en réservoirs. En juin 1991, j'ai terminé un Ph.D (commencé en 1988) en écologie aquatique² à l'Ohio State University de Columbus (USA) concernant l'impact des poissons sur les communautés planctoniques et la qualité biologique des eaux.

Mes travaux sont avant tout expérimentaux³: j'utilise des plans d'expériences en mésocosmes (par exemple, au Brésil, 12 enceintes plastiques de 3 m³ installées in situ dans le réservoir; aux USA, 30 enceintes de fibre de verre de 5,5 m³ installées à terre) et de la simulation numérique (modèles de réseaux trophiques et modèles bioénergétiques de croissance de poissons) pour quantifier l'impact de différentes espèces de poissons planctophages, en fonction de leur biomasse dans le système, sur l'abondance et la productivité des algues (phytoplancton), la transparence de l'eau et le recyclage des nutriments (le phosphore, en particulier). Mes recherches qui relèvent de ce qu'on appelle aujourd'hui l'écotechnologie ou le génie écologique⁴ (c-a-d, l'utilisation de principes écologiques comme méthodes technologiques pour résoudre des problèmes de l'environnement), ont des applications pratiques pour l'aménagement des lacs et des réservoirs, dans les domaines de la restauration/réhabilitation de systèmes eutrophes et de la gestion de la productivité piscicole pour les pêcheries.

Il me semble que mes travaux sont encore mal perçus (probablement incompris) de la plupart de mes collègues hydrobiologistes du DEC. Tout ce qui relève du contrôle de la qualité biologique des eaux n'est semble-t-il pas une priorité à l'ORSTOM. Ceci est d'autant plus surprenant qu'il s'agit d'un problème crucial pour tous les pays industrialisés et plus encore pour les PVD avec lesquels nous travaillons et qui n'ont pas les moyens matériels ou humains de le résoudre. Il y a des années que j'essaie de faire passer dans notre Département le message que nos recherches hydrobiologiques sur la productivité des systèmes devraient être beaucoup plus finalisées et allier les approches expérimentales sur le terrain et la modélisation, car le descriptif à lui seul ne permet pas de faire de prédictions (recommandations) fiables pour les décideurs et les aménageurs.

Pour la récupération de systèmes eutrophisés et/ou l'amélioration de la pêche qui y est pratiquée, la

¹ Ecologiste aquatique, UR2C-DEC. Adresse actuelle: ORSTOM-Lab. HOT, 911 Avenue Agropolis, B.P. 5045, 34032 Montpellier, Tel.: 67.61.74.50, Fax: 67.54.78.00, e-mail: lazzaro@orstom.orstom.fr

réduction des apports externes en nutriments (stations d'épuration, gestion intégrée du bassin versant) n'est pas une mesure suffisante. Les recherches expérimentales sur les réseaux trophiques des lacs entreprises depuis des années par nos collègues canadiens, nord-américains et hollandais leur permettent d'obtenir de bien meilleurs résultats en y combinant ce qui s'appelle des biomanipulations. Il s'agit, entre autres, de manipulations des peuplements piscicoles (modifications des biomasses et des structures de tailles des espèces, des proportions entre piscivores, planctophages et benthophages) et de la végétation aquatique (modification de l'abondance des refuges pour la reproduction et des zones d'alimentation). Les résultats obtenus par biomanipulations ont fait l'objet d'une conférence internationale à Amsterdam en 1989⁵. Une synthèse a même récemment été publiée sur l'utilisation des biomanipulations dans la restauration des écosystèmes lacustres peu profonds et eutrophes de Hollande⁶. La France est malheureusement très en retard dans ce domaine.

Il me semble que l'ORSTOM a un rôle primordial à jouer dans le domaine de la recherche expérimentale concernant le contrôle de la qualité biologique des eaux dans les zones tropicales. En particulier et de toute évidence, il est d'un intérêt pratique essentiel de participer aux recherches sur la restauration des plans d'eau eutrophisés qui servent d'alimentation pour les grandes métropoles. De tels programmes scientifiques offrent, par ailleurs, de réelles possibilités pour le développement d'approches pluridisciplinaires et, notamment, de collaborations entre hydrologues et hydrobiologistes. En plus des aspects climatiques, hydrologiques, écologiques, biogéochimiques et technologiques (expérimentations, modélisations, manipulations, etc.), les conséquences économiques et sociales devraient y être prises en compte.

Montpellier, le 18 décembre 1992

Diffusion: DEC et CS3

Références:

- ¹Lazzaro, X. 1987. A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviors, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia* 146: 97-167.
- ²Lazzaro, X. 1991 Planktivorous fishes, plankton dynamics, and water quality: quantifying the effects of foraging mode and fish biomass. Ph.D. Dissertation, The Ohio State University, 172 p.
- ³Lazzaro, X., R. W. Drenner, R. A. Stein & D. J. Smith. 1992. Planktivores and plankton dynamics: effects of fish biomass and planktivore type. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1466-1473.
- ⁴Mitsch, W. J. & S. E. Jørgensen (eds.). 1989. *Ecological Engineering, an Introduction to Ecotechnology*, 472 p.
- ⁵Gulati, R. D., E. H. R. R. Lammens, M. -L. Meijer & E. van Donk (eds.). 1990. *Biomanipulation, Tool for Water Management*. Proceedings of an International Conference held in Amsterdam, The Netherlands, 8-11 August, 1989. Kluwer Academic Publishers, 628 p.
- ⁶Van Liere, L. & R. D. Gulati (eds.). 1992. *Restoration and recovery of shallow eutrophic lake ecosystems in the Netherlands*. Proceedings of a conference held in Amsterdam, The Netherlands, 18-19 April, 1991. Kluwer Academic Publishers, 287 p.

ANNEXE 4

Résumé de mon exposé à la CPRH:

Effets des poissons sur la qualité des eaux: Possibilités d'utiliser les manipulations de chaînes trophiques pour la restauration de lacs et réservoirs tropicaux eutrophes

En complément des traitements qui visent à contrôler les causes de l'eutrophication¹ (souvent pollution par les phosphates) existent des techniques écologiques qui visent à contrôler la biomasse excessive des végétaux aquatiques et ses méfaits, comme les biomanipulations qui utilisent l'action d'organismes pour contrôler la croissance des végétaux indésirables. La gestion piscicole est une des techniques de biomanipulation fréquemment utilisées en milieux tempérés (particulièrement en Amérique du Nord et en Europe: Gulati et al. 1990, Van Liere & Gulati 1992; voir Figure 3) jusqu'à un certain degré de pollution. Par contre, l'utilisation des biomanipulations est encore balbutiante pour la restauration de systèmes tropicaux. Pour exposer les possibilités et limites de l'utilisation des biomanipulations en milieux tropicaux j'ai repris quelques aspects de mes présentations au XXV International Congress of Limnology à Barcelone (21-27 août 1992) et IV Congresso Brasileiro de Limnologia à Manaus (7-11 septembre 1992).

Dans les systèmes tempérés, les biomanipulations sont appliquées avec un certain succès en raison de certaines conditions favorables:

- de fortes interactions entre piscivores, planctophages, zooplancton et phytoplancton,
- un broutage efficace du phytoplancton par le zooplancton(en raison de sa grande taille),
- un contrôle du zooplancton par les alevins seulement au printemps,
- des biomasses de planctophages des lacs nord-américains et européens typiquement < 300 kg/ha, car dominées par des zooplanctophages dont la croissance est limitée par l'abondance du zooplancton,
- les poissons ne contribuent qu'occasionnellement au recyclage interne des nutriments.

Par contre, les caractéristiques des chaînes trophiques de lacs et réservoirs tropicaux et subtropicaux suggèrent que les effets en cascades entre poissons, zooplancton et phytoplancton, indispensables à l'efficacité des biomanipulations, y sont moins intenses qu'en systèmes tempérés (voir Figure 4):

- le broutage du macrozooplancton (généralement de petite taille) ne contrôle pas la croissance des algues,
- la présence d'alevins pendant la plus grande partie de l'année (reproduction pluriannuelle de nombreux poissons) contribue encore à réduire l'abondance et la taille de ce zooplancton,
- la croissance des poissons planctophages ne dépend pas de l'abondance du zooplancton, car ils sont généralement omnivores, s'alimentant principalement d'algues et de détritus,
- les planctophages filtreurs omnivores ont une croissance rapide et atteignent des biomasses importantes (jusqu'à 90 % de la biomasse piscicole d'un système et > 1 tonne/ha) et contribuent de façon importante au recyclage interne des nutriments (en particulier, le phosphore),
- de par leur grande taille et la biomasse de leurs populations, les planctophages filtreurs sont peu vulnérables aux poissons piscivores tropicaux (souvent de petite taille),
- l'excrétion des poissons omnivores favorise l'eutrophisation (en particulier à forte biomasse).

Le concept des cascades trophiques tel qu'il a été établi pour les systèmes tempérés ne semble donc pas directement applicable d'un point de vue pratique pour la restauration de systèmes tropicaux ou subtropicaux eutrophes pour lesquels il n'existe pas de théorie écologique propre. Afin d'aménager ces systèmes, il devient indispensable d'analyser les relations entre la structure de leurs communautés piscicoles (compositions en espèces, classes de tailles, groupes fonctionnels; biomasses par unité de surface, proportions alevins/adultes, proportions zooplanctophages/filtreurs omnivores, proportions

¹ Le terme "eutrophication" caractérise le phénomène anthropique, en distinction du terme "eutrophisation" réservé au phénomène naturel.

poissons proies/piscivores, etc.), la qualité de leurs eaux et la productivité de leurs pêcheries. Ceci est d'autant plus important que dans des systèmes artificiels (barrages, açudes) les communautés piscicoles ne résultent pas d'une coévolution entre espèces natives, mais bien d'une introduction d'espèces (souvent exotiques) par l'homme en fonction de critères généralement économiques. Ce choix, plus pragmatique qu'optimal (souvent basé sur une connaissance écologique partielle du système), peut avoir des conséquences désastreuses sur les types de valorisation souhaités et résulter en une disharmonie de fonctionnement (eutrophisation, dystrophie, etc.). En fait, l'augmentation de la productivité piscicole et l'amélioration de la qualité de l'eau sont plutôt des objectifs antagonistes!

Nos récentes expérimentations en mésocosmes aux USA (Lazzaro et al. 1992a) démontrent que la biomasse en poissons (0-1.500 kg/ha) et non le type de planctophage (bluegill, carnivore prédateur visuel, consommateur de zooplancton et d'insectes vs. gizzard shad, omnivore filtreur, consommateur de phytoplancton et de détritiques), contrôlent la qualité des eaux. La transparence, la biomasse et la productivité des algues augmentent avec la biomasse de poissons (voir Figure 5, graphiques phytoplancton). Par contre, des modèles bioénergétiques de croissance (poissons) et d'ingestion (zooplancton) appliqués à ces données (Lazzaro et al. 1992b) suggèrent:

- que l'augmentation de la biomasse de poissons ne modifie pas les effets du zooplancton (excrétion de phosphore et filtration) sur les algues,
- mais que le recyclage du phosphore (excrétion) par un omnivore filtreur est très intense (même à des biomasses > 1.000 kg/ha) alors que celui d'un zooplanctophage est insignifiant et du même ordre que celui du zooplancton (Figure 5, graphiques zooplancton et poissons).

L'augmentation des problèmes d'eutrophication de systèmes aquatiques tropicaux et le coût économique et social trop élevé (pour ces pays) de leur récupération par les technologies classiques (sulfate de cuivre, dragage, oxygénation, stations de déphosphatation, etc.) font qu'il devient urgent de tester expérimentalement (en mésocosmes, étangs et lacs entiers) l'efficacité des biomanipulations de chaînes trophiques pour la restauration de systèmes tropicaux eutrophes. Ces biomanipulations bénéficient à la fois la recherche académique (identification des mécanismes de fonctionnement, production et test de théories écologiques) et la recherche appliquée (conservation, restauration, gestion piscicole) (voir Figure 6).

Références

- Gulati, R.D., E.H.R.R. Lammens, M.-L. Meijer & E. van Donk (eds.). 1990. *Biomanipulation - Tool for Water Management*. Proceedings of an International Conference held in Amsterdam, the Netherlands, 8-11 August 1989. Kluwer Academic Publishers, 628 p.
- Lazzaro, X. 1992. Experimentações das relações peixes-qualidade da água & Biomanipulações de rede trófica para recuperação de sistemas tropicais eutrofizados. Intervention orale, table ronde "Rede alimentar", 4^o Congresso Brasileiro de Limnologia, Manaus, 7-11 septembre 1992.
- Lazzaro, X., R.W. Drenner, R.A. Stein, & J. D. Smith. 1992a. Planktivores and plankton dynamics: effects of fish biomass and planktivore type. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1466-1473.
- Lazzaro, X., R.W. Drenner, R.A. Stein, & J. D. Smith. 1992b. Effects of planktivore biomass and type on phosphorus recycling and zooplankton grazing: modelling gizzard shad and bluegill bioenergetics and zooplankton ingestion in a mesocosm experiment. Oral communication, XXV SIL International Congress, Barcelona, 21-27 august 1992.
- Van Liere, L. & R.D. Gulati (eds.). 1992. *Restoration and Recovery of Shallow Eutrophic Lake Ecosystems in the Netherlands*. Proceedings of a Conference held in Amsterdam, the Netherlands, 18-19 April 1991. Kluwer Academic Publishers, 287 p.

QUELQUES BIOMANIPULATION TYPES POUR L'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SYSTÈMES TEMPÉRÉS

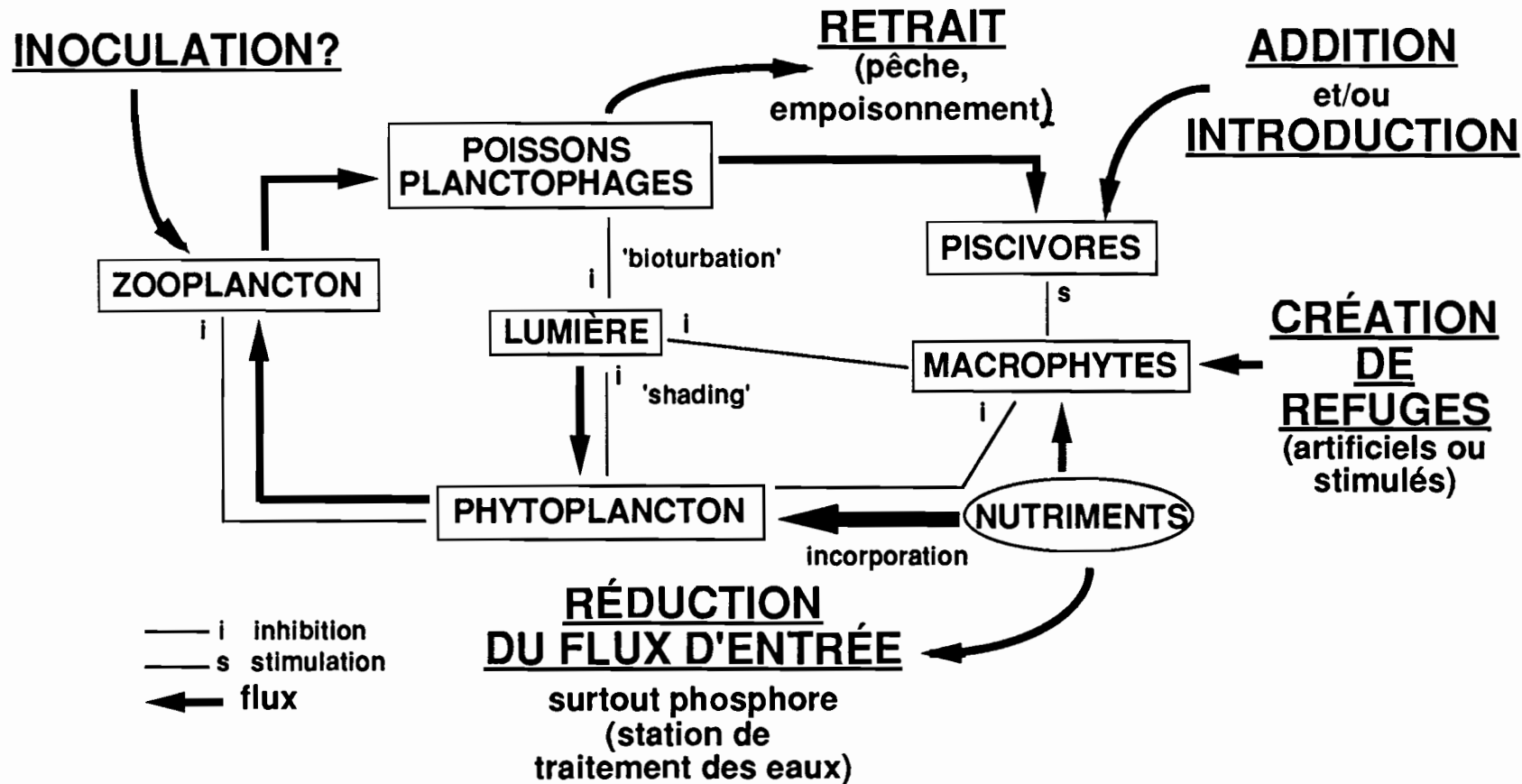


Figure 3: Principaux types de manipulations de communautés aquatiques utilisées en combinaison avec la réduction du flux entrant de nutriments pour réduire le phytoplancton de lacs eutrophes tempérés (Amérique du Nord & Europe).
(modifié d'après Gulati 1992)

SYSTEMES AQUATIQUES TEMPÉRÉS vs. TROPICAUX

Dominance de Planctophages Chasseurs à Vue vs. de Filtreurs

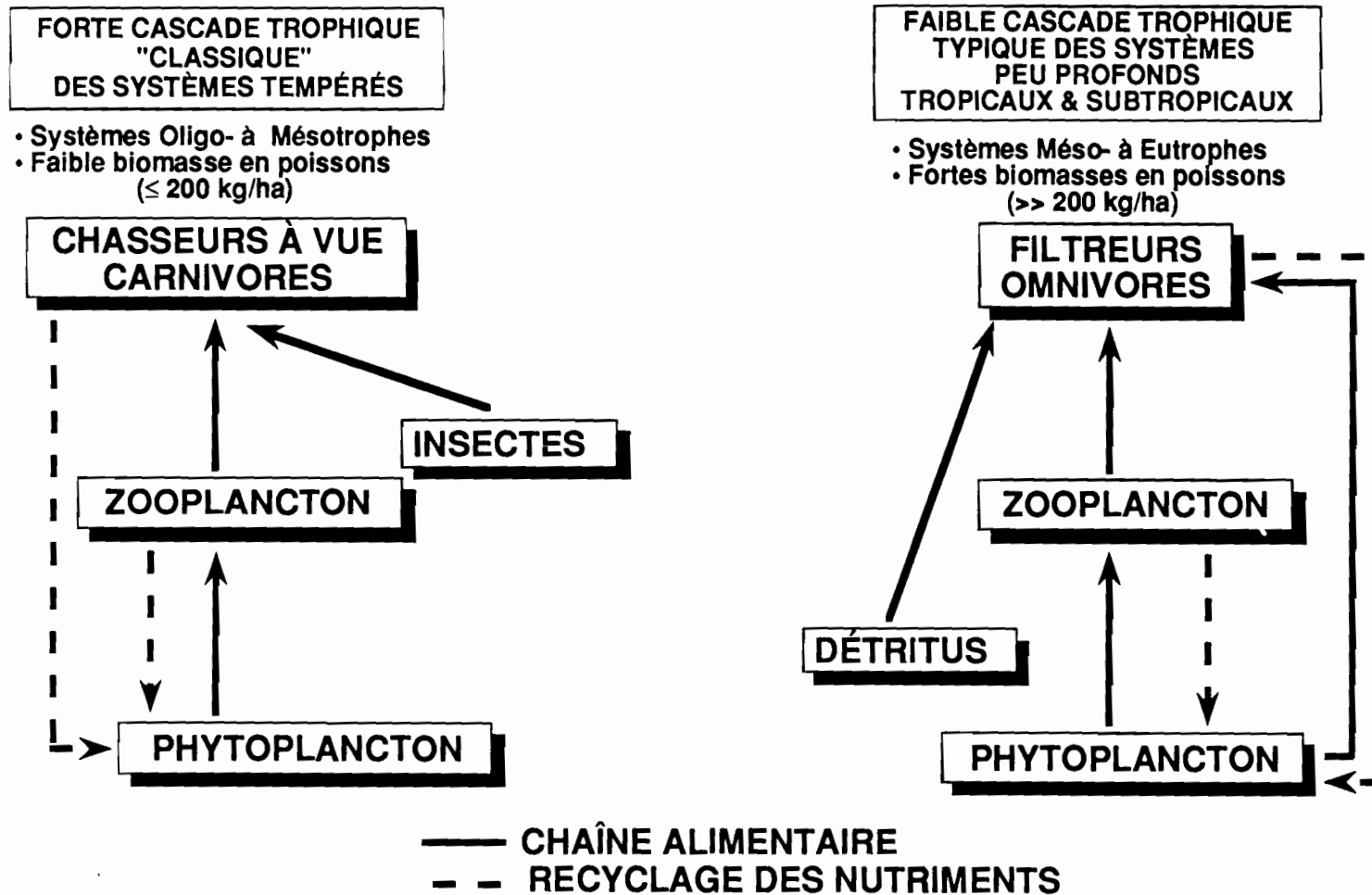


Figure 4: Comparaison des cascades trophiques aquatiques entre systèmes tempérés dominés par des planctophages chasseurs à vue (carnivores = zooplanctophages) et systèmes tropicaux dominés par des planctophages filtreurs (omnivores = microphages). L'abondance des débris et des algues dans les systèmes tropicaux eutrophes permet de maintenir une biomasse importante de planctophages omnivores (dominant souvent la biomasse piscicole qui peut atteindre jusqu'à > 1.000 kg/ha) qui contribuent donc de façon significative au recyclage interne des nutriments.
(Lazzaro, communications orales XXL SIL et IV CBL, 1992)

EFFETS DE LA BIOMASSE ET DU TYPE DE POISSONS PLANCTOPHAGES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU & LE RECLYCLAGE DU PHOSPHORE

Couplage d'un Plan Factoriel d'Expérience en Mésocosmes à l'Utilisation de Modèles Bioénergétiques de Croissance (Poissons) et d'Ingestion (Zooplancton)

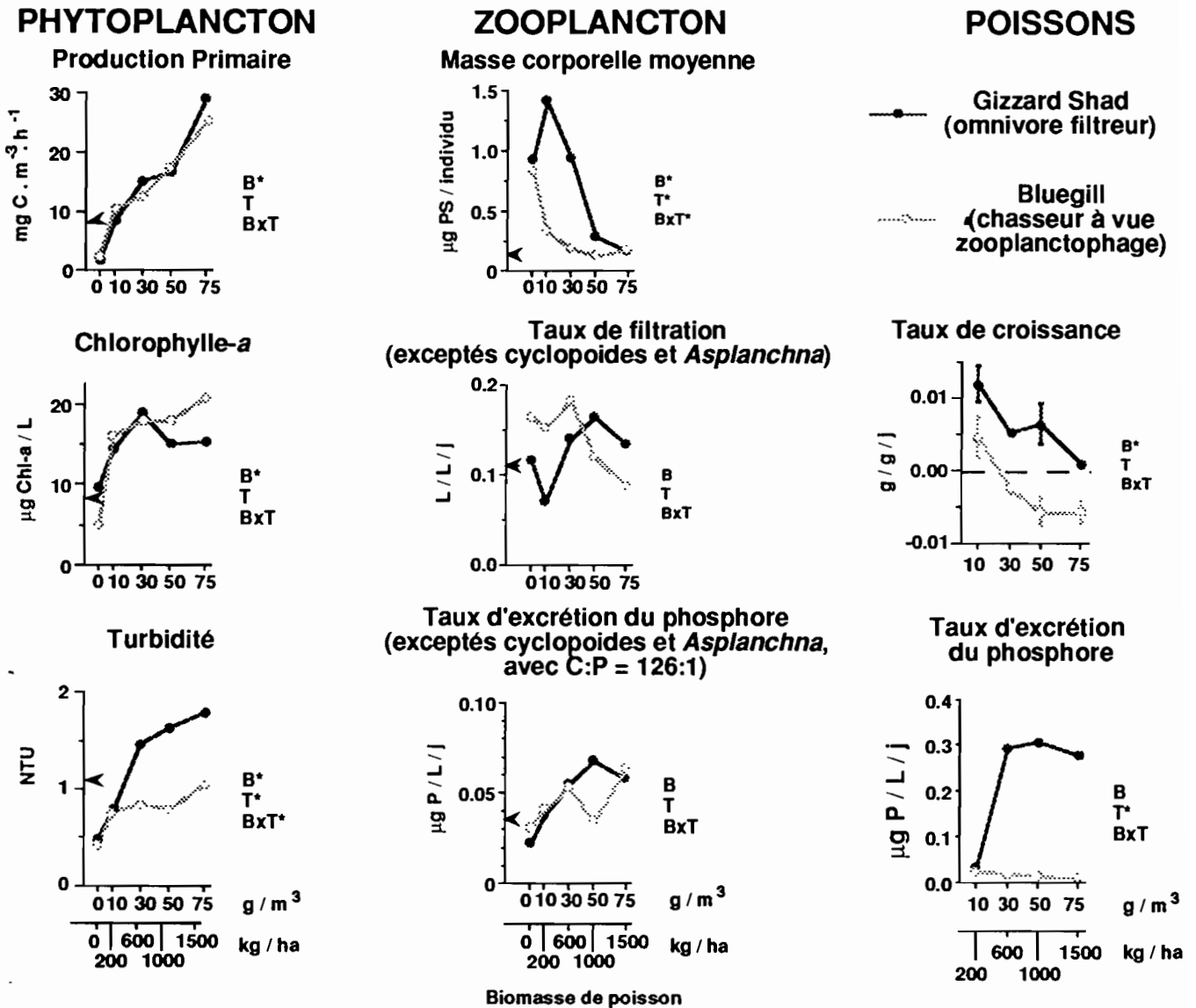


Figure 5: Effets de la biomasse et du type de poissons planctophages. Comparaison des réponses du phytoplancton (biomasse, production primaire), de la turbidité, du zooplancton (masse corporelle moyenne, taux de filtration) et du taux d'excrétion du phosphore par les deux types de planctophages et le zooplancton. Plan factoriel d'expérience réalisé à Texas Christian University (Ft Worth, USA) en mésocosmes (20 enceintes de 5,5 m³). Les effets de la biomasse (B), du type de planctophage (T) et de leur interaction (BxT) sont suivis d'une astérisque lorsqu'ils sont significatifs (Analyse de variance avec mesures répétées dans le temps, P > 0,1). La flèche sur l'axe vertical indique la valeur initiale de la variable (pré-traitement). Les taux de filtration et d'excrétion du phosphore par le zooplancton ont été obtenus par l'utilisation d'un modèle d'ingestion (Peters & Downing 1984, modifié), et les taux d'excrétion du phosphore par le gizzard shad et le bluegill par l'utilisation de modèles bioénergétiques (Hewett & Johnson 1987, modifiés). La biomasse en poisson est le facteur déterminant; pour la plupart des variables, les effets des deux types de planctophages ne diffèrent pas, à l'exception du phosphore excrété en plus grande quantité par les omnivores (contribution à l'eutrophisation) (Lazzaro et al. 1992, XXV Congrès SIL)

**QUESTIONS & PROPOSITIONS
POUR LE FUTUR PROGRAMME AÇUDES DU NORDESTE BRÉSILIEN
COLLABORATION AVEC LE DEPTO. DE PESCA DE L'UFRPE À RÉCIFE**

par Xavier Lazzaro

1. HISTORIQUE DES PROPOSITIONS

1.1. Proposition de Grand programme "Usages Multiples des Açudes du Nordeste Brésilien - Possibilité de Collaboration Hydrologie-Hydrobiologie" (cf. Rapport de mission de X. Lazzaro, les 16-18/09/92 à Récife)

Faisant suite aux travaux des hydrologues de l'ORSTOM dans le Nordeste (30 ans de collaboration), dont le manuel pratique "Manual do pequeno Açude" (Molle & Cadier 1992) constitue une synthèse technique, cette mission a été suscitée par le DEC, dont l'une des thématiques prioritaires de recherche affichée actuellement est la "Gestion des Usages Multiples de Petits Barrages dans les Régions Tropicales Semi-Arides". Des responsables des deux universités de Récife (UFPE et UFRPE) et de plusieurs organismes régionaux (CPRH, COMPESA, SCT/PE et SHS/PE) et fédéraux (DNOCS, SUDENE) ont été rencontrés. Deux groupes d'institutions ont clairement exprimé une demande de coopération scientifique avec l'ORSTOM:

- Programme SCT/PE-CPRH (Secrétariat de la Planification, des Sciences, de la Technologie et de l'Environnement du Gouvernement de l'Etat du Pernambouc; Compagnie Pernamboucaise de Contrôle de la Pollution de l'Environnement et d'Administration des Ressources en Eau; respectivement): Cartographie, par état, du potentiel et de l'utilisation des ressources en eau, des ressources en poissons et la qualité des eaux, en vue d'une gestion intégrée (hydrologie + hydrobiologie) des bassins hydrographiques du Nordeste. L'un des produits attendus pourrait être une typologie de systèmes en fonction des usages souhaités (eau de consommation, irrigation, pêche, aquaculture, etc.). Pour ce faire, il est prévu d'utiliser des outils, tels la télédétection, les systèmes d'information géographique et la modélisation.
- Programme COMPESA-UFRPE (Compagnie Pernamboucaise d'assainissement de l'environnement; Université Fédérale Rurale du Pernambouc; respectivement): Dans le cadre d'une convention signée par ces deux organismes, l'étude limnologique et ichtyologique du barrage de Tapacura (98 millions m³, 50% de l'alimentation en eau de Récife) devenu hypereutrophe (apports excessifs de nutriments, blooms périodiques de cyanophycées) et sujet à une dégradation physico-chimique (salinisation) est actuellement entreprise. Son objectif est de mettre en place un programme de restauration associant la gestion des peuplements de poissons (modifications des relations prédateurs-proies afin (1) de réorganiser le peuplement des algues microscopiques et d'en réduire la biomasse et (2) de contrôler le recyclage interne des nutriments) et la réduction des apports externes en nutriments (mise en service d'une station de déphosphatation). Ce programme est à l'intersection des programmes incitatifs "Petits barrages" et "L'eau dans la ville"; il pourrait permettre de constituer à l'ORSTOM un groupe multidisciplinaire spécialisé dans la restauration des plans d'eau eutrophisés (aspects hydriques, écologiques et sanitaires) et l'épuration des eaux résiduaires (méthodes écologiques à faible coût).

1.2. Proposition de Travail du Depto. Pesca/UFRPE dans le cadre d'une collaboration avec l'ORSTOM (cf. Proposition du 1/06/93 de I.C. de Sá Marinho, directrice, à J.P. Carmouze)

Il s'agit d'une proposition de recherche dans le cadre de la programmation d'un 'Cours de Spécialisation en Etudes Limnologiques et Halieutiques des Açudes' de niveau ~DEA. Ce cours, destiné à 10 participants, aura une durée de 15 mois, dont 3 mois de cours et 12 mois de travail de terrain sur l'un réservoirs sous la dépendance des 11 campus ruraux de l'UFRPE (jusqu'à 700 km à l'ouest de Récife), en vue de la préparation d'un mémoire. L'objectif est de coordonner l'orientation de ces dix mémoires pour aboutir à une connaissance

globale de la structure et du fonctionnement de l'écosystème açude en vue d'une exploitation piscicole. Quelques étudiants bénéficiaires d'une bourse de perfectionnement (CNPq) pourraient intégrer ultérieurement l'équipe de recherche, constituée de professeurs du Depto. de Pesca et de chercheurs de l'ORSTOM. Le financement du cours par le CNPq permettra, en outre, la participation de professeurs d'autres universités brésiliennes, dans des disciplines ou sur des sujets non couverts par ailleurs. Les thèmes à aborder sont:

- Evaluation technique, sociale et économique sur l'aire d'influence d'un açude (à partir de données secondaires de sources officielles)
 - Analyse du profil technologique de la production halieutique et socio-économique des pêcheurs
 - Identification des usages multiples, actuels et prévus, en fonction des activités (préméditées ou non, et mutuellement exclusives)
 - Caractérisation de l'environnement:
 - évaluation physique, chimique et biologique de l'écosystème
 - pollution par les métaux lourds et la matière organique (DOB): présence et contrôle
 - capacité de charge (biogénique) pour la pêche
 - pisciculture dans l'açude même, ou en dérivation
 - Identification de la capacité de gestion des organisations communautaires existantes et de leur réceptivité en fonction de la gestion d'un projet de développement de la pêche
 - Etude de marché sur la pêche et le processus de commercialisation du poisson
- Pour l'élaboration de ces études, différentes conventions sont envisagées avec:
- Préfecture Locale,
 - Gouvernement de l'Etat du Pernambouc
 - IBAMA (Institut Brésilien de l'Environnement)
 - DNOCS (Département National des Ouvrages contre la Sécheresse)
 - SUDENE (Superintendance pour le Développement du Nordeste)

Participeront 3 professeurs titulaires, 19 professeurs adjoints, un professeur auxiliaire et un assistant.

1.3. Lignes Prioritaires du Depto. Pesca/UFRPE en Matière de Recherche & Enseignement (cf. Courrier Electronique du 4/10/93 de I.C. de Sá Marinho, directrice, à X. Lazzaro)

Les domaines de recherche et enseignement privilégiés par le Depto. de Pesca/UFRPE pour une collaboration avec l'ORSTOM en matière d'hydrobiologie sont:

- Limnologie appliquée à la pêche
- Limnologie appliquée à l'aquaculture
- Composition artificielle (par contraste avec les peuplements naturels) des peuplements piscicoles pour l'empoissonnement des réservoirs (açudes)
- Pollution aquatique
- Aspects enseignement de la recherche: collaboration des chercheurs de l'ORSTOM au programme de 'Mestrado' (~DEA) dans les domaines indiqués plus haut.

2. OPÉRATIONS ENGAGÉES:

- Préparation d'une note sur le "Système OCDE (1982) de Classification Simplifiée des Lacs et Réservoirs en Fonction des Usages Désirés et d'Estimation de leur Productivité en Poissons" (Lazzaro, Fév. 1993, 15 p., 9 figs). Présentation de deux schémas de classification de lacs et réservoirs tempérés et tropicaux en fonction de leur statut trophique, de relations entre ces statuts trophiques et les usages appropriés (approvisionnement en eau potable, irrigation, pêche, loisirs, etc.), et d'estimations empiriques du rendement de la pêche (kg/ha/an) en fonction de la charge normalisée en phosphore (mg P/m³) et de la chlorophylle du phytoplancton (µg/L).
- Un déplacement de 5 jours en Hollande, sur l'invitation du Prof. Ramesh Gulati, m'a permis de trouver des partenaires prêts à collaborer sur divers aspects de recherche (fonctionnement de réseaux trophiques, recyclage des nutriments par les organismes

aquatiques, biomanipulations de lacs) et de gestion (évaluation des ressources et restauration) du programme açudes, dans le cadre d'un projet financé par la CE. Il s'agit de collègues du Centre for Limnology de Nieuwersluis, de l'Institute for Inland Water Management & Waste Water Treatment de Lelystad, de l'Agricultural University de Wageningen, ainsi que d'un collègue de l'Universidad de Granada (Espagne). En plus des thèmes de recherche, nous avons discuté la possibilité de recevoir des étudiants brésiliens en formation en Hollande et en Espagne, ainsi que celle de permettre à des étudiants hollandais et espagnols de travailler sur le terrain au Brésil. Ceci est tout à fait envisageable et permettrait de rendre encore plus effective la collaboration entre les différents instituts. Il me semblait ainsi avoir les éléments indispensables (recherche, formation et développement) à la mise en place d'un programme d'envergure (ce qui m'avait été demandé par le DEC). J. Lemoalle a considéré cette proposition de projet comme prématurée, dans la mesure où il fallait privilégier le démarrage du programme Petits barrages en Côte d'Ivoire. J-P. Carmouze n'a donné aucune suite à ma proposition (cf. mon fax du 5/05/93). Cette attitude ne me paraît pas opportune dans la mesure où l'ORSTOM a de moins en moins de moyen de financer ses propres recherches et que les collaborations institutionnelles au niveau international sont au niveau des priorités affichées par notre Institut.

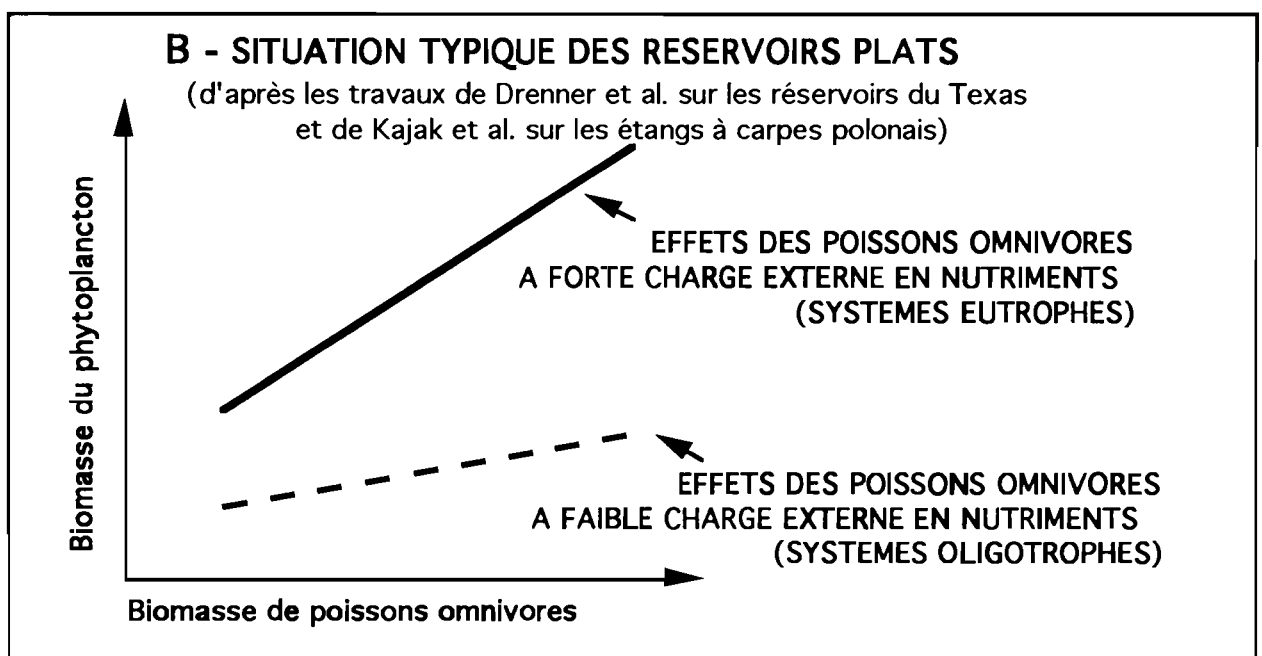
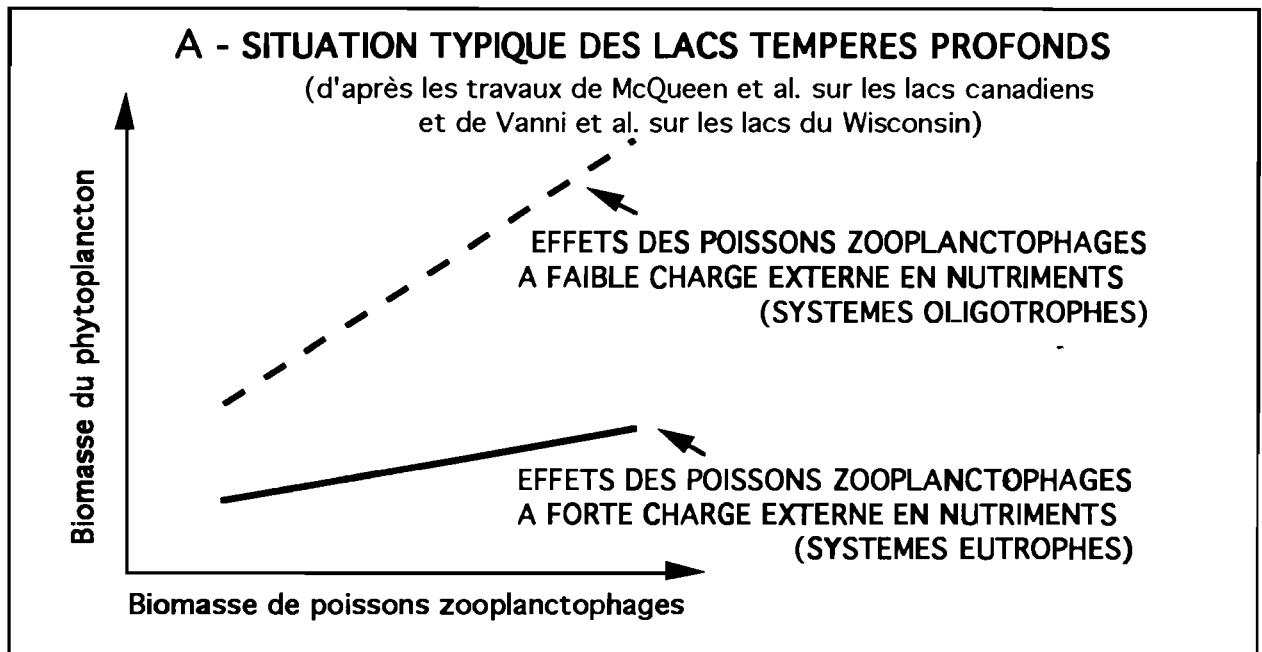
- Prise sous ma responsabilité d'un contrat de formation CES (oct. 93-mars 94) pour Mselle Barbara Chollet, géographe, dans les domaines de la télé-détection et des systèmes d'information géographique (par l'intermédiaires de stages à l'ENGREF, et en collaboration avec les collègues des laboratoires de télé-détection et d'hydrologie de Montpellier). L'objectif (en plus de celui de faciliter la réinsertion professionnelle) est de tenter de cartographier les açudes (fréquences de densités, de tailles, des systèmes perennes/temporaires, par état; éventuellement qualité optiques des eaux, présence de végétation aquatique, relation avec paysage agricole/urbain, etc.) à partir d'images satellitaires récentes (Landsat TM) et d'évaluer la faisabilité du développement d'un SIG (à partir des données disponibles) pour l'évaluation des ressources en eau (aspects quantitatifs et qualitatifs) du Nordeste. Des contacts ont été pris avec des responsables de l'INPE (Institut National des Recherches Spatiales) de São José dos Campos, l'IBGE (Institut Brésilien de Géographie Statistique) de Salvador et la CPRH de Recife pour connaître les besoins dans ces domaines, la disponibilité des données (images, rapports), ainsi que l'état des travaux en cours.
- Préparation d'un rapport sur l'"Utilisation d'Indices Comme Prédictors de Biomasse, Productivité et Structure des Communautés Piscicoles de Lacs et Réservoirs" (Lazzaro, version préliminaire transmise à M. B. Pouyaud le 25/11/93, 20 p., 3 tabs., 6 figs.). Présentation de 45 indices empiriques publiés dans la littérature depuis une 30^{aine} d'années pour la prédiction de la biomasse pisciaire, de la productivité pisciaire (production biologique) et de la productivité pisciaire exploitée (rendement de la pêche) à partir des valeurs de différentes variables abiotiques et biotiques. Ces indices univariés et multivariés ont été développés sur de larges gammes de lacs et réservoirs tempérés et tropicaux.
- Développement d'une approche modélisatrice de bilans hydriques de petits réservoirs par simulation dynamique avec le langage Vensim™ (sur PC/Windows). Réalisations de modèles génériques pouvant être utilisés dans le cadre de projets d'aménagement en eau, en collaboration avec M. Morell et F. Molle. Organisation de formations pratiques pour les collègues de Montpellier (1 stage Stella et 2 stages Vensim en juin) et de la Mission de La Paz (2 stages Vensim en juillet-août). Cette approche conviviale de la modélisation de systèmes complexes à partir de la réalisation de diagrammes de flux physiques me semble tout à fait adaptée au regroupement de spécialistes autour d'un outil commun.

3. PROPOSITIONS DE THÉMATIQUES DE RECHERCHE

Compte tenu des connaissances obtenues à partir de l'analyse expérimentale du fonctionnement des réseaux trophiques pélagiques, l'étude des interactions entre poissons, apports externes en nutriments et statut trophique est à privilégier établir des relations dynamiques entre la structure, la biomasse et la production des peuplements pisciaires et la structure, la biomasse et la production des communautés d'algues microscopiques. Ces relations fonctionnelles ont des applications pratiques majeures pour la gestion des lacs et des réservoirs:

- le contrôle de la qualité biologique des eaux (contrôle de la biomasse excessive d'algues indésirables, contrôle du recyclage interne des nutriments par les organismes aquatiques) à partir de manipulations des communautés pisciaires (contrôle des relations prédateurs-proies par pêches et empoissonnements sélectifs),
- le contrôle de la production pisciaire (amélioration du rendement de la pêche) par manipulations des variables abiotiques et biotiques de l'environnement (hydraulique/hydrologie, contrôle des apports externes en nutriments, amélioration de l'habitat et des ressources),
- des généralisations de ces relations à l'échelle régionale peuvent ultérieurement servir à développer des typologies fonctionnelles d'hydrosystèmes.

On peut résumer les concepts actuellement testés par les équipes internationales à la pointe des recherches dans ce domaine par deux schémas:



A mon avis, des recherches écologiques en vue de la gestion (poissons, qualité des eaux) de réservoirs tropicaux et subtropicaux devraient tester la validité de ces relations. En effet, si la théorie des cascades trophiques (situation A) a été clairement démontrée pour les lacs tempérés profonds, il n'existe actuellement aucun concept unificateur sur le fonctionnement trophique des lacs et réservoirs plats tropicaux et subtropicaux. On a quelques évidences que le comportement de ces systèmes s'apparente plutôt à la situation B:

- leurs biomasses pisciaires sont généralement dominés par des guildes de poissons omnivores (cichlidés, clupéidés, etc.),
- ces poissons omnivores sont relativement immunes de prédation, car ils ont une croissance rapide, indépendante de l'abondance du zooplancton (facteur limitant dans les systèmes tempérés), et une taille généralement bien supérieure à celle de leurs prédateurs,

- les cascades trophiques y sont peu marquées car la petite taille du zooplancton brouteur ne lui permet pas de contrôler l'abondance des algues microscopiques et les poissons planctophages (dominés par des guildes d'omnivores) ne sont pas contrôlés par les poissons piscivore.

Il est essentiel de développer des généralités sur le fonctionnement des systèmes tropicaux pour pouvoir élaborer des recommandations fiables concernant leur gestion. Ceci est d'autant plus important que ces systèmes ont une variabilité inter-système et inter-annuelle beaucoup élevée que les systèmes tempérés (variabilité intra-annuelle dominante). C'est à mon avis un objectif majeur des recherches en écologie aquatique à l'ORSTOM.

La multitude des açudes du Nordeste et la variabilité de leurs caractéristiques abiotiques et biotiques constituent sans doute une opportunité unique pour développer et tester des concepts robustes sur le fonctionnement des réservoirs tropicaux et subtropicaux à usages multiples. Le gradient climatique (contraintes pluies/sécheresse) permet d'analyser en outre le rôle de l'hydrologie (en particulier, celui du temps de résidence des plans d'eau) sur le fonctionnement trophique.

A mon avis, le développement de relations purement empiriques entre variables abiotiques/biotiques et caractéristiques des communautés pisciaires ne représente pas une thématique scientifique satisfaisante et stimulante pour dynamiser un programme de recherche orienté vers la typologie des usages de réservoirs. En effet, le choix initial des variables échantillonnées, celui de la fréquence d'échantillonnage et des sites conditionnent complètement le type et la qualité des relations attendues, qui peuvent a posteriori s'avérer inappropriés. Une recherche combinant des suivis des relations entre compartiments identifiés (groupes trophiques, classes de tailles) et flux de matières (prédation, broutage) ou de nutriments (apports externes, recyclage par les organismes) sur plusieurs sites et des analyses de processus par manipulations expérimentales (plans factoriels) de systèmes entiers ou de modèles réduits contrôlables et répliquables (mésocosmes) semble beaucoup plus prometteuse (résultats reproductibles, testables, généralisables) dans une optique prédictive. Ces mésocosmes pourraient être des étangs expérimentaux, des enceintes plastiques (fermées ou ouvertes sur le fond) placées dans le réservoir même, ou des enceintes en fibre de verre placées à terre en bordure du réservoir. Par mon expérience acquise au Brésil et aux USA, la construction de telles installations sont indispensables pour aller plus loin que ne le permettent des études descriptives.

4. CONTACTS & QUESTIONS

- Dra. Martins Sobral, Directrice SCT/PE:
 - Où en sont les travaux de mise en place d'un SIG sur les ressources en eau du Nordeste?
 - Qui travaille dessus? Quelles images satellites sont utilisées? Quel type de SIG?
 - Comment peut on y collaborer pour ce qui concerne les données biologiques?
- Profa. Cristina de Sá Marinho, Directrice Depto. Pesca, UFRPE:
 - Quelles types de travaux sont déjà développés sur les différents réservoirs des campus ruraux de l'UFRPE? J'apprécierais des copies des travaux publiés (physico-chimie, plancton, poissons, macrophytes, etc..)
 - Quels types de recherche sur l'écologie de ces systèmes fait le plus défaut?
 - Quels y sont les problèmes majeurs: salinisation, eutrophisation, pollutions?
 - Quels types de facilités expérimentales existe-t-il sur ces réservoirs? Possibilité d'installer des mésocosmes?
 - La convention avec la Compesa pour travailler sur le réservoir de Tapacura est-elle toujours une priorité?

\\Reports2\ProjAçudes\PouyaudQuestProjAçudes