

SH
207
SR76
#16f
c.2

ICLARM STUDIES AND REVIEWS 16

Recherche et formation pour le développement des systèmes de production intégrée agriculture-élevage-pisciculture en zone tropicale

P. Edwards
R.S.V. Pullin
J.A. Gartner

Traduction et adaptation
Catherine Lhomme-Binudin



ICLARM

CENTRE INTERNATIONAL DE GESTION DES RESSOURCES AQUATIQUES VIVANTES



Annot.

#164

1
**Recherche et formation pour le développement
des systèmes de production intégrée
agriculture-élevage-pisciculture en zone tropicale**

P. Edwards
R.S.V. Pullin
J.A. Gartner

Traduction et adaptation
Catherine Lhomme-Binudin

1988

**Recherche et formation
pour le développement des systèmes
de production intégrée agriculture-élevage-
pisciculture en zone tropicale**

SH
207
SR76
#16 f
C. 2
MAY 20 1997

**P. Edwards
R.S.V. Pullin
J.A. Gartner**

1988
Edition française 1991
traduite et adaptée par
Catherine Lhomme-Binudin

Edité par le Centre international de gestion des ressources
aquatiques vivantes, M.C. P.O. Box 1501, Makati, Metro Manila,
Philippines avec le concours du Programme des Nations
Unies pour le Développement, New York, E.-U.-A.

Traduction française éditée par l'ICLARM
avec le concours du gouvernement français.

Imprimé à Manille, Philippines

Edwards, P., R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1988. Recherche et formation pour le développement des systèmes
de production intégrée agriculture-élevage-pisciculture sous les tropiques. ICLARM Studies and
Reviews 16, 71 p. Edition française 1991, traduite et adaptée par C. Lhomme-Binudin. Centre
international de gestion des ressources aquatiques vivantes. Manille, Philippines

ISSN 0115-4389
ISBN 971-8709-22-3

Dans cet ouvrage, le générique masculin, encore
souvent inévitable, est utilisé sans aucune
discrimination

Couverture: Petite exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture dans une région pluviale du
Nord-Est de la Thaïlande. Cette spéculation rizicole possède un petit étang qui donne du poisson,
permet la culture de végétaux sur les digues durant la saison sèche, et fournit de l'eau potable pour
l'abreuvement des animaux.

ICLARM Contribution No. 470

13616

Table des matières

Préface à l'édition anglaise	v
Préface à l'édition française	vii
Résumé	1
Abstract	2
Introduction	2
Systèmes d'exploitation intégrée : le concept	6
Définition	6
Evolution	6
Classification des divers systèmes d'exploitation	9
Caractéristiques des systèmes d'exploitation en Asie	11
Cadre pour la recherche	15
Généralités	15
Les cultures végétales	15
L'élevage d'animaux terrestres	16
La pisciculture	18
Stratégies pour accroître la production	18
Aquaculture extensive, semi-intensive et intensive	18
Interactions au sein des systèmes d'exploitation à intégration triple agriculture/élevage/pisciculture	20
Techniques piscicoles inspirées des écosystèmes aquatiques naturels	22
Choix des espèces	24
Dynamique des étangs	27
Facteurs nutritifs	29
Caractéristiques physiques de l'étang	33
Sédiments des étangs	34
Gestion des stocks piscicoles	35
Modélisation systémique	36
Les risques pathologiques	37

Formation	39
Une approche globale au développement agricole	39
Programmes de formation	40
Les besoins en matière de recherche en association avec l'enseignement universitaire	44
Un exemple d'approche globale à la formation dans le cadre de l'exploitation intégrée	45
Généralités et relation avec les programmes nationaux et autres institutions	45
Le programme du Diplôme d'Etudes Approfondies en systèmes agricoles (M.Sc.) à l'AIT	46
<i>Principes</i>	46
<i>Structure</i>	46
<i>Grands domaines d'intérêt</i>	48
<i>Certains problèmes</i>	48
Débouchés en matière d'emploi	50
Points faibles	50
Cadre institutionnel	52
Considérations générales	52
Considérations géographiques/climatiques	52
Considérations académiques	54
Considérations institutionnelles	56
Activités au sein-même de l'exploitation	59
Cadre institutionnel	61
Remerciements	63
Liste des sigles	64
Références bibliographiques	65
Annexe I: Atelier - Vers un cadre de recherche pour les systèmes d'exploitation tropicale à intégration agro-piscicole 15-17 octobre 1986, Manille, Philippines	70

Préface à l'édition anglaise*

L'intégration agro-piscicole est un sujet complexe. En effet, les sciences aquacoles étant un domaine d'études relativement nouveau, la recherche sur ce terrain est bien moins avancée que dans le domaine agricole ; et malgré l'intérêt que l'on porte actuellement à l'intégration agro-piscicole, les travaux réalisés jusqu'ici et les programmes de formation de la plupart des institutions travaillant dans ce domaine indiquent clairement que l'attention des chercheurs reste axée sur les poissons et l'environnement aquatique, et non sur l'exploitant et l'exploitation dans son ensemble. Cette situation n'est pas surprenante dans la mesure où les chercheurs aquacoles ont été formés dans le domaine des sciences de la vie, zoologistes pour la plupart, ou comme spécialistes des sciences aquatiques, notamment les sciences halieutiques.

Dans cet ouvrage, les auteurs proposent un cadre pour une approche pluridisciplinaire à la recherche et à la formation en matière d'exploitation intégrée - une fusion en sorte des sciences agricoles et aquacoles. La présente édition a été préparée par deux biologistes des sciences aquatiques, dotés d'une expérience certaine en matière de recherches et de formation sur les systèmes d'exploitation intégrée, et par un ingénieur agronome s'intéressant particulièrement aux systèmes d'exploitation. Force est toutefois de reconnaître qu'un certain degré de partialité en faveur du domaine aquatique transparait dans cet ouvrage, mais je crois qu'il est également unique en son genre car c'est un premier pas vers l'intégration formelle des sciences favorisant les systèmes d'exploitation agro-piscicole.

S'il est vrai que le processus d'intégration agro-piscicole est plus avancé en Asie que dans toutes les autres régions du monde, il faut toutefois noter que l'exploitation de ces systèmes, dans quelques pays seulement et par une petite minorité de cultivateurs/éleveurs, n'a pas beaucoup progressé en termes de productivité et d'efficacité depuis ses débuts traditionnels, ce qui échappe souvent aux organismes donateurs et aux agences de développement. En effet, à constater que l'Asie produit les trois quarts de la production mondiale de poissons d'élevage, et que les principes de culture intégrée adoptés en Chine ont depuis longtemps fait leurs preuves, ils ne réalisent pas que dans cette région du monde de nombreux petits exploitants démunis pourraient tirer grand parti de l'intégration agro-piscicole. Or, ceci n'est possible que si l'on met en train un nouveau programme de recherches et de formation, et c'est ce que cet ouvrage propose.

Pour ce qui est de l'Afrique, d'importantes contraintes comme les conditions géographiques et climatiques défavorables à la croissance des poissons (aridité, haute altitude/basses températures), le caractère même de l'agriculture, la concurrence imposée par les pêches de capture sur les marchés de poissons, et certains facteurs humains et sociaux pèsent sur de nombreuses nations pour qui le développement de l'aquaculture et des systèmes d'exploitation intégrée sur ce continent est un défi beaucoup plus difficile à relever qu'en Asie.

* La traduction de la préface anglaise a été quelque peu allégée. NdT.

On ne peut toutefois douter que les systèmes d'exploitation avec intégration piscicole se développeront dans les pays africains où les obstacles à cette expansion sont inexistantes ou facilement surmontables, et où il est possible d'entreprendre les recherches et la production expérimentale nécessaires. Dans l'intervalle, une approche prudente et réfléchie au développement de l'aquaculture s'impose. En effet, il ne s'agit pas de se précipiter dans le développement par le seul transfert de technologies étrangères. Il serait par ailleurs judicieux de poursuivre sur un même front la recherche pour le développement, en Asie, des systèmes agro-piscicoles et de l'exploitation intégrant également l'élevage, terrain sur lequel de bons principes de gestion font encore défaut.

Quelles sont maintenant les chances de réussite de cette approche ? Je crois qu'elles sont excellentes si les chercheurs et les agences donatrices se rendent à l'évidence qu'il existe un potentiel certain dans ce type d'exploitation, et qu'il faut intensifier la recherche et les programmes de formation pour soutenir son développement. A cet égard, le Programme des Nations Unies pour le développement a déjà pris une avance considérable en soutenant l'ICLARM dans la réalisation de cette étude et dans la planification de travaux connexes. D'autres organismes donateurs commencent à soutenir la recherche et le développement, en Afrique et en Asie, des systèmes d'exploitation intégrée comprenant des éléments d'aquaculture. Par ailleurs, il est très encourageant de constater que le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI) et son Comité technique consultatif (TAC) s'intéressent vivement à l'aquaculture et aux nombreuses possibilités que l'intensification de la recherche offre dans ce domaine. La participation du GCRAI à la recherche aquacole ne peut que rapprocher les chercheurs en agriculture et en aquaculture, et de ce fait bénéficier aux programmes d'exploitation intégrée. De même, à mesure qu'un nombre croissant d'économistes et de sociologues formés dans des institutions agricoles s'intéressent à l'intégration agro-piscicole, les compétences indispensables à la poursuite de ces recherches s'accumulent progressivement.

Pour conclure, à la question de savoir pourquoi on devrait associer Recherche et Formation, je répondrai que les deux sont inséparables si l'on veut que le développement des systèmes d'exploitation intégrée réussisse et contribue à améliorer sensiblement la nutrition et les moyens de subsistance des populations. Les chercheurs en agriculture et en aquaculture, indispensables dans ces travaux, doivent se « recycler » en une nouvelle génération de spécialistes souscrivant à cette nouvelle vision des systèmes d'exploitation.

J'aimerais saisir cette occasion pour remercier les nombreux collègues qui ont revu la première version du manuscrit. Vos idées et critiques ont considérablement aidé les auteurs.

IAN R. SMITH
Directeur Général, ICLARM
Juillet 1988

Préface à l'édition française

Cette édition française, réalisée à partir de la version originale anglaise parue en 1988, naît dans un contexte de nouveaux développements dans le domaine de la recherche agro-piscicole pour le développement des régions les moins avancées.

S'il est convenu qu'en matière de recherche et de développement agro-piscicole, l'Asie est plus avancée que le continent africain, il faut toutefois reconnaître que les premiers travaux d'aquaculture entrepris en Afrique ont été réalisés par des ingénieurs agronomes qui publiaient régulièrement dans des revues comme *Bois et forêts des tropiques* et le *Bulletin agricole du Congo belge*, ce qui à son époque correspondait peut-être à un souci lointain d'intégrer élevage de poissons et cultures agricoles. On serait par conséquent tenté de penser que les efforts fournis actuellement dans le cadre de la collaboration Sud-Sud sont inspirés par un passé où le germe de l'intégration agro-piscicole avait peut-être déjà été semé. Quoi qu'il en soit, aujourd'hui, les agences donatrices et les gouvernements s'intéressent davantage au domaine de l'intégration agro-piscicole, et la présente traduction est réalisée dans le cadre d'un projet de transfert de technologies d'Asie en Afrique animé par l'ICLARM et financé par le gouvernement français depuis 1988.

Depuis la parution de l'édition anglaise, l'ICLARM s'est également lancé dans un projet d'intégration agro-piscicole où les travaux du D^r Clive Lightfoot, expert des systèmes d'exploitation agricole, ont permis d'enrichir la présente version par quelques schémas et légendes qui illustrent très clairement les circuits de la chaîne alimentaire qu'il est désormais question d'exploiter pleinement. Ces ajouts attestent de façon explicite que les idées des auteurs ont été suivies.

D'autre part, si la version originale de l'ouvrage s'adressait à un public anglophone des pays asiatiques, la présente traduction a été réalisée dans le souci de s'adresser davantage aux lecteurs francophones des pays africains, et c'est la raison pour laquelle elle ne suit pas tout à fait, dans sa forme, l'original. Cette nouvelle édition a également permis de faire quelques mises à jour importantes dont certaines intéressent directement les pays francophones, notamment l'existence de membres francophones au sein du Réseau des chercheurs en aquaculture tropicale (NTAS) animé par l'ICLARM qui publie dans sa revue *Aquabyte* une page consacrée aux actualités africaines où certains articles traitent des travaux d'intégration agro-piscicole.

Nous tenons par ailleurs à remercier D^r Jérôme Lazard du CTFT/CIRAD et D^r Daniel Pauly de l'ICLARM pour le temps qu'ils ont consacré à la révision de la présente traduction, et D^r Clive Lightfoot de l'ICLARM pour les schémas qu'il a contribués à cet ouvrage.

CATHERINE LHOMME-BINUDIN
Coopération technique avec les
pays francophones, ICLARM
Novembre 1991

**Recherche et formation
pour le développement
des systèmes de production intégrée
agriculture-élevage-pisciculture
en zone tropicale**

P. EDWARDS

*Professeur d'aquaculture
Asian Institute of Technology
GPO Box 2754
Bangkok, Thaïlande*

R.S.V. PULLIN

*Directeur du Programme d'Aquaculture
International Center for Living Aquatic
Resources Management
MC P.O. Box 1501, Makati
Metro Manila, Philippines*

J.A. GARTNER

*Professeur Associé - Systèmes d'exploitation intégrée
Asian Institute of Technology
GPO Box 2754
Bangkok, Thaïlande*

Résumé

Les plus grandes possibilités ainsi que les plus grands besoins en matière de développement aquacole dans les pays tropicaux en développement se trouvent chez les petits producteurs déjà engagés dans l'agriculture et l'élevage. Vu le peu de ressources dont ces petits exploitants disposent et la difficulté qu'ils ont à se procurer des facteurs de production exogènes, il est de tout intérêt d'intégrer la pisciculture aux systèmes de production existants. Il existe, au sein des systèmes intégrant l'agriculture, l'élevage et l'aquaculture des interactions bénéfiques où les résidus agricoles et le fumier d'animaux peuvent fertiliser les étangs dont l'eau et la vase peuvent à leur tour fertiliser les cultures. Dans ce contexte, il est nécessaire d'adopter une approche systémique pluridisciplinaire pour mettre au point autant de techniques de production qu'il existe de sous-systèmes d'exploitation tropicale. Des études approfondies sur les systèmes existants doivent être entreprises pour identifier les sources potentielles de facteurs de production. Des recherches sur les facteurs socio-économiques sont également indispensables. Par ailleurs, la recherche sur les espèces de poissons appropriées, la dynamique des nutriments dans les étangs et la gestion, doit être poursuivie pour combler les lacunes existantes en matière d'information sur les systèmes aquacoles tropicaux. Ces recherches doivent être soutenues par des travaux de modélisation sur divers systèmes

de production intégrée. La formation d'une nouvelle vague de penseurs et de chercheurs en systèmes d'exploitation - des généralistes, en quelque sorte, aptes à envisager et à travailler sur des systèmes agro-piscicoles intégrés, sera essentielle pour assurer ce type de recherche et veiller à ce que les travaux réalisés contribuent à un développement effectif. Un cadre institutionnel pouvant mieux structurer la recherche et la formation dans ce domaine est proposé en conclusion.

Abstract

The greatest potential and need for fish culture in tropical developing countries lies with small-scale farmers who are already engaged in the production of crops and livestock. As resource-poor small-scale farmers have limited access to off-farm inputs, the case is presented for integration of fish culture with existing farming systems. There is synergism among integrated crop, livestock and fish subsystems: beneficial interactions in which crop residues and livestock manure can feed and fertilize fishponds, respectively, and fertile pond water and mud can fertilize crops. An interdisciplinary systems approach is required to develop the requisite technologies for the plethora of tropical farming systems. Detailed studies of existing farming systems are required to identify potential sources of pond inputs, including in-depth socioeconomic research. Because the data base of tropical aquaculture is weak, research is required on appropriate fish species, fishpond nutrient dynamics and management, supported by modelling studies of diverse integrated farming systems. Education of a new wave of farming systems thinkers and researchers - generalists who can envisage and research whole integrated agriculture-aquaculture systems will be essential to ensure that such research is pursued and followed by successful development. The review concludes with a suggested institutional framework for future research and education in this field.

Introduction

D'après l'étude « L'agriculture en l'an 2000 » (FAO, 1981) sur l'évolution à terme de l'agriculture dans le monde, la population dépassera les 6 milliards d'habitants à la fin du siècle, et la demande en produits agricoles dans les pays en développement doublera ; d'où le besoin, pressant, de voir augmenter la productivité et la rentabilité des exploitations agricoles dans ces pays. De même, le phénomène de surpopulation étant un facteur de réduction de la quantité de terres arables disponibles par habitant, l'enjeu pour les petits exploitants, qui constituent par ailleurs la grande majorité de la population du monde en développement, est d'accroître leur productivité par unité de superficie, de temps et de capital investis. Cet enjeu est d'autant plus important que la productivité est affectée négativement par la dégradation de l'environnement comme le déboisement, par exemple, qui met en péril la stabilité des ressources en eau et conduit à l'érosion des sols. Face à cette situation, et pour enrichir l'alimentation, équilibrer les risques que comportent les sous-systèmes de production, créer des emplois et réaliser des marges excédentaires de produits agricoles destinés à la vente, il est nécessaire de préconiser une meilleure utilisation des ressources, déjà limitées, de ces petits exploitants en favorisant l'adoption de systèmes d'exploitation intégrée. En effet, ces systèmes d'exploitation offrent de grandes possibilités de développement d'une agriculture viable dans les pays en développement, et sans grand risque pour l'environnement. Cette recommandation s'adresse particulièrement aux exploitations de type pluvial constituant entre 70 et 80% de la totalité des terres agricoles.

Grigg (1974) a étudié l'évolution des grands systèmes d'exploitation du monde, en pensant que la connaissance du passé nous permettrait de mieux comprendre les systèmes actuels et de contribuer à leur développement. Dans un second traité où il étudie la relation entre croissance démographique et évolution agraire du point de vue historique (Grigg, 1980), il souligne le caractère impératif du développement agricole dans le monde en développement. Paradoxalement toutefois, là où il est souvent possible de produire tout au long de l'année (régions tropicales), le potentiel de production alimentaire n'est pas

souvent réalisé. En effet, bien que la plupart des agriculteurs du monde en développement se concentrent sur la monoculture du riz ou du maïs, il existe, sous les tropiques humides, une grande variété de systèmes culturaux traditionnels qui ne sont pas exploités au maximum de leurs potentialités (Hoque, 1984). Hoque s'en tient à l'agriculture mais on peut en dire autant de l'élevage et de la pisciculture qui constituent les autres sous-systèmes du type d'exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture.

Pourquoi intégrer la pisciculture aux systèmes d'exploitation ? La production de poissons sur l'exploitation offre de nombreux avantages, dont notamment celui de procurer un aliment traditionnel très nutritif et de grande valeur dans la plus grande partie de l'Asie et de l'Afrique. En effet, la consommation de poissons sur le continent africain assure environ 25% des apports en protéines animales et 28 à 80% dans les pays du Sud et du Sud-Est asiatique. En outre, les poissons sont *petits*, donc constituent des unités précieuses de protéines commercialisables, et une fois qu'ils ont atteint leur taille adulte, ils peuvent se maintenir en vie par une alimentation d'entretien, sans dommage, et peuvent être récoltés à tout moment. De plus, n'ayant pas à maintenir leur température, ce sont d'excellents convertisseurs d'aliments de basse qualité en protéines animales de haute qualité, à la différence du bétail qui utilise une part importante de sa nourriture pour ses besoins en énergie calorifique.

Le présent ouvrage propose une approche globale des systèmes d'exploitation intégrée, motivée par l'idée que les meilleures possibilités de développement de la pisciculture se trouvent chez les exploitants déjà engagés dans l'agriculture et l'élevage. Il s'agit en fait d'amener l'aquaculture aux petits exploitants sans grandes ressources et dont l'accès aux facteurs modernes et exogènes de production est limité. Dans ce contexte, la production de poissons est assurée par le recyclage des sous-produits de l'agriculture et de l'élevage en protéines animales, et l'eau et la vase des étangs, riches en substances nutritives, deviennent des ressources utilisables pour les cultures adjacentes. C'est ainsi que l'aquaculture peut devenir le troisième partenaire des sous-systèmes agriculture-élevage au sein de la petite exploitation, formant un système où la réduction des coûts de production du poisson (par rapport aux systèmes nécessitant des intrants agro-industriels) contribuerait à mettre ce type d'entreprise à la portée des petits exploitants.

Par ailleurs, c'est sous les tropiques humides qu'existent les meilleures possibilités de développement des systèmes d'exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture, et c'est aussi dans ces régions que les besoins sont les plus grands. Selon le système de classification des climats de Köppen, modifié par Trewartha (Money, 1987) (Fig. 1), les climats tropicaux sont définis comme tel quand la température moyenne du mois le plus frais est supérieure à 18°C (Money, 1978 ; Oldeman et Frère, 1982), ce qui permet aux poissons de se développer tout au long de l'année. On reconnaît trois types de climats tropicaux :

1. Un climat humide sans saison sèche ou dont la saison sèche est relativement courte, mais où les précipitations sont suffisantes pour y voir pousser la forêt tropicale humide, et donc des surfaces fourragères tout au long de l'année ;
2. Un climat sec et humide (savane tropicale) où les saisons sèche et humide sont bien différenciées ; et

3. Un climat semi-aride où la saison sèche est longue et la saison humide, courte.

L'aquaculture est possible sous les climats 1 et 2 mais généralement pas sous le climat 3. Le manque d'eau sous les climats 2 et 3 serait non seulement un obstacle au développement de la pisciculture, mais affecterait également la disponibilité en intrants pour les étangs comme le fourrage et autres sous-produits des sous-systèmes agriculture-élevage.

Les systèmes d'exploitation intégrée considérés dans cet ouvrage reposent, dans leur composante aquacole, sur l'élevage de poissons tropicaux, notamment le tilapia omnivore,

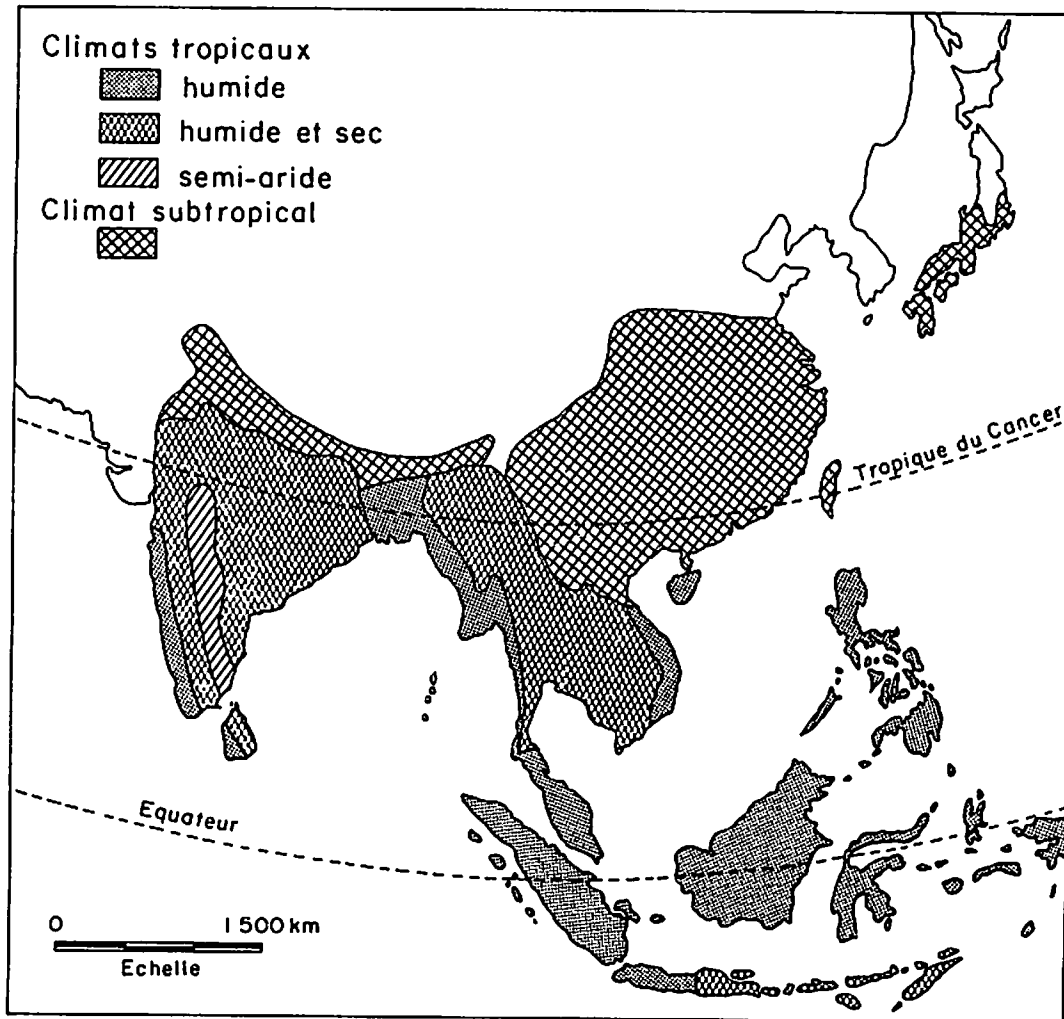


Fig. 1. Modifications de Trewartha du système de classement de Köppen. Cette carte repose sur un concept théorique de réduction de toutes les élévations au niveau de la mer. Dans ces zones climatiques, les sites possibles d'exploitations intégrant la culture, l'élevage et la pisciculture dépendent des conditions locales (adapté de Money, 1978)

baptisé « le poulet aquatique » de l'avenir (Pullin, 1985a), poisson qui se développe et se reproduit tout au long de l'année. Le climat humide subtropical (pluies tout au long de l'année et température moyenne du mois le plus frais comprise entre 0 et 18°C) est toutefois signalé sur la figure 1 parce qu'il s'étend à la Chine, pays d'où sont originaires les systèmes d'exploitation intégrée agriculture-élevage-pisciculture. Cependant, seules les espèces de poissons eurythermes d'eau tiède peuvent être élevées dans ce pays car en effet, les basses températures hivernales réduisent la saison de croissance (à 8 et 11 mois dans les bassins de Pearl et du Yang Tsé respectivement). Par conséquent, la recherche pour la mise en valeur des systèmes tropicaux d'exploitation intégrée semble devoir être menée sous les tropiques, là où elle n'est pas pénalisée par les contraintes climatiques saisonnières.

Si l'on admet qu'il existe des possibilités de développement de ces systèmes d'exploitation sous les tropiques, quelles sont les informations et les compétences techniques dont nous disposons actuellement ? Nous n'en possédons guère, d'où le besoin d'établir un programme de recherches et de formation tel qu'on le propose dans cet

ouvrage. La recherche sur laquelle repose l'aquaculture tropicale est peu avantagée par rapport aux travaux réalisés sur le terrain de l'agronomie et de l'élevage d'animaux terrestres. Cette faiblesse est encore plus marquée au niveau de la recherche et du développement des systèmes d'exploitation intégrée du fait d'une formation trop sectorielle à la base, entraînant une vision trop étroite de nombreux chercheurs et développeurs. En effet, la plupart des chercheurs aquacoles se préoccupent du poisson et de ses besoins sans tenir compte de l'ensemble du système de production.

Adopter une vision globale de l'exploitation est une démarche essentielle. En effet, les aquaculteurs doivent s'efforcer de comprendre les systèmes d'exploitation agricole et les systèmes intégrés agriculture-élevage ; et les agronomes, le sous-système piscicole. Les processus de recherches et de formation pour la valorisation des systèmes d'exploitation intégrée sont étroitement liés et appellent une approche novatrice qui puisse amener l'aquaculture dans le sillon de l'agriculture. En ce sens, les chercheurs et enseignants doivent être des *généralistes* des systèmes intégrés, adoptant une approche globale pluridisciplinaire intégrant les sciences biologiques, économiques et sociales, tout en recherchant les compétences particulières des spécialistes de l'agronomie, de l'élevage et de la pisciculture.

S'il existe une littérature abondante sur la production animale et agricole dans les pays tropicaux du monde en développement, celle-ci n'est que parcimonieuse dans le domaine de l'intégration de l'agriculture, de l'élevage et de la pisciculture. Toutefois, des éléments de diverses publications et les informations techniques recueillies à l'issue d'un atelier réuni en 1986 pour jeter les bases d'un nouveau programme de recherches et de formation en faveur du développement de l'intégration agriculture-élevage-pisciculture, ont été repris dans cet ouvrage (Annexe I). Dans cette publication, l'évaluation et l'évolution des systèmes d'exploitation, l'identification des groupes cibles, l'étendue géographique, et les répercussions éventuelles de l'intégration du sous-système piscicole ont été abordées en premier. Suit une description détaillée des différents cadres où inscrire la recherche et la formation, et une discussion sur les aspects institutionnels termine l'ouvrage.

Systemes d'exploitation intégrée : le concept

Définition

Le terme « intégré » vient du latin *integrare* qui signifie faire entrer, incorporer ou réunir des éléments dans un ensemble. Les sous-systèmes (agriculture, élevage et pisciculture) peuvent être exploités individuellement dans certains systèmes d'exploitation, les produits de ces sous-systèmes s'ajoutant les uns aux autres. Toutefois, les sous-produits d'un sous-système, qui normalement seraient perdus, deviennent des intrants dans un autre sous-système, et contribuent ainsi à l'amélioration des résultats escomptés pour telle ou telle production provenant de la terre et/ou de l'eau exploitées par un éleveur. Il existe une certaine synergie au sein des systèmes intégrés car, en effet, leur rendement est bien meilleur si ces sous-systèmes sont conjugués que s'ils sont exploités individuellement.

La particularité d'un système d'exploitation intégrée réside, du point de vue biologique, dans le recyclage de ses sous-produits, mais la meilleure utilisation de l'espace dans lequel deux sous-systèmes occupent tout ou partie de cet espace nécessaire pour un seul sous-système est un facteur important de l'accroissement de la productivité. Un des avantages socio-économiques des systèmes d'exploitation intégrée est que les intrants nécessaires aux divers sous-systèmes de l'exploitation proviennent généralement de la ferme. Ainsi, la dépendance vis-à-vis des intrants agro-industriels ou provenant d'autres exploitations tend à diminuer. L'intégration réduit également les risques associés à l'exploitation traditionnelle puisque l'on obtient une plus grande variété de produits. Les systèmes intégrés contribuent aussi à l'équilibre du régime alimentaire des familles qui consomment une partie de leur production.

Evolution

Afin de placer le cadre de recherche recommandé dans un contexte approprié, cet ouvrage présente un possible scénario de l'évolution des systèmes d'exploitation intégrée (Fig. 2). Les trois grandes catégories de l'exploitation agricole - agriculture sédentaire, culture itinérante et nomadisme pastoral - sont tirées d'un exemple de classification des systèmes d'exploitation dans le monde établie par Spedding (1979). Toutefois, nous avons divisé l'agriculture sédentaire en trois phases : l'agriculture dominée par les cultures végétales, les systèmes d'intégration agro-pastorale, et la monoculture industrielle, afin de montrer le rôle important que les systèmes intégrés peuvent jouer en introduisant l'aquaculture chez les petits cultivateurs sans grandes ressources pour qui l'accès aux intrants provenant de l'extérieur (souvent coûteux) est encore limité. Ce principe d'organisation de l'agriculture sédentaire en trois phases est en grande partie inspiré des études sur les systèmes d'exploitation agricole du monde et leur évolution, réalisées par Whittlesey (1936), Duckham (1959, 1966), Duckham et Masefield (1971), et Grigg (1974, 1980). Un schéma simplifié ne saurait représenter toutes les variantes possibles des systèmes d'exploitation au niveau mondial (Spedding, 1989) mais il peut servir de cadre conceptuel pour notre étude.

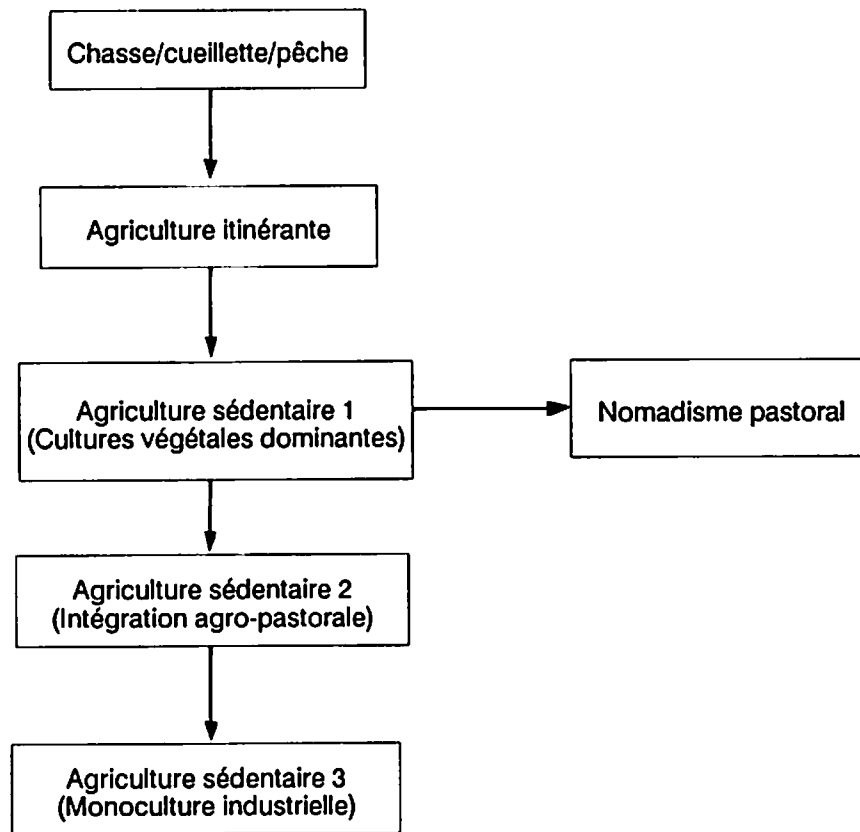


Fig. 2. Schéma de l'évolution possible des systèmes d'exploitation.

Si la chasse, la cueillette et la pêche ont précédé l'agriculture, elles n'en restent pas moins des activités importantes dans les pays en développement, surtout en ce qui concerne la pêche. En effet, la pêche de capture, contrairement à l'aquaculture, est encore la source principale d'approvisionnement en poissons dans la plupart des pays en développement, tout comme, au demeurant, dans les pays plus avancés.

La culture itinérante exige, quant à elle, un déplacement périodique vers de nouvelles terres à mesure que les ressources des sols s'épuisent. A l'heure actuelle, ce type de culture est pratiqué essentiellement dans les régions montagneuses. L'intégration de l'aquaculture à ce type de culture n'est guère envisageable dans ces régions en raison du manque de terrains aptes à l'aménagement d'étangs, et des tendances migratoires des populations. On pense que les toutes premières formes d'agriculture pratiquées sous les tropiques étaient du type « végéculural », reposant sur la propagation végétative des racines (taro, manioc, igname, patate douce, marante) et la cueillette de fruits comme la banane et la noix de coco. Les porcs et la volaille étaient probablement élevés en liberté, se nourrissant des débris de la ferme. Vers ~ 3500*, l'agriculture « semencière » reposant sur la riziculture où de grands ruminants sont utilisés comme animaux de trait vient se

* Ce signe ~ utilisé par le Petit Robert (1989, vol. 2, p. XXII) est préféré à « av. J.-C. » car « il a l'avantage de ne pas situer par rapport à la date présumée de la naissance de Jésus des événements appartenant à d'autres civilisations », ce qui est le cas pour le présent ouvrage. NdT.

substituer à la « végéculture » qui survit alors dans des régions éloignées et dans des exploitations mixtes (Grigg, 1974).

Dans les sociétés pré-industrielles à forte densité de population, la plupart des terres sont destinées aux cultures vivrières, le bétail étant principalement constitué d'animaux de trait ; et les porcs et la volaille, vivant de détritiques, sont éventuellement des sources d'approvisionnement en viande. On appelle ce système d'exploitation : agriculture sédentaire, Phase 1. La plupart des pays européens se trouvent dans cette phase jusqu'aux environs de 1850, période à laquelle les céréales constituent la culture principale. La fertilité des terres est alors assurée par un système de jachère à deux puis trois champs où chaque année une parcelle est laissée en friches. A cette époque, l'intégration entre les divers sous-systèmes n'est pas ou peu pratiquée car le bétail est essentiellement constitué d'animaux de trait, et se nourrit de pâtures maigres. La plupart des pays en développement se trouvent encore dans la Phase 1 de l'agriculture sédentaire à l'exception des régions touchées par la « Révolution verte » qui passent directement à la Phase 3. Dans certains pays en développement, les gros ruminants se nourrissent de chaume et de paille laissées dans les champs après la récolte, et même si une partie de leur fumier sert à la fertilisation des terres, ce système d'exploitation repose essentiellement sur la culture où l'intégration ne tient pas encore une réelle place.

S'il était communément admis que le nomadisme pastoral ait précédé l'agriculture sédentaire, on tend aujourd'hui à penser que le premier est une dérivation de la seconde (Grigg, 1974). La plupart des nomades vivent sur des terres de pâturages dans des régions arides et semi-arides où le manque d'eau permet difficilement de développer l'aquaculture.

La manifestation de deux tendances importantes entre 1300 et 1800 conduit plus tard, entre 1850 et 1945, à l'apparition de l'exploitation du type mixte dans la plupart des pays d'Europe occidentale et dans l'est des Etats-Unis. Il s'agit 1) de la réduction et de l'élimination définitive de la jachère et 2) de la culture de pâturages en alternance avec d'autres cultures, ce qui permet de nourrir le bétail. Des légumineuses fixatrices d'azote alors semées avec de l'herbe redonnent aux sols leur fertilité, tout en leur permettant de se reposer en préparation des futures cultures céréalières. En outre, le cheptel augmente progressivement à la fin du Moyen-Age, tendance accélérée par l'augmentation des revenus réels vers la fin du 19^{ème} siècle, produit de la Révolution industrielle et d'une demande accrue en produits d'élevage (Grigg, 1974). On appelle ce système : agriculture sédentaire Phase 2 où l'intégration du bétail et de la culture devient caractéristique du système d'exploitation mixte ou associée, et les pâturages sont cultivés en permanence ou en alternance avec d'autres cultures. Différentes sortes de cultures apparaissent, notamment les céréales dont une large part sert à nourrir les bêtes, ou est vendue aux meuneries. En Europe, on cultive aussi des tubercules, lesquels servent à nourrir les porcs et le bétail. Les produits de l'élevage comme le lait, le beurre, le fromage, la viande de bœuf et de porc, la volaille et les œufs sont en général des sources de revenus plus importants pour les paysans que les produits végétaux. L'élevage est clairement intégré à la culture de plein champ puisque les bêtes se nourrissent des cultures de la ferme, broutent l'herbe, leur fumier servant à conserver la fertilité des sols (Grigg, 1974).

Bien que les origines de l'agriculture remontent à une époque vieille de 10 000 ans, l'évolution technique de celle-ci est très lente jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle. L'agriculture en Europe occidentale s'intensifie progressivement à partir de 1850 grâce à l'emploi de meilleures semences, d'engrais en plus grandes quantités et à la mécanisation. Toutefois, si la Phase 3 de l'agriculture sédentaire (monoculture industrielle) s'amorce vers la même époque, ce n'est qu'après la Seconde guerre mondiale que l'exploitation mixte élevage/agriculture avec sa diversité de produits, fait place à la spécialisation (Grigg, 1974). Plus tard, la révolution agricole en occident est liée à l'emploi d'intrants d'origine industrielle, produits de la science et de l'ingénierie, qui libère l'exploitation agricole du

jou du milieu naturel (Duckham, 1959, 1966). De nos jours, l'amélioration variétale, les engrais chimiques, les pesticides et herbicides, la mécanisation, les concentrés d'aliments, l'alimentation granulée, et les produits chimiques pharmaceutiques sont les divers produits que la technologie moderne a mis à la disposition de la monoculture industrielle. Or, ces ressources sont rares et coûteuses dans la plupart des pays en développement. Dans les pays occidentaux où les techniques utilisées sont chaque fois plus complexes, où il existe une pléthore d'apports scientifiques et techniques, où le coût de la main-d'œuvre ne cesse d'augmenter et où les grosses exploitations bénéficient d'avantages fiscaux, la tendance est désormais de « simplifier » les systèmes d'exploitation en réduisant le nombre des spéculations agricoles (Duckham, 1959, 1966). La diversité des cultures se fait désormais plus rare et de nombreuses fermes n'exploitent plus qu'un seul type de culture. Dans la plupart des pays occidentaux, la situation économique des fermes modernes est telle que le besoin d'intégrer divers systèmes ne se fait aucunement sentir. Toutefois, on s'aperçoit aujourd'hui que les répercussions de la monoculture industrielle sur l'environnement sont très négatives.

L'élevage de bétail en *feedlot**, qui consiste à séparer totalement les systèmes de production agricole de l'élevage, et dans le cadre duquel la plus grande partie du fourrage est achetée à l'extérieur, est un bon exemple d'application de techniques modernes d'exploitation. Ce type d'élevage est fondamentalement différent de l'élevage à l'étable ou en clapiers de petits ruminants ou de lapins qui se nourrissent de fourrage provenant de l'exploitation elle-même ou des environs, lequel est le produit d'un sous-système. La production en *feedlot* a été introduite dans les pays en développement (souvent dans le cadre d'une opération « clé-en-main ») par des complexes agro-industriels à intégration verticale, mais on n'est pas certain que les petits producteurs en tirent réellement profit.

L'exploitation arboricole en plantations aménagées a été introduite dans les pays en développement par les Européens, et peut également être considérée comme une technique d'exploitation moderne puisque qu'elle repose en général sur une monoculture destinée à fournir des matières premières aux agro-industries.

Dans les pays occidentaux et au Japon, la plupart des exploitations aquacoles sont des monocultures industrielles car on y élève généralement des espèces uniques nourries aux granulés dans le cadre de systèmes d'exploitation mécanisée (Edwards, 1980).

Classification des divers systèmes d'exploitation

Le schéma des divers systèmes d'exploitation présenté ci-après sert à expliquer le concept de l'intégration de la pisciculture dans les systèmes d'exploitation existants, classés suivant le type de climat, la nature de l'eau et son type d'approvisionnement, et la taille des exploitations (Fig. 3).

L'agriculture reposant essentiellement sur l'eau douce, non sur l'eau de mer, c'est dans cet environnement qu'existent les meilleures possibilités d'intégrer l'aquaculture tropicale à l'exploitation agricole. Toutefois, on peut considérer les systèmes de cultures en eau saumâtre car le riz pousse également dans l'eau saumâtre, qu'elle le soit en permanence ou de façon saisonnière.

Il sera tout de même nécessaire de concentrer les efforts des programmes de développement agro-piscicole sur les régions *pluviales* plutôt que sur les régions irriguées,

* Bien que ce terme ait une traduction française « élevage en parc d'engraissement », cette équivalence ne traduit pas assez bien la définition donnée plus haut, d'où l'emploi du terme anglais *feedlot* qui se retrouve d'ailleurs dans de nombreux ouvrages de langue française. NdT.

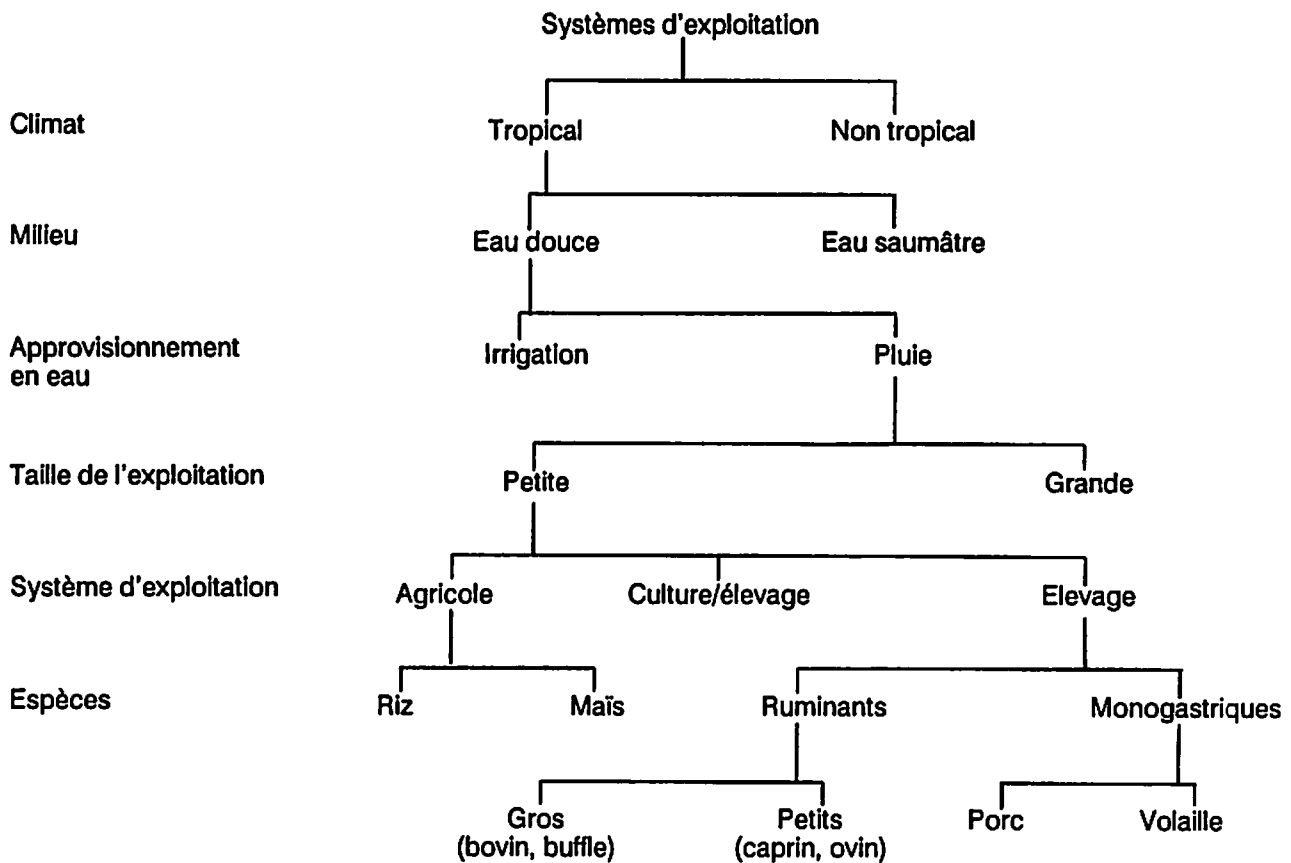


Fig. 3. Classification des systèmes d'exploitation.

car les premières composent 70 à 80% des terres agricoles et elles ont généralement été négligées. L'aquaculture a toutefois un bon avenir dans les régions irriguées où le stockage et l'adduction de l'eau vers les exploitations ne constituent plus un sérieux problème pour les agriculteurs. Elle peut notamment tirer profit, dans un milieu climatique similaire, de la plupart des données de production de poissons des systèmes d'exploitation intégrée ayant fait leurs preuves dans les régions pluviales. Dans ces régions, les possibilités de conservation de l'eau sont énormes, ne fut-ce par les seuls efforts des agriculteurs (par rapport aux résultats des actions des autorités publiques en matière d'irrigation). Là où le relief est accidenté et où la saison des pluies est bien marquée, l'eau peut être recueillie et conservée pour les besoins des cultures agricoles, et on peut élever des poissons dans des réservoirs ou bassins où l'eau de pluie est stockée. Ainsi, les coûts de construction d'un réservoir pourraient être amortis en partie par l'utilisation simultanée de l'eau pour la pisciculture. Un étang est en lui-même une méthode de conservation de l'eau, et peut être utilisé comme source d'urgence pour d'autres sous-systèmes ; par exemple, pour l'abreuvement du bétail et pour alimenter les pépinières de riz.

Par ailleurs, la recherche et les projets de développement devront à l'avenir concentrer leurs efforts sur *les petites fermes* car les grosses exploitations peuvent en général obtenir suffisamment de fonds pour développer leur aquaculture sans recourir à une quelconque assistance extérieure. Le concept « petite exploitation » est toutefois relatif et dépend dans une large mesure du degré d'aridité des terres. Ainsi, la taille minimale d'une

exploitation exigée pour faire vivre une famille est inversement proportionnelle à la quantité et à la répartition des pluies au cours de l'année. De fait, on peut considérer une exploitation agricole « petite » quand elle est exploitée sur un hectare de terres, ou moins, sous un climat tropical humide alors qu'un « petit » élevage peut être considéré comme tel quand il est exploité sur 1 000 hectares sous un climat tropical semi-aride où les pluies sont insuffisantes pour assurer des pâturages productifs. La présente étude utilise l'expression « petite exploitation » pour insister sur le fait que la cible est bien le *village* ou *en-deçà*, incluant les opérations familiales ou de type associatif, non les grandes opérations commerciales. Un étang situé sur un grand domaine, et exploité dans le but d'améliorer l'alimentation des ouvriers agricoles peut être considéré comme une petite opération au sein d'une grosse exploitation. Même si l'essor de l'exploitation intégrée n'entraîne pas automatiquement une augmentation des possibilités d'emploi à la ferme pour ceux qui ne possèdent pas de terres (sous-emploi et chômage sont déjà rampants dans les petites exploitations), cet essor peut conduire à une amélioration nutritionnelle certaine, et devrait entraîner une création d'emplois dans la transformation et la commercialisation des produits alimentaires.

Des cartes agro-climatiques utilisant des paramètres importants du point de vue agronomique ont été mises au point pour comparer les régions soumises à des conditions agro-climatiques semblables et pour établir des données sur la productivité que l'on pourrait espérer (IRRI, 1974 ; Oldeman et Frère, 1982). Comme sous les tropiques les températures ne constituent en général pas un facteur limitant, et que la période de végétation dépend des précipitations, sauf dans les régions où l'irrigation est contrôlée, les agriculteurs font correspondre l'assolement de leurs terres à la répartition des pluies qui prévaut à un quelconque moment de l'année. A ce titre, et à l'occasion d'un atelier réuni à l'Institut international de recherches sur le riz (IRRI), huit zones agro-climatiques ont été dressées pour les régions rizicoles de l'Asie du Sud-Est (IRRI, 1974) à partir des précipitations mensuelles et du nombre de mois où celles-ci atteignent 200 mm ou davantage. L'exploitant de la région d'Asie du Sud-Est peut difficilement faire deux campagnes de riz annuelles s'il n'y a pas cinq mois de pluie consécutifs ; en revanche, il sera vraisemblablement en mesure de faire deux récoltes de riz inondé s'il pleut pendant plus de neuf mois. Les cartes réalisées par un Projet FAO de Zones Agroécologiques tiennent non seulement compte des variables climatiques, mais aussi pédologiques (Oldeman et Frère, 1982). Toutefois, ces deux systèmes de classification sont entièrement axés sur l'agriculture pluviale ou non irriguée, et ne considèrent absolument pas les sources complémentaires d'approvisionnement en eau comme les cours d'eau et les eaux de ruissellement. Ces cartes ne traitent également que de certaines cultures et ne tiennent pas compte d'autres systèmes possibles. Si l'approche reste utile, il est cependant nécessaire, pour favoriser le développement agricole sous les tropiques, de fournir des efforts pour délimiter les zones agro-climatiques pour différents systèmes d'exploitation.

Caractéristiques des systèmes d'exploitation en Asie

Du point de vue de l'intégration agro-piscicole, les systèmes asiatiques sont mieux connus que les systèmes africains. Cette étude met donc l'accent sur les systèmes asiatiques en espérant qu'une meilleure compréhension de ces systèmes conduira à une meilleure mise en valeur des systèmes africains.

La plupart des petites exploitations des pays en développement possèdent les caractéristiques de la Phase 1 de l'agriculture sédentaire, dominée par des cultures végétales non intégrées avec l'élevage, comme dans les systèmes traditionnels d'exploitation mixte européens (Grigg, 1974). Selon un postulat important de cette étude, l'augmentation

sensible de la productivité et de la rentabilité agricoles est possible si les agriculteurs évoluent vers la Phase 2 de l'agriculture sédentaire par l'intégration de l'agriculture, de l'élevage et de la pisciculture au sein de leurs systèmes d'exploitation. Les caractéristiques d'un système asiatique d'exploitation intégrée type sont définies ci-après :

Une famille d'exploitants asiatiques type est généralement composée du couple et de 4 enfants, vivant sur une exploitation d'une superficie de 1,5 ha environ où la culture principale est le riz. Cette famille possède un ou deux animaux de trait et élève plusieurs poulets et canards (Hoque, 1984). La structure agraire et foncière de cette exploitation est variable, tout comme le sont la taille et le nombre de ses systèmes et sous-systèmes (Terra, 1958 ; Webster et Wilson, 1966 ; Grigg, 1974) (Fig. 4) :

1. Riziculture, quasi constante en Asie tropicale, et souvent la culture principale de la ferme ;
2. Riziculture associée à d'autres plantes annuelles poussant dans les rizières ;
3. Culture permanente de plantes annuelles ou de plantes pérennes, y compris des racines et tubercules, sur les terres non irriguées (altitude) ;
4. Jardin à cultures mixtes autour de la ferme, planté d'arbres fruitiers, de légumes et de racines ; et
5. Petit et gros bétail comme les buffles, utilisés principalement comme animaux de trait, et poulets et/ou porcs élevés en liberté sur l'exploitation.

Ces diverses entreprises, et leur intégration, sont illustrées sur la figure 5.

En Asie comme en Europe (en réponse à l'accroissement démographique, particulièrement près des zones urbaines), les jardins à cultures mixtes tendent à occuper

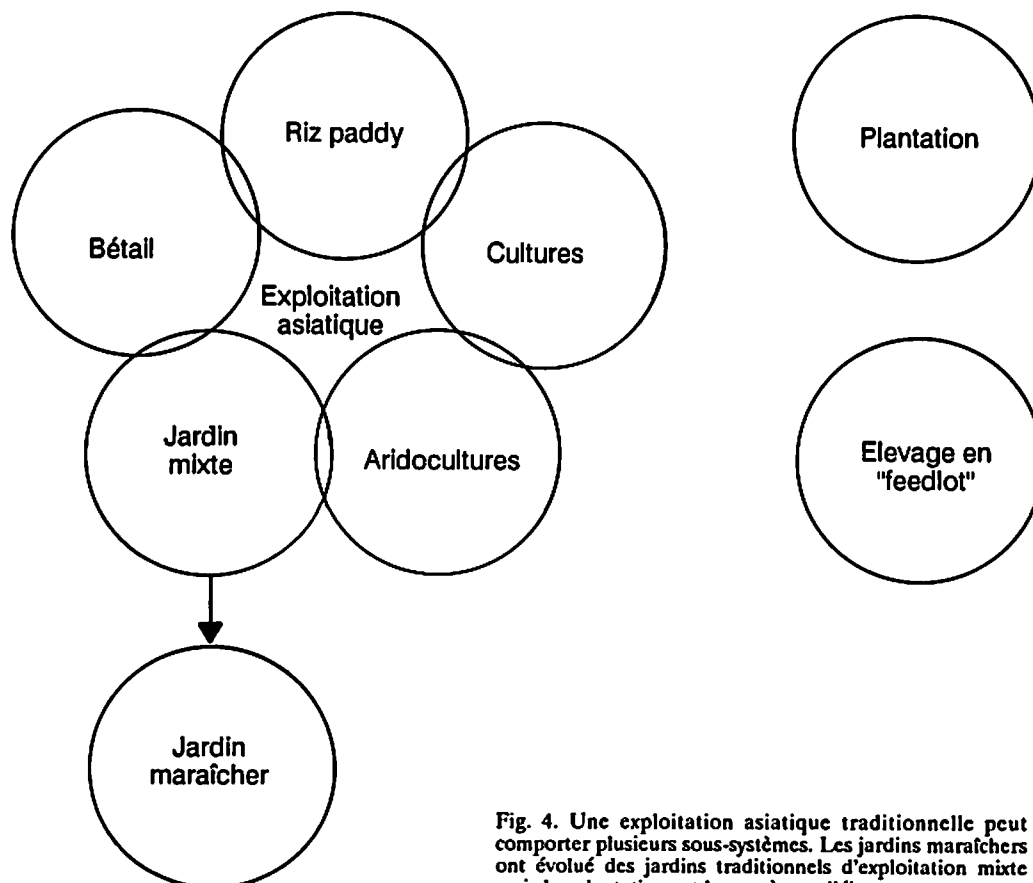


Fig. 4. Une exploitation asiatique traditionnelle peut comporter plusieurs sous-systèmes. Les jardins maraîchers ont évolué des jardins traditionnels d'exploitation mixte mais les plantations et les systèmes d'élevage reposant sur l'engraissement ont été introduits à partir de l'occident.

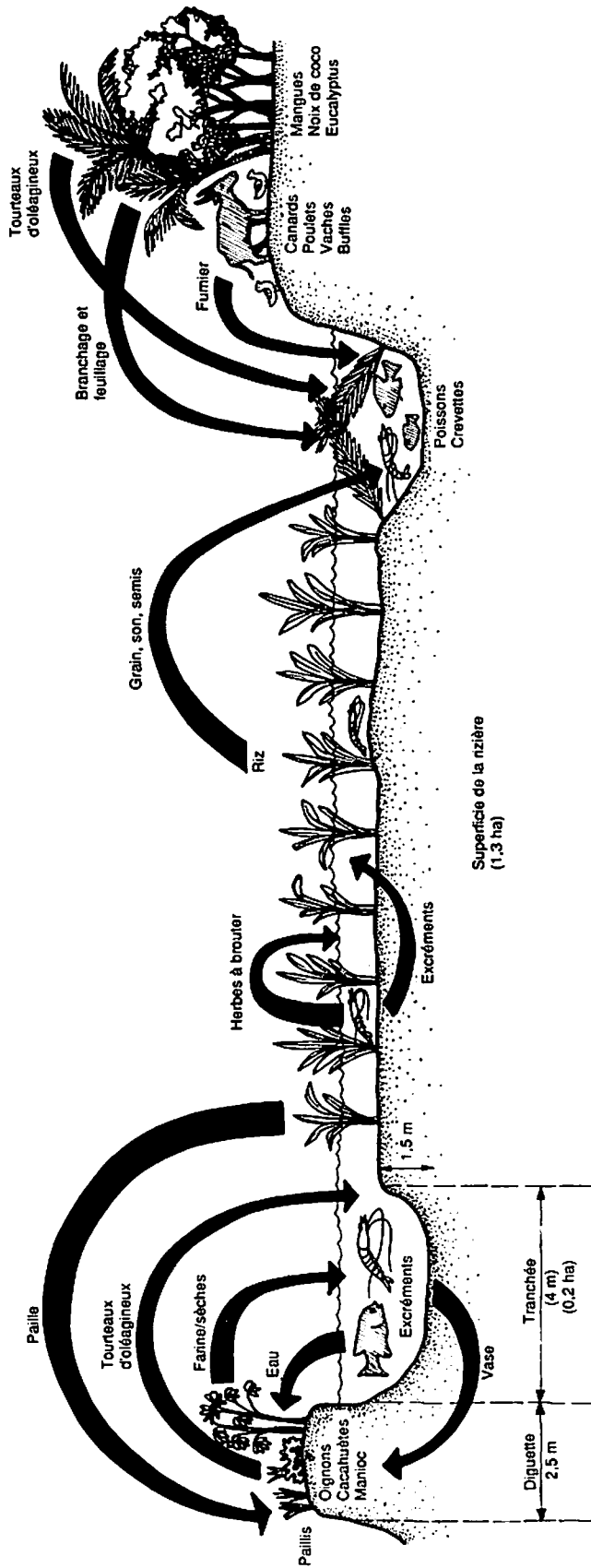


Fig. 5. Représentation schématique de l'intégration agro-piscicole conçue par les éleveurs dans une rizière du Delta du Mékong au Vietnam. D'après le concept des éleveurs, la digue de 2-m de largeur entourant la rizière de 1,3 ha est plantée d'arbres par endroit et de légumes en d'autres endroits. Les buffles et autres bêtes paissent sous les arbres. Des tranchées d'environ 4 m de largeur et 1,5 m de profondeur et parallèles aux digues contiennent des poissons (*Puntius gonionotus*), des crevettes (*Macrobrachium rosenbergii*), et des canards nagent à la surface. Les flèches indiquent l'utilisation des ressources. Selon ce schéma d'utilisation, l'eau des tranchées est reliée aux cultures végétales poussant sur les digues, la vase est reliée aux digues et la paille de riz est reliée par le paillis aux cultures végétales. D'autres flèches relient le fumier des animaux que l'on applique sur les parois des tranchées dès qu'elles sont creusées pour protéger contre l'acidité des sols et pour faciliter la croissance du phytoplancton. Les crevettes sont nourries pendant les deux premiers mois avec des graines de riz germées, de la farine de manioc et du son de riz. Le nourrissage des crevettes se poursuit avec des tourteaux d'oléagineux (noix de coco, arachide) et des poissons provenant de prises fortuites. Les branches de manguiers et d'eucalyptus sont aussi reliées aux tranchées. Ces branchages empêchent non seulement le bétail et les braconniers d'approcher mais offrent également un habitat aux crevettes, fournissent de la nourriture provenant des feuilles en décomposition et un substrat pour la croissance d'algues. La figure dans son ensemble montre l'aménagement composite de l'entreprise agro-piscicole des éleveurs (d'après Lightfoot et Minnick, 1991).

une part croissante de la totalité des terres arables de la ferme, et à évoluer vers des jardins maraîchers où les légumes sont cultivés pour la vente (Terra, 1954).

Sous les tropiques humides, la productivité animale est faible, de façon caractéristique. En effet, la plupart des élevages en Asie du Sud-Est sont réalisés dans le cadre de la petite exploitation et ne sont pas considérés comme des opérations commerciales. Les buffles et le bétail sont élevés essentiellement pour en faire des animaux de trait, condamnés à l'abattoir quand ils ne peuvent plus fournir. Pendant la campagne rizicole, les buffles et le bétail subsistent sur des pâturages maigres ; et après la campagne, la pâture qu'ils trouvent dans les rizières est tout aussi maigre (Javier, 1978). L'élevage à des fins de production laitière est traditionnel sur le sous-continent indien mais pas en Asie du Sud-Est où l'intérêt pour ce type de production est toutefois en train de poindre chez les petits exploitants (Grigg, 1974 ; Javier, 1978).

La pisciculture, contrairement à la croyance populaire, n'est pas du tout répandue en Asie tropicale. Les cultivateurs attrapent, certes, du poisson dans les rizières depuis la nuit des temps, mais on estime à moins de 1% la part qu'occupait, dans les années 60, la pisciculture sur les terres destinées au riz irrigué en Asie du Sud-Est (Coche, 1967), les choses n'ayant d'ailleurs pas beaucoup changé depuis. Toutefois, il existe en Asie tropicale quelques systèmes aquacoles traditionnels comme la polyculture de la carpe indienne qui, jusqu'à une date récente, n'était pas un bon exemple d'exploitation intégrée car il s'agissait d'un élevage extensif n'utilisant pas d'engrais ou d'intrants alimentaires (Tripathi et Ranadhir, 1982). C'est en réalité à des Chinois expatriés que l'on doit l'introduction de techniques d'intégration de la pisciculture en Malaisie, à Singapour, en Thaïlande et peut-être en Indonésie (Terra, 1958) où ces systèmes d'exploitation se sont considérablement développés au cours des deux ou trois dernières décennies, sans que ce développement ne parvienne pour autant à toucher plus de 1% des petits éleveurs de la région.

Les éleveurs chinois vivant en Malaisie et dans d'autres pays se concentrent davantage sur la culture et l'élevage intensif, élevant parfois aussi du poisson. Toutefois l'élevage d'animaux, des porcs essentiellement, est bien intégré dans leur système d'exploitation. Ils se nourrissent surtout de manioc et de résidus tels que les déchets de légumes et les sous-produits du riz, et leur fumier est épandu dans les champs ou dans les étangs (Webster et Wilson, 1966). Cependant, la plupart des petits exploitants agricoles asiatiques appartiennent au groupe défini précédemment comme agriculture sédentaire Phase 1 avec productions végétales dominantes et non intégrées à l'élevage ou à la pisciculture.

Cadre pour la recherche

Généralités

La présente étude reconnaît que la recherche sur les systèmes d'exploitation a un rôle important à jouer dans l'essor agricole du monde en développement (IRRI, 1982 ; FAO, 1984 ; Gartner, 1984).

Il est en effet impératif de conjuguer recherche en station et essais sur le terrain pour identifier et évaluer des systèmes d'exploitation à intégration piscicole pouvant convenir au petit exploitant. Dans ce souci, les sous-chapitres suivants décrivent des stratégies qui ont été formulées en tenant compte des sous-systèmes comme la culture, l'élevage et la pisciculture. D'emblée, il est bon de rappeler que l'aquaculture tropicale dispose de si peu de données, par rapport à l'agronomie et à l'élevage, qu'il est encore nécessaire de conduire des expérimentations scientifiques pour améliorer les techniques de base de l'élevage de poissons. Il est en outre extrêmement important que les chercheurs étudient minutieusement les systèmes d'exploitation existants pour en extraire d'éventuels facteurs d'accroissement du rendement pour les étangs, et examinent tout aussi minutieusement les facteurs socio-économiques connexes. Toutefois, l'étude méthodologique de ces facteurs va au-delà de l'objet du présent ouvrage.

Les cultures végétales

Pour les fermes où seule la culture est pratiquée (monoculture ou polyculture), la question fondamentale pour y développer un système intégré d'exploitation piscicole est de connaître les valeurs relatives des sous-produits de ces cultures, comme les engrais verts/compost pour la fertilisation des champs et des étangs, et/ou pour compléter le régime alimentaire des poissons.

L'accent devrait être mis sur les cultures à haute valeur énergétique étant donné qu'elles fournissent davantage de sous-produits. Sous les tropiques, ces cultures sont le riz dans les zones humides, le maïs dans les zones non-irriguées ou en altitude, et dans une moindre mesure le sorgho là où les précipitations sont moins importantes. En général, l'Asie cultive davantage le riz ; et l'Afrique, le maïs.

En Asie tropicale où la pluviométrie excède 1 000 à 1 200 mm/an, les systèmes agricoles reposent souvent sur la riziculture. Cette céréale est cultivée durant la période maximale de pluies étant la seule culture qui puisse tolérer les inondations. Il est toutefois possible d'y réaliser des cultures de type pluvial comme le maïs, l'ambérique*, le niébé et la patate douce (en polyculture) à la fin de la saison des pluies pour absorber l'humidité résiduelle (Beets, 1982).

* Légumineuse mieux connue par son nom scientifique *Vigna mungo*. NdT.

La polyculture, culture au cours d'une même année de différents produits sur un même terrain, peut dans ses diverses formes contribuer à augmenter considérablement la productivité agricole. Il s'agit de la culture associée ou intercalaire (plusieurs cultures plantées sur une même parcelle de terrain au même moment), de la culture de relais (cultures plantées sur une parcelle où sont déjà cultivés d'autres produits) et de la culture successive - double ou triple (divers produits cultivés sur un même terrain à différents moments de l'année). Le potentiel de productivité dans le cadre de la polyculture est donné, comme suit, par l'indice (I) d'intensité d'utilisation des terres :

$$I = \frac{\text{surface plantée sur un an}}{\text{surface totale de culture sur un an}} \times 100 \%$$

En polyculture, il existe souvent une proportion optimale des espèces cultivées selon qu'on envisage ces cultures du point de vue alimentaire, économique ou agronomique (Beets, 1982), ou suivant qu'elles sont destinées à l'alimentation des humains, du bétail ou des poissons.

Les cultures fourragères, particulièrement les légumineuses, pourraient être introduites dans les systèmes d'exploitation existants comme cultures intercalaires, de relais, ou successives sans perturber le système habituel (Javier, 1978). Selon cet auteur, qui a d'ailleurs envisagé diverses stratégies, des plantes aquatiques pourraient être cultivées dans les rizières comme plantes fourragères en remplacement du riz. Il existe également de nombreuses autres possibilités reposant sur des cultures pluviales. En effet, on pourrait semer davantage de maïs, et les excédents seraient utilisés comme fourrage. Les légumineuses à croissance rapide comme le soja, l'ambérique et le pois d'Angol pourraient en outre être plantées comme cultures intercalaires avec le maïs et être récoltées avant que le maïs ne produise trop d'ombre. En Asie du Sud-Est, les espèces locales de légumineuses comme *Pueraria* et *Desmodium* pourraient fort bien servir à l'affouragement du bétail, de même que les espèces exotiques comme les diverses espèces de *Stylosanthes* (Schultze-Kraft, 1986). Il est en outre possible de semer des espèces annuelles de *Stylosanthes* au bord des rizières pour fournir les graines qui seront semées sur les chaumes après la récolte, et broutés ensuite avec les herbes sauvages (Perkins et coll., 1986). Une grande variété d'arbres et arbrisseaux, la plupart fixateurs d'azote comme *Leucaena leucocephala* servent également à nourrir les animaux (Brewbaker, 1986). Si l'étude sur les graminées fourragères tropicales est assez récente (quelques décennies), leurs espèces sont toutefois nombreuses (McIvor et Chen, 1986).

L'élevage d'animaux terrestres

Le meilleur potentiel de développement des systèmes d'exploitation intégrant la pisciculture se trouve dans l'exploitation mixte agriculture/élevage car le fumier est un facteur de rendement efficace pour les étangs. Les exploitations n'élevant que du bétail relèvent de deux catégories : 1. élevage sur des terres arides et semi-arides où la pisciculture n'est guère possible en raison des contraintes liées à l'approvisionnement en eau, et 2. l'élevage en *feedlot* ou en parc d'embouche.

L'élevage intensif en *feedlot* peut s'intégrer à la pisciculture mais c'est une opération qui exige de gros capitaux car l'alimentation des animaux provient souvent des agro-industries, ce qui ne peut guère s'appliquer à la petite exploitation.

Sachant que les bovins sont très souvent utilisés comme animaux de trait, Javier (1978) s'est demandé si la mécanisation croissante de l'agriculture n'aboutirait pas un jour à

« l'élimination » de l'élevage. En fait, l'élevage aura toujours sa place dans la petite exploitation même si l'agriculture se mécanise. Du reste, comme il est désormais possible de réaliser chaque année entre trois et cinq cultures sur la même parcelle, du fait de l'intensification croissante de la production, et que soixante pour cent de la production annuelle d'aliments « digestibles » n'est pas directement utilisable par l'être humain, les bêtes sont donc des consommateurs potentiels des divers sous-produits agricoles (Javier, 1978). Il existe d'ailleurs sur le thème des ressources alimentaires « non conventionnelles » une abondante littérature résumée par Devendra (1985) à laquelle on peut également se référer à propos de l'alimentation complémentaire pour poissons.

Parmi les raisons que l'on peut évoquer au problème de l'absence relative de bétail dans les petites exploitations asiatiques : les agriculteurs préfèrent souvent consacrer leurs terres à des cultures destinées à la consommation humaine, ce qui diminue les surfaces fourragères ; le climat tropical ne convient pas à la production d'un fourrage à haute valeur nutritive, il n'est guère favorable à la croissance et à la fécondité des animaux, et il est de surcroît propice aux maladies (Grigg, 1974). Ces contraintes, plus apparentes que réelles, peuvent en fait être maîtrisées en faisant appel aux compétences australiennes par exemple, l'Australie ayant considérablement développé l'élevage dans les régions tropicales et subtropicales de son territoire.

La plupart des ressources pour l'alimentation animale que l'on peut trouver à même la ferme sont des résidus agricoles, comme la paille de riz et les chaumes de maïs, dont la digestibilité est médiocre (Javier, 1978). Aussi, au lieu de les utiliser dans les étangs, il est préférable de les réserver aux ruminants qui peuvent engraisser sur ce type de résidus de basse qualité si l'on y ajoute des concentrés, et d'utiliser à la place leur fumier comme intrant, d'autant que la paille de riz, les chaumes de maïs et les cosses des légumineuses sont des résidus secs et par conséquent facilement entreposables, alors que le fourrage vert doit être conservé par séchage, ensilage ou compostage (Javier, 1978).

D'autre part, on a observé que les rendements les plus élevés dans les systèmes d'exploitation intégrée provenaient des étangs recevant le fumier d'animaux mis à l'engraissement où le bétail, nourri avec du fourrage de haute qualité, produit un fumier riche en éléments nutritifs (voir plus bas). Comme le bétail est un élément essentiel dans un système d'exploitation productif intégrant le poisson, des recherches sont nécessaires pour mettre au point des systèmes qui permettront une amélioration qualitative et quantitative du fourrage produit à la ferme, et par conséquent un accroissement direct de la production animale, et indirect de la production piscicole dans ces systèmes d'exploitation.

Les ruminants, particulièrement le gros bétail comme les buffles, jouent un rôle important dans le développement des petits systèmes d'exploitation intégrée en Asie car on les utilise essentiellement comme animaux de trait. Toutefois, ce système d'agriculture attelée n'a toujours pas été introduit chez un bon nombre de sociétés agricoles africaines. Si les ruminants acceptent les produits agricoles que l'humain ne digère pas, des recherches sont toutefois nécessaires pour améliorer la qualité de leur fumier pour en faire un bon facteur de rendement dans les étangs car, en effet, les ruminants qui paissent sur des pâturages maigres ont un fumier pauvre en éléments nutritifs. D'autre part, si les petits ruminants comme les ovins et les caprins sont en général considérés comme animaux des terres arides, ils sont tout de même importants dans certaines régions des tropiques humides. Ces petits ruminants sont parfois nourris à l'étable et les bêtes élevées au champ (gros et menu bétail) sont souvent mises en stabulation la nuit, ce qui facilite le ramassage du fumier pour l'épandre dans les étangs. De même, l'urine, riche en azote (comme le fumier) peut servir de facteur de rendement dans les étangs, ce qui fait d'ailleurs actuellement l'objet d'expérimentations en Inde. Malheureusement l'urine des bêtes élevées en étable est souvent perdue.

Les animaux monogastriques comme le porc et la volaille ont des exigences alimentaires semblables à celles des humains et sont souvent élevés en petit nombre dans de petites exploitations, vivant entre autres des déchets qu'ils trouvent à même la ferme. Les porcs élevés en *feedlot* ou engraisés, et les poules nourries avec des aliments composés commerciaux donnent un fumier riche en éléments nutritifs, facteur de rendement précieux pour les étangs. Il conviendrait cependant de poursuivre les recherches sur la production à la ferme d'aliments non conventionnels pour les porcs et la volaille, et sur la valeur nutritive de leur fumier une fois qu'ils absorbent ce type d'aliments.

La pisciculture

Stratégies pour accroître la production

L'augmentation des superficies exploitées et/ou du rendement par unité de surface (Grigg, 1980) constituent les deux principales voies pour accroître la production agricole. Il est en général admis que l'augmentation de la superficie des terres arables, exception faite pour l'Afrique, n'est guère envisageable. L'extension des surfaces destinées à l'aquaculture est par conséquent une question qui doit être traitée en tant que stratégie majeure, d'autant que l'aquaculture est encore relativement peu développée sous les tropiques actuellement, même en Asie, et que des rendements élevés peuvent être obtenus sur de petites superficies, contrairement à la plupart des productions agricoles. La pisciculture représente donc une option très attrayante comme moyen d'augmenter la production de protéines animales de haute qualité.

L'augmentation des rendements devrait être visée, de préférence en faisant appel à des techniques d'exploitation traditionnelles où les intrants sont produits à même la ferme (exploitation intégrée), et non à la technologie moderne dépendante des produits et sous-produits agro-industriels.

Aquaculture extensive, semi-intensive et intensive

Dans le cadre d'un système intensif, le degré d'intensification de la pisciculture est dicté par le type de régime alimentaire adopté puisque celui-ci représente plus de 50% des coûts d'exploitation. Toutefois, l'intensification est aussi liée à une plus grande utilisation de capital, au recours à une main d'œuvre plus importante et à une mécanisation plus poussée. Les systèmes d'exploitation peuvent être classés de la manière suivante :

1. Les systèmes *extensifs* reposant sur une alimentation naturelle produite sans apport exogène. Les systèmes intégrant les cultures, l'élevage et la pisciculture ne peuvent donc par définition correspondre au type d'exploitation extensive, à l'exception de certaines rizi-piscicultures où le poisson peut profiter des intrants utilisés uniquement pour la culture du riz.

2. Les systèmes *semi-intensifs* s'appuyant sur la fertilisation pour produire une alimentation naturelle et/ou sur une alimentation complémentaire (mais dans ce cas, le nourrissage des poissons repose en grande partie sur des aliments naturels). Les systèmes d'exploitation à intégration triple agriculture/élevage/pisciculture sont presque tous essentiellement des systèmes semi-intensifs.

3. Les systèmes *intensifs* où les besoins nutritionnels des poissons sont assurés par un aliment composé sous forme de granulés, et où l'étang n'apporte que marginalement des éléments nutritifs. Les prises fortuites ou accessoires, sous-produits des pêches de capture, servent également de nourriture dans certains systèmes aquacoles intensifs. En général, les systèmes d'exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture ne sont pas des

systèmes intensifs car il est difficile de formuler et de produire un aliment granulé complet du point de vue nutritif à partir d'ingrédients provenant seulement de la ferme. La plupart des systèmes aquacoles occidentaux et japonais relèvent de cette catégorie.

De manière générale, le nourrissage des poissons élevés avec d'autres animaux dans un système d'exploitation intégrée suit le mode semi-intensif. La plus grande partie de leur nourriture est constituée d'organismes naturels qui se développent dans les étangs fertilisés par le fumier et les matières fécales des poissons. Toutefois, la contribution relative des aliments naturels à la nourriture des poissons diminue à mesure qu'augmentent la qualité et la quantité des aliments complémentaires.

Dans les systèmes aquacoles, les rendements sont appréciés suivant 3 ordres de grandeur (Fig. 6) :

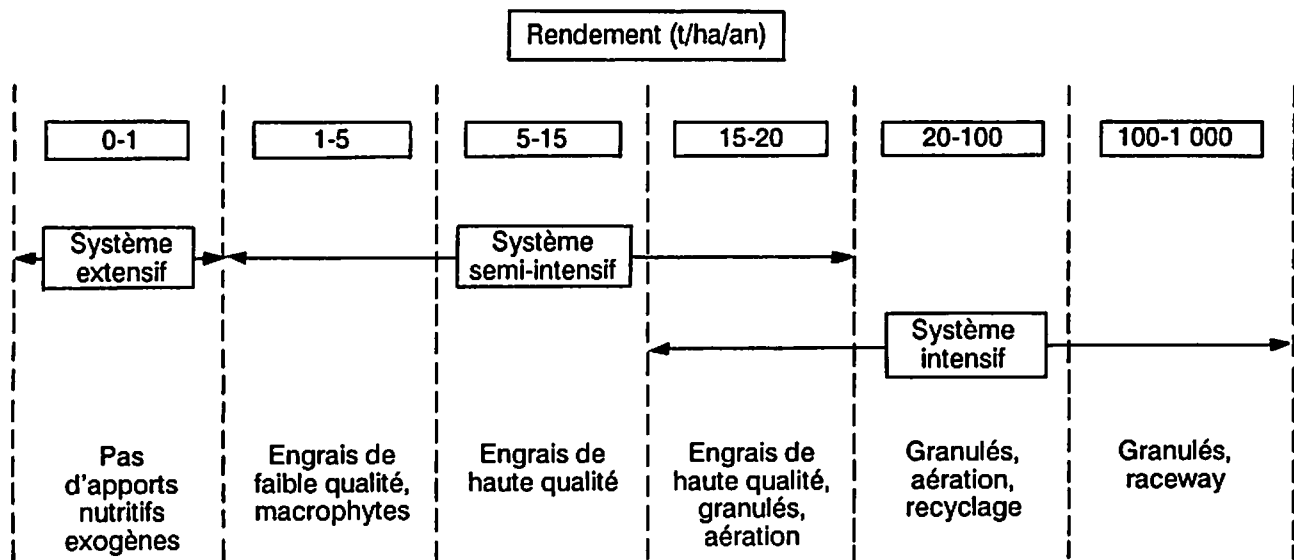


Fig. 6. Intensification des systèmes aquacoles.

1) 0-1 t/ha/an correspond à des systèmes intensifs ne recevant pas d'éléments nutritifs exogènes ;

2) 1-5 t/ha/an correspondent à des systèmes semi-intensifs où sont ajoutés des aliments complémentaires comme des macrophytes et/ou du fumier de qualité inférieure ;

3) 5-15 t/ha/an correspondent à des systèmes semi-intensifs où les étangs reçoivent du fumier de qualité supérieure ;

4) 15-20 t/ha/an correspondent à des systèmes semi-intensifs où les étangs reçoivent du fumier de qualité supérieure et où les poissons sont nourris avec des aliments sous forme de granulés. Le système d'aération est similaire à celui des systèmes intensifs ;

5) 20-100 t/ha/an correspondent à des systèmes intensifs où les poissons sont nourris avec des aliments sous forme de granulés et où il y a une bonne aération et circulation de l'eau ;

6) 100-1 000 t/ha/an correspondent à des systèmes intensifs où les poissons sont nourris avec des aliments sous forme de granulés et où les étangs ou raceways* sont alimentés par de l'eau courante.

* Bien que « Raceway » puisse se traduire en français par « bassin long », le terme anglais est souvent conservé dans la littérature française pour vraisemblablement une question de précision. NdT.

Les plus hauts rendements obtenus jusqu'à ce jour dans les systèmes d'exploitation intégrant l'élevage et la pisciculture, où le seul facteur est un fumier de haute qualité (canards ou porcs) sont de l'ordre de 10 à 12 t/ha/an, que ce soit dans le cadre de petits systèmes expérimentaux ou de grandes opérations commerciales (Oláh, 1986 ; Wohlfarth et Hulata, 1987). Ces résultats sont impressionnants mais le système reste tout de même une « boîte noire » dans la mesure où l'on connaît encore très mal la dynamique des étangs, c'est-à-dire, les bases biologiques et chimiques de la production.

Il serait par conséquent intéressant de poursuivre la recherche fondamentale en prenant comme référence un système d'exploitation intégrant l'élevage et la pisciculture où le seul facteur serait un fumier de haute qualité, pour ainsi mieux comprendre le fonctionnement du système. Les éléments que l'on pourrait tirer de telles études pourraient être utilisés dans des expérimentations visant à augmenter le rendement des systèmes d'exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture où les intrants sont de moindre qualité : fumier de faible valeur, macrophytes.

Interactions au sein des systèmes d'exploitation à intégration triple agriculture/élevage/pisciculture

Les interactions possibles entre les divers sous-systèmes (agriculture, élevage et pisciculture) au sein d'un système d'exploitation intégrée sont représentées sur la figure 7.

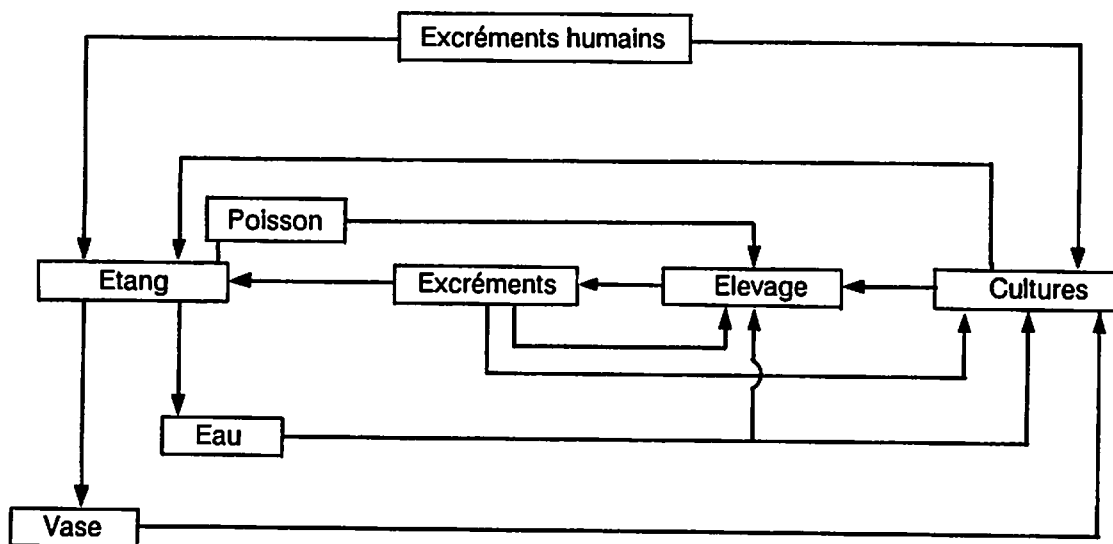


Fig. 7. Schéma des interactions possibles au sein d'une exploitation entre les divers sous-systèmes (Agriculture, élevage et pisciculture) dans le cadre d'un système d'exploitation intégrée.

Ce schéma exclut toutefois les produits des divers sous-systèmes, indiquant purement les relations existant à même l'exploitation. La rizi-pisciculture est bien implantée dans certains pays asiatiques (de la Cruz et coll., sous presse) où son exploitation prend diverses formes [tranchées aménagées le long des rizières, étangs construits en plein champ (Planches 1 et 2)]. Le fumier et les excréments humains, peuvent servir d'engrais pour la pisciculture ou pour l'agriculture ; voire être incorporés dans les rations alimentaires des



Planche 1. Tranchée au pourtour d'une rizière dans le cadre d'une rizi-pisciculture aux Philippines. Du taro aquatique (*Colocasia esculenta*) est également cultivé au bord de la tranchée.



Planche 2. Etang aménagé à même le champ de riz dans une région pluviale du nord-est de la Thaïlande. L'eau de l'étang sert également à irriguer les cultures végétales poussant sur le talus.



Planche 3. Cultures végétales de saison sèche sur les bords d'un étang dans le nord-est de la Thaïlande.

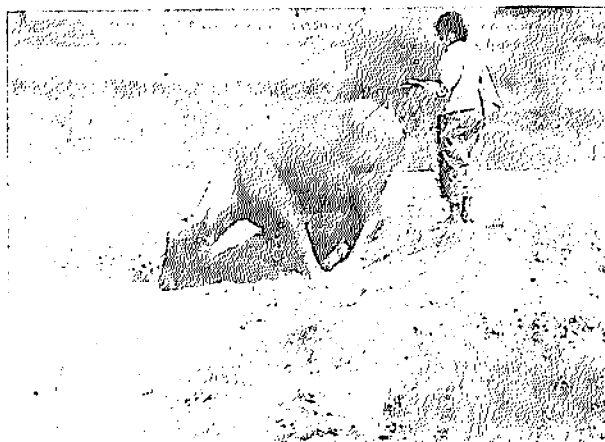


Planche de couverture. Petite exploitation intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture dans une région pluviale du nord-est de la Thaïlande. Cette ferme rizicole possède un petit étang permettant d'élever du poisson, de cultiver des légumes de saison sèche sur les talus et d'abreuver le bétail.

animaux. Les produits agricoles, à leur tour, peuvent être donnés aux bêtes ou aux poissons comme aliments complémentaires. L'eau des étangs peut, elle aussi, servir à arroser les cultures (Planche 3) ou à abreuver les animaux (Planche de couverture). La vase que l'on enlève des étangs peut également servir à fertiliser les champs de cultures. D'autre part, les poissons trop petits pour être vendus peuvent être utilisés comme ingrédients riches en protéines dans l'alimentation pour animaux ou pour poissons. Ces concepts d'intégration sont essentiellement d'origine chinoise et les nombreuses relations créées au sein de ces systèmes sont davantage le fruit de l'expérience des éleveurs/agriculteurs que d'analyses scientifiques rigoureuses.

Techniques piscicoles inspirées des écosystèmes aquatiques naturels

Trois systèmes de pisciculture sont inspirés des écosystèmes aquatiques naturels. Il s'agit :

1. Des systèmes reposant sur une alimentation végétale où les poissons se nourrissent de plantes terrestres et/ou de macrophytes aquatiques (Planches 4a, 4b, 4c) ; de grosses quantités d'excréments sont produites par le processus digestif inefficace des poissons herbivores macrophytophages (Edwards, 1987). Ces déjections fertilisent alors les étangs qui produisent des aliments naturels pour les poissons filtreurs planctonophages/détritivores (Planche 4d) et pour les poissons benthiques



Planche 4a. Végétaux terrestres (feuilles de potiron) que l'on hache avant de les donner aux poissons (nord-est de la Thaïlande).

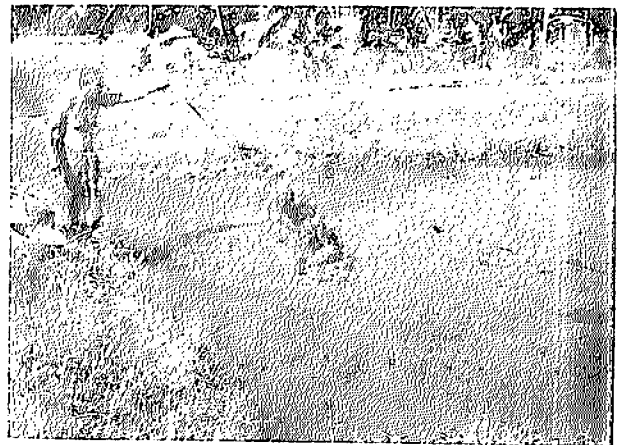


Planche 4b. Macrophytes aquatiques (lentille d'eau) donnés aux poissons (centre de la Thaïlande).



Planche 4c. Carpe herbivore (*Ctenopharygedon idella*) nourrie aux macrophytes dans un étang au centre de la Thaïlande.



Planche 4d. Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) nourri aux macrophytes dans un étang au centre de la Thaïlande.

carnivores/détritivores. Les macrophytes aquatiques qui poussent dans les étangs ne font en fait pas partie du système car si celui-ci est bien géré et reçoit des intrants adéquats pour permettre la bonne croissance des poissons, ces organismes sont alors supplantés par le phytoplancton.

Choix des espèces

Les trente-et-une espèces énumérées au tableau 1 ci-contre sont des candidats potentiels pour les systèmes d'exploitation intégrant l'aquaculture tropicale. Toutes, à l'exception des tilapias, sont originaires d'Asie. La liste des poissons prédateurs pourrait être étendue à certaines espèces africaines mais ils présentent beaucoup moins d'intérêt pour les exploitations intégrées que les poissons des niches trophiques planctonophages, herbivores et détritivores. Ces poissons ont toutefois servi au contrôle du recrutement des tilapias mais ce rôle ira certainement en s'effaçant avec l'introduction de l'élevage du tilapia monosexé. Soixante cinq pour-cent des poissons figurant à ce tableau sont originaires de régions tropicales ; les 35% restants proviennent de régions subtropicales et chaudes-tempérées mais ils donnent de bonnes croissances sous les tropiques.

La polyculture, élevage de plus d'une espèce de poissons dans un même étang, a souvent été considérée plus productive que l'élevage séparé d'espèces individuelles (monoculture). La polyculture se justifie par le fait que les poissons occupent des niches trophiques et spatiales distinctes et que toute population bien équilibrée, comprenant diverses espèces complémentaires, peut occuper toutes les niches de l'étang. Toutefois, et de façon surprenante, il existe très peu d'expérimentations venant étayer ce concept à l'exception de l'introduction de poissons planctonophages dans la monoculture européenne traditionnelle de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) qui se nourrit de benthos (Opuszynski, 1981 ; Yashouv, 1971). En fait, les niches trophiques des poissons se confondent bien plus qu'on ne le souhaiterait et l'on doit encore évaluer le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), qui occupe une niche polyvalente, dans le cadre de la polyculture dans les mêmes conditions expérimentales. *O. niloticus* est extrêmement opportuniste dans son alimentation. En effet, selon une étude menée au Soudan (Hickley et Bailey, 1987) cette espèce consomme le phytoplancton de la colonne d'eau, le périphyton et les fines particules de matières organiques des plantes et autres surfaces, et les détritiques organiques reposant au fond des étangs.

Les poissons du tableau 1 sont classés selon les critères trophiques et spatial des niches qu'ils occupent, et selon l'importance de ces éléments qui doivent par ailleurs être déterminés d'après le régime de fertilisation et d'alimentation. L'indice de compétition (C) de Reich (1975) pourrait être utilisé pour quantifier les performances des diverses espèces élevées en polyculture :

$$C = (A - B)/A \times 100\%$$

où A représente la productivité d'une espèce donnée élevée en monoculture ;

et B, la productivité de la même espèce élevée en polyculture avec une deuxième espèce.

Si $B < A$ et si C est positif, les deux espèces sont en compétition.

Si $B > A$ et si C est négatif, la présence de la seconde espèce accroît le rendement de la première, il y a synergie.

Les possibilités de systèmes de polyculture sont presque infinies si l'on considère le grand nombre des espèces potentielles du tableau 1. Il existe 11 combinaisons à deux espèces élevées en monoculture et polyculture, avec un rapport de 1, 2, 3 et 4 (Tableau 2).

Une polyculture à deux espèces associant des poissons planctonophages et détritivores de la colonne d'eau et des poissons carnivores et détritivores benthiques pourrait convenir au système d'élevage à base de fumier. Il existe 91 combinaisons à trois

Tableau 1. Classement des espèces candidates pour les systèmes intégrant l'agriculture, l'élevage et la pisciculture selon l'importance (**) de l'élément trophique des niches qu'elles occupent. Les éléments trophiques de moindre importance (*) et les éléments spatiaux des niches (+) sont également indiqués.

Espèce	Familie	Élément trophique de la niche					Élément spatial de la niche		
		Filtreur		Macro-particule			Surface	Fond	Colonne
		Phyto-plancton	Zoo-plancton	Macro-phyte	Detritus/in-vertébrés	Prédateurs			
<i>Helostoma temmincki</i>	Anabantidés	**	*						
<i>Trichogaster pectoralis</i>	"	**	*						
<i>Chanos chanos</i>	Clupeidés	**							
<i>Oreochromis aureus</i>	Cichlidés	**	*		*			+	
<i>O. mossambicus</i>	"	**	*		*			+	
<i>O. niloticus</i>	"	**	*		*			+	
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Cyprinidés	**	*				+		
<i>Labeo rohita</i>	"	**	*					+	
<i>Osteochilus hasseltii</i>	"	**	*						
<i>Aristichthys nobilis</i>	Cyprinidés	*	**				+		
<i>Carassius carassius</i>	"	*	**						
<i>Catla catla</i>	"	*	**				+		
<i>Osphronemus goramy</i>	Anabantidés			**					
<i>Tilapia rendalli</i>	Cichlidés			**					
<i>T. zillii</i>	"			**					
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Cyprinidés			**				+	
<i>Megalobrama amblycephala</i>	"			**					
<i>Parabramis pekinensis</i>	"			**					
<i>Puntius gonionotus</i>	"	*		**					
<i>Cirrhinus molitorella</i>	Cyprinidés				**			+	
<i>Cirrhinus mrigala</i>	"				**			+	
<i>Cyprinus carpio</i>	"		*		**			+	
<i>Mylopharyngodon piceus</i>	"				**			+	
<i>Mugil cephalus</i>	Mugillidés				**			+	
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Palémonidés				**			+	
<i>Pangasius pangasius</i>	Schibeidés				**			+	
<i>Channa striata</i>	Chanidés					**			
<i>Clarias branchius</i>	Claridés					**			
<i>C. macrocephalus</i>	"					**			
<i>Lateolabrax japonicus</i>	Serranidés					**			
<i>Lates calcarifer</i>	"					**			

espèces dans la monoculture et polyculture de deux espèces, et dans la polyculture de trois espèces, avec un rapport de 1, 2, 3 et 4 (Tableau 3). Une polyculture à trois espèces associant un poisson herbivore macrophytophage, un poisson planctonophage et détritivore de la colonne d'eau, et un poisson carnivore détritivore benthique peut convenir dans un système à base de macrophytes ou de macrophytes et de fumier. Deux espèces seraient nécessaires pour les systèmes alimentés uniquement par du fumier.

Tableau 2. Nombre de combinaisons à deux espèces en monoculture et polyculture dans un rapport de 4.

Nombre d'espèces (rapport des espèces)	Rapport des espèces	
	Espèce 1	Espèce 2
(a) Monoculture		
(2 combinaisons)	1	-
	-	1
(b) Polyculture		
(11 combinaisons)		
2(1:1)	1	1
2(2:1)	2	1
	1	2
2(3:1)	3	1
	1	3
2(3:2)	3	2
	2	3
2(4:1)	4	1
	1	4
2(4:3)	4	3
	3	4

Comme la polyculture à plus de trois espèces augmente considérablement le nombre des combinaisons possibles, un effort conséquent de recherche, un grand nombre d'étangs expérimentaux, un personnel et des équipements importants seraient nécessaires, ne fut-ce pour évaluer un nombre limité d'espèces. La polyculture d'au moins six espèces est fréquente en Chine et en Inde (Lin, 1982 ; Tripathi et Ranadhir, 1982) mais les données scientifiques pouvant justifier l'utilisation d'un aussi grand nombre d'espèces font grandement défaut.

Les travaux de recherches devraient en fait tout d'abord se concentrer sur la polyculture de deux espèces pour les systèmes reposant sur l'épandage de fumier, et de trois espèces pour les systèmes où les macrophytes servent d'aliments complémentaires, et tenir compte d'autre part du marché pour ces espèces. Le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), poisson omnivore, planctonophage et détritivore, et la carpe commune (*Cyprinus carpio*), poisson benthique omnivore, sont tous deux de bons candidats pour les systèmes à base de fumier et à base de macrophytes, en ajoutant un poisson se nourrissant de macrophytes pour ce dernier type de système tel que *Ctenopharyngodon idella*, *Puntius gonionotus* et *Tilapia rendalli* selon les circonstances.

Tableau 3. Nombre de combinaisons à trois espèces, (a) en monoculture, (b) en polyculture de deux espèces et (c) en polyculture de trois espèces, dans un rapport de 4.

(a) Monoculture (3 combinaisons)				(c) Polyculture à 3 espèces (55 combinaisons)								
Nombre d'espèces (rapport espèces)	Rapport des espèces Espèces			Nombre d'espèces (rapport espèces)	Rapport des espèces Espèces			Nombre d'espèces (rapport espèces)	Rapport des espèces Espèces			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
1(1:0)	1	-	-	3(1:1:1) 3(2:1:1)	1	1	1	3(4:3:2)	4	3	2	
	-	1	-		2	1	1		4	2	3	
	-	-	1		1	2	1		3	4	2	
(b) Polyculture à 2 espèces (33 combinaisons)				3(3:1:1)	1	1	2	3(4:3:3)	3	2	4	
					3	1	2		2	4	3	
					1	3	1		2	3	4	
2(1:1)	1	1	-	3(4:1:1)	4	1	1	3(4:3:3)	4	3	3	
	1	-	1		1	4	1		3	4	3	
	-	1	1		1	1	4		4	4	3	
2(2:1)	2	1	-	3(2:2:1)	2	2	1	3(4:4:3)	4	4	3	
	2	-	1		2	1	2		3	4	4	
	-	2	1		1	2	2		4	3	4	
2(3:1)	1	2	-	3(3:3:1)	3	3	1	3(4:4:1)	4	4	1	
	1	-	2		3	1	3		1	4	4	
	-	1	2		1	3	3		4	1	4	
2(3:2)	3	1	-	3(3:3:2)	3	3	2	3(4:4:1)	4	4	1	
	3	-	1		3	2	3		1	4	4	
	1	3	-		2	3	3		4	1	4	
2(3:2)	1	-	3	3(3:2:1)	3	2	1	3(4:4:1)	4	4	1	
	-	3	1		3	1	2		1	4	4	
	-	1	3		2	3	1		3	1	4	
2(4:1)	3	2	-	3(3:2:2)	2	1	3	3(4:4:1)	4	4	1	
	3	-	2		1	3	2		1	4	4	
	2	3	-		1	2	3		1	4	4	
2(4:1)	2	-	3	3(4:2:1)	3	2	2	3(4:4:1)	4	4	1	
	-	3	2		2	3	2		1	4	4	
	-	2	3		2	2	3		1	4	4	
2(4:3)	4	1	-	3(4:3:1)	4	2	1	3(4:4:1)	4	4	1	
	4	-	1		4	1	2		1	4	4	
	1	4	-		2	4	1		4	1	4	
2(4:3)	1	-	4	3(4:3:1)	2	1	4	3(4:4:1)	4	4	1	
	-	4	1		1	4	2		1	4	4	
	-	1	4		1	2	4		1	4	4	
2(4:3)	4	3	-	3(4:3:1)	4	3	1	3(4:4:1)	4	4	1	
	4	-	3		4	1	3		1	4	4	
	3	4	-		3	4	1		4	1	4	
2(4:3)	3	-	4	3(4:3:1)	3	1	4	3(4:4:1)	4	4	1	
	-	3	4		1	4	3		1	4	4	
	-	4	3		1	3	4		1	4	4	

Dynamique des étangs

L'objectif, dans un étang auquel on a ajouté du fumier, est de fertiliser l'eau pour produire suffisamment d'aliments naturels pour les poissons. On doit toutefois veiller à ce que le plancton ne soit pas en surabondance, particulièrement le phytoplancton, car il constituerait un environnement défavorable, pouvant ainsi nuire à la croissance des poissons ou à leur survie. Les chaînes alimentaires autotrophe et hétérotrophe composées de phytoplancton, de zooplancton et de bactérioplancton, ainsi que d'invertébrés benthiques et de bactéries se trouvant dans les sédiments, se constituent simultanément

dans un étang fertilisé ; mais le degré d'absorption par les poissons de ces divers composants alimentaires naturels dépend toutefois largement des niches trophiques et spatiales qu'ils occupent (Colman et Edwards, 1987).

Il convient non seulement de déterminer la biomasse des divers types d'aliments naturels, mais aussi leurs productivités, afin que leur contribution relative à la nutrition des poissons puisse être évaluée. Idéalement, il conviendrait d'isoler les différents composants alimentaires pour évaluer leur valeur nutritive mais ceci s'avère difficile dans la pratique. Le niveau optimal de photosynthèse réalisée dans les étangs tropicaux est de $4 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$ (8 g de biomasse/ m^2/jour) ou l'équivalent de 30 t (poids sec) de phytoplancton/ha/an (Colman et Edwards, 1987). Si l'on considère un coefficient de conversion alimentaire $QN = 2:1$ (phytoplancton sec/poisson frais), la production optimale de poissons serait de l'ordre de 15 t/ha/an (30 kg/ha/jour), ce qui se rapproche des rendements enregistrés dans les étangs auxquels on a ajouté du fumier de haute qualité. Des recherches sont toutefois nécessaires pour évaluer la croissance des poissons se nourrissant de divers types de phytoplancton car il semble que les Cyanophycées soient plus digestibles (notamment par les tilapias) que les Chlorophycées (Colman et Edwards, 1987). Il faudrait par ailleurs poursuivre les recherches sur les méthodes d'introduction et de développement des blooms de Cyanophycées, l'ensemencement étant l'une des méthodes possibles, et davantage examiner les phénomènes de compétition parmi les différents types d'algues dans les étangs d'élevage. On reconnaît volontiers que le zooplancton est un aliment naturel important, particulièrement pour les alevins ; de même, les bactéries associées au mucus sécrété par les tilapias et les carpes argentées peuvent constituer une source nutritive non négligeable. La recherche doit être cependant poursuivie sur les chaînes alimentaires dans les étangs fertilisés et sur les mécanismes par lesquels les poissons filtrent et digèrent le plancton et les diverses particules.

La dynamique des nutriments dans les étangs, particulièrement concernant C, N, et P doit être élucidée. En effet, le maintien du niveau de photosynthèse à $4 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$, dans un étang de 1 m de profondeur, exigerait un apport minimal quotidien de 4 ; $0,8$ et $0,08 \text{ g}$ de C, N et P/ m^2/jour respectivement, en supposant que le rapport C:N:P des cellules de phytoplancton dans un étang où la lumière pénètre peu et où les nutriments sont en excès, soit de $50:10:1$ en poids (Goldman, 1979), et en supposant 100% d'efficacité de transfert et aucun recyclage de nutriment à l'intérieur du système. Ces deux dernières suppositions sont évidemment incorrectes mais leurs effets tendent à s'annuler réciproquement. Une meilleure connaissance de la dynamique des éléments nutritifs dans l'écosystème de l'étang permettrait de prendre des décisions rationnelles concernant la quantité et la fréquence des apports des éléments nutritifs, et permettrait également de savoir si ces apports devraient être constants, augmentés, ou diminués au cours du cycle de croissance des poissons.

Dans les étangs fertilisés, la qualité de l'eau, particulièrement l'oxygène dissous, est un facteur important à considérer. On enregistre en effet de grandes fluctuations diurnes de l' O_2 dissous dans ces étangs, dues largement à la présence de phytoplancton (Fig. 9). Toutefois, l' O_2 dissous n'est pas à l'aube que si le phytoplancton ne se développe pas car, sur une base nyctémérale, ces organismes produisent plus d' O_2 dissous qu'ils n'en utilisent en respirant, si la photosynthèse nette est positive (Colman et Edwards, 1987). Des expérimentations sur la tolérance à de faibles niveaux d' O_2 dissous de diverses espèces de poissons devraient être réalisées dans des régimes d' O_2 dissous fluctuant le jour, par opposition à des régimes constants. Ces expérimentations peuvent être conduites en laboratoire dans des bassins d'eau claire, mais une évaluation plus correcte doit être réalisée sur le terrain dans des systèmes où le phytoplancton fait fluctuer l' O_2 dissous. Les effets sub-létaux chroniques d'un faible niveau d' O_2 dissous, pouvant mener à une réduction de la croissance des poissons sur de longues périodes, devraient être étudiés en plus des effets létaux à court terme.

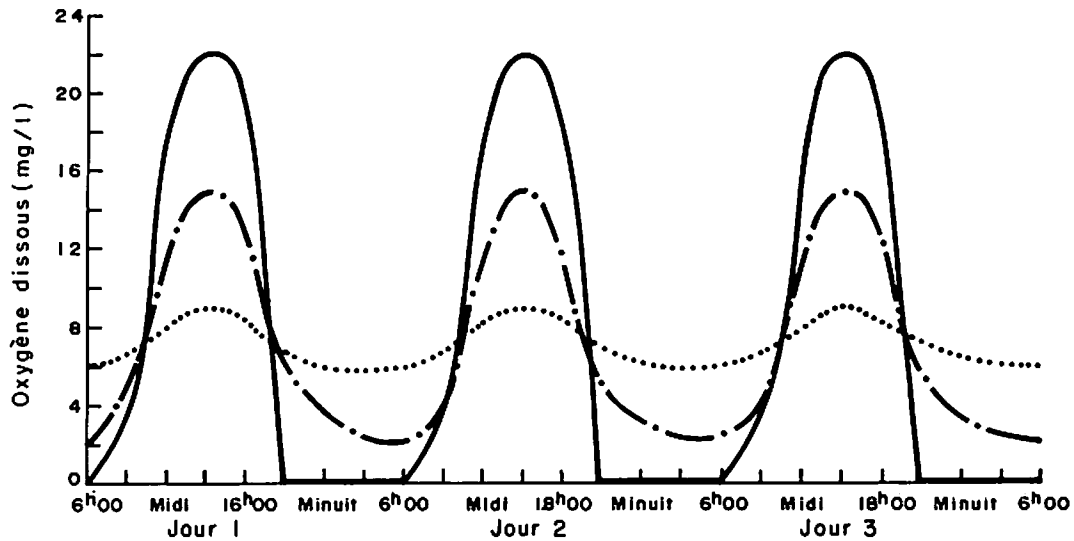


Fig. 9. Fluctuations diurnes de l'oxygène dissous (mg/l) dans des eaux non fertiles (ligne pointillée), fertiles (line pointillée et hachurée) et hyper fertiles (ligne continue) sous les tropiques.

Si les produits toxiques de la dégradation des matières organiques, particulièrement l'ammoniaque, le nitrite et l'hydrogène sulfuré ne posent peut-être pas de problème dans un étang où les fumures sont régulières, l'apport important de matières organiques résultant d'une fumure trop importante ou de la dégradation des blooms algaux peut entraîner de fortes mortalités chez les poissons.

Facteurs nutritifs

La qualité d'un intrant s'apprécie essentiellement dans son rapport C:N. Ceci s'applique tant aux aliments qu'au fumier car il existe une corrélation importante entre la teneur en azote des aliments et l'efficacité de leur d'absorption par les poissons (Pandian et Marian, 1985). La calorimétrie pourrait fournir un référentiel applicable aux facteurs de rendement et à la production même, afin que des données significatives et comparables de productivité puissent être obtenues pour une grande variété d'intrants. Toutefois, la valeur nutritive doit être considérée autant que la valeur énergétique. Le carbone est l'élément nutritif le plus important dans les systèmes biologiques du point de vue de la quantité incorporée dans les organismes, mais la volatilité de l'azote fait de lui l'élément limitant. Les rapports C:N sont au moins deux fois moins élevés dans les intrants de haute qualité que dans les intrants de qualité médiocre.

Il existe une relation bien connue entre les rendements en poissons et les divers types d'éléments nutritifs (Hepher, 1978 ; Van der Lingen, 1959) (Fig. 10). En effet, les rendements piscicoles augmentent à mesure de l'augmentation des éléments nutritifs dans les étangs. Or, pour tirer pleinement profit de l'enrichissement nutritif, il est nécessaire d'accroître la densité des poissons dans l'étang. A cet égard, il faudrait réaliser des

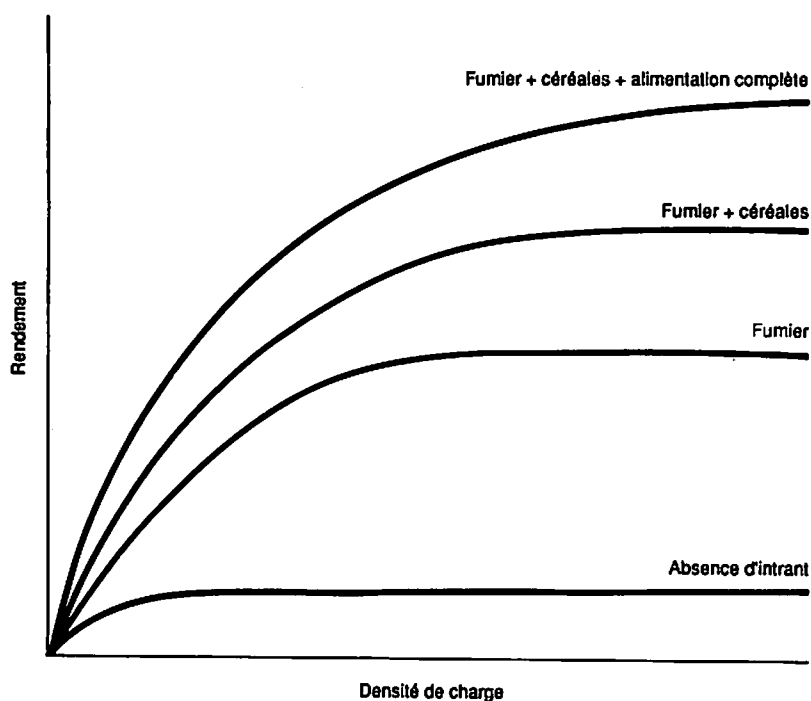


Fig. 10. Relation entre la densité de charge des poissons et les rendements en fonction des divers types d'intrants nutritifs. Adapté de Van der Lingen (1959).

expérimentations à différentes densités de mise en charge, qui d'après les données disponibles, pourraient être de l'ordre de 0,1 ; 0,5 ; 1 ; 3 et 5 poissons/m².

Des rendements élevés ont été observés dans des étangs fertilisés avec du fumier d'animaux mis à l'embouche. Aux Philippines, Hopkins et Cruz (1982) ont obtenu, par extrapolation, des rendements nets allant jusqu'à 10 t/ha/an dans des étangs de 400- et 1 000-m² fertilisés avec du lisier de porcs et des fientes de poules, *sans emploi d'engrais minéraux ou d'aliments complémentaires*. Des rendements similaires ont été obtenus à l'Institut asiatique de technologie (AIT) à Bangkok, et dans des villages (Planche 6) du centre et du nord-est de la Thaïlande avec du fumier de canards comme unique intrant (Edwards, 1983). Dans un de ces villages, un rendement moyen net annuel de 175 kg de poissons a été obtenu dans un étang de 200-m² fertilisé avec le fumier de 27 canards. On a estimé que cette production pouvait fournir la quasi-totalité des protéines animales nécessaires annuellement pour une famille de 5 personnes.

Les effets des divers types d'engrais organiques sur la production de poissons ne sont toutefois pas encore bien établis. Par exemple, et en particulier, on ne connaît pas bien la raison pour laquelle le fumier d'animaux engraisés donne des rendements plus élevés que le fumier d'animaux de pâture. Bien que l'étude de l'AIT ait révélé un niveau d'O₂ dissous à l'aube approchant le zéro dans les étangs fertilisés avec du fumier de canards, les concentrations d'O₂ dissous au cours de l'après midi étaient doubles du niveau de saturation, en raison de l'activité photosynthétique du phytoplancton. Selon une certaine hypothèse, les rendements en poissons sont directement proportionnels à la teneur en azote du fumier et on peut parvenir à des rendements similaires à ceux obtenus dans les étangs fertilisés avec du fumier de canards en utilisant du fumier de buffles pour apporter la même quantité totale d'azote (Edwards, 1983). Toutefois, les expérimentations ultérieures ont donné des rendements bien moins élevés dans les étangs fertilisés avec du fumier de buffles que dans les étangs fertilisés avec du fumier de canards (AIT, 1986). Par ailleurs, une

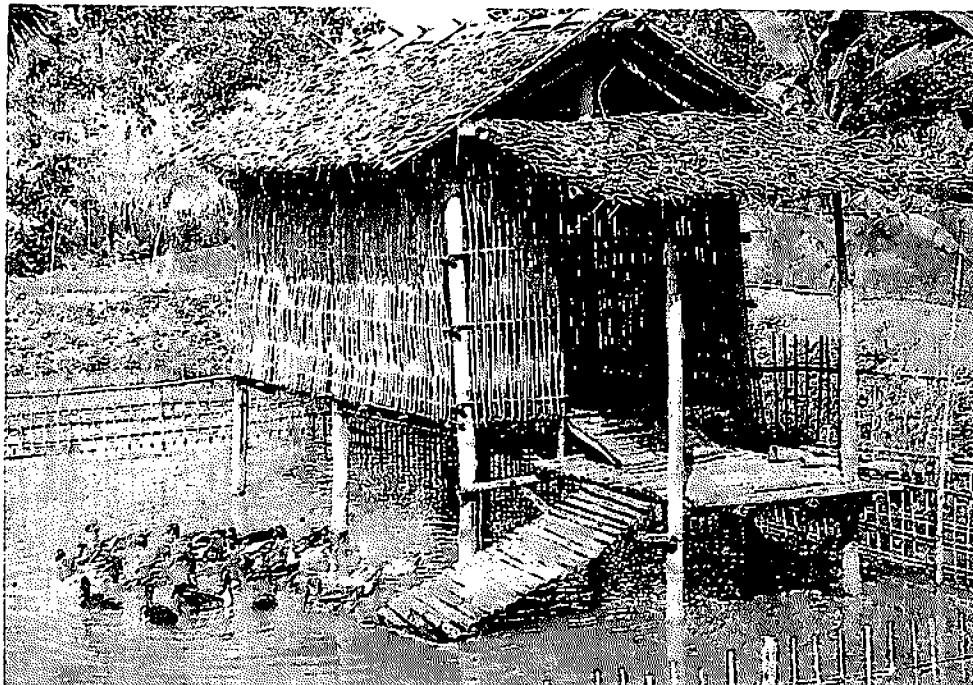


Planche 6. Expérimentation sur le terrain (AIT) intégrant les canards et les poissons dans un village du centre de la Thaïlande.

plus grande quantité de fumier sec de buffles a été utilisée pour assurer une teneur en azote similaire à celle obtenue avec du fumier de canards, ce qui a entraîné des effets négatifs au niveau de l'O₂ dissous. En effet, la plus grosse demande en oxygène provenait en fait du fumier de buffles et non de la respiration nocturne du phytoplancton. La situation est tout à fait différente dans les étangs fertilisés avec du fumier de canards de haute qualité.

Il est particulièrement important d'examiner la faisabilité technique et la viabilité économique de l'emploi d'engrais minéraux complémentaires pour transformer le fumier des animaux pâturants, d'un fumier de « basse qualité » à un fumier de « haute qualité », dans le but d'augmenter les rendements en poissons. Des expérimentations préliminaires réalisées à l'AIT ont révélé que l'emploi d'engrais minéraux en complément du fumier de buffles entraînait une augmentation significative des rendements piscicoles dans les étangs fertilisés avec du fumier de buffles, assurant par conséquent des marges brutes confortables compte tenu du coût des engrais commerciaux par rapport au prix de vente du poisson à la ferme (AIT, résultats non publiés).

Des sous-produits comme les issues de céréales (Planches 7a et 7b) et les tourteaux d'oléagineux sont des aliments complémentaires de bonne qualité. Toutefois, la recherche doit être poursuivie pour améliorer la valeur nutritive des aliments de moindre qualité, comme les déchets agricoles et la paille. Il existe trois approches au recyclage des sous-produits de médiocre qualité (rapport C:N élevé) :

1. Compostage aérobie au bord de l'étang ;
2. Recyclage aérobie en épandant des aliments hachés à la surface pour qu'ils soient directement absorbés par les poissons, ou pour qu'ils subissent une décomposition aérobie ; et
3. Compostage anaérobie *in situ* en accumulant les matières dans l'étang.

La deuxième stratégie est probablement la plus efficace - compostage aérobie ou décomposition dans l'étang même - car les pertes en nutriments sont certainement moindres par cette méthode que par la méthode du compostage aérobie au bord de l'étang. Ces trois stratégies doivent toutefois être étudiées davantage.



Planche 7a. Son de maïs utilisé comme aliment complémentaire pour les poissons au Malawi.



Planche 7b. Nourrissage à la balle de riz à Laguna, Philippines.

Le pré-conditionnement microbien des matières végétales par le compostage aérobie au bord de l'étang entraîne une diminution du rapport C:N, car C est perdu et N est conservé. Toutefois, N devient chaque fois plus réfractaire à mesure que la décomposition s'effectue. Il reste piégé dans des composés qui ne se décomposent pas facilement (Pullin, 1987). Des expérimentations à court terme devraient être réalisées sur une période réduite de maturation du compost (journées plutôt que mois) pour correspondre au maximum thermique de celui-ci. C'est également à ce moment-là que la biomasse microbienne devrait atteindre son plus haut niveau.

Il faudrait comparer l'efficacité de conversion des déchets agricoles en produits agricoles des systèmes agro-pastoraux où l'on utilise le fumier comme engrais agricole, et des systèmes agro-pastoro-piscicoles où le fumier sert à fertiliser l'étang. Une analogie, douteuse au demeurant (voir la partie des discussions dans Moriarty et Pullin, 1987), a été établie entre le rumen et l'étang : des intrants de moindre qualité se transformeraient, dans les deux milieux, en aliments naturels microbiens de meilleure qualité pour les animaux cibles (Schroeder, 1980). De plus, il est peut-être plus efficace du point de vue biologique

et économique de transformer des végétaux de moindre qualité et des déchets agricoles (à l'aide de pré-traitements pour améliorer leur digestibilité) pour nourrir les ruminants qui produiront ensuite du fumier que l'on épandra dans les étangs, que d'utiliser ces matières directement (avec ou sans pré-traitement ou supplémentation) comme facteurs de production.

Les effets comparés de la végétation, tant terrestre qu'aquatique, comme alimentation directe des poissons herbivores et comme engrais (pour produire des aliments naturels) après digestion incomplète par ceux-ci, doivent être évalués. La valeur nutritive des macrophytes aquatiques absorbés directement pourrait être considérablement améliorée si leur teneur en eau était réduite.

Les aliments complets, produits des agro-industries, se présentent généralement sous forme séchée et de granulés. La recherche devrait se pencher sur la fabrication à même la ferme et à faible coût d'aliments humides ou secs en granulés, en utilisant des matières premières et des méthodes de stockage alimentaire bon marché. Un problème important reste la substitution de la farine de poisson, source principale de protéines dans l'alimentation commerciale. Les sources de protéines végétales comme le soja ne peuvent remplacer qu'un faible pourcentage de la farine de poisson. En revanche, les poissons récoltés dans les étangs ou dans les rizières, et trop petits pour être vendus, peuvent très bien remplir cette fonction. Les possibilités d'emploi d'autres sources de protéines animales comme les escargots ou les vers du type Tubifex dans une alimentation granulée non conventionnelle doivent être étudiées. Un étang correctement fertilisé produit en abondance des aliments naturels riches en protéines, le complément alimentaire pouvant être assuré par des granulés riches en énergie, peu coûteux. Toutefois, ces régimes doivent contenir des appétents pour être acceptés par les poissons (Mackie, 1982). A ce titre, la bêtaïne, les acides aminés, les substances proches des acides aminés, et l'inosine et ses dérivés ont été reconnus comme appétents pour les poissons téléostéens (Carr, 1982). Des recherches sont toutefois nécessaires pour identifier des appétents peu onéreux, particulièrement ceux que l'on peut trouver à même la ferme. Des études sont également nécessaires pour mettre au point des méthodes peu coûteuses de stockage des aliments granulés à même la ferme.

Caractéristiques physiques de l'étang

Les rendements en poissons peuvent varier en fonction de la taille de l'étang, sans tenir compte de l'apport d'engrais et d'aliments par unité de superficie. La qualité de l'eau peut être supérieure dans un étang plus grand en raison des effets plus importants des vents à la surface. Le mouvement de l'eau induit par le vent est un facteur important dans la circulation de l'eau dans les étangs d'eau stagnante. Toutefois, les grands étangs ont proportionnellement moins de bords et de zones « littorales » (probablement l'endroit le plus fertile de l'étang) que les étangs plus petits, ce qui peut avoir des effets négatifs sur les rendements en poissons. Des recherches sont nécessaires pour déterminer la taille optimale des étangs dans différents systèmes, allant de pair avec l'adoption d'un système de gestion adéquat.

Sous les tropiques, bien que la profondeur optimale des étangs n'ait pas encore été déterminée, elle est en général de 0,8 à 1,5 m, et de 2 à 3 m dans les étangs chinois. On pourrait déterminer les effets de la profondeur des étangs sur la production de poissons en calculant les intrants par rapport au volume et à la superficie des étangs aussi bien profonds que peu profonds. Une expérimentation de type factoriel tenant compte de la densité de mise en charge devrait être mise en place dans le cadre de ces études. Il est possible que la profondeur d'un étang fertilisé ne fasse pas varier les rendements. En effet, la productivité

des organismes alimentaires naturels est fonction non seulement des éléments nutritifs contenus dans les intrants mais également de la radiation solaire à la surface, qui est indépendante de la profondeur. Toutefois, les étangs profonds peuvent donner des rendements plus importants que les étangs peu profonds si l'on y ajoute de grosses quantités d'aliments complémentaires. De plus, les étangs profonds peuvent être nécessaires dans les régions où il existe une saison des pluies pour stocker l'eau, permettant l'élevage pendant la saison sèche.

Sédiments des étangs

Le rôle que jouent les sédiments des étangs d'élevage dans la production de poissons est une question fort controversée. En effet, il se peut que la colonne d'eau joue le rôle principal dans la productivité d'un étang fertilisé, car elle ajoute une troisième dimension par rapport à l'interface bi-dimensionnelle sédiment/eau, et c'est précisément dans ce milieu que se trouve la totalité du phytoplancton. Toutefois, la productivité bactérienne devrait être plus importante au niveau de l'interface sédiment/eau en raison de la décomposition de matières organiques sédimentées (Fig. 11). De ce fait, la couche sédimentaire pourrait être un site plus important de régénération d'éléments nutritifs que la colonne d'eau. Bien qu'il soit difficile de séparer les chaînes alimentaires autotrophe et hétérotrophe dans un étang fortement fertilisé, des expérimentations devraient être réalisées dans les étangs où les sédiments sont physiquement séparés de la colonne d'eau, et on devrait déterminer les effets « bioperturbateurs » sur les rendements des diverses densités de poissons se nourrissant de benthos. De même, les perturbations mécaniques ou « brassage » des sédiments méritent d'être étudiées. Dans les étangs où les sédiments étaient régulièrement brassés, de sorte que les débris sédimentés et bactéries associées étaient remis en suspension dans la colonne d'eau fortement aérobie, on a enregistré un taux de fixation du carbone de 8 g/m²/jour (Costa-Pierce et Craven, 1987), ce qui est beaucoup plus élevé que les taux obtenus dans des étangs où l'eau n'était pas brassée. Le brassage des étangs est peut-être la stratégie-clé de l'accroissement de la productivité dans les étangs fertilisés. Toutefois, on ne devrait pas oublier que les chaînes alimentaires les plus efficaces sont aérobies, non anaérobies, et que la photosynthèse réalisée par le phytoplancton constitue la source principale d'oxygène dissous. Un équilibre devrait donc être atteint entre l'accroissement de la productivité bactérienne, résultat de la remise en

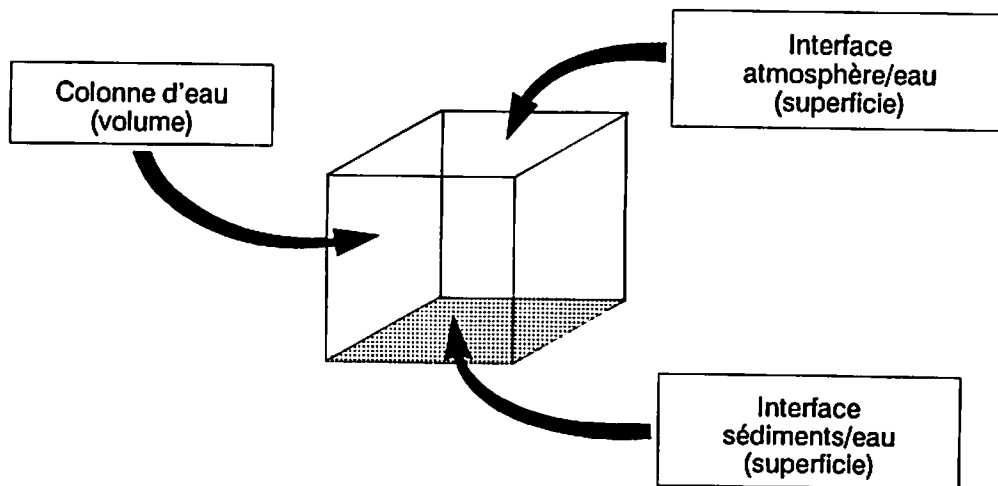


Fig. 11. Représentation tridimensionnelle de la colonne d'eau d'un étang.

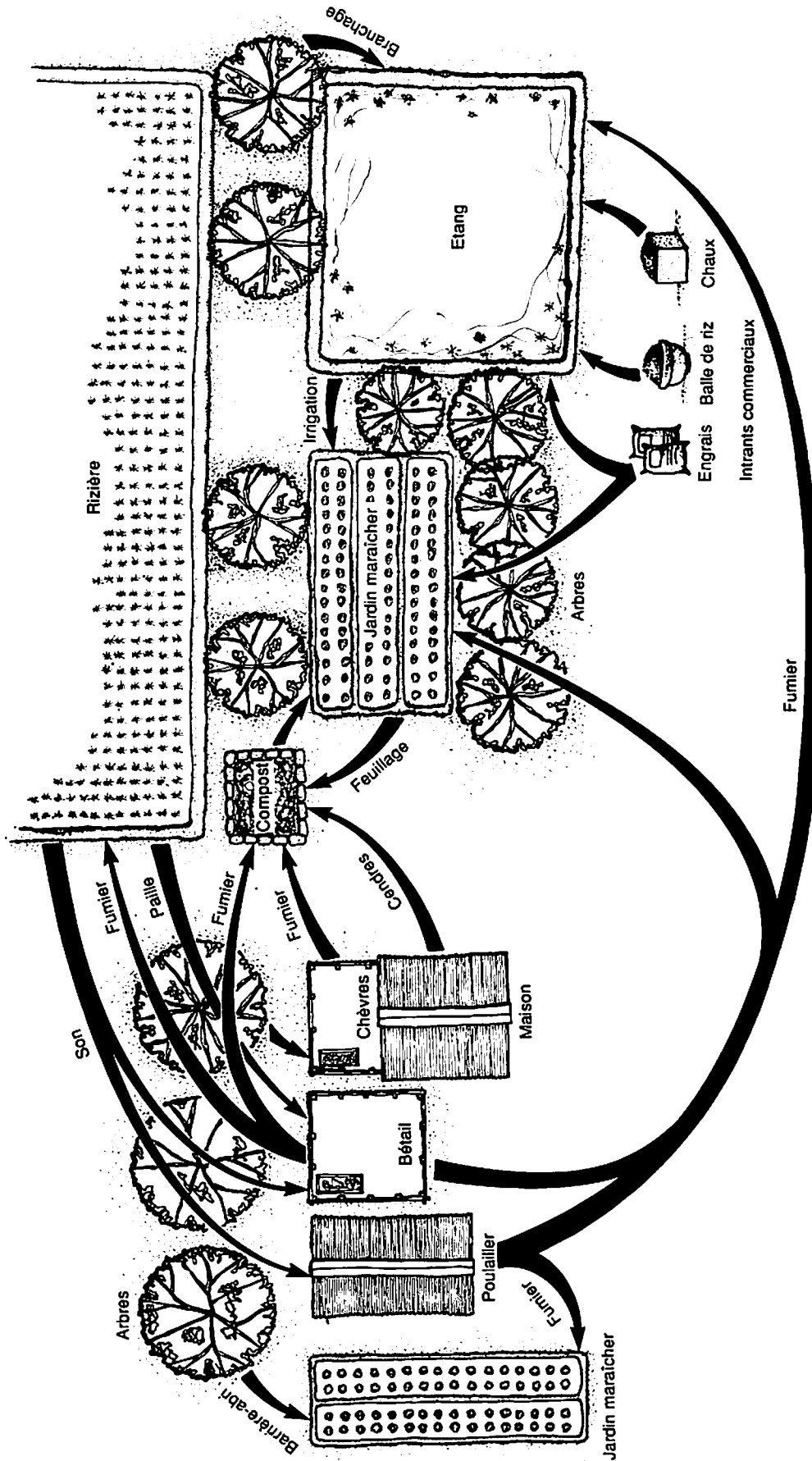


Fig. 13. Cette représentation schématique de l'utilisation des ressources entre plusieurs spéculations à Mymensingh au Bangladesh est le fruit d'un travail auquel les exploitants ont été associés. La description suivante relate le processus qui a été suivi : La ferme de l'exploitant comprenait 24 poulets, des pigeons, un étang de poissons, et les arbres et les cultures végétales que l'on trouve habituellement dans les jardins potagers au Bangladesh. Après avoir inspecté toutes les spéculations, nous avons réuni l'exploitant et dix voisins. À l'aide d'un bâton, elle a dessiné des carrés représentant chaque spéculations et a tracé des flèches les reliant les unes aux autres. D'après ce scénario tracé sur le sol, le fumier recueilli dans certaines spéculations était répandu sur les carrés de légumes, dans la rizière, dans la compostière et dans l'étang. Les branches d'arbres servaient de tuteurs pour les cultures végétales et de protection pour l'étang. L'étang fournissait de l'eau pour l'irrigation des carrés de légumes adjacents. Des aliments pour poissons et les engrais pour l'étang étaient achetés dans le commerce alors que le son de riz provenant des spéculations était donné aux animaux. Entre outre, les feuilles d'arbres, la cendre des foyers et le compost étaient également utilisés dans d'autres spéculations. De nouvelles idées, inspirées de ce diagramme, ont été contribué pour réduire l'utilisation de produits commerciaux et parvenir à une meilleure intégration agro-piscicole. Les coûts de production pouvaient être réduits en utilisant par exemple la cendre des foyers à la place de la chaux achetée dans le commerce et les poissons pouvaient se nourrir de feuilles d'arbres ou de légumes au lieu d'aliments commerciaux (d'après Lightfoot et Minnick, 1991).

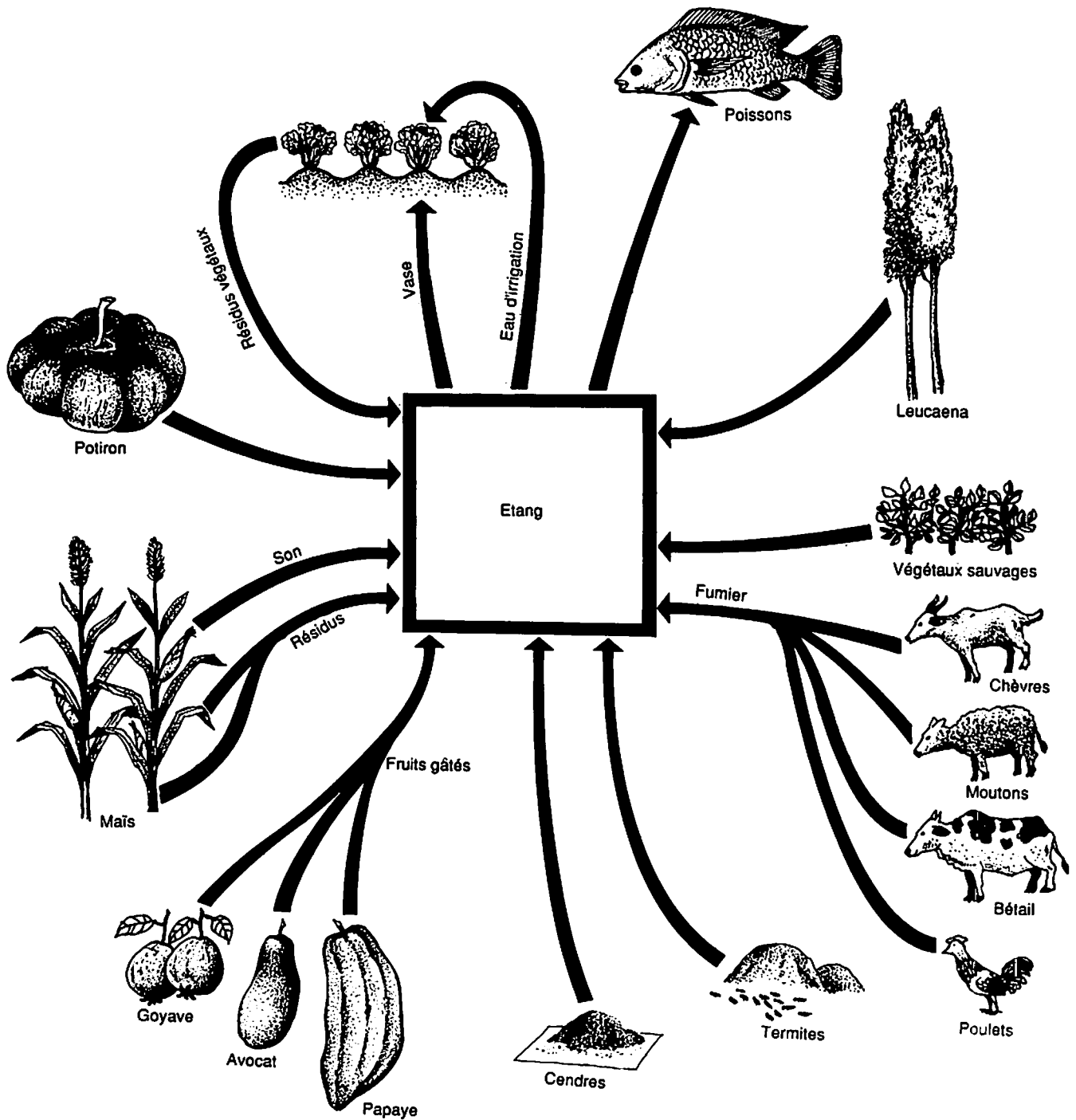


Fig. 14. Cette représentation schématique est issue d'un travail réalisé avec 4 exploitants malawiens et des chercheurs sur l'utilisation des ressources au sein de leurs spéculations. Ce schéma, réalisé à partir de dessins tracés sur le sol par des exploitants de Zomba au Malawi, montre la manière dont les étangs de poissons sont reliés aux autres activités de la ferme. Les exploitants ont procédé de la manière suivante : ils ont tout d'abord tracé l'étang et énuméré les divers sous-produits qui pouvaient servir d'intrants. Le premier dessin a été réalisé à l'aide d'un bâton mais comme les nombreuses flèches rendaient le schéma confus, ils ont recommencé en utilisant de la cendre et des objets pour représenter les produits qui entraient dans l'étang ou en sortaient. Le fumier d'animaux était représenté par des petits monticules de terre. Les sous-produits provenant de l'étang étaient surtout les sédiments à utiliser dans les jardins potagers, l'eau destinée à l'irrigation des cultures et, bien sûr, les poissons. Au cours de ce processus, l'apport des uns et des autres a permis aux exploitants de mieux connaître les divers sous-produits pouvant être recyclés. Certains ne savaient pas que les goyaves, l'avocat et les papayes pouvaient être de bons engrais une fois incorporés dans les étangs, et d'autres, que les poissons pouvaient se nourrir de feuilles d'igname. D'autres encore ignoraient que les sédiments de l'étang pouvaient servir à « fertiliser » les jardins potagers (d'après Lightfoot et Minnick, 1991).

Le choix dépend toutefois des circonstances et des personnes amenées à faire ce choix. L'AIT, pour sa part, a opté pour la deuxième solution. Le plus gros problème, problème d'ailleurs caractéristique de l'approche globale, est de savoir ce qu'il faut et ce qu'il ne faut pas inclure dans le programme pour que celui-ci soit compatible avec les exigences et les contraintes académiques de l'institution, comme le temps alloué à la préparation du D.E.A. (M.Sc.), le temps minimal de présence, le nombre minimal d'unités de valeur requises en termes de cours magistraux et de travaux pratiques, et les conditions de préparation du mémoire.

Les travaux pratiques (TP) sont très prenants mais ils sont utiles pour introduire la matière qu'il n'est pas possible de présenter lors des cours magistraux ; en fait, les TP créent une demande de connaissances et d'informations pertinentes, ce qui contribue au choix des matières à traiter en cours magistraux.

A l'AIT, le programme de D.E.A. (M.Sc.) s'étend sur 5 trimestres étalés sur une période de 20 mois. Trente unités de cours magistraux et de TP, au minimum, échelonnées sur trois trimestres, doivent être suivies, et une thèse de recherche correspondant à 25 unités de valeur doit être présentée. La proportion personnel/étudiant doit être élevée en raison du nombre d'heures de contact exigées par les TP (un professionnel à plein temps - avec des assistants techniques- pour 6 étudiants). Trois professionnels formés à l'approche globale sont nécessaires pour assurer un programme efficace en association avec d'autres personnels enseignants.

L'essentiel du programme est constitué par des cours magistraux et des TP sur les systèmes agricoles. Les cours magistraux ont pour mission :

- d'introduire des concepts systémiques offrant un cadre dans lequel la matière des cours (sur les sols, l'eau, les plantes, les animaux, les ressources humaines, financières, le machinisme agricole et les marchés) peut être appliquée à des situations réelles ;
- d'exposer la méthodologie de recherche et de développement en matière de systèmes d'exploitation ;
- de se pencher sur les grandes questions du développement des systèmes d'exploitation afin de trouver un équilibre entre l'intérêt porté à l'éleveur dans son exploitation d'une part, et l'attention mise sur les politiques gouvernementales, les forces du marché, l'approvisionnement en intrants, et les habitudes des consommateurs d'autre part ; et
- de faire comprendre que les nombreux points de vue dans le processus de prise de décisions touchant le développement agricole doivent être conciliés.

Les travaux pratiques, pour leur part, sont censés :

- former les étudiants à reconnaître les facteurs d'amélioration des systèmes agricoles, à identifier les problèmes qui s'y opposent, et à trouver les solutions à ces problèmes ;
- faire participer les étudiants au développement et à la mise en valeur continue d'une ferme expérimentale universitaire de 2,5 ha intégrant l'agriculture (riz, maïs, fruits et légumes), l'élevage (buffle), et la pisciculture (tilapia et carpe) ;
- associer les étudiants aux travaux de recherche, sur un terrain adjacent de 2,5 ha, sur les problèmes rencontrés au cours de la conception, la construction et la mise en opération de la ferme expérimentale universitaire ;
- faire connaître aux étudiants les exploitations en dehors du campus, les industries et les agences gouvernementales pour qu'ils étudient les problèmes de production, l'approvisionnement en facteurs de production, la commercialisation des produits, la disponibilité du crédit et la formulation de politiques.

Le programme offre des cours supplémentaires sur les systèmes de production végétale, animale et piscicole. Ces cours apportent des notions essentielles de biologie ayant trait à la reproduction, à la nutrition, à la santé et à la production dans le cadre de ces systèmes, et apportent également des notions sur les conditions spatio-temporelles de leur exploitation, l'ensemble de ces notions étant placé dans un contexte global. Le lien entre systèmes de production et ressources humaines et financières est assuré par un autre cours, Economie de la gestion agricole. Le dernier cours que l'on recommande porte sur l'Exploitation intégrée et le recyclage des déchets, afin de créer une unité entre tous les cours, d'établir le flux d'énergie et de joindre les maillons de la chaîne alimentaire.

D'autres cours sur des sujets connexes peuvent être suivis pour satisfaire aux exigences du diplôme, comme le génie agricole, le développement rural et l'informatique.

Grands domaines d'intérêt

Le programme aborde également deux grands sujets d'intérêt : l'eau et sa disponibilité, et les pertes de pré- et de post-récolte.

Les systèmes d'exploitation pluviale, où l'eau est une ressource-clé, sont d'une importance particulière dans tous les pays en développement. En effet, on ne saurait jamais trop insister sur ce point auprès des étudiants, et c'est également pourquoi les sujets comme la probabilité des pluies, la gestion de l'humidité du sol et la collecte d'eau à la ferme, son stockage et sa distribution sont mis en relief dans les travaux pratiques des étudiants auxquels il est par ailleurs interdit de recourir à l'irrigation. D'autre part, la qualité de l'eau et son adduction dans le cadre des travaux de pisciculture, où elle est évidemment essentielle, sont un sujet d'attention particulière tout au long des cycles saisonniers.

Les systèmes agricoles peuvent gagner en efficacité si la production absolue par unité de ressources données augmente ; mais pour y parvenir, il est nécessaire de réduire les pertes de production, domaine qui a été trop négligé jusqu'à présent. Il est également primordial d'attirer l'attention des étudiants sur ce facteur ainsi que sur les facteurs d'augmentation de la valeur marchande des produits.

Certains problèmes

Le processus de formation en matière de systèmes agricoles exige de travailler différemment de l'enseignement et de la recherche conventionnels. Au lieu de tenter de combler les lacunes existant dans une matière particulière en la creusant davantage, il est nécessaire de sonder les connaissances acquises sur de nombreux sujets et disciplines pour en extraire les données nécessaires au développement d'une vision d'ensemble sur un système agricole quelconque (Fig. 16). Cette vision doit être focalisée à un niveau adéquat de résolution (Fig. 15) pour déterminer les conséquences des diverses politiques et décisions qui affectent la production, la rentabilité et les autres propriétés du système.

Un des problèmes que soulève ce type d'activité est qu'à tenter de construire des ponts entre la formation, la recherche, la vulgarisation et la pratique, on peut parfois se sentir privé de la sécurité qu'offrent les fondations sur lesquelles ces diverses activités reposent. Les étudiants risquent d'en souffrir dès le début de leurs études et risquent de se sentir inférieurs à d'autres étudiants sur des sujets qu'ils connaissent moins bien, ce qui peut porter atteinte à leur amour propre. Toutefois, ils réalisent progressivement qu'ils peuvent mieux que tout autre considérer les systèmes comme un tout plutôt qu'isolément, et qu'ils sont mieux équipés pour absorber les connaissances appartenant aux diverses matières. Il devient ainsi possible de comprendre que la manifestation d'un problème

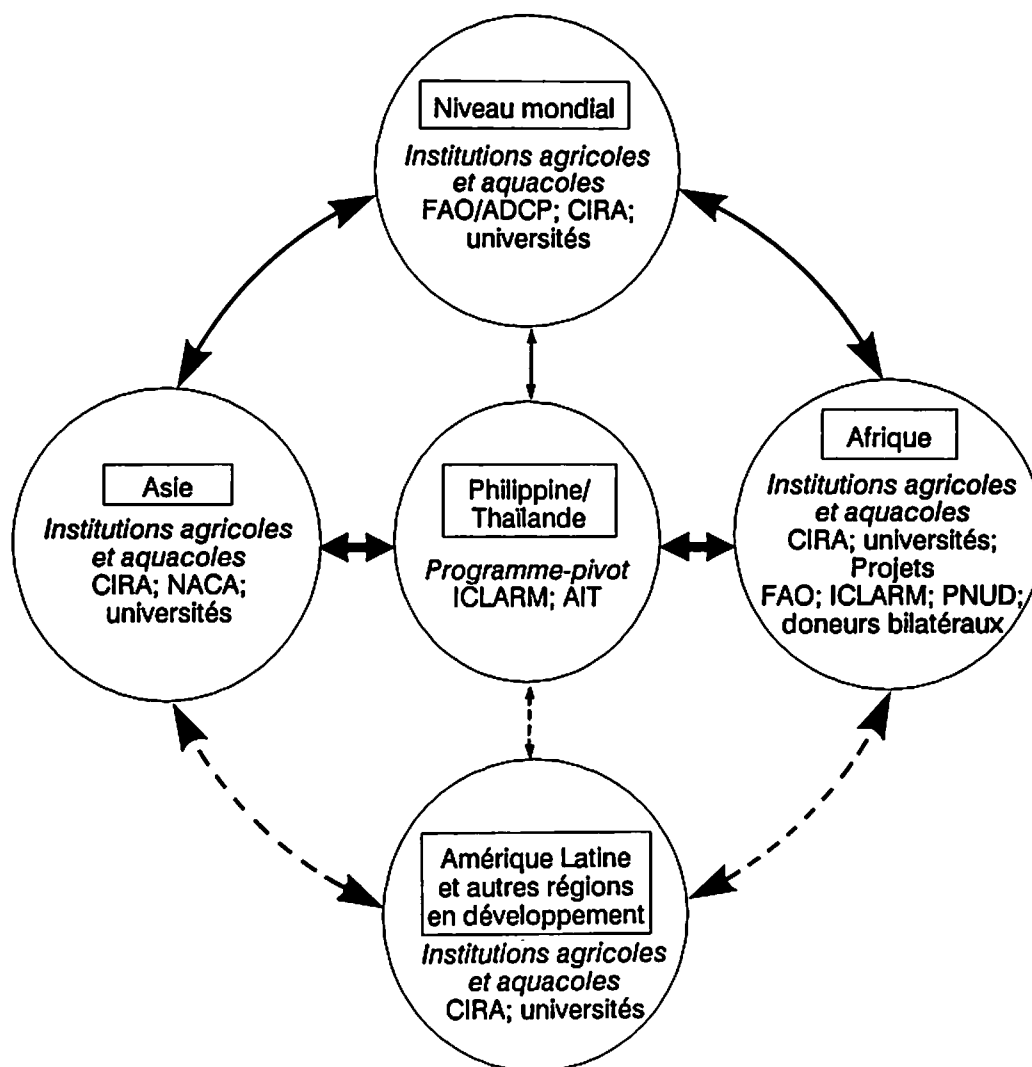


Fig. 18. Cadre possible d'un programme de coopération internationale en matière de recherches et de formation pour la mise en valeur de l'intégration agro-piscicole. Le programme-pivot de l'ICLARM/AIT est responsable de la recherche et de la formation ainsi que de la coordination d'un réseau mondial d'institutions choisies d'après leurs domaines d'intérêt et de compétences. Les flèches continues épaisses (\longleftrightarrow) indiquent les relations principales au sein du réseau entre le programme-pivot, l'Afrique et l'Asie. Les flèches continues fines (\longleftrightarrow) indiquent d'autres liens avec d'autres groupes de recherche et de formation bien établis. Les flèches pointillées (\dashrightarrow) indiquent les liens envisageables à terme avec des institutions d'autres régions en développement (voir le texte). Voir la liste des sigles en fin d'ouvrage.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à une subvention d'assistance préparatoire (GLO/85/003) offerte au Programme d'aquaculture de l'ICLARM dirigé par Dr Roger S.V. Pullin, par le Programme des Nations Unies pour le développement.

Professeur Peter Edwards est détaché auprès de l'Institut asiatique de technologie par l'Administration du Royaume-Uni pour le développement outremer.

Dr Joseph A. Gartner était le Conseiller technique principal du Projet régional PNUD/FAO RAS/81/044 intitulé Développement des systèmes d'exploitation en Asie : Intégration de l'agriculture, de l'élevage et de la pisciculture dans les Régions Pluviales, au cours de la période pendant laquelle cette étude a été réalisée. Il est actuellement détaché auprès de l'Institut asiatique de technologie par le Bureau australien d'assistance au développement international.

Liste des sigles

ADCP	Programme de développement et de coordination de l'aquaculture
AFSSRN	Asian Fisheries Social Sciences Research Network
AIT	Institut asiatique de technologie
ARAC	Centre régional africain d'aquaculture
CIPEA	Centre international pour l'élevage en Afrique
CIRA	Centres internationaux de recherche agronomique
GCRAI	Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale
GTZ	Office allemand de la coopération technique
ICLARM	Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes
IRRI	Institut international de recherches sur le riz
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
NACA	Réseau de centres aquacoles en Asie et dans le Pacifique
NTAS	Network of Tropical Aquaculture Scientists
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement.
SEAFDEC	Centre de développement des pêches en Asie du Sud-Est
TAC	Comité technique consultatif du GCRAI

Références bibliographiques

- AIT. 1986. Buffalo/fish and duck/fish integrated systems for small-scale farmers at the family level. AIT Res. Rep. No. 198. Asian Institute of Technology, Bangkok. 138 p.
- AIT. 1988. AIT prospectus 1989. Asian Institute of Technology, Bangkok. 60 p.
- Bawden, R.J., R.D. Macadom, R.J. Packhom et I. Valentine. 1984. Systems thinking in the education of agriculturists. *J. Agric. Systems* 13.: 205-225.
- Beets, W.C. 1982. Multiple cropping and tropical farming systems. Gower Publ. Co. Ltd., Aldershot. 156 p.
- Bimbao, M.A.P. 1990. The Network of Tropical Aquaculture Scientists: information exchange among tropical aquaculture scientists, p. 20-25. *In* J.L. Maclean et L.B. Dizon (éds.) ICLARM Report 1989. 167 p.
- Boulding, K.E. 1956. General systems theory--the skeleton of science. *Manage. Sci.* 2(3).
- Brewbaker, J.L. 1986. Leguminous trees and shrubs for Southeast Asia and the South Pacific, p. 43-50. *In* G.J. Blair, D.A. Ivory et T.R. Evans (éds.) Forages in Southeast Asian and South Pacific agriculture. ACIAR Proc. No. 12. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Campbell, R. 1985. Fisherman's guide. A systems approach to creativity and organization. New Science Library, Boston, Massachusetts.
- Carr, W.E.S. 1982. Chemical simulation of feeding behavior, p. 259-272. *In* T.J. Hara (éd.) Chemoreception in fishes. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 8. Elsevier, Amsterdam.
- Checkland, P. 1984. Systems thinking, systems practice. John Wiley and Sons, Chichester.
- Chua, T.E. 1987. Aquaculture training needs in developing Asia. IDRC Manuscript Report, IDRC-MR 145e. International Development Research Centre, Ottawa. 51 p.
- Coche, A.G. 1967. Fish cultivation in rice fields: a world-wide synthesis. *Hydrobiologia* 30: 1-44.
- Colman, J.A. et P. Edwards. 1987. Feeding pathways and environmental constraints in waste-fed aquaculture: balance and optimization, p. 240-281. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Costa-Pierce, B.A. et D.B. Craven. 1987. Estimating microbial production and growth rates in aquaculture ponds using rates of RNA and DNA synthesis. *Aquaculture* 66: 69-78.
- Cruz-Trinidad, A. 1990. The Network of Tropical Fisheries Scientists: bridging communication gaps, p. 14-19. *In* J.L. Maclean et L.B. Dizon (éds.) ICLARM Report 1989. 167 p.
- Cuenco, M.L. 1989. Aquaculture systems modeling: an introduction with emphasis on warmwater aquaculture. *ICLARM Stud. Rev.* 19, 46 p.
- Cuenco, M.L., R.R. Stickney et W.E. Grant. 1985a. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: I. Individual fish model development. *Ecol. Modelling* 27: 169-190.
- Cuenco, M.L., R.R. Stickney et W.E. Grant. 1985b. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effects of interactions among size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecol. Modelling* 27: 191-206.
- Cuenco, M.L., R.R. Stickney et W.E. Grant. 1985c. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: III. Stocking size and feeding rate on fish productivity. *Ecol. Modelling* 28: 73-95.
- CRSP. 1986. Pond dynamics/aquaculture. CRSP data base; instructions for data entry (edition 1:1). April 1986. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University. 26 p.
- de la Cruz, C.R., C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce et V.R. Carangal, Editeurs. Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24. ICLARM; International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines; and Central Luzon State University, Muñoz, Nueva Ecija, Philippines. (Sous presse).
- Dent, J.B. et J.R. Anderson. 1971. Systems management and agriculture, p. 3-14. *In* J.B. Dent et J.R. Anderson (éds.) Systems analysis in agricultural management. John Wiley and Sons, Sydney. 388 p.
- Devendra, C. 1985. Non-conventional feed resources in Asia and the Pacific. FAO/APHCA Publ. No. 6. 140 p. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Duckham, A.N. 1959. The current agricultural revolution. *Geography* 44:71-78.
- Duckham, A.N. 1966. Forty years on: agriculture in retrospect and prospect. *J. R. Agric. Soc.* 127L:7-16.

- Duckham, A.N. et G.B. Masefield. 1971. Farming systems of the world. Chatto and Windus, London. 542 p.
- Edwards, P. 1980. A review of recycling organic wastes into fish, with emphasis on the tropics. *Aquaculture* 21(3):261-279.
- Edwards, P. 1983. The future potential of integrated farming systems in Asia, p. 273-281. *In* I. Takashi (éd.) Proceedings of the Fifth World Conference on Animal Production. Vol. 1. Japanese Society of Zootechnical Science, Tokyo.
- Edwards, P. 1987. Use of terrestrial vegetation and aquatic macrophytes in aquaculture, p. 311-335. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Edwards, P., C. Kwei Lin, D.J. Macintosh, K. Leong Wee, D. Little et N.L. James-Taylor. 1988. Fish farming and aquaculture. *Letters to Nature* 333:505-506.
- Feachem, R.G., D.J. Bradley, H. Garelick et D.D. Mara. 1983. Sanitation and disease: health aspects of excreta and waste water management. John Wiley and Sons, Chichester.
- FAO. 1981. Agriculture: towards 2000. FAO, Rome.
- FAO. 1983. Freshwater aquaculture development in China. Report of the FAO/UNDP Study tour organized for French-speaking African countries, 22 April-20 May 1980. FAO Fish. Tech. Pap. 215. FAO, Rome. 124 p.
- FAO. 1984. Report of the FAO Expert Consultation on Improving the Efficiency of Small-Scale Livestock Production in Asia: A Systems Approach. Bangkok, Thailand. 6-10 December 1983. Report and Recommendations. FAO, Rome. 30 p.
- Gartner, J.A., Editeur. 1984. Proceedings of the FAO Expert Consultation on Improving the Efficiency of Small-Scale Livestock Production in Asia: A Systems Approach, 6-10 December 1983. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 100 p.
- Goldman, J.C. 1979. Outdoor algal mass cultures - II. Photosynthetic yield limitations. *Water Res.* 13:119-136.
- Gopalakrishnan, V. 1987. Role for tilapia in integrated farming systems in Zambia. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Grigg, D.B. 1974. The agricultural systems of the world: an evolutionary approach. Cambridge Geographic Studies 5. Cambridge University Press, Cambridge. 358 p.
- Grigg, D.B. 1980. Population growth and agrarian change: a historical perspective. Cambridge Geographical Studies 13. Cambridge University Press, Cambridge. 340 p.
- Hepher, B. 1978. Ecological aspects of warm-water fish pond management, p. 447-468. *In* S.D. Gerking (éd.) Ecology of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- Hickley, P. et R.G. Bailey. 1987. Food and feeding relationships of fish in the Sudd swamps. (River Nile, southern Sudan). *J. Fish Biol.* 39(2):147-159.
- Hopkins, K.D. et E.M. Cruz. 1982. The ICLARM-CLSU integrated animal-fish farming project: final report. ICLARM Tech. Rep. 5, 96 p. ICLARM and the Freshwater Aquaculture Center, Central Luzon State University, Muñoz, Nueva Ecija, Philippines.
- Hoque, M.Z. 1984. Cropping systems in Asia. On-farm research and management. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines. 196 p.
- ICLARM. 1986. Fisheries education and training: challenges and opportunities. *Naga, ICLARM Q.* 9(4). 44 p.
- ICLARM. 1988. Research for the development of tropical aquaculture: a proposed new venture for the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. 40 p.
- ILCA. 1980. ILCA. The first years. International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia. 127 p.
- IRRI. 1974. An agro-climatic classification for evaluation of cropping systems in Southeast Asian rice growing regions. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- IRRI. 1982. Report of a workshop on cropping systems in Asia. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines. 756 p.
- Javier, E.Q. 1978. Integration of fodder production with intensive cropping systems in Southeast Asia, p. 19-36. *In* Feeding stuffs for livestock in South East Asia. Malaysian Society of Animal Production, Serdang, Selangor, Malaysia.
- Johnson, S.H. et J.B. Claar. 1986. FSR/E: Shifting the intersection between research and extension. *Agric. Admin. Ext.* 21:91-93.
- Lightfoot, C. 1987. Indigenous research and on-farm trials. *Agric. Admin. Ext.* 24:79-89.
- Lightfoot, C. et D. Minnick, 1991. Farmer-based methods: Farmer's diagrammes for improving methods of experimental design in integrated farming systems, p. 221-234. *In* Haverkort, B., J. van der Kamp et A. Waters-Bayer (éds.) Joining farmer's experiments. Intermediate Technology Publications, London, UK.
- Lightfoot, C. et N.A. Tuan, 1990. Drawing pictures of integrated farms helps everyone: an example from Vietnam. *Aquabyte* 3(2):5-6.
- Lin, H.R. 1982. Polycultural systems of freshwater fish in China. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39(1):143-150.

- Mackie, A.M. 1982. Chemical stimulation of feeding behaviour, p. 275-291. *In* T.J. Hara (éd.) *Chemoreception in fisheries. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 8*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Maclean, J.L. et L.B. Dizon, Editeurs. 1987. ICLARM Report 1986. 158 p.
- McIvor, J.G. et C.P. Chen. 1986. Tropical grasses: their domestication and role in animal feeding systems, p. 55-60. *In* G.J. Blair, D.A. Ivory et T.R. Evans (éds.) *Forages in Southeast Asian and South Pacific agriculture*. ACIAR Proc. No. 12. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Milstein, A., G. Hulata et G.W. Wohlfarth. 1988. Canonical correlation analysis of relationships between management inputs and fish growth and yields in polyculture. *Aquacult. Fish. Manage.* 19(1): 13-24.
- Money, D.C. 1978. *Climate, soils and vegetation*. 3^e éd. University of Tutorial Press Ltd., Slough, UK. 286 p.
- Moriarty, D.J.W. et R.S.V. Pullin, Editeurs. 1987. Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Munro, J.L. et D. Pauly. 1982. The ICLARM Network of Tropical Fisheries Scientists. ICLARM Newsl. 5(4):5.
- NACA. 1986. Report of the First Meeting of the Provisional Governing Council of the Network of Aquaculture Centres in Asia, 25-28 November 1986, Surabaya, Indonesia. NACA, Bangkok, Thailand.
- Naylor, E. et C. Scholtissek. 1988. Fish farming and aquaculture. *Letters to Nature*. Nature 333:506.
- Nugent, C. 1987. Small-scale systems for tilapia culture in tropical Africa - considerations for their widespread adoption. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Oláh, J. 1986. Carp production in manured ponds, p. 295-303. *In* R. Billard et J. Marcel (éds.) *Aquaculture of cyprinids*. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Oldeman, L.R. et M. Frère. 1982. A study of the agroclimatology of the humid tropics of Southeast Asia. Tech. Rep. FAO, Rome.
- Opuszynski, K. 1981. Comparison of the usefulness of the silver carp and the big head carp as additional fish in carp ponds. *Aquaculture* 25:223-233.
- Paguio, M.C. 1987. Asian study tour for African and Latin American aquaculture researchers. *Naga, ICLARM Q.* 10(3):11.
- Pandian, T.J. et M.P. Marian. 1985. Nitrogen content of food as an index of absorption efficiency in fishes. *Mar. Biol.* 85:301-311.
- Pauly, D. et K.D. Hopkins. 1983. A method for the analysis of pond growth experiments. ICLARM Newsl. 6(1):10-12.
- Perkins, J., R.J. Petheram, R. Rachman et A. Semali. 1986. Introduction and management prospects for forages in Southeast Asia and the South Pacific, p. 15-23. *In* G.J. Blair, D.A. Ivory et T.R. Evans (éds.) *Forages in Southeast Asian and South Pacific agriculture*. ACIAR Proc. No. 12. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Phiri, C.D. 1986. Adjusting the institutional environment of risk and uncertainty: implications for agricultural policy in Malawi. *Agric. Admin. Ext.* 23:45-49.
- Plucknett, D.L. et N.J.H. Smith. 1984. Networking in international agricultural research. *Science* 225:989-993.
- Plucknett, D.L. et N.J.H. Smith. 1986. International prospects for cooperation in crop research. *Econ. Bot.* 40(3):298-309.
- Popper, K.R. 1959. *The logic of scientific discovery*. Hutchinson, London.
- Prein, M. 1985. The influence of environmental factors on fish production in tropical ponds investigated with multiple regression and path analysis. Institut für Meereskunde an der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel. 91 p. Diplomarbeit.
- Pullin, R.S.V. 1985. Tilapias: "everyman's fish". *Biologist* 35(2):84-88.
- Pullin, R.S.V. 1986. The worldwide status of carp culture, p. 21-24. *In* R. Billard et J. Marcel (éds.) *Aquaculture of cyprinids*. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Pullin, R.S.V. 1987. General discussion on detritus and microbial ecology in aquaculture, p. 368-381. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Pullin, R.S.V. et R.A. Neal. 1984. Tropical aquaculture. need for a strong research base. *Mar. Policy* 8(3):217-228.
- Pullin, R.S.V. et M.C. Paguio. 1987. The ICLARM Network of Tropical Aquaculture Scientists. *Naga, ICLARM Q.* 10(3):9.
- Pullin, R.S.V., T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean, Editeurs. 1988. *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and ICLARM.
- Ram, N.M., O. Zur et Y. Avnimelech. 1982. Microbial changes occurring at the sediment-water interface in an intensively stocked and fed fish pond. *Aquaculture* 27:63-72.
- Reich, K. 1975. Multispecies fish culture (polyculture) in Israel. *Bamidgeh* 27(4):85-99.
- Scholtissek, C. et E. Baylor. 1988. Fish farming and influenza pondemics. *Nature* 331:215.

- Schroeder, G.L. 1980. Fish farming in manure-loaded ponds, p. 73-86. *In* R.S.V. Pullin et Z.H. Shehadeh (éds.) Integrated agriculture-aquaculture farming systems. ICLARM Conf. Proc. 4, 258 p.
- Schultze-Kraft, R. 1986. Exotic and native legumes for forage production in Southeast Asia, p. 36-42. *In* G.J. Blair, D.A. Ivory et T.R. Evans (éds.) Asian and South Pacific agriculture. ACIAR Proc. No. 12. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Spedding, C.R.W. 1979. An introduction to agricultural systems. Applied Science Publ., London.
- Svirezhev, Yu M., V.P. Krysanova et A.A. Voinov. 1984. Mathematical modelling of a fish pond ecosystem. *Ecol. Modelling* 21:315-337.
- Terra, G.J.A. 1954. Mixed-garden horticulture in Java. *Malayan J. Trop. Geogr.* 3:33-43.
- Terra, G.J.A. 1958. Farm systems in Southeast Asia. *Neth. J. Agric. Sci.* 6(3):157-182.
- Tripathi, S.D. et M. Ranadhir. 1982. An economic analysis of composite fish culture in India, p. 90-96. *In* Aquaculture economics research in Asia. IDRC-193e. International Development Research Centre, Ottawa.
- Van Der Lingen, M.I. 1959. Some preliminary remarks on stocking rate and production of tilapia species at the Fisheries Research Centre, p. 54-62. *Proceedings of the First Fisheries Day in Southern Rhodesia, August 1957.* Government Printer, Salisbury, Rhodesia.
- von Bertalanffy, L. 1968. General systems theory. Braziller, New York.
- Verma, R.D. 1986. Environmental impacts of irrigation projects. *J. Irrigation Drainage Engineering* 112:322-330.
- Webster, C.C. and P.N. Wilson. 1966. Agriculture in the tropics. The English Language Book Society and Longman, London. 488 p.
- Whittlesey, D. 1936. Major agricultural regions of the earth. *Assoc. Amer. Geogr.* 26:199-204.
- WHO. 1980. Epidemiology and control of schistosomiasis. WHO Tech. Rep. Ser. No. 643. 63 p.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1987. Use of manures in aquaculture, p. 353-367. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Yashouv, A. 1971. Interaction between the common carp (*Cyprinus carpio*) and the silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in fish ponds. *Bamidgeh* 23(3):85-92.

ANNEXE I

Atelier - Vers un cadre de recherche pour les systèmes d'exploitation tropicale à intégration agro-piscicole 15-17 octobre 1986, Manille, Philippines

Cet atelier, organisé par l'ICLARM dans le cadre d'une série de rencontres à partir desquelles cet ouvrage a été rédigé, a été entièrement financé par le PNUD et l'ICLARM, et s'est tenu au siège de l'ICLARM à Manille.

La liste des contributions dont les copies peuvent être obtenues (dans leur version originale anglaise uniquement) auprès du D^r Roger S.V. Pullin, ICLARM, est présentée ci-après.

International Research Cooperation in Wastefed
Aquaculture and Integrated Farming
*Coopération internationale pour la recherche
sur l'aquaculture à base de détritux et sur
l'exploitation intégrée*

D^r Roger S.V. Pullin

Research Methodologies for the Development
of Tropical Integrated Farming and Wastefed
Aquaculture Systems
*Méthodes de recherche pour le développement
de l'exploitation intégrée tropicale et des
systèmes aquacoles à base de détritux*

D^r Kevin D. Hopkins

A Farming Systems Research Approach to
Integrated Agriculture-Aquaculture
*Les méthodes de recherche sur les systèmes
d'exploitation appliquées à l'intégration
agro-piscicole*

D^r Joseph A. Gartner

Social Science and Economics Research
Needs for the Development of Wastefed
Aquaculture and Integrated Farming
*Besoins en matière de recherches sociologiques
et économiques pour le développement de
l'aquaculture à base de détritux et de
l'exploitation intégrée*

D^r Ian R. Smith

Research for Training Needs for Wastefed
Aquaculture and Integrated Farming
*Recherches sur les besoins en matière de formation
sur l'aquaculture à base de détritux et sur
l'exploitation intégrée*

D^r Peter Edwards

The Research-Development Interface in
Integrated Farming with Special Reference
to Africa

*L'interface recherche-développement au sein
de l'exploitation intégrée - référence
particulière à l'Afrique*

D^r M.N. Kutty

Information Flow and Extension in Integrated
Farming Systems Research and Development

*Circulation de l'information et vulgarisation dans
la recherche et le développement des
systèmes d'exploitation intégrée*

M. Jay L. Maclean

Research Priorities for the Development
of Rural Aquaculture in Africa

*Priorités de la recherche pour le développement
de l'aquaculture rurale en Afrique*

D^r John D. Balarin

The Current Status and Future Potential of
Tropical Integrated Farming Systems in Asia

*Situation actuelle et développement à terme
des systèmes d'exploitation intégrée en
Asie tropicale*

D^r V.R.P. Sinha

Sociocultural Aspects of Integrated Farming
Technology Transfer from Asia to Africa

*Aspects socio-culturels du transfert des
technologies d'exploitation intégrée
d'Asie en Afrique*

D^r Kenneth Ruddle

Liste des participants

M. John Balarin
Oxbow Lake Small-Scale
Fishermen Project
c/o DANIDA
G.P.O. Box 2056
Dhaka, Bangladesh

Mme Mary Ann P. Bimbao
ICLARM
MC P.O. Box 1501
Makati, 1299
Metro Manila, Philippines

D^r Barry A. Costa-Pierce
ICLARM-GTZ Aquaculture Project
P.O. Box 229
Zomba, Malawi

D^r Peter Edwards
Division of Agricultural and Food
Engineering
Asian Institute of Technology (AIT)
G.P.O. Box 2754
Bangkok 10501, Thaïlande

D^r Joseph A. Gartner
Division of Agricultural and Food
Engineering
Asian Institute of Technology (AIT)
G.P.O. Box 2754
Bangkok 10501, Thaïlande

D^r Kevin D. Hopkins
University of Hawaii at Hilo
College of Agriculture
Hilo, Hawaii
H1, 96720, E.-U.A.

D^r M.N. Kutty
Network of Aquaculture Centers in Asia
(NACA)
c/o PNUD, G.P.O. Box 618
Bangkok, Thaïlande

M. John L. Maclean
ICLARM
MC. P.O. Box 1501
Makati, 1299
Metro Manila, Philippines

D^r Roger S.V. Pullin
ICLARM
MC. P.O. Box 1501
Makati, 1299
Metro Manila, Philippines

D^r Kenneth Ruddle
11-20 Matsugaoka-cho
Nishinomiya-shi
Hyogo-ken 662, Japon

D^r V.R.P. Sinha
Institute of Fisheries Education
Jaiprakash road, Versova
Bombay 400 061, Inde

DANS CETTE SÉRIE:

- **Theory and management of tropical multispecies stocks: a review, with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries.** D. Pauly. 1979. Deuxième tirage 1983. ICLARM Studies and Reviews 1, 35 p. US\$2 surface; \$ 6,50 par avion.
- **A research framework for traditional fisheries.** I.R. Smith. 1979. Deuxième tirage 1983. ICLARM Studies and Reviews 2, 40 p. US\$2 surface; \$ 6,50 par avion.
- **Philippine municipal fisheries: a review of resources, technology and socioeconomics.** I.R. Smith, M.Y. Puzon et C.N. Vidal-Libuano. 1980. Réimprimé 1981, 1983. ICLARM Studies and Reviews 4, 87 p. US\$5 surface; \$ 12 par avion.
- **Food potential of aquatic macrophytes.** P. Edwards. 1980. Réimprimé 1984, 1987. ICLARM Studies and Reviews 5, 51 p. US\$4 surface; \$ 7,50 par avion.
- **Caribbean coral reef fishery resources.** J.L. Munro, Editeur. 1983. ICLARM Studies and Reviews 7, 276 p. US\$16 surface; \$ 33 par avion (édition brochée); US\$19,50 surface; \$ 37 par avion (édition reliée).
- **Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators.** D. Pauly. 1984. ICLARM Studies and Reviews 8, 325 p. US\$14 surface; \$ 25 par avion; 30 préprogrammés HP 67/97 cards, US\$20.
- **Indonesian marine capture fisheries.** C. Bailey, A. Dwiponggo et F. Marahudin. 1987. ICLARM Studies and Reviews 10, 196 p. US\$9,50 surface; \$ 18 par avion.
- **A hatchery manual for the common, Chinese and Indian major carps.** 1988. Deuxième édition. V.G. Jhingran et R.S.V. Pullin. ICLARM Studies and Reviews 11, 191 p. US\$7,50 surface; \$ 15 par avion.
- **The biology and culture of marine bivalve molluscs of the genus *Anadara*.** M.J. Broom. 1985. ICLARM Studies and Reviews 12, 37 p. US\$3 surface; \$ 6 par avion.
- **The biology and culture of tropical oysters.** C.L. Angell. 1986. ICLARM Studies and Reviews 13, 42 p. US\$3 surface; \$ 6 par avion.
- **The economics and management of Thai fisheries.** T. Panayotou et S. Jetanavanich. 1987. ICLARM Studies and Reviews 14, 82 p. US\$5 surface; \$ 9 par avion.
- **The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change.** D. Pauly et I. Tsukayama, Éditeurs. 1987. ICLARM Studies and Reviews 15, 351 p. US\$17,50 surface; \$ 36 par avion.
- **Research and education for the development of integrated crop-livestock-fish farming systems in the tropics.** P. Edwards, R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1988. ICLARM Studies and Reviews 16, 53 p. US\$3,50 surface; \$ 6 par avion.
- **Recherche et formation pour le développement des systèmes de production intégrée agriculture-élevage-pisciculture en zone tropicale.** P. Edwards, R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1988. Traduction et adaptation, C. Lhomme-Binudin. 1991. ICLARM Studies and Reviews 16, 71 p. US\$5,50 surface; \$ 8,50 par avion.
- **The biology and culture of mussels of the genus *Perna*.** J.M. Vakily. 1989. ICLARM Studies and Reviews 17, 63 p. US\$3,50 surface; \$ 5,50 par avion.
- **The context of small-scale integrated agriculture systems in Africa: a case study of Malawi.** ICLARM et GTZ. 1991. ICLARM Studies and Reviews 18, 302 p. US\$13,50 surface; \$ 32 par avion.
- **Aquaculture systems modeling: an introduction with emphasis on warmwater aquaculture.** M.L. Cuenco. 1989. ICLARM Studies and Reviews 19, 46 p. US\$3 surface; \$ 5,25 par avion.

POUR COMMANDER:

Adresser votre commande et votre paiement en US\$ (à l'ordre de l'ICLARM) par mandat international, chèque de banque ou coupons UNESCO à l'Éditeur, ICLARM, MC P.O. Box 1501, Makati 1299, Metro Manila, Philippines. Nous acceptons les chèques libellés en US\$ uniquement si la banque d'émission est aux États-Unis, en raison des frais importants que les autres banques imposent. Pour le continent africain, les coupons UNESCO peuvent être obtenus dans les pays suivants: Burkina Faso, Cameroun, Gabon, Ghana, Guinée, Madagascar, Mali, Nigéria, République centrafricaine, Soudan, Zaïre, et Zambie.

L'envoi par avion est vivement recommandé en raison des longs délais pouvant atteindre jusqu'à six mois et des pertes occasionnelles pouvant se produire par voie de surface.



CENTRE INTERNATIONAL DE GESTION DES RESSOURCES AQUATIQUES VIVANTES

Le Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM) est un organisme scientifique et technique international, autonome et sans but lucratif, qui a été créé pour conduire, stimuler et accélérer la recherche sur tous les aspects des pêches et autres ressources aquatiques vivantes.

Le Centre a été fondé à Manille le 20 janvier 1977, et son siège est été établi à Manille en mars 1977.

L'ICLARM est une organisation opérationnelle, non un organisme de financement. Son programme vise à résoudre les contraintes techniques et socio-économiques qui pèsent sur l'augmentation de la production, l'amélioration de la gestion des ressources et la distribution équitable des bénéfices dans les pays économiquement en développement. Le Centre poursuit ses objectifs de développement de l'aquaculture, de la gestion des pêches et des zones côtières, et d'information par le biais de la recherche en coopération avec des institutions des pays les plus et les moins avancés.

Les politiques de l'ICLARM sont établies par son Conseil d'administration qui est composé par des membres de la communauté internationale. La direction de l'ICLARM, aux termes des politiques établies par le Conseil, incombe au Directeur général. Un comité chargé des programmes, composé de six membres du Conseil d'administration, dont le Directeur général du Centre, agit en qualité de conseil.