



L'élevage de poisson en rizière

Édité par

Matthias Halwart

Modadugu V. Gupta



Photos en couverture: Collection de photographies du WorldFish Center

L'élevage de poisson en rizière

Édité par

Matthias Halwart

Département des pêches et de l'aquaculture

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Viale delle Terme di Caracalla

00153 Rome

Italie

Modadugu V. Gupta

WorldFish Center

PO Box 500 GPO

10670 Penang

Malaisie

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et du WorldFish Center aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO et du WorldFish Center, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de la FAO et du WorldFish Center.

Publié avec l'accord du Worldfish Center. La FAO est responsable seulement pour la qualité de l'édition française y compris la cohérence avec le texte original. Dans le cas de différences le texte anglais fera foi.

ISBN 978-92-5-205605-8

Contribution du WorldFish Center no. 1733

Tous droits réservés. La FAO et le WorldFish Center encouragent la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Les utilisations à des fins non commerciales seront autorisées à titre gracieux sur demande. La reproduction pour la revente ou d'autres fins commerciales, y compris pour fins didactiques, pourrait engendrer des frais. Les demandes d'autorisation de reproduction ou de diffusion de matériel dont les droits d'auteur sont détenus par la FAO et le WorldFish Center et toute autre requête concernant les droits et les licences sont à adresser par courriel à l'adresse copyright@fao.org ou au Chef de la Sous-Division des politiques et de l'appui en matière de publications, Bureau de l'échange des connaissances, de la recherche et de la vulgarisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome (Italie), ou au Chef de l'édition, WorldFish Center, PO Box 500 GPO, 10670 Penang, Malaisie (worldfish-publications@cgiar.org)

© FAO et WorldFish Center 2010 (français)
© FAO et WorldFish Center 2006 (espagnol)
© FAO et WorldFish Center 2004 (anglais)



WorldFish Center est l'un des 15 centres de recherche internationaux du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) qui a lancé la campagne de sensibilisation du public, Future Harvest.

Préparation de ce document

Le manuscrit original a été préparé par M. F. Yap avec les contributions de MM. S.D. Tripathi, G. Chapman, S. Funge-Smith et K.M. Li. M. H. Guttman a révisé et condensé le manuscrit. De précieux commentaires et suggestions ont été apportés sur les dernières versions par MM. P. Balzer, C.H. Fernando, W. Settle, K. Gallagher, R. Labrada et H. van der Wulp. Les modifications et révisions finales ont été fournies par les éditeurs M. Halwart et M.V. Gupta.

Traduction de F. Matras. Coordination: M. Halwart.

Résumé

La présente étude entend fournir une synthèse des informations disponibles et souligner le rôle important que l'aquaculture de systèmes d'élevage intégrés à la riziculture peut jouer en vue d'atteindre une situation de sécurité alimentaire et de réduire la pauvreté. La production aquatique, outre la culture rizicole en elle-même, est une ressource essentielle pour les moyens de subsistance ruraux dans les pays en développement; la consommation locale de cette production ainsi que sa commercialisation revêtent une importance toute particulière pour la sécurité alimentaire dans la mesure où cette production constitue une source de protéines animales et d'acides gras la plus facilement disponible, la plus fiable et la moins onéreuse tant pour les ménages d'agriculteurs que pour les paysans sans terres.

Cette analyse offre une description de l'historique de la pratique ainsi que des différents écosystèmes rizicoles au sein desquels la pisciculture est pratiquée. Les différents systèmes de production y sont examinés, dont les modifications des rizières nécessaires à l'intégration de la pisciculture et la gestion agronomique et aquacole. La lutte contre les ravageurs présents sur les plants de riz et dans les rizières a considérablement évolué au cours des dernières décennies, l'élevage de poissons et d'autres organismes aquatiques pouvant par ailleurs renforcer des pratiques d'élevage raisonnées d'un point de vue environnemental et économique.

Halwart, M.; Gupta, M.V. (éds). 2010. L'élevage de poisson en rizière. Rome, FAO et WorldFish Center. 87p.

Avant-propos

Le riz est actuellement cultivé dans 113 pays du monde dans des conditions écologiques et hydrologiques très diverses. La plupart de l'exploitation rizicole qui se pratique dans des systèmes de riz irrigué, pluvial ou en eau profonde constitue un milieu adapté pour le poisson et autres organismes aquatiques. Plus de 90 pourcent du riz mondial, soit approximativement 134 millions d'hectares, est cultivé dans ces trois conditions aquatiques susmentionnées abritant non seulement toute une série d'organismes aquatiques, mais donnant aussi de ce fait la possibilité d'améliorer et de cultiver ces organismes.

La présente étude entend fournir une synthèse des informations disponibles et souligner le rôle important que l'aquaculture de systèmes d'élevage intégrés à la riziculture peut jouer en vue d'atteindre une situation de sécurité alimentaire et de réduire la pauvreté. La production aquatique, outre la culture rizicole en elle-même, est une ressource essentielle pour les moyens de subsistance ruraux dans les pays en développement; la consommation locale de cette production ainsi que sa commercialisation revêtent une importance toute particulière pour la sécurité alimentaire dans la mesure où cette production constitue une source de protéines animales et d'acides gras la plus facilement disponible, la plus fiable et la moins onéreuse tant pour les ménages d'agriculteurs que pour les paysans sans terres.

Cette analyse offre une description de l'historique de la pratique ainsi que des différents écosystèmes rizicoles au sein desquels la pisciculture est pratiquée. Les différents systèmes de production y sont examinés, dont les modifications des rizières nécessaires à l'intégration de la pisciculture et la gestion agronomique et aquacole. La lutte contre les ravageurs présents sur les plants de riz et dans les rizières a considérablement évolué au cours des dernières décennies, l'élevage de poissons et d'autres organismes aquatiques pouvant par ailleurs renforcer des pratiques d'élevage raisonnées d'un point de vue environnemental et économique.

L'impact réel et potentiel de la rizipisciculture (appelée aussi «culture riz-poisson») en termes d'amélioration des revenus et de la nutrition est considérable, cet impact étant toutefois sous-estimé et sous-évalué dans la plupart des cas. Les avantages indirects de la rizipisciculture, tels que la réduction des risques à travers la diversification du système de culture, peuvent fortement attirer de nombreux exploitants et leurs familles. Le poisson cultivé peut être vendu directement, ou peut réduire la dépendance des familles vis-à-vis du bétail qui peut être vendu pour constituer une source de revenu. Le poisson issu des rizières peut aussi ne pas être vendu, et la production piscicole utilisée pour nourrir la famille et toutes les personnes impliquées dans la récolte du riz; un avantage que l'on pourrait presque considérer comme essentiel dans des familles où la main-d'œuvre fait cruellement défaut.

À ce moment aussi opportun du fait de la célébration actuelle de l'Année internationale du riz 2004 des Nations Unies¹, on ne saurait trop insister sur l'importance de la rizipisciculture. Le poisson issu des rizières a contribué dans le passé, et continue à le faire aujourd'hui, à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté de nombreuses personnes rurales. Forte des changements significatifs réalisés en matière de lutte contre les ravageurs et de disponibilité en semences de poisson dans les pays producteurs de riz, la rizipisciculture a ce potentiel considérable de pouvoir accroître sa contribution pour améliorer les moyens d'existence et la sécurité alimentaire des familles rurales.

M. Halwart
Département des pêches et de l'aquaculture
Organisation des Nations Unies pour
l'alimentation et l'agriculture

M.V. Gupta
WorldFish Center

¹ L'Assemblée générale des Nations Unies a déclaré l'année 2004 l'Année internationale du riz (AIR) et a invité l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture à figurer en tant que chef de file pour la mise en œuvre de l'AIR, en collaboration avec des partenaires issus d'agences nationales, régionales et internationales, d'organisations non gouvernementales, ainsi que du secteur privé. Le Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO avec l'assistance des responsables des pêches provenant des Bureaux régionaux et sous-régionaux contribue à l'AIR à travers diverses activités de sensibilisation liées à l'importance de la biodiversité aquatique dans les écosystèmes rizicoles. De plus amples informations sont disponibles à l'adresse www.rice2004.com.

Table des matières

Préparation de ce document	iii
Résumé	iv
Avant-propos	v
1. Introduction	1
2. Historique	3
3. L'écosystème rizicole	5
3.1 Types d'écosystèmes rizicoles	5
3.2 Écosystème des champs de riz aquatique	6
3.2.1 Facteurs affectant le poisson et autres organismes aquatiques	6
3.2.2 Facteurs affectant les plantes	8
3.2.3 La faune des rizières	10
3.2.4 L'impact de la faune aquatique sur l'écosystème rizicole	11
3.2.5 La rizière en tant que système piscicole	12
4. Modification des rizières en vue de la pisciculture	13
4.1 Rehaussement de la diguette (levée de terre)	13
4.2 Installations de barrages ou de grilles	13
4.3 Installations de drains	13
4.4 Refuges à poissons	14
4.4.1 Tranchées	14
4.4.2 Fosses et cuves destinées aux poissons	16
4.4.3 Étangs en rizières	17
4.4.4 Rizières au milieu d'étangs	18
4.4.5 Étangs reliés aux rizières	18
4.4.6 Enclos à poissons au sein d'une rizière	19
5. Systèmes de production	20
5.1 Culture simultanée	20
5.1.1 Riz et poisson	20
5.1.2 Association riz-poisson et bétail	21
5.1.3 Riz et crustacés	21
5.1.4 Culture simultanée mais compartimentée	23
5.2 Culture en rotation	24
5.2.1 Poisson comme seconde culture	24
5.2.2 Crustacés comme deuxième culture	25
5.3 Système de culture en alternance	25
6. Gestion agronomique et aquacole	26
6.1 Préparation pré-empoissonnement	26
6.2 Besoins en eau et gestion de l'eau	26
6.3 Fertilisation	26
6.4 Variétés de riz	27
6.5 Le stock de poissons	28
6.5.1 Espèces	28
6.5.2 Approvisionnement en alevins et fingerlings	32
6.5.3 Modèle et densité d'empoissonnement	33
6.5.4 Nutrition des poissons et alimentation de supplément	34

7. Production rizipiscicole	36
7.1 Rendements en poisson	36
7.1.1 Riz-poisson	36
7.1.2 Riz-poisson-azolla	36
7.1.3 Riz et crustacés	38
7.1.4 Polyculture	38
7.2 Rendements en riz	39
8. Lutte raisonnée contre les ravageurs	45
8.1 Lutte raisonnée contre les ravageurs en présence de poissons	45
8.2 Lutte raisonnée contre les plantes adventices des rizières	46
8.3 Lutte raisonnée contre les invertébrés	47
8.3.1 Lutte raisonnée contre les insectes ravageurs	48
8.3.2 Lutte raisonnée contre les escargots	52
8.4 Lutte raisonnée contre les maladies	52
9. Impact de la culture riz-poisson	54
9.1 Aspects économiques de la production	54
9.1.1 Le résultat financier	54
9.1.2 Analyse des intrants	55
9.2 Avantages tirés par les communautés	58
9.2.1 Augmentation des revenus pour les cultivateurs	58
9.2.2 Amélioration de la nutrition	58
9.2.3 Santé publique	59
9.2.4 Impact social	60
9.3 Impact sur l'environnement	60
9.3.1 Biodiversité	61
9.3.2 Ressources en eau	61
9.3.3 Durabilité	61
9.4 Participation des femmes	61
9.5 Impact macroéconomique	61
10. Expériences effectuées par différents pays	63
10.1 Asie de l'Est	63
10.2 Asie du Sud-Est	65
10.3 Asie du Sud	67
10.4 Australie	68
10.5 Afrique, Moyen-Orient et Asie occidentale	68
10.6 Europe	69
10.7 L'Ex-Union des Républiques socialistes soviétiques	70
10.8 Amérique du Sud et Caraïbes	70
10.9 Les États-Unis d'Amérique	70
11. Perspectives et programme pour l'avenir	72
11.1 Perspectives	72
11.2 Principales questions et contraintes	72
11.3 Exigences de recherche et développement	74
11.4 Politiques et services de soutien institutionnels	74
11.4.1 Généraliser la rizipisciculture	74
11.4.2 Popularisation du concept	75
11.4.3 Formation et éducation	75
11.4.4 Approvisionnement en fingerlings	75
11.4.5 Financement	76
12. Conclusion	77
13. Références	79

1. Introduction

«Il y a du riz dans les rizières, du poisson dans l'eau.» Cette phrase gravée sur une plaque de pierre datant de la période Sukhotai – un royaume Thai qui a prospéré il y a 700 ans – dépeint une scène qui a certainement été aussi idyllique à ce moment-là qu'elle l'est actuellement. Le fait d'avoir du riz dans les rizières et du poisson dans l'eau est l'exemple type d'abondance et d'autosuffisance. Aucune autre association ne pourrait sembler aussi essentielle et complète d'un point de vue nutritionnel dans le contexte asiatique. En tant que tel, peu d'autres exemples d'associations de plantes et d'animaux apparaissent plus appropriés à la culture intégrée dont l'objectif est d'améliorer la nutrition et de réduire la pauvreté. La pisciculture en rizière permet «la production simultanée de céréales et de protéine animale sur la même parcelle» (Schuster, 1955), et à notre époque où la prise de conscience prévaut, peu d'autres systèmes de production vivrière semblent plus écologiquement valides et efficaces.

Dans son sens le plus strict, la rizipisciculture s'entend de la «croissance»² conjointe du riz et du poisson dans le même champ et au même moment. Toutefois, elle s'entend également de la culture du riz et du poisson en série l'une après l'autre au sein de la même parcelle ou bien de la culture du riz et du poisson simultanément, l'une à côté de l'autre dans des compartiments séparés, tout en utilisant la même eau. Le terme poisson ne se réfère en aucun cas strictement aux poissons à nageoires, mais indique les animaux aquatiques vivant dans les rizières, ce qui inclut les crevettes d'eau douce, les crevettes marines, les écrevisses, les crabes, les tortues, les lamellibranches, les grenouilles, voire les insectes.

La rizipisciculture est pratiquée dans de nombreux pays du globe, en particulier en Asie. Si chaque pays a développé son approche et ses procédures qui lui sont propres, il existe des similarités, des pratiques ainsi que des problèmes communs à tous.

Le potentiel de la culture riz-poisson pour aider à combattre la malnutrition et la pauvreté est reconnu mondialement et suscite un intérêt certain depuis longtemps. En 1948, le Comité du riz de la FAO avait déjà reconnu l'importance de

la pisciculture dans les champs de riz (FAO, 1957). Par la suite, cette activité a fait l'objet de discussions au sein du Conseil indo-pacifique des pêches, de la Commission générale des pêches pour la Méditerranée (CGPM), de la Réunion de la FAO pour le riz et de la Commission internationale du riz (CIR). Le Conseil indo-pacifique des pêches et la Commission internationale du riz ont formulé un programme conjoint visant à promouvoir des enquêtes destinées à évaluer l'utilité de la pisciculture en rizière.

Cet intérêt international a cependant diminué progressivement au cours des années et ce, peut-être en raison de l'utilisation d'herbicides et de pesticides chimiques lors de premières tentatives visant à stimuler la productivité rizicole.

Ce n'est que vers la fin des années 1980 que l'intérêt mondial pour la rizipisciculture a connu un regain. La culture riz-poisson a été identifiée comme projet par l'Institut international de recherches sur le riz (IRRI) et le Réseau asiatique des systèmes de riziculture. Ce projet, mené par le Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM), le WorldFish Center actuel, procède d'un effort de collaboration impliquant de nombreuses institutions à travers l'Asie. Simultanément, le Centre de recherche pour le développement international (CRDI) du Canada a co-sponsorisé le «Symposium national sur les systèmes de rizi-aquaculture en Chine» qui s'est tenu à Wuxi. Les documents présentés lors de ce symposium ont été traduits en anglais et publiés par le CRDI (MacKay, 1995). Nombre des informations sur la Chine qui sont offertes dans la présente étude ont été tirées de cet ouvrage.

Au cours des 15 dernières années, l'expansion de la culture rizipiscicole n'a pas été constante et les campagnes visant à promouvoir la pratique ont souvent été caractérisées par une discontinuité. Il y a une multitude de raisons à cela, notamment des campagnes de vulgarisation inadaptées, des pesticides peu onéreux et facilement disponibles ainsi qu'un manque de facilités de crédit.

Ce rapport entend faire l'état de la rizipisciculture telle qu'elle est pratiquée dans différents pays, examine les similitudes et les différences, identifie les expériences susceptibles d'être utiles pour

² La «croissance» signifie la culture intentionnelle d'organismes d'origine sauvage ou issus de l'élevage.

promouvoir la culture riz-poisson dans d'autres régions du monde. Il ne constitue en aucun cas un guide pratique; il vise au contraire à décrire la façon dont cette culture a été ou est encore pratiquée dans différentes régions du globe.

Le présent rapport se divise en quatre sections principales, suivies d'une brève conclusion. Faisant suite à l'introduction, la première section s'ouvre sur des informations de base comprenant un bref historique de la culture riz-poisson (chapitre 2) ainsi qu'une description de l'écosystème rizicole (chapitre 3). L'analyse se poursuit avec la deuxième section qui se concentre sur le système en lui-même à travers la description des modifications nécessaires à la pisciculture en rizière (chapitre 4), des différents

systèmes de production (chapitre 5), des techniques et de la gestion de l'élevage (chapitre 6), de la production et des rendements (chapitre 7), et enfin de la lutte raisonnée contre les ravageurs (chapitre 8). La troisième section vise, quant à elle, à replacer la culture riz-poisson dans le contexte en soulignant l'importance qu'elle représente pour les exploitants ainsi que son impact social et environnemental (chapitre 9). La quatrième section examine les expériences et la situation de la rizipisciculture à travers le monde (chapitre 10) et s'achève avec les perspectives et le programme d'avenir ainsi que les enseignements tirés, principalement en Asie, pouvant être utiles à la promotion de la culture riz-poisson dans d'autres régions du monde (chapitres 10 et 11).

2. Historique

Les premières traces à la fois botaniques et linguistiques de riziculture indiquent l'origine de cette culture dans un arc, le long de l'Asie continentale, qui s'étend de l'Inde orientale à travers Myanmar, la Thaïlande, la République démocratique populaire lao, le Viet Nam septentrional et la Chine du Sud. Bien que les plus anciennes traces de riziculture proviennent de Myanmar et de Thaïlande, on estime que la culture de riz aquatique³ impliquant la mise en boue et le repiquage des tiges du riz a été mise au point en Chine. En Chine, contrairement à d'autres régions, l'histoire de la riziculture dans les vallées fluviales et les basses terres est plus ancienne que celle des cultures dans les hautes terres.

On peut supposer que le poisson est devenu un produit supplémentaire une fois que la riziculture a progressé au-delà des zones de défrichement des forêts où les cultures s'alternaient vers une culture impliquant la mise en boue des champs avec de l'eau stagnante. Les poissons et les organismes aquatiques seraient entrés avec les eaux de crue, auraient fait de la rizière leur habitat temporaire pour grossir et se reproduire tout au long de la durée du cycle rizicole pour devenir un produit supplémentaire de rizière apprécié des riziculteurs.

Il se peut que l'on ne puisse jamais préciser à quel moment et à quel endroit la pratique d'empoissonnement délibérée des rizières a démarré. Toutefois, puisqu'il est largement admis que le démarrage de l'aquaculture remonte à une époque lointaine en Chine – la culture en étang de carpe commune (*Cyprinus carpio*) ayant commencé vers la fin de la Dynastie Shang (1401-1154 av. J.-C.) (Li, 1992) – on suppose que la rizipisciculture basée sur l'introduction de poissons a commencé en Chine. Les vestiges archéologiques et les traces écrites font remonter la culture riz-poisson à 1 700 ans en Chine et la pratique pourrait avoir commencé alors que les producteurs disposant d'alevins en excédent les auraient relâchés dans leurs rizières (Li, 1992; Cai et Wang, 1995).

Des modèles d'argile de rizières comprenant des figurines de carpe commune, de cyprin (*Carassius carassius*), de carpe herbivore (*Ctenopharyngodon*

idella), et d'autres animaux aquatiques proviennent de la dernière Dynastie Han (25-220 av. J.-C.) (Bray 1986, cité dans FAO 2000). Les traces écrites les plus anciennes datent de la Dynastie Wei (220-265 av. J.-C.) et font état d'«un petit poisson aux écailles jaunes et à la queue rouge, grossi dans les rizières du Canton de Pi au nord-est de Chengdu, dans la Province de Sichuan, qui peut être utilisé pour faire de la sauce.» On estime que le poisson auquel on se réfère est la carpe commune.

La culture riz-poisson a été décrite en premier par Liu Xun (environ 889-904 av. J.-C.) (Cai *et al.*, 1995) qui écrivait: «À Xin Long, et dans d'autres préfectures, la terre sur les pentes des collines est gâchée mais les zones de plaines près des maisons sont binées en champs. Lorsque les pluies de printemps arrivent, l'eau s'accumule dans les champs autour des maisons. Des alevins de carpe herbivore sont ensuite relâchés dans les champs inondés. Un ou deux ans plus tard, lorsque les poissons ont grossi, les racines végétales dans les parcelles ont été mangées entièrement. Non seulement cette méthode fertilise les champs, mais elle produit également du poisson. Le riz peut ensuite être planté sans mauvaises herbes. C'est la meilleure façon de cultiver.»

Il est possible que la pratique de rizipisciculture se soit développée de façon indépendante en Inde et dans d'autres régions de riziculture aquatique de l'«arc asiatique», mais n'a pas été documentée et n'a pas non plus circulé. Outre le fait d'avoir été décrite comme «une pratique séculaire», peu d'indications sont données quant à la date de début de la pratique hors de Chine de la culture riz-poisson reposant sur l'introduction délibérée de poissons, bien que certains auteurs suggèrent que la culture riz-poisson ait été introduite il y a 1 500 ans en Asie du sud-est et provenant de l'Inde (Tamura, 1961; Coche, 1967; Ali, 1992).

On estime que la culture intégrée riz-poisson a été pratiquée en Thaïlande il y a plus de 200 ans (Fedoru et Leelapatra, 1992). Au Japon et en Indonésie, la rizipisciculture a été développée au milieu des années 1800 (Kuronoma, 1980; Ardiwinata, 1957). Une étude précoce sur la culture riz-poisson a montré que dès le milieu des années 1900, elle était

³ La culture de riz aquatique comprend les écosystèmes rizicoles, tels qu'ils sont classifiés par l'Institut international de recherches sur le riz (IRRI), c.à.d les écosystèmes de riziculture pluviale des basses terres, de riziculture inondable et de riziculture irriguée, écosystèmes qui représentent au total 87 % des superficies consacrées au riz et 96 % de la production rizicole de la planète (IRRI, 2001).

pratiquée dans 28 pays sur six continents: Afrique, Asie, Australie, Europe, Amérique du Nord et Amérique du Sud (FAO, 1957). La carpe commune était alors l'espèce la plus populaire, suivie du tilapia du Mozambique (*Oreochromis mossambicus*). En Malaisie, le gourami peau de serpent (*Trichogaster pectoralis*) était préféré, tandis que le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) était utilisé en Égypte. Parmi les espèces mentionnées figurent le poisson-taureau (*Ictiobus cyprinellus*), le cyprin doré⁴ (*Carassius auratus*), le chano (*Chanos chanos*), les mullets (*Mugil* spp.), les gobies (famille des Gobiidae), les anguilles, les ophicéales ou les poissons tête de serpent (*Chana* spp.), le poisson-chat (*Clarias batrachus*), le gourami

(*Trichogaster pectoralis*) ainsi que les crevettes pénéidées (*Penaeus* spp.). Coche (1967) a fait remarquer que dans la plupart des pays, la rizipisciculture n'impliquait pas un empoisonnement délibéré ou sélectif et que les espèces cultivées ainsi que la densité d'empoisonnement variaient en fonction de ce qui arrivait avec les eaux de crue. Les espèces cultivées reflétaient ainsi ce qui vivait dans les eaux utilisées pour inonder ou irriguer les rizières. Il semblerait que la culture riz-poisson ne se soit pas développée à partir d'un point de convergence mais que son expansion ait été le fruit de développements indépendants les uns des autres.

⁴ De plus anciens rapports ne mentionnent que le terme «poisson rouge» et Ardiwinata (1957) estime que le *Cyprinus carpio* et le *Carassius auratus* ont été tous les deux inclus.

3. L'écosystème rizicole

3.1 Types d'écosystèmes rizicoles

La riziculture est pratiquée dans différentes zones agro-écologiques (ZAE) bien que la majeure partie de la culture du riz intervienne dans des subtropiques chauds/frais (ZAE 7), des tropiques humides chauds (ZAE 3) et dans des tropiques chauds sous humides (ZAE 2). En traversant les différentes ZAE, l'IRRI (1993) a classifié quatre grands types d'écosystèmes rizicoles: l'écosystème lié à la riziculture irriguée, l'écosystème lié à la riziculture pluviale des basses terres, l'écosystème lié à la riziculture des hautes terres, et l'écosystème lié à la riziculture inondée (figure 1). À l'exclusion du système en hautes terres, les systèmes sont caractérisés par la culture de riz aquatique. L'Asie représente plus de 90% de la production mondiale de riz et presque 90% des superficies rizicoles mondiales. Dans le système rizicole irrigué, les rizières ont un approvisionnement en eau assuré pour une ou plusieurs récoltes par an. Les terres

irriguées couvrent la moitié des superficies rizicoles de la planète et produisent environ 75% de l'offre mondiale de riz.

L'écosystème lié à la riziculture pluviale des basses terres se caractérise par son manque de contrôle de l'eau et par des problèmes à la fois d'inondation et de sécheresse. Environ un quart des superficies rizicoles du monde est de type pluvial.

L'écosystème lié à la riziculture pluviale des hautes terres varie de vallées en zone peu accidentée à des terres ondulées et en pente raide caractérisées par une intensité élevée de ruissellement et de mouvements d'eau. La variation de ces terres porte sur la texture, la capacité de retenue de l'eau et l'état des éléments nutritifs étant donné qu'il peut s'agir d'alfisols mal lessivés d'Afrique de l'Ouest tout autant que de terres volcaniques fertiles d'Asie du Sud-Est. Moins de 13 % du riz mondial est issu de riziculture de hautes terres.

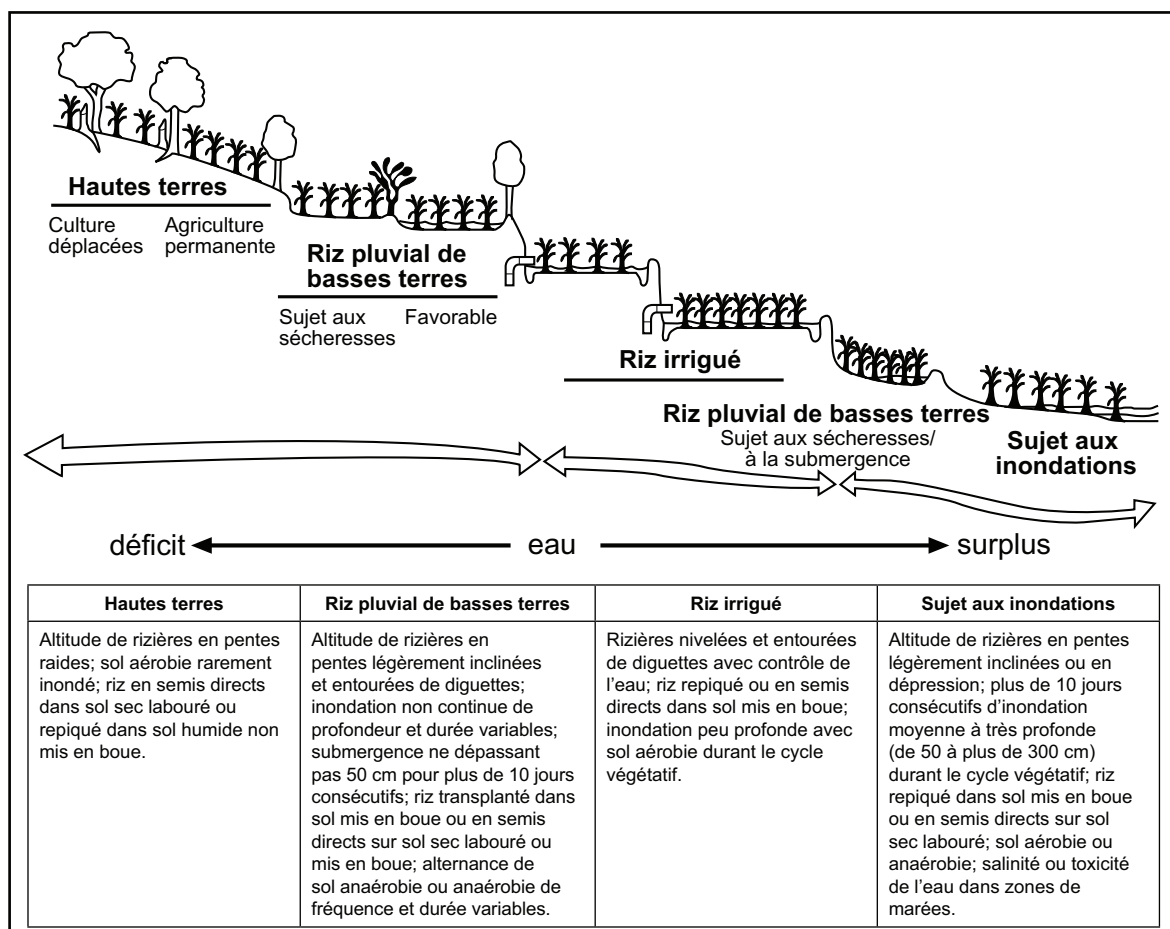


Figure 1. Écosystèmes rizicoles (d'après Greenland 1997 et adapté par l'IRRI, 1993).

Les terres rizicoles restantes entrent dans la catégorie d'écosystèmes liés à la riziculture inondée (presque 8%), qui sont sujettes à des inondations non contrôlées, et peuvent être submergées pour une période pouvant aller jusqu'à 5 mois consécutifs et dont la profondeur de l'eau peut varier de 0,5 à 4,0 m, voire davantage. Les inondations peuvent être constituées d'eau saumâtre résultant des fluctuations des marées. Dans cette catégorie sont incluses les rizières des zones de marées des plaines côtières. Les inondations ne constituent pas le seul problème affectant ces zones puisqu'elles peuvent également être confrontées à des sécheresses ainsi qu'à la présence de sols acidosulphates et/ou de sols salés.

Il est envisageable de cultiver du poisson dans toutes les parcelles de riziculture aquatique, quel que soit l'écosystème. En matière de faisabilité d'élevage de poisson dans toute superficie rizicole, le principal élément déterminant est la disponibilité en eau et la retenue de l'eau ou les caractéristiques de formation de digues du sol. Le volume et le caractère saisonnier de l'eau dictent l'approche piscicole d'une zone donnée. Les terres rizicoles marquées par un approvisionnement en eau fortement saisonnier ou forcé n'offrent que des choix limités pour la pisciculture, alors que le potentiel de la pisciculture est plus grand avec un approvisionnement en eau disponible tout au long de l'année. Les références aux parcelles rizicoles et aux rizières présentes dans le reste de ce document se réfèrent à la culture de riz aquatique.

3.2 Écosystème des champs de riz aquatique

Le champ de riz aquatique peut être décrit comme un «milieu aquatique temporaire» (Roger, 1996) ou «une zone humide spéciale» que l'on peut considérer «comme successeur des marais ou marécages peu profonds» (Ali, 1998), favorisée ou maintenue par les activités des exploitants. D'après Heckman (1979), tant que la terre est cultivée, son équilibre sera maintenu d'année en année.

En général, le milieu aquatique des rizières est caractérisé par le peu de profondeur, une forte variation de la turbidité ainsi que par de considérables fluctuations de températures, du pH et de l'oxygène dissous. L'eau stagnante étant intermittente par nature, la faune et flore aquatiques, susceptibles d'être riches, sont de nature transitoire et doivent tirer leurs origines dans les canaux d'irrigation et les réservoirs (Fernando, 1993).

Cette section n'entend pas être exhaustive mais se concentre sur les sujets en rapport à l'élevage de poisson en rizière. Pour une analyse plus complète de l'écosystème rizicole, le lecteur est invité à consulter Heckman (1979) ou Roger (1996). L'accent est mis, dans la présente étude, sur les principaux aspects de l'écosystème rizicole affectant les animaux et les plantes dont les rizières sont leur habitat; un bref aperçu des organismes et espèces qui y trouvent refuge est également donné.

3.2.1 Facteurs affectant le poisson et autres organismes aquatiques

Les principaux facteurs qui affectent les poissons et les autres animaux présents dans les rizières sont le niveau de l'eau, la température, l'oxygène dissous (OD), l'acidité (mesuré en tant que pH) et l'ammoniaque non ionisée (NH₃). D'autres facteurs sont également importants mais dans une moindre mesure. Le lecteur est invité à consulter Boyd (1979, 1982) pour une analyse plus détaillée concernant la façon dont différents facteurs affectent les poissons et les autres organismes aquatiques.

Le niveau de l'eau des rizières varie souvent de 2,5 à 15,0 cm en fonction de la disponibilité en eau et du type d'aménagement hydrique choisi, ce qui fait des rizières un milieu inadapté pour des organismes nécessitant une eau plus profonde. Cet aspect constitue la première et bien souvent la plus importante des contraintes pour les types d'organismes en mesure de vivre dans le milieu rizicole. Cela n'est naturellement pas le cas dans les rizières sujettes aux inondations.

Étant peu profonde, l'eau est fortement affectée par les conditions climatiques (radiations solaires, vitesse du vent, température de l'air et précipitations). En outre, une rizière inondée fonctionne comme une serre, à savoir que la couche d'eau agit de la même façon que le verre d'une serre. Des radiations à ondes courtes (lumière) provenant du soleil réchauffent la colonne d'eau et le sol sous-jacent, tandis que les radiations à ondes longues (chaleur) sont bloquées et ne peuvent s'échapper, élevant de ce fait la température. La figure 2 indique que la quantité de chaleur pouvant s'accumuler dépend de plusieurs facteurs, mais rend les températures de l'eau et du sol plus élevées que la température de l'air (Roger, 1996).

La température maximale enregistrée à l'interface eau-sol peut atteindre 36-40°C au milieu d'après-

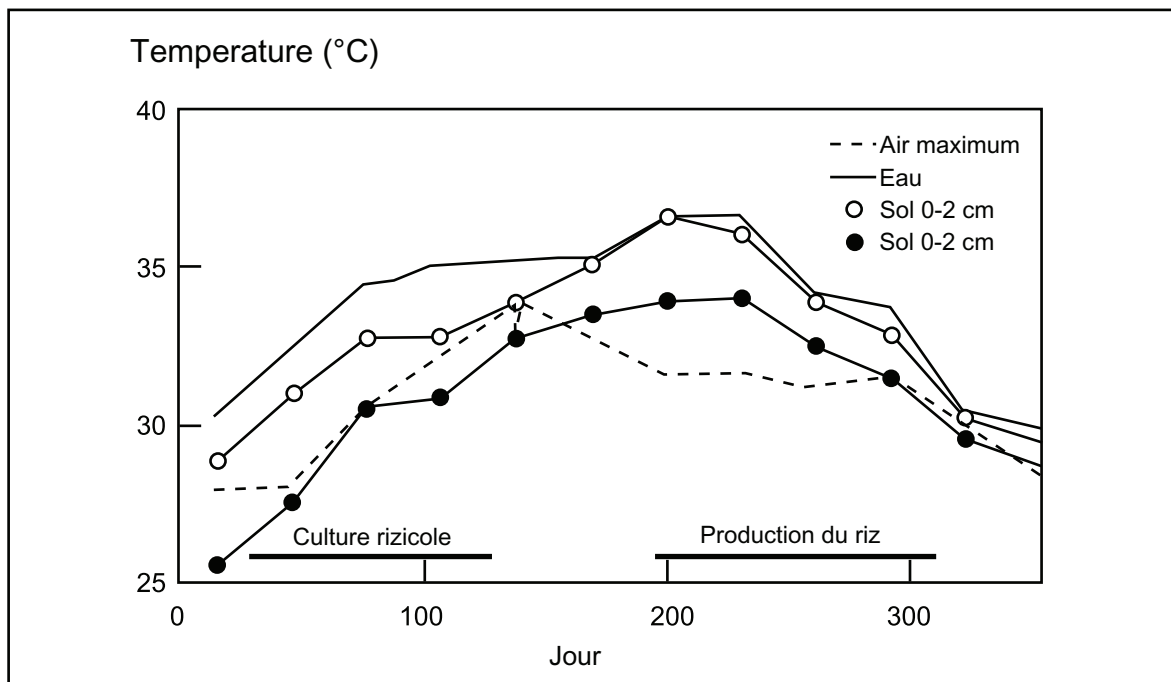


Figure 2. Valeurs mensuelles moyennes des températures maximales de l'air et des eaux de crue, sol plus élevé (0-2 cm) et sol en contrebas (2-10 cm) à 14h, exploitation IRRI, 1987 (Roger, 1996).

midi, dépassant parfois 40°C pendant la phase de démarrage du cycle de culture. Les fluctuations diurnes se situent autour de 5°C et diminuent avec l'augmentation des feuilles du riz. Des variations diurnes maximales de plus de 16°C ont été enregistrées en Australie.

Étant donné que tous les animaux consomment de l'oxygène, la quantité d'oxygène dissous (OD) est essentielle, même si certains des organismes sont amphibies et d'autres peuvent utiliser l'oxygène atmosphérique. La concentration d'OD au sein d'une rizière résulte de processus mécaniques, biologiques et chimiques. Les processus mécaniques consistent en des actions du vent et de sa diffusion qui s'ensuit à travers l'interface air-eau. Une source majeure d'OD dans la colonne d'eau est constituée par l'activité photosynthétique de la biomasse végétale aquatique pouvant conduire à une saturation extrême en milieu d'après-midi, bien que, pendant la nuit, l'oxygène soit consommé par la respiration des plantes. Ainsi, avec la respiration de la part des animaux ainsi qu'avec les bactéries et les processus d'oxydation, des conditions anoxiques se présentent durant la nuit et la période précédant l'aube (Fernando, 1996). Cela est plus prononcé dans des rizières aux eaux plus profondes, ce qui peut devenir anoxique pendant la deuxième moitié de la saison humide (University of Durham, 1987).

La respiration utilise de l'oxygène et produit du dioxyde de carbone (CO_2) qui, lorsqu'il est dissous dans l'eau forme de l'acide carbonique (H_2CO_3), qui à son tour se dissocie en bicarbonates (HCO_3^-) et en carbonates (CO_3^{2-}). Cela a pour résultat le relâchement d'ions hydrogènes (H^+), ce qui augmente l'acidité de l'eau et entraîne la baisse du pH. Le CO_2 atmosphérique, à travers la diffusion et l'agitation naturelles sur l'eau de surface, et la décomposition de la matière organique sont d'autres sources importantes de dioxyde de carbone. En revanche, le retrait de CO_2 de l'eau dû à l'activité photosynthétique entraîne l'augmentation des ions hydroxydes (OH^-) et fait augmenter le pH de l'eau.

Le niveau d'oxygène dissous (OD) et le pH de l'eau d'une rizière sont en corrélation positive dans la mesure où la concentration d'OD est dans une large mesure un résultat de l'activité photosynthétique qui consomme le carbone et réduit le CO_2 dissous (et de ce fait la concentration de H^+), augmentant réellement la teneur à la fois en pH et en OD. Inversement, la teneur de ces deux derniers éléments est réduite au moment où la respiration est à son taux le plus fort (figure 3). En fonction de l'alcalinité (ou capacité de tampon) de l'eau, ces variations diurnes peuvent aller de zéro OD à une saturation extrême ou osciller entre des eaux acides et des eaux fortement basiques ($\text{pH} < 9.5$) durant les périodes de blooms phytoplanctoniques (Roger, 1996).

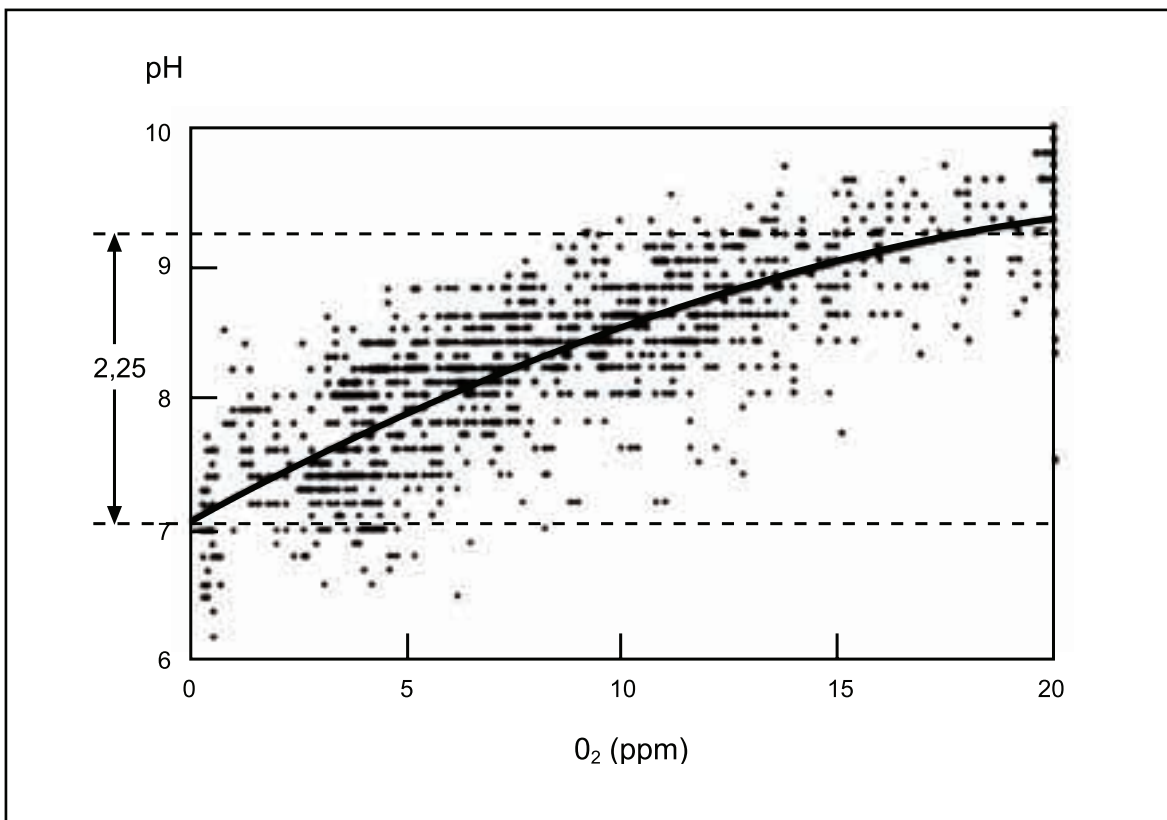


Figure 3. Corrélation entre la concentration d'oxygène des eaux de crues et le pH sur cinq sols inondés (P.A. Roger et P.M. Reddy, IRRI 1996 non publié par Roger, 1996).

L'ammoniac (NH_3) est une source importante d'azote en rizière. Sous sa forme ionisée, NH_4^+ , l'ammoniac est plutôt inoffensif pour les poissons, tandis que sous sa forme non ionisée, NH_3 , il est très toxique. La proportion des différentes formes dépend du pH de l'eau, à savoir que la concentration de NH_3 augmente d'un facteur de 10 par augmentation d'unité de pH situé entre un pH de 7 et 9 (Roger, 1996). À ce titre, la concentration d'ammoniac dans l'eau peut provoquer la mort des poissons ou d'autres organismes aquatiques lorsque le pH de l'eau atteint des niveaux élevés, et ce notamment après avoir appliqué des engrais riches en azote dans les rizières.

3.2.2 Facteurs affectant les plantes

Les principaux facteurs affectant les plantes des rizières sont l'eau, la lumière, la température, les nutriments du sol (nitrogène, phosphore, potassium et autres minéraux) ainsi que les pratiques culturales. La flore des rizières comprend les plants de riz ainsi que de nombreux types d'algues et autres macrophytes vasculaires. On désigne souvent la végétation, à l'exclusion des plants de riz, «biomasse aquatique

photosynthétique». Il a été signalé que les algues présentes en rizières développent à elles seules une biomasse de plusieurs tonnes de poids frais par hectare (Roger, 1996).

Une inondation continue de 5,0-7,5 cm est considérée comme la meilleure pour une optimisation des rendements en riz, de la réserve en nutriments et de la lutte contre les plantes adventices. Lorsque le riz commence à mûrir, les plants n'ont besoin que de très peu d'eau et les rizières sont généralement drainées environ 10 jours avant la récolte pour faciliter le travail. Le fait d'assécher la rizière a pour conséquence une modification radicale de la composition de la flore étant donné que seules les algues du sol et les algues bleues sporulées (cyanobactérie) peuvent supporter des périodes de sécheresse. La composition chimique de l'eau des rizières dépend initialement de sa source (précipitations, eaux de crue provenant d'une rivière, d'un canal d'irrigation ou d'un puits). Une fois que l'eau fait partie de la rizière, sa composition change drastiquement en raison de la dilution effectuée par la pluie, de la dispersion des particules des sols de surface, de l'activité biologique et, avant tout, de l'application d'engrais.

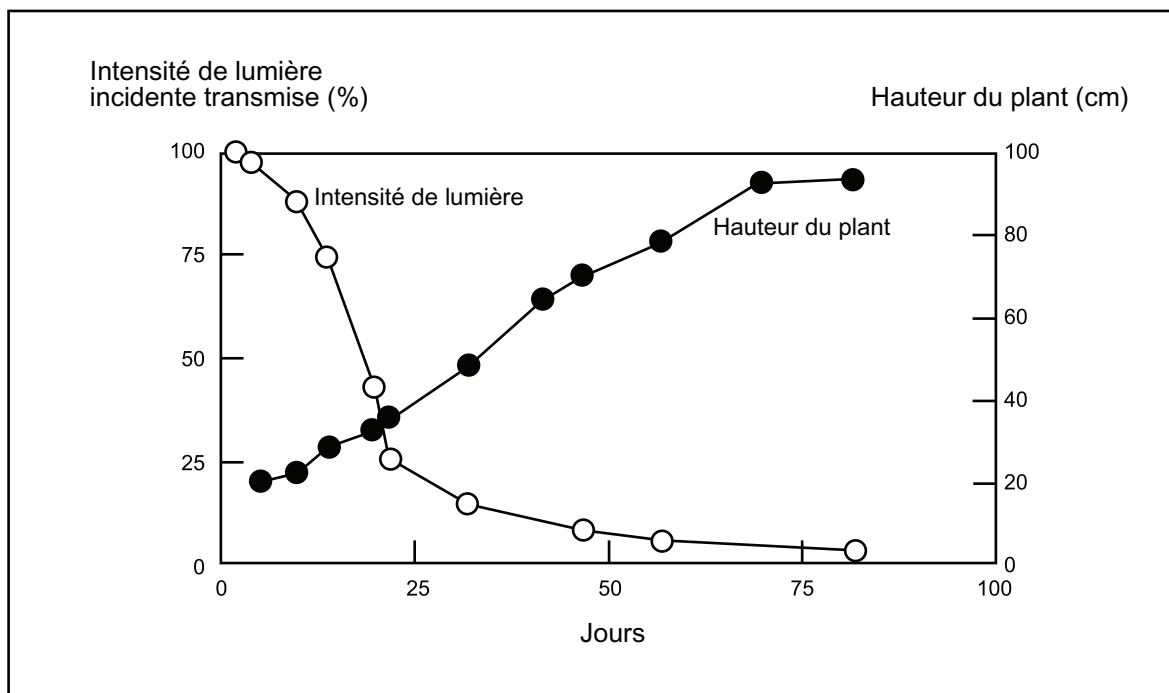


Figure 4 . Relation entre la hauteur du plant et l'intensité de lumière incidente transmise sous le nouveau feuillage (Kurasawa, 1956 tiré de Roger, 1996).

La quantité de lumière dans une rizière dépend de la saison, de la latitude, de la couverture nuageuse, ainsi que de la densité du feuillage des plants. Les feuilles des cultures provoquent une diminution rapide de la lumière du soleil pouvant atteindre l'eau. Un mois après le repiquage, la quantité de lumière atteignant la surface de l'eau peut chuter jusqu'à 85% et à 95% après deux mois (figure 4). L'ombre causée par les plants de riz peut limiter les activités de photosynthèse des algues des rizières pendant la croissance des cultures rizicoles. La turbidité des eaux de crue, la densité du plancton et les macrophytes flottants ne font que réduire davantage la pénétration de la lumière. La disponibilité de la lumière influence non seulement la quantité mais aussi la composition des espèces de la biomasse aquatique de photosynthèse. De nombreuses algues vertes sont adaptées à des conditions où la quantité de lumière est élevée tandis que les algues bleues, ou cyanobactéries, sont considérées comme des espèces adaptées à peu de lumière. Certaines espèces d'algues bleues cependant sont résistantes à, voire favorisées par, une grande intensité de lumière (Roger, 1996).

Les températures, qu'elles soient élevées ou basses, peuvent affaiblir la productivité du phytoplancton et de la photosynthèse. Comme la lumière, la température peut aussi avoir des répercussions sur la sélection des espèces. Des températures plus élevées favorisent les algues bleues tandis que des

températures plus basses stimulent les algues eucaryotes.

Des facteurs liés au sol peuvent déterminer la composition des algues. En effet, un sol acide favorise les chlorophytes (algues vertes) et un sol alcalin facilite les cyanobactéries qui fixent l'azote. L'application de chaux agricoles (CaCO_3) dans des sols acides augmente la quantité d'azote disponible et favorise la croissance de cyanobactéries. De grandes quantités de phosphore apparaissent également comme un facteur décisif pour la croissance des algues bleues.

Les effets les plus profonds sur la flore des rizières peuvent être ceux résultant de l'intervention humaine ou des pratiques agricoles. Le travail du sol a pour conséquence l'incorporation d'algues et de macrophytes ainsi que de leurs spores dans le sol et de la dispersion de particules d'argile dans l'eau. Après avoir été mélangées au sol, il est fort probable que la recolonisation des formes mobiles d'algues, telles que les flagellés, se produira dans la mesure où ces dernières sont en mesure de se déplacer à la surface afin d'être exposées à la lumière du soleil. Les suspensions de particules d'argile, de leur côté, provoquent la turbidité de l'eau et entraînent une réduction de la quantité de lumière disponible pour la photosynthèse. De l'azote minéralisé est relâché rapidement dans les eaux de crue suite à la

préparation du sol. On estime que c'est pour cette raison que des efflorescences d'algues se manifestent fréquemment après la mise en boue.

La méthode de semis affecte également la croissance d'algues. Le repiquage favorise la croissance d'algues par rapport à l'épandage à la volée qui provoque un feuillage continu précoce, ce qui bloque davantage la lumière que le repiquage.

Destinée aux plants de riz, la fertilisation ne peut qu'affecter la croissance et le développement de tous les organismes aquatiques présents dans les eaux de crues. Les impacts en question dépendent du type d'engrais et des micronutriments utilisés et peuvent varier de site en site. Par ailleurs, chaque plant et espèce d'algues peut réagir différemment aux diverses applications de N, P, K et CaCO_3 .

L'application d'engrais riche en azote, tel que le sulfate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ et l'urée provoque une augmentation de concentration d'ammoniac dans l'eau, jusqu'à 40-50 ppm. L'application de phosphore, ce qui est souvent effectué mensuellement, stimule la croissance d'algues et par conséquent, la productivité. Par contre, aucun effet n'est à noter sur les animaux des rizières.

L'application en surface de NPK a pour résultat une croissance d'algues en grande quantité avec en premier lieu, le développement de formes planctoniques, suivis de formes filamenteuses qui persistent plus longtemps. Les engrais riches en azote favorisent la croissance des algues eucaryotes tout en empêchant la croissance des algues bleues. Dans des sols pauvres en phosphore, l'ajout d'engrais à base de phosphore ou de fumier riche en phosphore améliore la croissance d'algues. Le calcaire est rarement un facteur limitant la croissance d'algues en rizières, mais le chaulage stimule la croissance d'algues bleues en élevant le pH. L'utilisation de fumier organique peut réduire de façon temporaire la croissance d'algues pendant la phase active de décomposition, mais peut, par la suite, favoriser la croissance d'algues bleues.

La composition des plantes aquatiques d'une rizière peut aussi être déterminée par les organismes présents dans le champ, qui peuvent être pathogènes, antagonistes ou brouteurs. Certaines bactéries, champignons ou virus sont pathogènes et influencent la suite. Certaines algues sont antagonistes du fait qu'elles relâchent des substances qui empêchent la croissance. Enfin,

il y a les animaux brouteurs – c.-à-d. des organismes qui dépendent des plantes aquatiques comme nourriture, tels que les cladocères, copépodes, ostracodes, larves de moustiques, escargots et autres invertébrés.

Dans les parcelles rizicoles expérimentales de l'IRRI aux Philippines, la productivité principale qui a été mesurée allait de 1,0 à 2,0 g $\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$ mais qui, dans la plupart des cas, se situerait entre 0,2 et 1,0 g $\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$. Ces valeurs sont semblables aux valeurs de productivité signalées dans les lacs eutrophiques.

3.2.3 La faune des rizières

La rizière comporte une biodiversité étonnamment riche, sans doute la plus riche de tout système pluvial tropical, en veut pour preuve l'indication de Heckman (1979) qui a enregistré un total de 589 espèces d'organismes dans une rizière en Thaïlande. Parmi ces espèces, non moins de 233 étaient des invertébrés (à l'exclusion des protozoaires) représentant six embranchements dont plus de la moitié était des espèces arthropodes. Par ailleurs, 18 de ces espèces étaient des espèces de poisson et 10 des espèces de reptiles et amphibiens. Un nombre semblable de poissons, escargots, crabes, et de plus grands insectes sont signalés au Cambodge (Gregory et Guttman, 1996).

Les rizières servent aussi d'habitat aux oiseaux ainsi qu'à la faune et flore pour une partie ou tout le cycle de leur vie. Ali (1998) classifie au moins 13 espèces d'oiseaux et 6 petits mammifères pouvant être observés en rizière.

La biodiversité des rizières est menacée non seulement par les changements de pratiques agricoles marqués par la diffusion de la mécanisation et l'utilisation d'intrants chimiques, mais aussi par la dégradation environnementale conduisant à la disparition des réservoirs permanents (ou des refuges) pour les organismes vivant à proximité des rizières (Fernando *et al.*, 1979). Depuis longtemps, les rizières sont une riche source d'organismes comestibles dans de nombreuses régions. Heckman (1979) a observé un type de légume et 16 espèces animales qui étaient collectées dans une seule rizière en Thaïlande. Des cas de figure semblables ont été observés dans d'autres zones de l'Asie du Sud-Est (Gregory, 1996; Gregory et Guttman, 1996). Balzer *et al.* (2002) ont signalé environ 90 espèces aquatiques (à l'exception des plantes) collectées

Tableau 1. Statistiques résumant les modèles N de rizières irriguées de basses terres sans et avec des poissons.

Unité	Riz	Riz-Poisson
Production totale (kg N-culture ⁻¹)	465,60	476,80
Flux total en fragments résiduels (kg N-ha ⁻¹ -culture ⁻¹)	447,10	456,80
Débit total (kg N-ha ⁻¹ -culture ⁻¹)	1 122,22	1 183,60
Débit cyclé (kg N-ha ⁻¹ -culture ⁻¹) (dont les fragments résiduels)	334,40	346,30
Indice de cycle (%)	59,60	58,50
Longueur moyenne du parcours	11,45	12,11

Source: Cagaun *et al.* (1993).

par les exploitants cambodgiens dans leurs rizières et utilisées quotidiennement par les ménages ruraux. On signale toutefois, que cette diversité de nourriture provenant d'une seule rizière, bien qu'encore fréquente dans de nombreuses zones, est en déclin (Halwart, 2003b).

3.2.4 L'impact de la faune aquatique sur l'écosystème rizicole

La faune aquatique joue un rôle important dans le recyclage des nutriments. Que ce soit en tant que consommateurs primaires ou secondaires, les animaux secrètent des formes inorganiques et organiques d'azote et de phosphore et sont un facteur majeur dans l'échange de nutriments entre le sol et l'eau. Parmi les organismes, les oligochètes benthiques (famille des tubificides) ont reçu une attention spéciale parce qu'ils peuvent se déplacer entre le sol réduit (qui se trouve au-dessous de la couche oxydée et peu profonde) et les eaux de crue. Avec les ostracodes et les larves de diptères, les oligochètes répondent de façon positive à l'engrais azoté s'il est appliqué par épandage à la volée, ce qui n'est pas le cas s'il est appliqué par applications en profondeur. Les populations indigènes d'escargots, en revanche, sont fortement affectées de manière négative par l'épandage à la volée d'engrais N (Simpson, 1994).

Les poissons jouent un rôle important dans le cycle des nutriments de l'écosystème rizicole. Cagaun (1995) répertorie quatre façons dont le poisson peut exercer une influence sur la composition des nutriments des eaux de crue et du sol de surface oxydé ainsi que sur la croissance du plant de riz. Premièrement, en apportant davantage de nutriments au champ de riz à travers l'excrétion de matières fécales ainsi que par la décomposition des poissons morts. Deuxièmement, par le relâchement dans l'eau de nutriments fixes provenant du sol lorsque le poisson nage et disperse des particules du sol,

perturbant de ce fait l'interface sol-eau. Troisièmement, en rendant le sol plus poreux lorsque le poisson perturbe l'interface sol-eau, le poisson augmente l'assimilation des éléments nutritifs par le riz. Enfin, le poisson contribue au recyclage des nutriments en broutant la biomasse résultant de la photosynthèse et autres composantes de l'écosystème.

Plus spécifiquement, le poisson affecte le cycle de l'azote qui survient au sein d'une rizière. Cagaun *et al.* (1993) ont observé qu'une rizière abritant des poissons a une plus grande capacité de production et de capture d'azote qu'une rizière dépourvue de poissons (tableau 1). De même, le poisson peut contribuer à conserver l'azote en réduisant l'activité de photosynthèse (en broutant la biomasse aquatique résultant de la photosynthèse et en augmentant la turbidité), conservant ainsi un pH plus bas et réduisant la volatilisation de l'ammoniac. Cela peut être important puisqu'il a été estimé que les pertes d'azote à travers la volatilisation de l'ammoniac pouvaient atteindre de 2 à 60% de l'azote appliqué (Fillery *et al.*, 1984).

Le poisson affecte le cycle du phosphore. Le phosphore est souvent un nutriment limitant pour la production primaire étant donné qu'il se fixe souvent dans le sol et n'est pas assimilable par les plantes des rizières. Le poisson, en perturbant le sol, augmente la porosité et favorise le transfert de phosphore dans le sol. En revanche, en broutant au sein de la population oligochète, le poisson peut produire exactement l'effet opposé puisque les oligochètes augmentent également la porosité du sol. Il a été observé que les parcelles dépourvues de poissons ont une porosité du sol plus élevée en raison de la présence d'oligochètes qui ne sont pas perturbés. Il a également été observé que les poissons sont capables de réduire de 80% la population d'oligochètes présente en rizière (Cagaun *et al.*, 1993).

Tableau 2. Comparaison entre les exigences environnementales du poisson et celles du riz.

PARAMÈTRE	VARIATION HABITUELLE	
	RIZ	POISSON
1. Profondeur de l'eau	Minimum: sols saturés sans inondation ; Idéal: inondation continue démarrant à une profondeur de 3 cm augmentant progressivement à un max. de 15 cm au 60e jour. Drainage complet 1-2 semaines avant la récolte (Singh <i>et al.</i> , 1980)	0,4-1,5 m pour l'alevinage et 0,8-3.0 m pour le grossissement (Pillay, 1990)
2. Température	Températures max. de l'eau et du sol de 40°C et fluctuations de 10°C max. en une journée sans effets nuisibles apparents.	25°-35°C pour les espèces d'eau chaude. Températures stables préférables. La prise de nourriture peut ralentir à des températures en deçà et au-delà de la norme. Le métabolisme double à chaque augmentation de 10°C.
3. pH de l'eau	De neutre à alcalin.	6,5-9,0 (Boyd, 1979).
4. Oxygène	Important durant la phase de mise en boue pour le développement de racines.	De préférence à un niveau de quasi-saturation ou de saturation (5,0-7,5 ppm en fonction de la température)
5. Ammoniac	Des teneurs élevées en ammoniac sont fréquentes juste après la fertilisation.	L'ammoniac non ionisée est fortement toxique. Sa forme ionisée est généralement sans danger.
6. Transparence ou turbidité	Sans importance.	Important pour la croissance de la nourriture naturelle. Des niveaux très élevés de particules du sol en suspension peuvent empêcher la respiration.
7. Période de culture	90-120 jours pour les variétés à haut rendement (VHR) ; jusqu'à 160 jours pour les variétés traditionnelles.	120-140 jours en fonction des espèces et des exigences commerciales.

3.2.5 La rizière en tant que système piscicole

En principe, tant que l'eau est suffisante dans une rizière, elle peut servir de système piscicole. Une rizière est cependant conçue pour la riziculture, les conditions ne sont donc pas toujours optimales pour le poisson. Notons comme remarque de base que le riz n'exige pas nécessairement de l'eau stagnante en permanence pour survivre. Le riz peut en effet être cultivé avec succès dans des sols saturés dépourvus d'eau stagnante (Singh *et al.*, 1980), et il a récemment été démontré à propos de l'intensification du système rizicole que l'irrigation intermittente pouvait accroître les rendements en riz. Néanmoins, même en présence d'une colonne

d'eau stagnante, une rizière inondée n'est pas nécessairement un endroit idéal pour l'élevage de poisson. L'eau peut atteindre des températures très élevées. En outre, le riz exige des engrais qui augmentent la teneur totale en ammoniac dans l'eau et peut ainsi augmenter la teneur en ammoniac fortement toxique (pour les poissons) et non-ionisé dans l'eau. Le riz n'exige pas d'oxygène dans l'eau – élément essentiel pour la plupart des poissons. Enfin, la riziculture nécessite des interventions humaines susceptibles de nuire à la survie et/ou à la croissance du poisson, telles que le désherbage chimique ou l'application d'herbicide. Certaines de ces exigences opposées du riz et du poisson sont synthétisées au tableau 2.

4. Modification des rizières en vue de la pisciculture

Plusieurs modifications physiques ont été conçues au cours des années afin de rendre la rizière mieux adaptée à la pisciculture. La plupart de ces modifications sont communes à de nombreux pays et peuvent avoir été développées indépendamment les unes des autres suivant une approche «de bon sens» qui caractérise de nombreuses pratiques.

Toutes les modifications ont comme objectifs de base de fournir des zones plus profondes destinées à la croissance du poisson sans pour autant inonder les plants de riz mais tout en limitant l'entrée des poissons dans les rizières ou leur fuite. Cela est effectué soit en réalisant des portions de rizière destinées aux poissons et plus profondes que le niveau du sol soit, au contraire, en créant des zones plus élevées que le niveau du sol destinées au riz ou à d'autres cultures. Il existe quatre améliorations physiques communément effectuées en vue de préparer les rizières à la pisciculture. La première consiste à rehausser la digue ou la levée de terre afin de permettre une plus grande profondeur de l'eau à l'intérieur du champ et/ou de réduire au minimum le risque d'inondation. La deuxième amélioration est d'installer des barrages ou des grilles afin d'empêcher la fuite de poissons ainsi que faire en sorte que les poissons prédateurs n'entrent pas avec l'eau d'irrigation. La troisième amélioration, qui n'est pas toujours pratiquée quoique souvent préconisée, consiste à prévoir des drains appropriés et la quatrième, à prévoir des zones plus profondes pour servir de refuge aux poissons. Ces différentes modifications ayant fait l'objet de descriptions plus détaillées par divers auteurs (par ex. FAO/ICLARM/IIRR, 2003), cette section fournira un aperçu complémentaire.

4.1 Rehaussement de la diguette (levée de terre)

Les variétés de riz n'exigeant pas des eaux profondes, les bords remblayés des rizières sont en général bas et étroits. Pour que le champ de riz soit plus adapté aux poissons, la hauteur de ces remblais (ou billon) doit, dans la plupart des cas, être augmentée. Des rapports sur la rizipisciculture émanant de plusieurs pays ont signalé des remblais d'une hauteur de 40-50 cm (mesurés du sol au sommet). Le niveau de l'eau utilisée pour le riz ne dépassant pas normalement 20 cm, ces remblais auront une revanche totale de 20-30 cm, ce qui est suffisant

pour empêcher les poissons de sauter par-dessus. Ces remblais ne peuvent évidemment pas être rehaussés sans une augmentation correspondante de leur largeur. Aucune règle absolue n'existe quant à leur largeur finale, même si elle se situe généralement entre 40-50 cm.

4.2 Installations de barrages ou de grilles

Une fois que les poissons sont introduits dans la rizière, des efforts doivent être consentis afin de les empêcher de fuir avec l'eau, peu importe que le flux de l'eau entre ou sorte. Pour éviter la perte du stock de poissons, les exploitants installent des grilles ou des barrages en travers du flux de l'eau. Les grilles ou filets utilisés dépendent des matériaux locaux disponibles. FAO, ICLARM et IIRR (2003) énumèrent trois types de barrages: des lamelles de bambou, un panier, ou un morceau de filet de pêche (voire un morceau de feuille de métal bien perforée).

4.3 Installations de drains

En général, les rizières ne sont pas équipées de barrières pour gérer le niveau de l'eau. La pratique courante consiste à faire une brèche temporaire dans une portion du remblai pour faire entrer ou sortir l'eau à l'endroit qui convient le mieux. Cette pratique est compréhensible puisque les digues ont d'ordinaire une hauteur qui n'excède pas 25-30 cm et dont la largeur est quasiment identique. À l'aide d'une pelle, d'une binette, voire à mains nues, il est possible d'amener l'eau vers l'intérieur ou l'extérieur. La réparation de la digue par la suite est tout aussi aisée.

Il est plus difficile, en revanche, de faire une brèche dans la digue plus large qui est requise pour la rizipisciculture; la réparation en sera également plus délicate. Il est donc recommandé d'installer un moyen plus permanent pour faire entrer ou sortir l'eau comme dans un étang d'élevage ordinaire bien que cela puisse occasionner des coûts supplémentaires. Les rapports disponibles n'offrent généralement pas assez de détails sur les types d'écoulement hydrique installés, mais parmi les différentes possibilités figurent des tubes de bambou, des bûches évidées, des tuyaux de métal ou des coulisses en bambou (FAO/ICLARM/IIRR, 2003; IIRR *et al.*, 2001).

4.4 Refuges à poissons

Un refuge à poisson est une zone plus profonde conçue pour les poissons au sein d'une rizière. Il peut être constitué d'une ou de plusieurs tranchées, d'un étang, voire juste d'une cuve ou une fosse. Le but dudit refuge est d'offrir un espace au poisson au cas où l'eau s'assècherait ou ne serait pas suffisamment profonde. Le refuge est également conçu pour faciliter la récolte des poissons à la fin de la campagne rizicole, ou pour conserver les poissons dont l'élevage doit être poursuivi pendant la récolte du riz (Halwart, 1998). Conjointement avec la conception du refuge, des mesures sont souvent prises pour que le poisson ait un meilleur accès à la rizière ou à la nourriture.

Il existe différentes formes de refuges allant de dépressions dans une partie de la rizière à des tranchées en direction d'un étang à proximité du champ et relié à l'aide d'un canal. Une multitude de systèmes ont été signalés, tous suivant cependant les mêmes principes. Cette section offre un bref aperçu des différents types de refuges qui sont pratiqués en rizipisciculture, à savoir, tranchées, étangs, fosses ou cuves. Il convient de noter qu'il n'est pas rare de combiner les tranchées avec des étangs ou des fosses. En outre, ces dénominations sont plutôt imprécises dans la mesure où la transformation d'une tranchée à un étang latéral, et de même d'une fosse à un étang, s'effectue progressivement et la question de savoir à quel moment précis une tranchée devient un étang latéral et vice versa est d'ordre plutôt théorique et peu fondée sur la pratique.

4.4.1 Tranchées

Avant de décrire les différentes façons dont les tranchées ont été utilisées dans la culture riz-poisson, il y a lieu de préciser que les tranchées peuvent remplir trois fonctions: la fonction de refuge si le niveau de l'eau devait chuter, de voie de passage fournissant aux poissons un meilleur accès à la nourriture présente en rizière, enfin de bassin de capture au moment de la récolte (De la Cruz, 1980).

Il existe plusieurs façons de creuser une tranchée. La plus simple consiste simplement à creuser une tranchée centrale longitudinale dans le champ. La figure 5 illustre les nombreuses variations de ce thème qui s'avère plutôt simple (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

Xu (1995a) a signalé une méthode pratiquée dans de plus grandes rizières consistant à creuser des tranchées sous forme de croix et même d'un «doublement», soit deux tranchées parallèles se croisant à une autre paire, et ce, dans des grandes rizières d'une surface allant de 700 à 3 000 m².

Les tranchées sont juste suffisamment larges et profondes pour abriter sans danger tous les poissons pendant le séchage et le désherbage et n'exigent généralement de n'enlever que deux rangs de tiges de riz. De cette façon, les tranchées n'affectent pas radicalement la production des cultures rizicoles. On a signalé diverses largeurs de tranchée se situant approximativement entre 40 et 50 cm (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992) avec une profondeur minimum recommandée de 50 cm mesurée du sommet de la diguette au fond de la tranchée; le fond de la tranchée étant donc à 25-30 cm au-dessous du niveau du sol (Ardiwinata, 1953). Dans Sevilleja *et al.* (1992) on signale une conception pourvue d'une tranchée centrale mesurant 1 m de largeur et dont l'eau y arrive par une arrivée filtrée ainsi que d'une tranchée étroite périphérique. Une autre conception expérimentale aux Philippines a utilisé une tranchée en forme de «L» impliquant deux côtés de la rizière, de 3,5 m de largeur et occupant 30 % de la parcelle rizicole.

Pour la production d'alevins, les fossés sont creusés conjointement avec des fosses ou cuves d'1 m² et de 50-70 cm de profondeur au niveau de l'arrivée ou de la sortie d'eau. Les tiges de riz sont plantées le long des deux côtés de chaque fossé et des trois côtés de chaque fosse pour servir de «barrière» (Wan *et al.*, 1995).

Une variation a été signalée provenant de Chine consistant en un «large fossé»⁵ mesurant 1 m de largeur et 1 m de profondeur, lequel est placé latéralement le long du côté de la rizière de l'arrivée d'eau et dont le sommet du remblai s'élève à environ 25 cm du niveau du champ. Ce dernier remblai est construit le long du côté du fossé qui est éloigné du bord de la rizière. Pour permettre aux poissons de venir se nourrir parmi les plants de riz, des ouvertures de 24 cm de largeur sont réalisées le long du remblai à des intervalles de 3-5 cm. Ces fosses occupent environ 5-10% de la superficie rizicole.

Le fait de n'avoir qu'un nombre réduit de tranchées limite la zone destinée à l'élevage de poissons. Afin de consacrer davantage d'espace

⁵ Les termes «tranchée» et «fossé» présents dans ce document sont synonymes puisqu'ils sont utilisés de façon interchangeable dans la littérature sur la rizipisciculture.

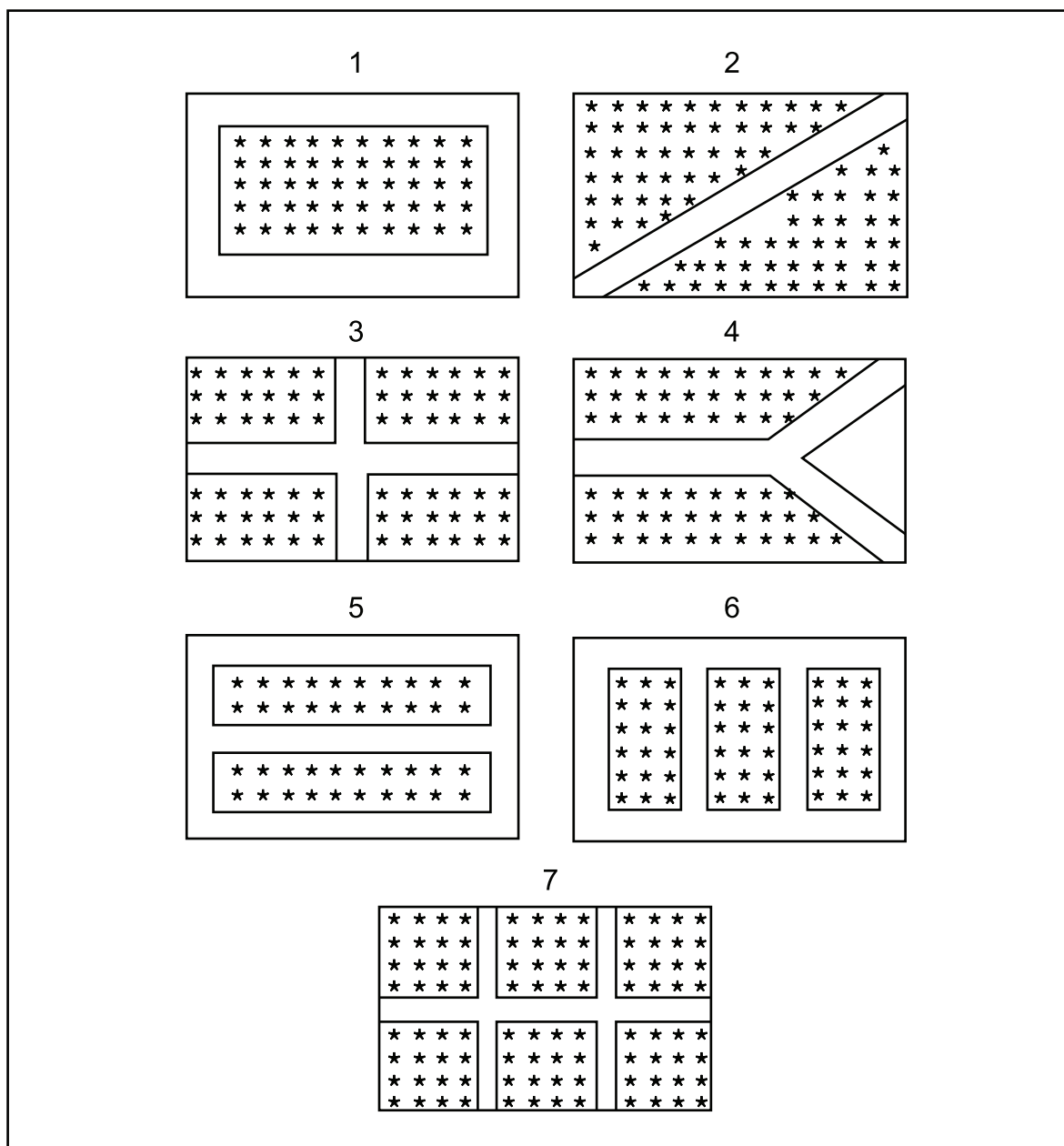


Figure 5. Conception et construction de tranchées destinées aux poissons dans des exploitations indonésiennes de rizipisciculture ou *minapadi* (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

1 – tranchée périphérique; 2 – tranchée diagonale; 3 – tranchées en croix; 4 – tranchées en «Y»; 5 – tranchées périphériques + une longitudinale; 6 – tranchées périphériques + deux équidistantes transversales; 7 – tranchées croisées.

à cette fin, les exploitants creusent parfois des tranchées peu profondes (appelées aussi sillons ou fossés) utilisant la terre creusée pour former des remblais là où le riz sera repiqué. De cette façon, les tranchées et les remblais s'alternent à travers toute la rizière (figure 6; Li, 1992). Les dimensions des remblais et des fossés ne sont pas absolues et varient d'un endroit à l'autre. Les remblais varient de 60 à 110 cm pour contenir en travers 2 à 5 tiges de riz (Li, 1992; Ni et Wang, 1995; Xu, 1995a). Les dimensions des fossés varient quant à eux de 35 cm de largeur et de 30 cm de profondeur à 50 cm de largeur et 67 cm

de profondeur (Li, 1992; Xu, 1995a; Xu, 1995b; Ni et Wang, 1995). Un ou deux fossés peuvent être creusés en travers des remblais pour les relier et améliorer le flux de l'eau. Au moment du repiquage, l'eau ne se trouve que dans les tranchées. Par la suite, les rizières sont remplies jusqu'au sommet. Bien que cette méthode soit en mesure d'améliorer les rendements de rizières classées «rizières à rendements faibles» en raison de la multiple utilisation des ressources disponibles (Ni et Wang, 1995), Wan et Chang (1995) ont remarqué la capacité d'adaptation limitée de cette approche qui s'explique par la lourde charge

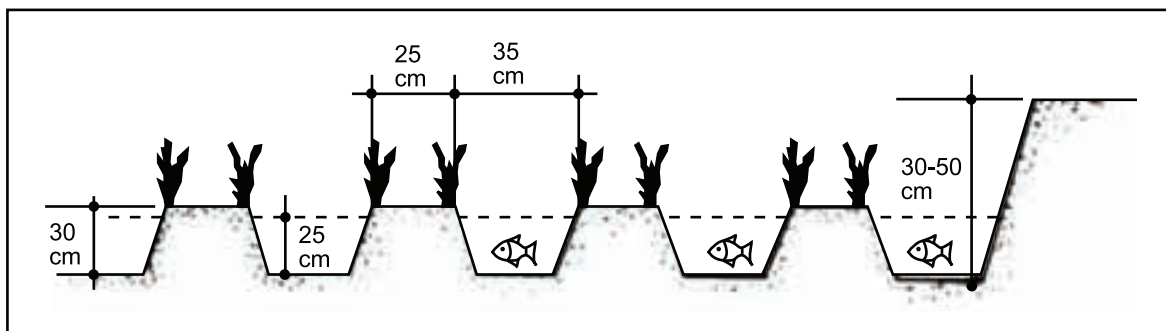


Figure 6. Système cultural impliquant des remblais pour le riz et des fossés pour les poissons (Li Kangmin, 1992).

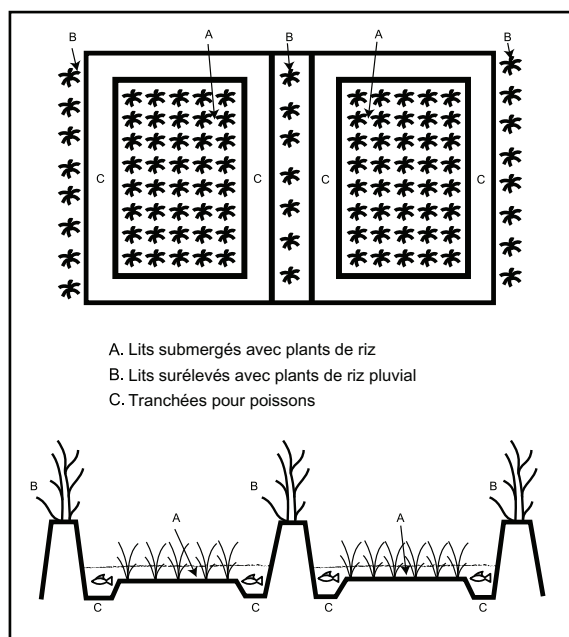


Figure 7. Conception d'exploitation indonésienne associant riz-poisson- légumes ou *surjan* (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

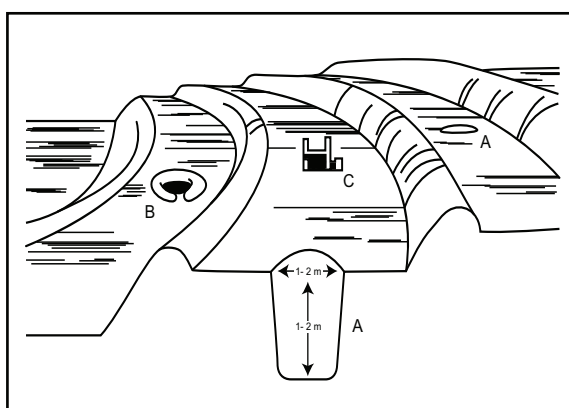


Figure 8. Coupe de terrasses rizicoles d'Ifugao dans les Philippines indiquant les fosses traditionnelles de récolte piscicole (Ramsey, 1983).

de main-d'œuvre que cette approche exige et qui plus est, doit être répétée chaque année. Les efforts de vulgarisation consentis dans la Province de Jiangxi en Chine ont réussi à établir ce modèle dans 0,5% des superficies rizipiscicoles.

En utilisant les digues des rizières pour cultiver les cultures de riz pluvial, le champ peut être décrit comme un système à plusieurs niveaux. L'un de ces systèmes est le système *surjan* (figure 7) observé dans les zones côtières dépourvues de bon drainage à West Java en Indonésie. Les digues sont surélevées de façon à servir de lits pour les cultures de riz pluvial. Les tranchées, la surface rizicole et les digues forment ainsi trois niveaux: pour le poisson, pour le riz et pour les cultures de riz pluvial (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

Xu (1995a) a donné la description d'un aménagement résultant d'un système de production riz-poisson à sept niveaux (ou couches) pratiqué à Chongqing en Chine. Les sept «couches» étaient destinées: à la canne à sucre sur les sommets, au riz sur la superficie du champ, au riz sauvage entre les rangs de riz, aux châtaignes d'eau ou jacinthes d'eau à la surface de l'eau, à la carpe argentée dans la couche supérieure de la colonne d'eau, et à la carpe commune ou au carassin en son fond. Afin d'utiliser pleinement les rizières en vue de réaliser des avantages économiques, écologiques et sociaux, de nombreuses expériences impliquant des systèmes à plusieurs niveaux ont été conçues, telles que l'association riz-crabe-crevette-poisson dans la province de Jiansu, de riz-poisson-champignon dans la province de Heongjiang, de riz-poisson-élevage d'animaux-melon-fruits-légumes dans la province de Guizhou, et de riz-lotus-crabes juvéniles à Beijing (Li Kangmin, comm. pers.).

4.4.2 Fosses et cuves destinées aux poissons

Dans certains pays, en l'absence de tranchées, les fosses sont les seuls refuges qui soient offerts aux poissons, et ce, dans les cas où par exemple les croyances traditionnelles ne permettent pas de modifications majeures des rizières comme dans la riziculture en terrasses des Philippines (Halwart, 1998). Coche (1967) a observé que les exploitants

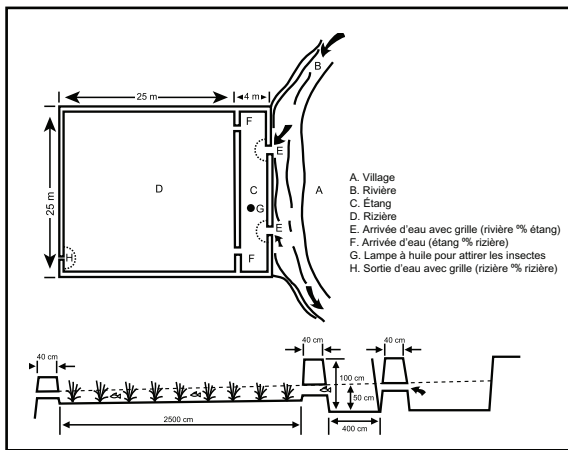


Figure 9. Conception et construction d'une exploitation indonésienne de rizipisciculture pourvue d'un étang latéral ou payaman (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

de Madagascar creusent une fosse tous les 100 m², chacune mesurant 1 m de diamètre et environ 60 cm de profondeur. Un «étang d'attente» a aussi été prévu pour conserver des fingerlings.

Les cuves-fosses peuvent servir de bassin de capture durant la période de récolte outre le fait d'offrir un refuge destiné au poisson. La figure 8 illustre des fosses de 1 à 2 m de largeur et de profondeur creusées au centre de la rizière à ces fins (Ramsey, 1983). Les fosses peuvent être de simples excavations, mais des modifications existent comme l'exemple de cuves doublées de planches de bois afin d'éviter l'érosion ou d'une digue secondaire construite autour de ces cuves (Ramsey, 1983). Au Bangladesh, les exploitants creusent une fosse qui occupe de 1 à 5% de la surface rizicole d'une profondeur de 0,5-0,8 m (Gupta *et al.*, 1998).

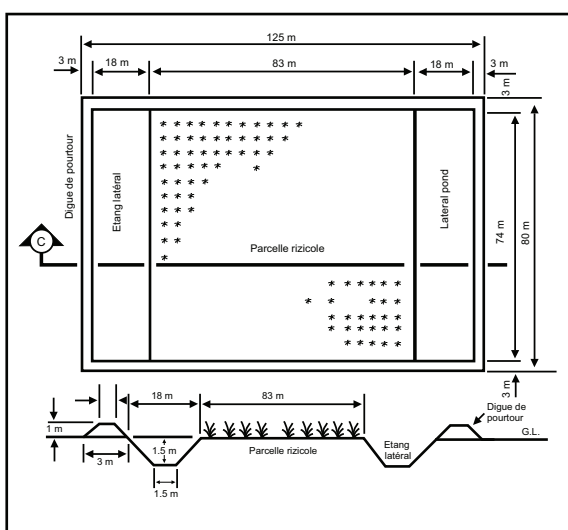


Figure 10. Étangs riz-poisson typiques dans le Département des pêches de l'État du Bengale-occidental (Ghosh, 1992).

4.4.3 Étangs en rizières

Une autre approche visant à offrir aux poissons un refuge plus profond au sein d'une rizière consiste à prévoir un étang sur l'un des côtés de la rizière. Aucune frontière précise n'existe quant au moment où une «tranchée» devient assez large pour être considérée un étang.

En Indonésie, le *payaman* ou étang latéral (figure 9) est utilisé dans des rizières situées juste à côté d'une rivière. L'étang est construit dans cet exemple de façon à ce que l'eau de la rivière passe à travers l'étang pour arriver dans la superficie rizicole. Une digue sépare l'étang de la surface repiquée. Des ouvertures sont réalisées le long de la digue pour permettre à l'eau de couler librement jusqu'au riz et au poisson de venir se nourrir au sein de la rizière. Lorsque la rizière est drainée, l'étang sert de refuge aux poissons, ce qui permet leur capture suite à la récolte du riz. D'après Koesoemadinata et Costa-Pierce (1992), il est possible de faire «meilleur usage d'une partie non productive de la rizière».

Un modèle de rizière philippin prévoit un étang piscicole de 500 m² minimum pour toute rizière d'un hectare. En Inde, au lieu de prévoir un étang à une extrémité seulement de la rizière, le Département des pêches de l'État du Bengale-occidental a introduit une conception impliquant deux étangs, un à chaque extrémité de la rizière (figure 10). Les étangs ont une largeur de 18 m en surface et de 1,5 m dans le fond. Leur profondeur est de 1,5 m mesurée à partir du niveau du champ. La rizière a une longueur totale de 125 m (dont des digues de 3 m.). Les étangs couvrent ainsi 28% de la superficie rizicole totale, tandis que les digues en couvrent 4,8%. D'après les informations dont on dispose, même avec une aussi vaste superficie consacrée aux poissons, les exploitants de la région ayant utilisé ce système d'étang profond auraient quand même pu réaliser une récolte annuelle de 5,1-6,4 t de riz par ha (Ghosh, 1992).

Parmi les modifications qui sont apportées aux rizières dans la Province de Jiangxi en Chine, la conception prévoyant un étang latéral est la forme la plus populaire (Wan *et al.*, 1995). Un petit étang est creusé à une extrémité du champ, ou bien un étang peu profond (voire plusieurs) peut être réalisé entre les rizières. Les étangs font 1 m de profondeur et n'occupent que 6-8% de la superficie totale du champ. Les étangs sont assortis de fossés de 30-50 cm de profondeur et qui couvrent environ un tiers de la surface totale de l'étang.

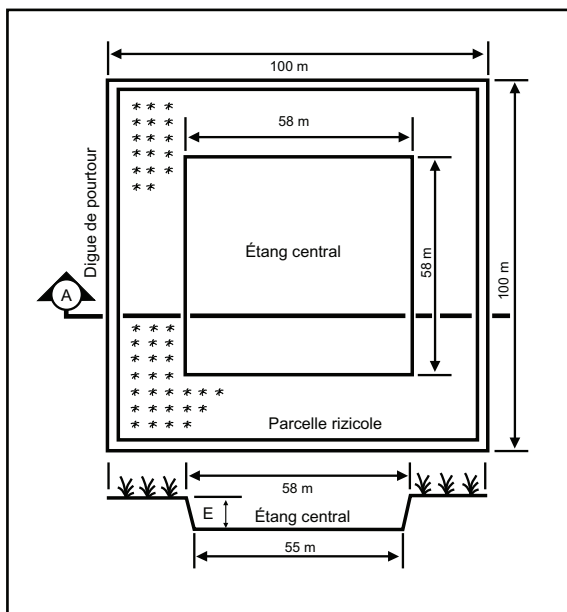


Figure 11. Étang piscicole central au sein d'une rizière en Inde (Ghosh, 1992).

Dans l'aménagement prévoyant un étang latéral, les exploitants ont la possibilité de faire des brèches temporaires le long de la digue de séparation entre l'étang et la rizière et ce, de façon à les relier, permettant ainsi aux poissons de venir se nourrir dans les plants de riz. L'eau destinée à irriguer le riz doit passer à travers l'étang piscicole. En drainant la rizière et en réparant les brèches, les poissons sont regroupés dans l'étang et leur élevage peut se poursuivre indépendamment du cycle agronomique du riz. S'ils sont encore de petite taille, l'activité de pisciculture se poursuit tout au long des cultures rizicoles suivantes si nécessaire. Ce modèle permet de tirer profit de la réciprocité qui se manifeste entre le riz et le poisson tout en ayant la possibilité de désynchroniser la culture du poisson de celle du riz.

Une autre possibilité consiste à conserver un étang piscicole profond et situé au centre de la rizière, tel que cela a été observé dans les zones collinaires du sud de la Chine. Dans la province de Sichuan où la production piscicole par personne est faible et la culture riz-poisson perçue comme un créneau prometteur pour accroître la production, des étangs circulaires faits de briques et de ciment sont placés au centre de la rizière (Halwart, com. pers.). Ghosh (1992) a décrit un étang d'une profondeur de 1,5 m en Inde mesurant 58 x 58 m et placé au centre d'une rizière de 1 ha (figure 11). Il est à noter que la représentation de l'étang piscicole dans ladite figure induit en erreur et semble bien plus grand que la superficie rizicole alors qu'en réalité il occupe exactement un tiers de la superficie totale.

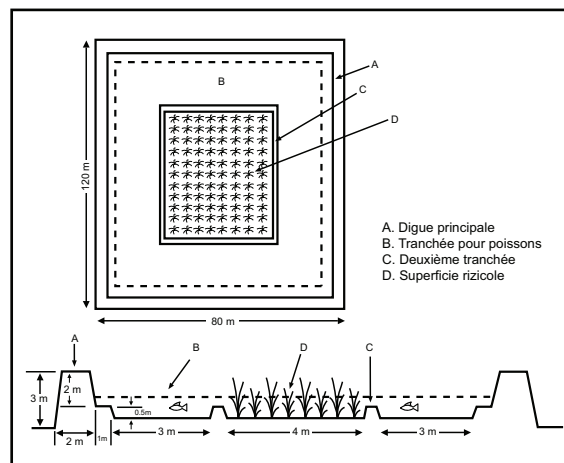


Figure 12. Conception et construction d'une exploitation riz + poisson côtière indonésienne ou sawah-tambak (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

4.4.4 Rizières au milieu d'étangs

La combinaison rizière-étang piscicole *sawah-tambak* (figure 12) en Indonésie est unique aux zones côtières de basses terres de Java-Est. Ces zones sont inondées tout au long de la saison humide mais manquent d'eau durant la saison sèche. Les rizipisciculteurs construisent des digues de 1,4-2,0 m de hauteur autour de leur terre et une tranchée périphérique parallèle à la digue. Une deuxième digue est construite étant assez basse pour être submergée (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

Le chano (*Chanos chanos*) et le barbeau argenté (*Barbodes gonionotus*) sont les principales espèces cultivées dans le système de polyculture, bien que la carpe commune et le bouquet géant (*Macrobrachium rosenbergii*) puissent être cultivés avec ces deux espèces. Ces espèces s'adaptent tant au système de culture riz-poisson simultané qu'à celui en rotation.

4.4.5 Étangs reliés aux rizières

Dans la zone de rizipisciculture la plus importante de la partie péninsulaire de Malaisie (Perak du nord-ouest), la pratique consiste à creuser un petit étang dans la partie la plus basse de la parcelle, séparé de la rizière, et relié à cette dernière par une barrière d'entrée/de sortie de l'eau (Ali, 1992). L'étang ne mesure d'ordinaire pas plus de 6-8 m de longueur et de largeur, et fait 2 m de profondeur. Les poissons peuvent se nourrir dans la rizière tout en continuant à chercher refuge dans l'étang-réservoir lorsque le niveau de l'eau en rizière est trop bas ou la température trop élevée. L'étang est drainé au moment de la récolte du riz, le poisson est donc également récolté. De petits poissons

sont laissés de façon à alimenter le stock de la campagne suivante.

Ce type de système a également été décrit à propos d'exemples venant de Chine (Ni et Wang, 1995) utilisant un étang de 1,5 m de profondeur et destiné à la production d'alevins. Les poissons ne sont regroupés dans l'étang qu'au moment de la récolte. Une fois que les cultures de riz successives sont repiquées et établies, les poissons peuvent retourner librement pour se nourrir.

Un système semblable a été encouragé au Cambodge (Guttman, 1999) consistant à relier aux rizières contiguës de petits étangs creusés et destinés à la consommation des ménages selon un schéma «travail contre nourriture». Les poissons étaient souvent conservés dans les étangs jusqu'au nouvel an Khmer (à la mi-avril), correspondant à un pic des prix du poisson.

4.4.6 Enclos à poissons au sein d'une rizière

Les rizipisciculteurs de Thaïlande ont mis en place des enclos au sein des dépressions naturelles existant dans leur rizière pour cultiver

des alevins jusqu'à ce qu'ils atteignent une taille de fingerlings de 7 cm en vue de les introduire directement dans les rizières. Les enclos sont faits de grilles plastiques ou – plus rarement – de grillage de bambou. Les poissons sont introduits dans ces enclos après les premières pluies lorsque le niveau de l'eau a atteint 30-50 cm. En raison de la turbidité qui se manifeste durant cette période, la productivité de plancton est faible et les poissons doivent être nourris. Les exploitants s'efforcent de réduire la turbidité en entourant ces dépressions d'une diguette. Pour obtenir davantage de protection contre les prédateurs, le tissu formant le filet de l'enclos est enfoncé dans la diguette (Sollows *et al.*, 1986; Chapman, 1992; Fedoruk *et al.*, 1992; Thongpan, 1992; Tokrishna 1995; Little *et al.*, 1996).

Un enclos en filet peut être un choix utile dans des rizières dont l'eau est profonde et dont les eaux de crue de plus de 50 cm peuvent persister 4 mois ou davantage. Cette méthode a été tentée au Bangladesh en utilisant un enclos d'une hauteur de 4 m (Gupta, 1998). Toutefois, à cause des coûts d'investissement des enclos en filet visant à contenir les poissons, les opérations se sont révélées ni rentables ni viables.

5. Systèmes de production

Dans le processus de classification des systèmes de production, il est impossible de dissocier les aspects purement physiques portant sur la conception, d'une part, des pratiques culturelles d'autre part. Cela tient du fait qu'une pratique culturelle en particulier peut exiger certaines modifications physiques spécifiques alors que l'inverse peut ne pas être le cas. Une modification particulière ne limite pas nécessairement les pratiques culturelles qu'il convient d'employer. Les rizipisciculteurs peuvent toujours vendre leurs poissons au stade de fingerlings s'ils y trouvent un avantage financier, ou inversement, les cultiver jusqu'à une plus grosse taille, telle que la taille portion. Les exploitants passent régulièrement d'une pratique de culture à l'autre, ou d'un cycle de culture à l'autre, à savoir de la culture à rotation à la culture simultanée tout en utilisant la même rizière.

Cette section décrira les deux principaux systèmes de production, la culture simultanée – élevage du poisson en même temps que la culture rizicole et dans la même superficie – et la culture à rotation – où le riz et le poisson sont cultivés à des moments différents. La partie finale de cette section fera mention d'un système en alternance qui est en fait un type de culture à rotation, mais assez distinct pour en mériter une section séparée.

5.1 Culture simultanée

La culture du poisson pratiquée en même temps que celle du riz est ce qui vient à l'esprit de la plupart des personnes lorsque la culture riz-poisson (ou rizipisciculture) est mentionnée. Elle est souvent réduite à la dénomination «riz+poisson» (Yunus *et al.*, 1992; Roger, 1996). Comme il a été précisé plus haut, des modifications physiques sont requises pour rendre une rizière «fish-friendly», c.à.d une rizière qui ne nuit pas aux poissons. Le timing de l'empoissonnement du stock de fingerlings est essentiel puisque s'il est introduit trop tôt après le repiquage du riz, il est fort probable que certaines espèces de poissons endommageront les jeunes plants de riz (Singh *et al.*, 1980), et s'il est réalisé trop tard, il peut y avoir une multitude d'espèces de prédateurs dans les champs.

Il y a lieu de préciser que le plus ancien système, qui demeure par ailleurs le plus largement

pratiqué, implique l'entrée non contrôlée de poissons et d'autres organismes aquatiques au sein de la rizière. Coche (1967) nomme cette méthode «système captural de la culture riz-poisson». Ce système ne peut être considéré comme un système de rizipisciculture que si la fuite des poissons est délibérément évitée une fois que ces derniers sont entrés dans la rizière. Dans ce système, les organismes dépendent souvent entièrement du type d'alimentation disponible à l'état sauvage au sein de la rizière, bien qu'il ne soit pas rare de voir les rizipisciculteurs offrir quelques aliments en supplément.

Ce système est souvent pratiqué dans des zones de cultures pluviales et joue un rôle important dans de nombreux pays producteurs de riz, en Thaïlande par exemple où les zones de cultures pluviales représentent 86% de la superficie rizicole du pays (Halwart, 1998), ainsi qu'en RDP lao (Fungesmith, 1999) et au Cambodge (Guttman, 1999; Balzer *et al.*, 2002). La transition d'un système de capture pur vers un système de culture basé sur les captures est progressive et a été décrite comme un continuum (Halwart, 2003b)

5.1.1 Riz et poisson

Fondamentalement, l'empoissonnement et le grossissement de poisson en rizière est un système aquacole extensif reposant principalement sur la nourriture présente à l'état sauvage dans les rizières. Des ressources à la ferme et des aliments pour animaux peu coûteux et disponibles sont souvent donnés comme aliments de supplément, notamment durant les premiers stades de grossissement. Dans le cadre de la gestion des cultures rizicoles, des compromis sont faits quant à l'application d'engrais, cette dernière étant réalisée judicieusement. L'emploi de pesticides est réduit au minimum et lorsqu'ils sont utilisés, le niveau de l'eau peut être réduit de façon à regrouper les poissons dans l'étang-refuge.

Le système de culture simultanée comporte la contrainte suivante: la période de culture du poisson est limitée à celle du riz, soit d'ordinaire de 100 à 150 jours. Par conséquent, les poissons récoltés sont de petite taille, en particulier si des variétés de riz à rendement précoce sont utilisées. Cela peut en partie être résolu par l'emploi de plus gros fingerlings, mais cette solution comporte

une limite puisque de gros poissons peuvent être en mesure de déplacer les plants de riz. Une autre solution consiste à limiter la production à des fingerlings de grande taille en vue de les vendre à des exploitations cultivant les poissons jusqu'à la taille portion. La demande accrue pour des fingerlings destinés à être grossis en cage durant la fin des années 1970 en Indonésie a été l'un des catalyseurs contribuant à généraliser la culture riz-poisson.

Ce système est une pratique très courante bien qu'il y ait de nombreuses variations du thème de base. Par exemple, dans le système indonésien *minipadi* – littéralement système «poisson-riz» – l'élevage du poisson n'est pas un processus continu. Il consiste en trois périodes d'élevage distinctes qui sont synchronisées avec la culture du riz. Deux différentes explications ont été avancées pour justifier cette procédure: pour ne pas soumettre le poisson à des conditions de grande turbidité (Ardiwinata, 1957) et pour ne pas nuire aux rizières (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992). La première période dure de 21 à 28 jours entre le repiquage du riz et le premier désherbage; la deuxième période entre 40 et 45 jours, entre le premier et le second désherbage; et la troisième, durant les 50 jours qui s'étendent entre le second désherbage et la floraison des plants de riz.

La première et la deuxième période d'élevage peuvent être considérées comme des périodes d'alevinage pour faire grossir les poissons jusqu'à des tailles d'alevins et de fingerlings. La rizière est empoisonnée à un taux de 60 000 alevins · ha⁻¹. Durant le premier désherbage, le stock de poissons est enfermé dans les tranchées. Avant le second désherbage, les fingerlings sont récoltés et vendus. Dans la troisième période de croissance, des fingerlings de 8-10 cm sont empoisonnés à un taux de 1 000 à 2 000 poissons · ha⁻¹ en vue d'une production de poissons comestibles.

Pour obtenir davantage de nourriture destinée aux poissons, les exploitants chinois ont introduit la culture de l'azolla avec celle du poisson et du riz. Outre son utilisation en tant que nourriture pour le poisson, l'azolla est également une bonne source d'azote pour le riz en raison de ses capacités fixatrices d'azote (Liu, 1995). Ce système fonctionne bien dans les rizières pourvues tant de fosses que de remblais où pousse le riz: l'azolla à

la surface de l'eau et le poisson dans la colonne d'eau (Yang *et al.*, 1995). Le champ doit avoir suffisamment d'eau, une bonne irrigation ainsi qu'un bon drainage. La proportion des fosses et des fossés par rapport à la superficie totale dépend des rendements souhaités en riz et en poisson.

Yang *et al.* (1995) ont observé que les rendements aussi bien en poisson qu'en riz variaient en fonction de la largeur du remblais ou de celle du fossé. Les rendements en poisson varient aussi en fonction des espèces cultivées ainsi que du stade de développement auquel ils sont collectés (Wang *et al.*, 1995). La production piscicole était à son maximum en utilisant des «poissons comestibles», suivi des alevins de carpe, des alevins de poisson-chat (*Clarias gariepinus*), et était à son plus bas avec la carpe herbivore. Chen *et al.* (1995) ont signalé une augmentation de rendements en poisson de l'ordre de 70% avec l'emploi d'azolla⁶ par rapport à une culture sans azolla⁶.

5.1.2 Association riz-poisson et bétail

Si l'on fait un pas de plus dans le concept d'intégration, l'élevage de bétail peut aussi être intégré aux systèmes riz-poisson. Ce modèle d'intégration a été tenté dans de nombreuses régions, mais n'est cependant pas aussi fréquent que l'intégration de bétail à la culture en étang.

La forme d'intégration la plus répandue est probablement la culture riz-poisson-canard. L'intégration de cent canes pondeuses à une exploitation riz-poisson d'un hectare a entraîné une production de 17 031 œufs · an⁻¹ en plus de celle du riz et du poisson (Syamsiah *et al.* 1992). Par ailleurs, les canards se nourrissant d'escargots, cette combinaison d'agents de lutte biologique a été suggérée en vue de contrôler les différents stades de vie des escargots *Pomacea canaliculata* (ampullaire brune) présents en rizière (Halwart, 1994a; FAO, 1998).

5.1.3 Riz et crustacés

Les crustacés cultivés en rizière incluent les crabes, les écrevisses ainsi que les bouquets et crevettes⁷. Cette pratique est effectuée dans de nombreuses zones côtières reposant soit sur des rizières dont le recrutement de crustacés est naturel, soit sur des rizières empoisonnées.

⁶ Le système a utilisé un «fourrage fin» pour nourrir les porcs produisant du fumier destiné aux rizières et des «restes de bière(=drêche)» comme alimentation de complément.

⁷ Le terme «bouquet» est utilisé pour les espèces d'eau douce et le terme «crevette» pour les organismes d'eau saumâtre et marine.

Dans le sud des États-Unis, des écrevisses (*Procambarus clarkii*) sont introduites à l'âge adulte pour servir de stock de reproducteurs contrairement à la plupart des autres systèmes aquacoles où sont introduits des juvéniles. La reproduction intervient en rizière, la progéniture étant récoltée par la suite. Les géniteurs sont relâchés au cours du mois de juin une fois que le riz a atteint 10-25 cm et que la rizière est déjà inondée. Pendant la croissance du riz, les écrevisses se reproduisent et grossissent. D'ici le mois d'août suivant, le riz est prêt pour la récolte. Deux semaines avant la récolte, la rizière est drainée de façon à faciliter la récolte. À ce moment-là, on présume que les écrevisses se seront enfouies dans leur trou (NAS, 1976).

La paille de riz laissée après la récolte repousse lorsque le champ est inondé à nouveau et cette nouvelle culture constitue une nourriture directe pour les écrevisses (Chien, 1978). Les matières végétales libres se décomposent et servent de nourriture au zooplancton, aux insectes, vers et mollusques, lesquels constituent une grande partie du régime des écrevisses. Bien que tout type de végétation serve de nourriture aux écrevisses, le riz semble être plus largement utilisé. Lorsque l'on procède à la ré-inondation du champ suite à la récolte du riz, les jeunes écrevisses sont délogées de leur trou par le flux de l'eau et une récolte partielle peut démarrer dès décembre et se poursuivre tout au long des mois d'avril-mai voire juin-juillet en fonction de la répartition des cultures qui est souhaitée. Les écrevisses sont récoltées à un poids se situant entre 15-60 g en utilisant des pièges faits de matières plastiques ou des séparations grillagées dont les mailles mesurent 3/4 de pouce et capturées par un appât d'alose ou de carpe. Les couloirs d'eau sont agencés entre les rangées de riz de façon à pouvoir manœuvrer les barques de récolte librement.

Même si le crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) n'est cultivé avec le riz que depuis moins de 12 ans en Chine, presque 100 000 ha sont désormais consacrés à cette culture⁸ (Wang et Song, 1999). La rizière est utilisée soit comme alevinière pour la production de juvéniles de crabes (ou «*button-crabs*»); soit pour le grossissement de crabes jusqu'à une taille marchande (125 g); soit encore comme zone d'engraisement de crabes de petite taille (50-100 g).

La rizière est modifiée par une tranchée périphérique (2-4 m de largeur), une tranchée transversale (0,8-1,0 m de largeur, 0,5-0,8 m de profondeur) et une fosse (20-60 m², 1 m de profondeur) servant d'«étang» d'alevinage-élevage-récolte. Au total, 15 à 20% de la superficie totale est modifiée. Pour empêcher les fuites de crabes, on installe un mur fait de matières souples (plastique ou feuille ondulée) (Li, 1998).

Tandis que l'eau salée est nécessaire à l'éclosion des œufs et à l'élevage des larves lors de la phase initiale, les larves peuvent se développer en crabes lors des phases successives dans des milieux d'eau douce ou de quasi-eau douce. Li (1998) a identifié le stade d'introduction en rizière comme le stade zoé, lequel atteint en quatre mois le «stade V zoé» à 40-200 individus par kilo. Wang et Song (1999) ont observé que les mégalopes⁹ introduits devaient être acclimatés lentement (de six à sept jours) à des conditions proches à celles d'eau douce (en deçà de 3 ppt) pour garantir une meilleure survie en eau douce. C'est à ce stade qu'ils sont, soit cultivés en *button-crabs* (crabes juvéniles), soit cultivés directement jusqu'à l'âge adulte. Pour la production de *button-crabs*, les rizières sont empoissonnées à un taux de 4,5-7,6 kg·ha⁻¹. Pour la croissance des crabes de taille marchande, le taux d'empoisonnement est de 75-150 kg·ha⁻¹. Ces derniers sont récoltés une fois atteinte une taille de 125 g.

Des aliments de complément sont donnés et consistent en un mélange de poisson de rebut, escargots, clam ou viscères d'animaux (40%); de légumes, patates douces, citrouille, son de riz ou de blé, galette légumineuse (25%); et de plantes terrestres ou lentilles d'eau (35%). Le poisson de rebut ainsi que les autres sources de protéines animales sont cuits à la vapeur et hachés finement durant les premiers stades de croissance. Les matières végétales sont cuites à l'étuvée et sont données au cours du stade intermédiaire. Au dernier stade, les produits de nourriture animale de complément sont fournis afin d'engraisser les crabes et de développer les gonades, ce qui rend les crabes encore plus précieux. Des aliments granulés sont aussi utilisés à certains endroits.

Une bonne gestion de l'eau étant essentielle, on change 20 cm d'eau tous les trois jours ou bien un tiers de l'eau du champ tous les 10-15 jours. La teneur en oxygène dissous est maintenue à un niveau supérieur à 4 ppm tout au long de la

⁸ Cela comprend les enclos et cages disposés dans les lacs, étangs et rizières.

⁹ Mégalope correspond au dernier stade de larve de crabes avant qu'ils ne se transforment en crabes juvéniles pleinement formés. C'est très probablement la dénomination de larve de crabe la plus précise correspondant au moment où ils sont introduits dans les rizières.

période de culture. La fumure de fond et l'épandage en couverture sont appliqués deux à trois fois par an.

Les cultures rizicoles sont collectées à l'«arrivée des premières gelées» et les crabes en octobre et novembre à maturation des gonades. La période de récolte peut être avancée si la température devait chuter brusquement et ce, parce que les crabes ont tendance à s'enfoncer quand la température est basse. Les crabes sont regroupés dans les tranchées au moment de l'irrigation et du drainage qui ont lieu avant la récolte du riz. Les crabes sont capturés lorsqu'ils sortent des tranchées la nuit à l'aide de filets-pièges de fond ou en drainant l'eau.

Le bouquet géant (*Macrobrachium rosenbergii*), ainsi que d'autres espèces de bouquets (*M. nipponensis*), sont cultivés avec le riz en Chine. Les préparations physiques sont identiques à celles réalisées pour le crabe chinois quant à la disposition de tranchées, cuves et grilles de barrage; il en est de même pour les préparations précédant l'empoisonnement jusqu'au stade de chaulage (Li, 1988). Par la suite, des plantes aquatiques submergées sont plantées dans les tranchées pour couvrir une superficie d'eau pouvant aller de la moitié à un tiers.

Pour les *M. rosenbergii*, le taux d'empoisonnement est de 3 individus au mètre carré de juvéniles de 1,5 cm¹⁰. Les *M. nipponensis* quant à eux, peuvent être empoisonnés en tant que géniteurs de 4-6 cm à 3,0-3,8 kg · ha⁻¹ et laissés se reproduire, ou en tant que juvéniles à raison de 23-30 individus au mètre carré. L'alimentation consiste en du lait de soja et du broyat de poisson pour les premiers stades de développement (de sept à huit jours après l'introduction des alevins) et en des aliments granulés ou bien en un régime mélangé de son de blé ou de riz et certaines sources de protéines animales par la suite. Les *M. rosenbergii* sont nourris d'un régime dont la teneur en protéines est plus élevée.

Les *M. rosenbergii* sont récoltés avant que la température ne chute trop. La récolte des *M. nipponensis* peut démarrer sur une base sélective dès fin novembre ou début décembre. Les animaux de petite taille sont laissés pour que se poursuive leur croissance en vue d'une récolte totale en mai ou juin avant la saison de plantation du riz.

Dans les rizières côtières gagnées par l'eau salée, il est courant d'observer les crevettes d'eau salée pénétrer dans les rizières avec les eaux de crue et grossir parmi les plants de riz. Dans la zone du delta du Mékong au Viet Nam, certains exploitants ont réussi à cultiver des crevettes avec des cultures rizicoles d'une hauteur traditionnelle dans des milieux d'eau saumâtre. L'alimentation fournie en supplément a entraîné des rendements plus élevés même lorsque celle-ci n'était composée que de «son de riz, riz brisé et animaux avariés» (Mai *et al.*, 1992).

5.1.4 Culture simultanée mais compartimentée

Tant la riziculture que la pisciculture nécessitent de l'eau et dans certaines circonstances, le riz et le poisson sont cultivés côte à côte tout en partageant cette eau. L'avantage de cet aménagement est que la culture du poisson intervient de façon indépendante de celle du riz, rendant possible l'optimisation des conditions aussi bien du riz que du poisson. Toutefois, dans ce cas, l'effet synergique du riz et du poisson l'un sur l'autre ne se manifeste plus. Généralement, l'influence s'effectue dans une seule direction et ce, du poisson vers le riz sous la forme d'enrichissement de l'eau en nutriments.

Dans la zone piscicole du Sénégal, les changements environnementaux ont contraint les riziculteurs à diversifier et à intégrer la pisciculture dans leurs opérations de culture (Diallo, 1998). En raison de deux décennies de sécheresse, les zones de mangrove d'avant-plage se sont étendues suite à la salinisation des eaux de surface et souterraines. Afin de protéger leurs rizières contre l'entrée d'eau salée, les exploitants ont construit des étangs à poissons le long de la zone d'avant-plage en vue de produire du poisson. Les étangs à poissons varient de 500 à 5 000 m² (30 cm de profondeur et pourvus d'un canal périphérique de 1 m de profondeur).

Durant les premières pluies, les barrières des rizières et étangs à poissons sont ouvertes pour permettre aux eaux de pluie de lessiver tout le sel qui a pu s'accumuler. Les barrières sont ensuite fermées et les eaux de pluie et de ruissellement en surface sont collectées pour les opérations à la fois de riziculture et de pisciculture. Une fois que le riz a été planté de la mi-août à la mi-septembre, les barrières du côté de la mer sont ouvertes durant les marées de printemps. Les poissons côtiers,

¹⁰ Ce taux d'empoisonnement relativement bas est dû au comportement agressif du bouquet.

attirés par le flux d'eau douce arrivent dans les étangs et sont piégés. Aucune tentative n'est faite pour contrôler les espèces et le nombre de poissons qui y entrent. Les rizières et étangs à poissons sont fertilisés à l'aide de fumier de bovins et de porcs ainsi que de cendres. Les poissons sont nourris de son de riz ou de millet et parfois de termites.

Les poissons sont récoltés soit lorsque le riz est sur le point de mûrir soit juste après sa récolte de décembre à janvier, lorsque les poissons ont grandi de 120 à 150 jours. La récolte du poisson est réalisée durant la marée basse en drainant l'étang et à l'aide d'un panier, connu localement au Sénégal comme l'*etolum*, ce dernier étant placé à l'extrémité du tuyau de drainage.

5.2 Culture en rotation

5.2.1 Poisson comme seconde culture

Dans les provinces chinoises de Hubei et de Fujian, la culture du poisson pendant la période de jachère ou comme cultures d'hiver est pratiquée pour faire usage des parcelles rizicoles qui autrement ne seraient pas utilisées (Ni et Wang, 1995). Ailleurs en Chine, ce système ne semble pas être pratiqué aussi fréquemment que la culture simultanée. En Indonésie, notamment à Java-Ouest, l'art d'exercer la rotation du poisson avec le riz a été développé à un plus haut degré et il est possible que cette pratique remonte à 1862, voire plus tôt.

Les Indonésiens nomment l'élevage du poisson comme seconde culture *palawija* ou «cultures de période de jachère». Au lieu de cultiver d'autres cultures de riz, de soja ou de maïs après des cultures de riz, les exploitants indonésiens élèvent du poisson. La seule modification requise consiste à rehausser la diguette en vue de retenir l'eau. Sans le riz, la rizière dans son ensemble peut être exploitée et gérée comme un étang à poissons ordinaire pour une période s'étendant de trois à six mois par an. Elle peut être utilisée pour cultiver des poissons jusqu'à une taille portion ou pour produire des fingerlings. La production de deux à trois récoltes de fingerlings au lieu d'une seule récolte de poissons taille portion est effectuée par certains exploitants en Indonésie afin d'éviter des problèmes de braconnage ou de mortalités de poissons, ces dernières étant dues à l'infestation de prédateurs tels que les serpents, oiseaux et insectes aquatiques (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992).

La pisciculture, dans ce cas la carpe commune en tant que *palawija*, a fait l'objet d'une description détaillée par Ardiniwata (1957). La rizière est inondée, les repousses de riz ayant été foulées ou coupées et entassées à l'aide de pailles de riz libres avant ou après la première inondation. Après la putréfaction de l'eau qui se manifeste en deux ou trois jours en raison de la décomposition des matières végétales, cette même eau est évacuée et remplacée par une nouvelle eau. La profondeur de l'eau est maintenue à 30-80 cm.

Les fingerlings de carpe sont introduits à une densité basée sur l'ampleur de la récolte de riz et la taille des fingerlings. La méthode empirique consiste à introduire de 500 à 700 fingerlings (5-8 cm de longueur) pour une tonne de *padi* (riz non décortiqué) récolté. On peut parfois procéder à l'empoissonnement de grands fingerlings (100 g) à un taux de 10% du stock principal. De par leurs activités, ces plus grands poissons peuvent affecter la nature compacte de la surface du sol. En alternative, des alevins de carpe de 10 jours peuvent être introduits à un taux de 100 000 alevins · ha⁻¹ pour les faire grossir jusqu'au stade de fingerlings. Cette pratique a souvent comme conséquence une mortalité élevée, mais il semblerait qu'elle soit utilisée uniquement dans le cas où aucune autre parcelle n'est disponible pour l'alevinage.

Les poissons commerciabiles sont récoltés en 40-60 jours, soit des fingerlings après 4 semaines seulement. En fonction de la disponibilité en eau, il y a assez de temps pour une deuxième, troisième, voire une quatrième récolte de poissons avant la plantation de riz suivante. La densité d'empoissonnement est augmentée de 25% pendant le deuxième cycle piscicole mais réduite par la suite vu le risque de manque d'eau avant que les poissons n'aient atteint une taille marchande. En Indonésie, une courte période de croissance est possible étant donné la préférence locale pour de petits poissons d'une moyenne de 125-200 g (Costa-Pierce, 1992). Les poissons taille portion sont récoltés en drainant le champ, obligeant ainsi les poissons à se réfugier dans les tranchées où ils sont recueillis à la main. La pratique consiste à laisser sécher le champ pendant deux jours, les réparations nécessaires sont faites, les pailles de riz sont retournées et le champ est de nouveau prêt pour un nouveau cycle de pisciculture. Pour capturer les fingerlings, un tuyau de drainage temporaire couvert d'une grille à mailles étroites est installé et le niveau de l'eau est ensuite baissé avec précaution jusqu'au niveau

des tranchées. Dans un premier temps, les fingerlings restés dans les flaques au fond des tranchées sont rassemblés; lorsqu'il ne reste que peu d'eau, les fingerlings regroupés à la sortie d'eau grillagée sont collectés avec précaution et placés dans des embarcations-containers en vue de la distribution.

Un autre système indonésien appelé *penyelang* ou «culture intermédiaire» selon lequel les exploitants qui doublent la récolte de riz avec un approvisionnement en eau adéquat tout au long de l'année réussissent à cultiver du poisson entre les deux récoltes de riz. Puisque les lits de semis n'occupent qu'une faible partie de la rizière, les exploitants peuvent utiliser le reste des parcelles pour la pisciculture pendant une période de 1 à 1 mois et demi, ce qui est suffisant pour produire des fingerlings. Certains exploitants laissent des pisciculteurs utiliser leurs rizières pendant cette période (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992). La rizière peut être exploitée en entier comme un étang à poisson et, vu l'utilisation fréquente de variétés à haut rendement (VHR) permettant quatre ou cinq récoltes de riz en deux ans, il a été signalé que le *penyelang* est plus répandu que le *palawija* décrit ci-dessus.

Les rizières sont empoisonnées après avoir été désherbées et préparées pour la récolte rizicole successive et une fois nettoyées et dépourvues de repousses de riz (Ardiwinata, 1957). Ce procédé les rend appropriées pour l'élevage d'alevins de carpe et sont convoitées par les pisciculteurs. La densité d'empoisonnement qui est utilisée est la même que pour le *palawija* ($100\ 000$ alevins \cdot ha⁻¹). Les fingerlings sont récoltés après un mois seulement. S'ils sont utilisés pour cultiver des poissons jusqu'à une taille marchande, la densité est de $1\ 000$ poissons \cdot ha⁻¹ (8-11 cm). Tant que des tranchées sont aménagées, qu'elles soient périphériques ou sous d'autres formes, les poissons peuvent rester pendant le labourage et le hersage.

5.2.2 Crustacés comme deuxième culture

Le long de la côte occidentale de l'Inde, les terres rizicoles côtières des basses terres sont laissées en jachère après une récolte d'un riz adapté aux sols salins (Pillay, 1990). Les diguettes sont surélevées après la récolte du riz (en septembre) et on laisse les eaux de marée inonder le champ y apportant dans le flux des larves et alevins de crevette. Ce processus naturel d'empoisonnement se poursuit pendant deux ou trois mois à chaque marée de

printemps. Des lampes sont installées au-dessus de l'entrée d'eau pour attirer les larves de crevette et des sacs en filet en forme de cônes sont installés sur les portes vannes visant à empêcher que les crevettes piégées ne ressortent. Une récolte sélective peut démarrer dès décembre permettant aux premières crevettes d'entrer. Une récolte ordinaire dilue le stock, ce qui se traduit par un meilleur taux de croissance pour le stock restant. Avec un tel manque de contrôle de l'empoisonnement, plusieurs espèces sont récoltées, principalement de *Penaeus indicus*, *Macrobrachium rude* et *Palaemon styliferus*.

En Inde, ce système d'élevage de crevettes est une ancienne pratique, mais dernièrement, en raison de la valeur élevée de ce crustacé, les exploitants consacrent une plus grande attention à la gestion du stock de crevettes à travers une meilleure gestion de l'eau et une meilleure fertilisation. De nombreux exploitants ne laissent plus l'empoisonnement se faire au hasard préférant plutôt en contrôler la densité ayant recours à des postlarves produites en éclosérie, notamment de *P. monodon*.

5.3 Système de culture en alternance

Une autre alternative est celle du système en alternance étant donné que le riz met de 105 à 125 jours à mûrir en fonction de la variété, alors que les poissons peuvent atteindre le stade de fingerlings commercialisables dès 30 à 45 jours. Les poissons peuvent donc aussi être une bonne culture d'«utilisation du temps». En alternant la rizipisciculture avec la pisciculture sans riz, les rizières peuvent être productives tout au long de l'année et des revenus élevés peuvent être réalisés. Un exploitant a la possibilité de pratiquer deux moissons de riz et une récolte de poisson sans riz par la suite, ou deux récoltes combinées de riz-poisson suivies d'une récolte de poisson sans riz, cette dernière option étant la plus répandue dans les régions d'Indonésie (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992). Assez ironiquement, même si le riz constitue la culture principale, ce sont les poissons qui sont cultivés tout au long l'année dans la rizière plutôt que le riz. Dans une enquête à Java-Ouest, les exploitants ayant pratiqué le système de deux récoltes riz-poisson suivies d'une récolte de poisson sans riz ont enregistré un retour net sur apports de 173% par an contre 127% pour ceux qui ont pratiqué le système riz-riz-poisson et 115% pour le système riz-riz-jachère (Yunus *et al.*, 1992).

6. Gestion agronomique et aquacole

Les exigences du riz et du poisson, comme il a été susmentionné, sont parfois opposées. La pisciculture en rizière exige certaines modifications de la gestion, et ce, pour garantir que le poisson se trouve dans les conditions requises et pour faciliter la survie et la croissance du poisson durant certaines périodes critiques. La présente section se concentre sur les interventions supplémentaires ou les modifications qui sont requises en matière de gestion en vue de la culture riz-poisson.

6.1 Préparation pré-empoissonnement

Que la modification prenne la forme de tranchées, d'étangs latéraux ou de diguettes plus hautes ou plus larges, rien ne laisse supposer qu'une forme de modification puisse être considérée supérieure aux autres. Le type de modification utilisé se fonde sur la combinaison de différents facteurs: le terrain, la qualité du sol, l'approvisionnement en eau, les traditions, l'exposition à d'autres méthodes, les expériences passées, l'importance relative accordée soit au riz soit au poisson, le type de poisson souhaité – fingerlings ou poisson destiné à la consommation – et les ressources financières disponibles. Bien que d'ordinaire le riz soit la principale culture de toute exploitation riz-poisson, des exceptions existent lorsque le riz est planté ou les repousses utilisées en vue de fournir de la nourriture de type fourrage à l'organisme de culture.

6.2 Besoins en eau et gestion de l'eau

L'eau est le seul facteur vital de toute production agricole. Le simple fait d'approvisionner l'eau en quantité suffisante pour permettre à une parcelle auparavant non irriguée de produire une culture de saison sèche, se traduit par un doublement, voire davantage encore, de la production annuelle totale dans la mesure où la production rizicole est souvent plus élevée pendant la saison sèche que pendant la saison humide. Il est estimé que le riz nécessite un minimum de 1 000 mm d'eau par saison rizicole, ce qui inclut à la fois l'évapotranspiration et l'infiltration mais aussi la percolation (Singh *et al.*, 1980). Cela équivaut à 10 000 m³ par hectare par saison rizicole.

La culture de riz aquatique utilise de l'eau tant pour une submersion continue que pour une irrigation intermittente. Cette dernière méthode comporte

des avantages, outre le fait d'économiser de l'eau. Elle peut cependant ne pas être la meilleure option pour la culture riz-poisson puisqu'elle exige de devoir regrouper les poissons dans les tranchées ou fosses chaque fois que la rizière est asséchée. Pour la culture riz-poisson, il est préférable d'opter pour une submersion continue où la rizière est maintenue inondée dès le repiquage jusqu'à environ deux semaines précédant la récolte.

Une inondation continue est préconisée jusqu'au maximum toléré par le riz sans que soit affectée la production rizicole. Dans la plupart de la littérature, il s'agit d'eau stagnante de 15 à 20 cm de profondeur (Singh *et al.*, 1980; Rosario, 1984; Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992). À cette profondeur, avec le refuge à poissons quelle qu'en soit sa forme et d'une profondeur de 50 cm au-dessous du niveau du champ, une profondeur effective de l'eau de 65-70 cm est disponible pour les poissons dans le refuge. Cela est suffisant pour fournir aux poissons une zone plus fraîche lorsque la température de l'eau peu profonde couvrant la rizière peut atteindre 40°C. L'augmentation de la profondeur de l'eau signifie un plus grand volume d'eau pour la culture riz-poisson. Même si l'infiltration et la percolation peuvent être plus importantes avec de l'eau stagnante plus profonde, les poissons, contrairement au riz, ne consomment pas l'eau. Une exploitation pratiquant un système intégré riz-poisson opère de façon semblable à un système aquacole extensif.

6.3 Fertilisation

L'application d'engrais, qu'ils soient organiques ou inorganiques, profite à la fois au riz et au poisson. La présence de nutriments adaptés favorise la croissance de phytoplancton, lequel peut être consommé directement par les poissons ou indirectement à travers le soutien de la production de phytoplancton.

Les premières hypothèses indiquaient que la culture riz-poisson pourrait utiliser de 50 à 100% de plus d'engrais que la riziculture sans pisciculture (Chen, 1954), cette dernière ayant nécessité l'application d'engrais supplémentaire pour soutenir la production de phytoplancton comme base de la chaîne alimentaire de l'élevage de poisson. Des rapports récents précisent que la présence de poissons dans une rizière peut en fait stimuler la fertilité de la rizière et réduire les besoins en engrais.

Des expériences conduites en Chine ont montré que les teneurs en azote organique, en azote alcaline et en azote totale dans le sol sont invariablement plus élevées dans des champs contenant des poissons que dans les champs contrôlés dépourvus de poissons (Wu, 1995). Wu a expliqué cela par le fait que les poissons présents dans les rizières consomment des plantes adventices et sont en mesure d'assimiler 30% de la biomasse adventice. Le reste est excrété, contribuant de ce fait au maintien de la fertilité des sols étant donné que des nutriments, qui seraient autrement emprisonnés dans les plantes adventices, sont libérés.

Des expériences réalisées par la suite ont montré que les parcelles riz-poisson nécessitaient moins d'engrais que les parcelles de monoculture de riz. En moyenne, les parcelles contrôlées utilisaient 23% d'engrais de plus que les parcelles riz-poisson (Li *et al.*, 1995b). En synthèse, les expériences chinoises indiquent que moins d'engrais, et non davantage, est requis dans la culture riz-poisson.

La fertilisation appliquée dans les exploitations riz-poisson à l'aide d'engrais à base d'azote entièrement incorporé dans le sol pendant la phase de préparation du sol entraîne des rendements en riz plus élevés que lorsqu'il est appliqué à la volée sur la surface (Singh *et al.*, 1980). La fertilisation successive effectuée en appliquant de l'urée en boules d'argile ou en briquettes est une technique qui a démontré être en mesure d'améliorer l'efficacité de l'engrais étant donné qu'avec ces techniques, la libération de l'engrais est ralentie. Cela évite le problème de concentration élevée d'ammoniac dans l'eau qui peut affecter de façon négative la croissance des poissons. Si l'engrais est appliqué à la volée en surface, la rizière devrait être drainée de façon à exposer la superficie ensemencée et à regrouper le poisson dans les tranchées-refuges ou étangs-refuges. La première fertilisation devrait être effectuée aux mêmes quantités que dans une exploitation de monoculture rizicole puisqu'à ce stade, les poissons sont encore de taille réduite et ne devraient pas contribuer de façon significative à la fertilité du sol. Une moindre quantité d'engrais devrait être requise pour les applications successives.

Aucune différence n'a été observée entre la méthode consistant à appliquer un engrais à base de phosphore sur la surface et celle consistant à l'incorporer dans le sol. Toutefois, l'application en surface est considérée comme meilleure pour favoriser la croissance de plancton dans l'eau. Les

fumures fractionnées de phosphore peuvent obtenir de meilleurs résultats pour que la production de plancton soit continue sans entraver la production rizicole à condition qu'elles soient effectuées avant le tallage. Si elles sont effectuées plus tard, elles devraient figurer en tête des exigences qu'il convient de respecter pour la riziculture. Un taux d'application de 30-50 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ est souvent signalé comme un taux optimum pour la croissance d'algues (Singh *et al.*, 1980).

Les engrais organiques profitent aussi bien au riz qu'au poisson. Outre les nutriments, les particules peuvent aussi agir en tant que substrats pour la croissance d'organismes épiphytes destinés à l'alimentation des poissons. Le fumier animal devrait être considéré comme intrant pour profiter aux poissons en plus des engrais inorganiques appliqués principalement pour le riz (Sevilleja *et al.*, 1992). Le fumier devrait être appliqué plusieurs semaines avant le repiquage et les rizières maintenues inondées de façon à obtenir une décomposition complète et éviter tout effet toxique (Singh *et al.*, 1980).

La fertilisation est une question complexe et varie considérablement en fonction de l'emplacement particulier où elle est réalisée. Par conséquent, on court le risque de simplifier la question à l'extrême en soumettant des conclusions d'ordre général. Il est néanmoins manifeste que les nutriments sont plus efficacement utilisés dans des systèmes intégrés riz-poisson que dans des systèmes de monoculture de riz; l'effet en question étant plus intensifié sur les sols plus pauvres et non fertilisés où les effets des poissons peuvent être bien plus forts (Halwart, 1998).

6.4 Variétés de riz

Avec le développement des variétés de riz à haut rendement (VHR), plusieurs questions affectant la culture riz-poisson ont surgi. Parmi ces questions figurent des préoccupations concernant la nature non appropriée des variétés à tiges courtes, préoccupations dérivant du fait que la culture riz-poisson exige une eau stagnante plus profonde. Les inquiétudes en question semblent toutefois sans fondement. Rosario (1984) a répertorié des variétés qui ont été utilisées avec succès pour la culture riz-poisson et qui comprenaient une variété dont la hauteur ne faisait que 85 cm. Par ailleurs, ces préoccupations ne peuvent s'appliquer qu'à des zones d'inondations modérées à profondes (≥ 50 cm).

La réduction de la période de croissance pourrait être bien plus préoccupante, dans la mesure où de nombreuses variétés nouvelles atteignent une maturité en 100 jours au maximum. Avec une période de riziculture aussi courte, il convient, pour ce qui est des poissons, soit d'empoissonner de grands fingerlings – avec les problèmes logiques de déplacements des poissons et de consommation des plants de riz que cela comporte-, soit d'opter pour une récolte précoce des poissons en vue de poursuivre leur grossissement par la suite. Cette méthode pose cependant le risque d'un attrait moins grand pour la culture riz-poisson dans des zones où l'on préfère des poissons de grande taille. À noter qu'en Asie du sud-est, des poissons de petite taille sont tout à fait acceptables, notamment aux Philippines et en Indonésie.

6.5 Le stock de poissons

6.5.1 Espèces

Les poissons destinés à être introduits dans les rizières devraient être en mesure de tolérer un milieu difficile dont les caractéristiques sont les suivantes: une eau peu profonde, des températures élevées (jusqu'à 40°C) et variables (avec des variations de 10°C en une journée), de faibles teneurs en oxygène et une forte turbidité (Hora et Pillay, 1962; Khoo et Tan, 1980). La croissance rapide figure aussi comme caractéristique souhaitable pour que les poissons atteignent une taille marchande au moment où le riz est prêt pour la récolte.

Dans des conditions aussi défavorables, il semblerait que très peu d'espèces parmi celles à valeur commerciale soient suffisamment robustes pour répondre à ces exigences; ce qui n'est pourtant pas le cas. Une étude des pratiques de la rizipisciculture effectuées dans le monde entier révèle que pratiquement toutes les principales espèces d'eau douce actuellement cultivées, y compris une espèce salmonide et quelques espèces d'eau saumâtre ainsi que plusieurs espèces de crustacés, ont été cultivées avec succès dans un écosystème rizicole (tableau 3).

Les espèces cultivées en rizière comprennent 37 espèces de poissons à nageoires (issus de 16 familles) et sept crustacés (issus de 4 familles). Des mollusques, principalement des escargots et

certaines clams sont souvent récoltés dans les rizières, mais peu d'informations attestent un empoissonnement délibéré de ces organismes¹¹. Il en est de même pour les grenouilles et les tortues d'eau douce.

Deux groupes de poissons se distinguent dans la culture riz-poisson: les cyprinidés et les tilapias. Les cyprinidés, en particulier la carpe commune et le carassin ont la plus longue histoire qui soit documentée, ayant été décrits par les premiers écrivains chinois. La carpe commune ressort clairement de ces témoignages et ce, depuis les temps anciens jusqu'au présent et est cultivée en rizière dans davantage de pays que les autres espèces. La carpe herbivore et la carpe argentée figurent en tête, notamment en Chine, le barbeau argenté (*Barbodes gonionotus*) au Bangladesh, en Indonésie, et en Thaïlande, et les carpes indiennes telle que les catla (*Catla catla*), mrigal (*Cirrhinus cirrosus*) et rohu (*Labeo rohita*) au Bangladesh et en Inde.

Le tilapia du Mozambique (*O. mossambicus*) ressortait clairement des premiers documents mais est remplacé de plus en plus par le tilapia du Nil (*O. niloticus*) dans de nombreux endroits. Le tilapia du Nil est désormais aussi largement utilisé que la carpe commune dans la culture riz-poisson.

Si la culture des gouramis en association riz-poisson, surtout de *Trichogaster* spp., et de l'Anabas (*Anabas testudineus*) reposait au départ sur le stock naturel, elle est désormais pratiquée en Thaïlande en utilisant des alevins produits en éclosion.

L'écrevisse rouge des marais (*Procambarus clarkii*) peut aussi être considérée comme une espèce majeure de l'aquaculture en rizière étant donné que ces dernières sont cultivées dans des centaines de milliers d'hectares de rizières dans le Sud américain. La pratique n'est pas répandue et elle est effectuée pour la plupart aux États-Unis et dans une certaine mesure en Espagne (Halwart, 1998).

Parmi les nombreuses espèces que l'on peut cultiver en rizière, le choix repose sur la disponibilité, la commerciabilité ou l'attrait de l'espèce en tant qu'aliment. Aux Philippines, le tilapia constitue l'espèce de choix étant donné

¹¹ La culture riz-clam (*Hyriopsis cumingii*) est pratiquée dans la Province chinoise de Jiangsu. Les producteurs utilisent les rizières comme nurseries pour de petits clams et par la suite les petits clams d'eau douce sont suspendus dans des étangs, bassins, réservoirs ou lacs. Un modèle riz-poisson-grenouille a été testé dans la Province de Jiangxi au début de 1984. L'expérience a été conduite pour lutter contre les ravageurs du riz et les maladies par le biais des grenouilles ainsi que des poissons. Les grenouilles d'élevage incluent la *Rana nigromaculata*, *Rana plancyi*, *Rana tigrina rugulosa*, *Rana limnocharis*, *Micrhylla butleri*, et le crapaud *Bufo gararizans* empoisonnés à des taux de 4 950/ha et 9 900/ha (Li Kangmin, comm. pers.).

Tableau 3. Liste d'espèces de poissons et crustacés signalées comme étant ou ayant été cultivées dans des rizières.

	Nom scientifique	Nom(s) commun(s)	Pays de culture	
A. poissons à nageoire				
Famille Anabantidae	<i>Anabas testudineus</i>	Anabas	Malaisie, Thaïlande, Indonésie	
Famille Cichlidae	<i>Etilapia maculatus</i>	Chromide orange	Inde	
	<i>Etilapia suratensis</i>	Chromide vert	Inde	
	<i>Oreochromis mossambicus</i>		Inde, Chine, Province chinoise de Taiwan, Zimbabwe, Sri Lanka, Malaisie, Thaïlande, Indonésie, Philippines	
	<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilapia du Nil	Égypte, Corée, Philippines, Chine, Bangladesh, Thaïlande, Côte d'Ivoire, Gabon, Tanzanie	
	<i>Paratilapia polleni</i>		Madagascar	
	<i>S. hornorum x S. niloticus</i>	Tilapia hybride	Brésil	
	<i>Tilapia macrochir</i>		Côte d'Ivoire	
	<i>Tilapia melanopleura</i>		Pakistan	
	<i>Tilapia rendalli</i>		Malawi	
	<i>Tilapia zillii</i>		Égypte, Philippines	
Famille Cyprinidae	<i>Amblypharyngodon mola</i>		Inde	
	<i>Aristichthys nobilis</i>	Carpe à grosse tête	Chine, Thaïlande, Province chinoise de Taiwan	
	<i>Carassius auratus</i>	Cyprin doré	Chine, Japon, Madagascar, Viet Nam, Indonésie, Italie	
	<i>Catla catla</i>	Catla	Inde, Bangladesh, Indonésie	
	<i>Cirrhina mrigala</i>	Mrigal	Inde, Bangladesh, Indonésie	
	<i>Cirrhinus reba</i>	Carpe Reba	Bangladesh	
	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpe herbivore	Chine, Bangladesh	
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	Chine, Inde, Corée, Philippines, Indonésie, États-Unis, Japon, Thaïlande, Viet Nam, Madagascar, Brésil, Italie, Bangladesh, Hong Kong, Espagne, Province chinoise de Taiwan, Hongrie, Pakistan	
		<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Carpe argentée	Chine, Inde, Corée, Philippines, Indonésie, Bangladesh
		<i>Labeo bata</i>		Bangladesh
		<i>Labeo collaris</i>		Viet Nam
		<i>Labeo rohita</i>	Labéo rohu	Inde, Bangladesh, Indonésie
		<i>Mylopharyngodon piceus</i>	Carpe noire	Chine
		<i>Osteochilus hasseltii</i>		Indonésie
		<i>Puntius gonionotus</i>	Barbeau argenté de Thaïlande	Viet Nam, Thaïlande, Bangladesh, Inde
		<i>Puntius javanicus (=Barbodes gonionotus)</i>	Barbeau de Java	Indonésie, Chine
		<i>Puntius pulchelus</i>	Barbeau	Inde
		<i>Puntius sophore</i>	Barbeau	Inde
		<i>Puntius ticto</i>	Barbeau ticto	Inde
		<i>Rasbora daniconius</i>	Rasbora comun	Inde
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	Italie	
Famille Osphronemidae	<i>Osphronemus gouramy</i>			
	<i>Trichogaster pectoralis</i>	Gourami peau de serpent	Malaisie, Pakistan, Indonésie	
	<i>Trichogaster sp.</i>		Thaïlande	
	<i>Trichogaster trichopterus</i>		Malaisie	
Famille Helostomatidae	<i>Helostoma temmincki</i>		Indonésie, Malaisie	

(à suivre)

Tableau 3. (suite)

	Nom scientifique	Nom(s) commun(s)	Pays de culture
Famille Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i>		Japon, Province chinoise de Taiwan, Inde
Famille Channidae	<i>Channa striata</i> (= <i>Ophiocephalus striatus</i>)	Tête de serpent strié	Malaisie, Thaïlande, Inde, Bangladesh
	<i>Channa gachua</i>		Inde
	<i>Channa punctatus</i>		Inde
	<i>Chanos chanos</i>	Chano	Philippines, Indonésie, Inde
	<i>Ophicephalus maculatus</i>		Viet Nam, Province chinoise de Taiwan
	<i>Ophicephalus striatus</i>	Tête de serpent	Inde, Malaisie, Indonésie, Philippines, Viet Nam
Famille Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Loche	Japon, Corée, Philippines
Famille Centropomidae	<i>Lates calcarifer</i>	Bar, Perche barramundi	Australie, Thaïlande, Singapour, Philippines, Malaisie, Bangladesh, Inde, Myanmar, Viet Nam, Cambodge, Taiwan, Chine
Famille Mugilidae	<i>L. parsia</i>	Mulet joue d'or	Inde
	<i>L. tade</i>	Mulet tade	Inde
	<i>Liza</i> sp.		Inde
	<i>Mugil cephalus</i>	Mulet à grosse tête	Inde
	<i>Mugil corsula</i>	Mulet	Bangladesh, Inde
	<i>Mugil dussumieri</i>		Inde
	<i>Mugil parsia</i>		Inde
	<i>Mugil tarde</i>		Inde
	<i>Rhinomugil corsula</i>	Corsula	Inde
Famille Clariidae	<i>Clarias batrachus</i>		Inde, Thaïlande, Indonésie, Malaisie
	<i>Clarias gariepinus</i>		Chine
	<i>Clarias macrocephalus</i>	Barbue omnivore	Malaisie
Famille Pangasiidae	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	Barbue Sutchi	Cambodge
Famille Ictaluridae	<i>Ictalurus lacustris</i>	Barbue d'Amérique	États-Unis d'Amérique
	<i>Ictalurus punctatus</i>	Barbue d'Amérique	États-Unis d'Amérique
Famille Siluridae	<i>Parasilurus asotus</i>	Barbue d'Amur	Corée, Viet Nam
Famille Atherinidae	<i>Atherina bonariensis</i>	Athérine	Argentine
Famille Curimatidae	<i>Prochilodus argenteus</i>	Curimata pacu	Brésil
	<i>Leporinus elongatus</i>		Brésil
	<i>Prochilodus cearanensis</i>		Brésil
Famille Pimelodidae			
Autres espèces:			
Famille Heteropneustidae	<i>Heteropneustes fossilis</i>	Barbue	Inde, Bangladesh
Famille Pomacentridae	<i>C. dimidiatus</i>	Demoiselle bicolore	Inde
	<i>C. ternatensis</i>	Demoiselle Ternate	Inde
	<i>Chromis caeruleus</i>	Demoiselle verte	Inde
Famille Mastacemblidae	<i>Macrognathus aculeatus</i>		Inde
	<i>Mastacembelus armatus</i>	Anguille armé	Inde
	<i>Mastacembelus pancalus</i>	Pancal du Bengale	Inde
Famille Aplocheilidae	<i>Aplocheilus panchax</i>	Panchax bleu	Inde
Famille Nandidae	<i>Nandus nandus</i>	Poisson feuille	Inde
Famille Notopteridae	<i>Notopterus notopterus</i>	Poisson couteau	Inde

(à suivre)

Tableau 3. (suite)

	Nom scientifique	Nom(s) commun(s)	Pays de culture
Famille Ambassidae	<i>Ambassis nama</i>	Perche de verre élonguée	Inde
	<i>Ambassis ranga</i>	Perche de verre de l'Inde	Inde
Famille Gobiidae	<i>Glossogobius giurus</i>	Gobie giurus	Inde
	<i>Pseudapocryptes lanceolatus</i>		Viet Nam
Famille Catostomidae	<i>Ictiobus cyprinellus</i>	Poisson-taureau	États-Unis d'Amérique
Famille Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>		États-Unis d'Amérique
Famille Atherinidae	<i>Odontesthes bonariensis</i>	Athérine d'Argentine	Argentine
Famille Polynemidae	<i>Polydactylus sexfilis</i>	Mulet barbé	Bangladesh
Famille Bagridae	<i>Mystus gulio</i>	Barbue Tengra	Inde
	<i>Mystus</i> sp.		Bangladesh
Famille Centrarchidae	<i>Lepomis</i> sp.		États-Unis d'Amérique
Famille Osphronemidae	<i>Osphronemus goramy</i>	Gourami géant	Malaisie
Famille Plecoglossidae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	Ayu	Japon
Autres espèces:	<i>Beterotris niloticus</i>		Côte d'Ivoire
B. crustacés			
Famille Natantia	<i>Macrobrachium dayanum</i>		Inde
	<i>Macrobrachium lamarrei</i>		Inde
	<i>Macrobrachium mirabile</i>		Inde
	<i>Macrobrachium niponensis</i>		Chine
	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>		Viet Nam, Bangladesh, Brésil, Inde, Indonésie, Chine
	<i>Macrobrachium rude</i>		Inde
Famille Penaeidae	<i>Penaeus indicus</i>		Inde, Viet Nam
	<i>Penaeus merguensis</i>		Inde
	<i>Penaeus monodon</i>		Inde, Bangladesh
	<i>Penaeus semisulcatus</i>		Inde
	<i>Penaeus stylifera</i>		Inde
Famille Metapenaeidae	<i>Matepenaeus brevicornis</i>		Inde
	<i>Metapenaeus ensis</i>		Viet Nam
	<i>Metapenaeus lysianassa</i>		Viet Nam
	<i>Metapenaeus tenuipes</i>		Viet Nam
	<i>Metapenaeus dobsonii</i>		Inde
	<i>Metapenaeus monoceros</i>		Inde
Famille Astacura	<i>Procambarus clarkii</i>		États-Unis d'Amérique, Japon
	<i>Procambarus zonangulus</i>		États-Unis d'Amérique
Famille Brachyura	<i>Eriocheir sinensis</i>	Crabe chinois	Chine
Autres espèces:	<i>Palaemon styliiferus</i>		Inde
	<i>Parapenaeopsis sculptilis</i>		Inde
	<i>Acetes</i> sp.		Inde

Note: les noms scientifiques sont répertoriés tels qu'ils sont cités à l'origine.

Tableau 4. Densités d'empoissonnement pour l'élevage de poisson en rizière (Gupta *et al.*, 1998; Li et Pan, 1992; Sevilleja, 1992; Quyen *et al.*, 1992; Costa-Pierce, 1992).

	Densité d'empoissonnement (poisson-ha ⁻¹)	
	Système simultané	Système à rotation
Monoculture		
<i>Oreochromis niloticus</i>	3 156 a 5 000	10 000
<i>Cyprinus carpio</i>	3 000 a 3 400	
<i>Barbodes gonionotus</i>	3 017	
Polyculture		
<i>O. niloticus</i> + <i>C. carpio</i>	3 000 + 2 000 3 070 total	(6 000 a 10 000) + (4 500 a 5 000)
<i>C. carpio</i> + <i>B. gonionotus</i>	4 667 total	
Multi-espèces (carpe+barbeau+tilapia)	9 323 total	
<i>C. carpio</i> + <i>C. auratus</i> + <i>C. idella</i>	(1 500 a 2 250) + (750 a 1 200) + (300 a 450)	
<i>O. niloticus</i> + <i>C. carpio</i> + <i>C. idella</i>	(6-10 cm: 6 000 a 9 000 or 3 cm: 12 000 a 18 000) + (300 a 600) + (150 a 300)	
<i>B. gonionotus</i> + <i>M. rosenbergii</i>	26 000 + (5 000 a 20 000)	
Production de fingerlings		
1-3 cm <i>C. carpio</i> (30 jours)		70 000 – 100 000
3-5 cm <i>C. carpio</i> (50 jours)		10 000 – 15 000
5-8 cm <i>C. carpio</i> (50 jours)		6 000 – 10 000
5- 8 cm <i>C. carpio</i> (50-90 jours)		1 500 – 3 000
8-11 cm <i>C. carpio</i> (30 días)		1 000 – 2 000

que la carpe n'a pas un grand marché en dehors de certaines poches régionales. En Indonésie, les gens préfèrent la carpe commune et le barbeau argenté au tilapia et sont donc des espèces de choix pour les cultiver en rizière. En Chine, les gens sont plus habitués aux différentes espèces de carpe. Forts de leur longue expérience aquacole, les exploitants chinois sont conscients des avantages que représente la polyculture par rapport à la monoculture si bien que la polyculture de différentes espèces de carpe semble être la méthode la plus fréquemment utilisée.

6.5.2 Approvisionnement en alevins et fingerlings

La disponibilité de semences¹² destinées à empoissonner les rizières est un facteur déterminant dans de nombreuses régions quant au choix des espèces d'élevage. Cette disponibilité est aussi une partie essentielle de tout type de développement aquacole et est assujettie aux mêmes conditions vu que la production de semences a été ciblée pour la culture en cage et en étang.

Les technologies d'écloseries et de nurseries pour la plupart, voire la quasi-majorité, des espèces de poissons d'eau douce qui sont cultivées actuellement dans des systèmes riz-poisson sont bien établies. Toutefois, dans certaines régions, il est encore difficile d'obtenir le nombre de fingerlings requis de l'espèce souhaitée à un moment précis. C'est particulièrement le cas dans des pays où la production et la distribution de masse sont encore centralisées par une agence gouvernementale plutôt qu'entre les mains de producteurs privés. La question de savoir quelle politique est adaptée pour la promotion de semences de poissons en vue du développement aquacole est une question à grande envergure dont l'analyse approfondie ne peut se faire dans le présent rapport. Il apparaît suffisant d'affirmer que les directives générales pour le développement de l'approvisionnement en semences de poissons s'appliquent en général pour la culture riz-poisson.

Certains problèmes communs liés à la production et à la distribution de semences sont la qualité des semences, la génétique (qualité des géniteurs), la

¹² Ce terme inclut les alevins et fingerlings de poissons à nageoires ainsi que les équivalents pour les crustacés, tels que les postlarves (PL), zoés ou mégaloopes.

gestion et l'administration des écloseries, le transport et le stockage. Il convient d'impliquer le plus de monde possible dans la production et la distribution décentralisées de semences de poissons. La décentralisation surmonte nombre de problèmes de la distribution et répartit les avantages de développement de façon plus homogène. Une attention toute particulière devrait être accordée à la participation des femmes et des groupes défavorisés tels que les familles sans terres.

Un réseau de semences de poissons est un groupe de personnes oeuvrant dans la production et la distribution de semences de poisson de façon informelle mais coordonnée. À mesure que la production et la distribution de semences se développent, les personnes impliquées dans le réseau adoptent des rôles plus spécialisés. Ces réseaux sont aussi importants pour l'échange d'informations. La plupart des écloseries d'État font face à des problèmes de distribution de semences parce que leur champ d'opération s'effectue en dehors de ces réseaux informels. Pour maximiser les opportunités des plus démunis, ce qui suit est préconisé: promouvoir de petites écloseries plutôt que des grandes; former les personnes dans les compétences requises pour une série d'activités liées au réseau, telles que l'alevinage, le transport de fingerlings, et la fabrication de hapas; enfin, organiser des plans de micro-crédit destinés à soutenir les personnes issues de ces réseaux de semences de poissons.

6.5.3 Modèle et densité d'empoissonnement

De même que l'aquaculture qui utilise les étangs à poissons pour un certain nombre de cas, la rizipisciculture peut impliquer l'empoissonnement de jeunes alevins pour la production de fingerlings (opération d'alevinage) ou l'élevage de fingerlings en poissons commercialisables (opération de grossissement). La culture riz-poisson peut aussi bien consister en la culture d'une espèce seulement

(monoculture) ou en la combinaison de deux ou plusieurs espèces de poissons et de crustacés (polyculture). Par conséquent, la densité d'empoissonnement varie en fonction du type de culture sélectionné ainsi que du nombre d'espèces utilisé. Un des derniers facteurs déterminant l'empoissonnement est le type de modifications qui ont été apportées aux rizières et ce qui est considéré comme la zone destinée à la pisciculture. La variation est telle qu'il est difficile de fournir des directives, ne serait-ce que d'ordre général; le tableau 4 fournit toutefois certaines informations provenant de plusieurs pays.

Le taux d'empoissonnement affecte de façon négative le taux de survie des fingerlings (de carpe herbivore par exemple) ainsi que le poids corporel moyen. À une densité de 15 000 fingerlings · ha⁻¹, le taux de survie était de 3% supérieur à celui d'une densité de 30 000 fingerlings · ha⁻¹ tandis que le poids corporel moyen était de 11,4 g de plus qu'à une densité de 22 500 fingerlings · ha⁻¹ et 20,6 g de plus qu'à une densité de 30 000 fingerlings · ha⁻¹ (Yang *et al.*, 1995).

Grâce à la polyculture ou à l'empoissonnement d'une combinaison d'espèces, il est possible de profiter de toutes les niches alimentaires disponibles de l'écosystème rizicole, outre le fait d'être en mesure de lutter contre une grande variété de ravageurs. Il a été observé par exemple que la combinaison de carpe commune et de carpe herbivore est efficace dans la lutte contre les insectes, escargots et plantes adventices en raison des habitudes alimentaires différentes de ces deux espèces.

Les recherches indiquent que même si les rendements augmentent avec des densités d'empoissonnement plus élevées (corrélation positive), cela doit être mis en balance avec l'augmentation de la mortalité et l'augmentation conséquent des coûts d'empoissonnement. Une corrélation positive a été observée entre la

Tableau 5. Régimes signalés pour les tilapias adultes dans des habitats naturels (Bowen, 1982).

Espèces	Régime	Référence
<i>T. rendalli</i>	Macrophytes, périphton attaché	Caulton (1976, 1977); Denny <i>et al.</i> (1978)
<i>S. mossambicus</i>	Macrophytes, algues benthiques, phytoplancton, périphton, zooplancton, larves de poisson, œufs de poisson, détritux	Bowen (1979, 1980); Man et Hodgkiss (1977); Munro (1967); Naik (1973); Weatherley et Cogger (1977)
<i>S. aureus</i>	Phytoplancton, zooplancton	Fish (1955); Spataru et Zorn (1976, 1978)
<i>S. niloticus</i>	Phytoplancton	Moriarty et Moriarty (1973)
<i>T. zillii</i>	Macrophytes, invertébrés benthiques	Abdel-Malek (1972); Buddington (1979)

Tableau 6. Estimation de production piscicole issue de nourriture naturelle en rizière (Li et Pan, 1992).

Espèces de carpe	Type d'alimentation	Production piscicole potentielle (kg·ha ⁻¹)	Taux d'utilisation	Facteur de conversion alimentaire	Production piscicole potentielle	
					Moyenne	Max.
C. herbivore	Plantes aquatiques	30 000-53 000	65	120	78	195
C. argentée	Phytoplancton	9,3	70	40	30	59
C. à grosse tête	Zooplancton	15	25	10	7,5	16
C. commune	Benthos		4	25	45	118,2
Total					160,5	388,2
Ajout: Détritus et bactéries ^a					48,2	117,2
Total					208,7	504,2

^a Approximativement 30% de la production totale de poisson

production de poissons et la densité d'empoissonnement (Gupta *et al.*, 1998). À une densité moyenne d'empoissonnement de 3 825 fingerlings par ha durant la saison sèche et de 2 948 par ha durant la saison humide au Bangladesh, la production moyenne était de l'ordre de 233 kg·ha⁻¹ et de 118 kg·ha⁻¹, respectivement. À des densités d'empoissonnement de plus de 6 000·ha⁻¹ durant la saison humide, la production moyenne a atteint 571 kg·ha⁻¹. En revanche, une corrélation négative a été observée entre la densité d'empoissonnement et le taux de rétablissement, à savoir qu'à une augmentation de 1% de la densité d'empoissonnement, on a observé une diminution du taux de survie de 0,14% ainsi qu'une réduction significative de la taille du poisson à la récolte.

6.5.4 Nutrition des poissons et alimentation de supplément

Les poissons se nourrissent d'une grande variété de plantes et d'animaux; leurs préférences varient toutefois entre les espèces ainsi qu'en fonction des stades de développement au sein des espèces. Par exemple, parmi les cyprinidés, la carpe commune dispose du plus grand éventail de nourriture et peut se nourrir d'une variété de matières végétales ou animales. Un autre facteur de taille est la présence et l'abondance d'organismes alimentaires; il a été observé par exemple que les juvéniles d'escargots aquatiques *P. canaliculata*, grands consommateurs de riz, peuvent constituer un aliment majeur de la carpe commune dans les rizières (Halwart *et al.*, 1998). Le tableau 5 offre un aperçu du régime des différentes espèces de tilapias (Bowen, 1982)

La capacité de *O. mossambicus* et *T. zillii* de consommer des plantes adventices même dans un environnement en étang ou en rizière a également été observée (Hauser et Lehman, 1976), *T. zillii* étant considéré comme un «herbicide» naturel supérieur. Bien que répertorié comme phytoplancton, les études des pisciculteurs indiquent que le tilapia du Nil peut préférer certaines catégories d'algues, telles que la cyanobactérie filamenteuse, aux diatomées et algues vertes (Micha *et al.*, 1996). L'espèce n'est pas considérée macrophytique mais dans une situation d'élevage, le tilapia du Nil est réputé pour se nourrir de plantes terrestres hachées, telles que l'herbe à éléphant et certaines plantes aquatiques dont le liseron d'eau *Ipomoea aquatica* ainsi que du son, du manioc ou des termites.

L'écosystème rizicole est riche en phytoplancton, zooplancton, macrophyton, benthos, détritus et bactéries. Si les différents types d'organismes d'alimentation naturelle disponibles dans un écosystème rizicole sont pleinement exploités en empoissonnant une bonne combinaison d'espèces de poissons, Li et Pan (1992) ont estimé qu'il pouvait soutenir un maximum d'à peine plus de 500 kg·ha⁻¹ de poisson tel qu'il est indiqué au tableau 6. Cette estimation de la capacité de charge naturelle d'une rizière en tant que système aquacole n'est en aucun cas un chiffre constant, dans la mesure où ce dernier peut subir des variations d'un endroit à l'autre et d'une saison à l'autre. Toutefois, pour produire plus que la capacité de charge naturelle ou pour garantir une disponibilité des nutriments adéquats à tout moment, il peut s'avérer nécessaire de fournir des aliments complémentaires à plusieurs reprises.

Les producteurs utilisent des engrais pour accroître la présence naturelle d'organismes alimentaires en rizière et nourrissent les poissons directement avec des aliments complémentaires. L'utilisation de ces aliments est nécessaire si la nourriture naturelle d'une rizière n'est pas suffisante pour supporter une biomasse piscicole plus élevée. L'alimentation de complément fonctionne plus ou moins de la même façon en rizière que dans un étang à poissons.

Diana *et al.* (1996) ont observé que le fait de commencer tard l'alimentation de complément n'avait que peu d'effets sur la récolte finale et, puisque l'élevage de poisson en rizière est souvent limité en durée par le cycle de croissance du riz (120 jours), ce fait a deux implications. Premièrement, si la rizière est utilisée comme alevinière pour le grossissement d'alevins en fingerlings, l'alimentation peut ne pas s'avérer nécessaire tant que la rizière est fertilisée correctement. Deuxièmement, si des fingerlings plus âgés sont utilisés pour grossir du poisson de consommation, l'alimentation est, en revanche, essentielle dès le début.

Les aliments complémentaires sont souvent composés de ce qui est disponible localement. Par conséquent, le son de riz est un aliment complémentaire courant dans pratiquement tous les pays producteurs de riz. Au Bangladesh, le son de blé et le tourteau d'oléagineux sont également utilisés (Gupta *et al.*, 1999) tandis qu'on utilise la farine de coco aux Philippines, la noix de coco étant un produit important (Darvin, 1992). En Chine, les aliments peuvent être composés de son de blé, de farine de blé, de tourteaux de graines

oléagineuses (colza, arachides, soja par exemple), d'herbes ou de fourrage de plantes (Wang et Zhang, 1995; Li *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 1998; He *et al.*, 1998); enfin, au Malawi, pour ne citer que quelques exemples, le son de maïs et l'herbe à éléphant (Chikafumwa, 1996). Wang et Zang (1995) ont indiqué que l'utilisation d'aliments complémentaires a pour conséquence un taux de survie plus élevé de 67% contre 56,1% sans ces aliments, avec une augmentation correspondante par unité de rendement de 337,5 kg·ha⁻¹ et de seulement 249 kg·ha⁻¹ respectivement.

Des régimes formulés sous forme de purée, miettes ou granulés sont de plus en plus utilisés en raison de leur plus grande disponibilité. Bien que plus onéreux que les produits dérivés des fermes, ils présentent l'avantage d'être disponibles au volume requis, si nécessaire, et sont plus faciles à stocker, manipuler et appliquer.

Pour plus de détails sur les types d'aliments complémentaires, le lecteur est invité à consulter la vaste littérature concernant l'alimentation complémentaire en aquaculture semi-intensive en étang. Dans tous les cas d'alimentation complémentaire, il convient de garder en mémoire que la plupart des aliments impliquent soit des coûts directs – les aliments devant être achetés –, soit un coût d'opportunité – l'intrant pouvant être utilisé à d'autres fins (pour nourrir le bétail par exemple) – ou pouvant être vendu. En outre, lorsque des aliments complémentaires sont utilisés, la question relative à la qualité de l'eau peut s'avérer importante dans la mesure où cette dernière peut se détériorer assez rapidement si le champ est «surnourri».

7. Production rizipiscicole

7.1 Rendements en poisson

De même que pour la plupart des opérations aquacoles, la quantité de poissons pouvant être récoltée dans les exploitations rizipiscicoles varie considérablement. La récolte d'animaux aquatiques issus de toute rizière dépend de plusieurs facteurs tels que: la profondeur de l'eau et son approvisionnement, la présence de prédateurs, les espèces, la densité d'empoissonnement, le système de culture (monoculture ou polyculture), la taille du poisson à l'empoissonnement, et la durée de l'élevage. La production piscicole est également affectée par les variations saisonnières de la productivité naturelle et l'emploi (ou absence) de fertilisation et/ou d'alimentation complémentaire.

Le tableau 7 s'efforce de combiner les rendements de plusieurs systèmes pratiqués dans différents pays, ces chiffres n'étant qu'indicatifs car des variations importantes existent entre des systèmes identiques au sein d'un même pays. Les chiffres relatifs à la production totale ne représentent qu'un aspect de cette question. Les coûts de production ainsi que la valeur du produit sont autant d'aspects qu'il convient de prendre en considération.

7.1.1 Riz-poisson

La production piscicole varie en fonction de la densité d'empoissonnement, de la taille des poissons au moment de l'empoissonnement et de l'emploi ou non d'aliments complémentaires. Sans alimentation, la production par récolte peut varier de 100 à 750 kg·ha⁻¹·an⁻¹ (Zhang, 1995), tandis qu'avec une alimentation, le résultat pourrait se situer à 1 812 kg·ha⁻¹·an⁻¹.

Dans le système indonésien *minipadi*, le rendement varie de 75 à 100 kg·ha⁻¹ et le poids du poisson entre 50 et 70 g. Lorsque l'*O. mossambicus* est empoissonné au lieu de la carpe, le premier empoissonnement est réalisé avec 1 000 à 10 000 alevins et quelques centaines d'adultes par hectare. Six semaines plus tard, les plus gros sont récoltés pour la consommation et le reste est ré-empoissonné pour que se poursuive leur grossissement (Khoo et Tan, 1980).

En Basse Casamance au Sénégal, la culture riz-poisson alternant avec la monoculture de poisson se traduit par des rendements en poissons variant

entre 963 et 1 676 kg·ha⁻¹ pour les poissons issus des étangs fertilisés à l'aide de fumier animal et nourris de produits dérivés de la ferme, et de 590 kg·ha⁻¹ pour ceux issus de la rizière. Une récolte typique serait composée de *Sarotherodon melanotheron* (50%), *O. guineensis* (40%), *Hemichromis fasciatus* (2%), Mugil (5%), et *Penaeus notialis* (3%). En outre, des alevins et fingerlings peuvent être présents et constituer de 5 à 8% de la récolte (Diallo, 1998).

L'empoissonnement de grands fingerlings directement dans les rizières en Thaïlande a entraîné des rendements de 146 à 363 kg·ha⁻¹, tandis que les rendements dérivant de grossissement en étang d'alevinage avant le transfert des poissons dans les rizières ont oscillé entre 88 et 263 kg·ha⁻¹. Dans les études successives, il a été noté que les rendements en riz ont augmenté (Deomampo, 1998).

En Iran, la production piscicole a atteint une moyenne de 1 580 kg·ha⁻¹ avec des aliments et de 695 kg·ha⁻¹ sans aliments (durée de culture de 172 jours), le rendement en riz se situant à 7 014 kg·ha⁻¹ (communication personnelle, M. Ibrahim Maygoli, Chef de la division de l'aquaculture à Shilat, Téhéran, République islamique d'Iran, 30 août, 1999).

7.1.2 Riz-poisson-azolla

Les rendements en poisson en utilisant de l'azolla varient considérablement. Liu (1995) a signalé des rendements en poisson de 1 000 kg·ha⁻¹ en empoissonnant une combinaison d'espèces composée de 100 *H. molitrix* et de 300 *C. carpio* avec 100 *C. idellus* et 7 500 *O. niloticus*. Cela a été attribué aux différentes espèces se complétant selon leurs habitudes alimentaires et leur efficacité. Yang *et al.* (1995) ont observé que tant les rendements en poisson que ceux en riz varient avec la largeur du billon ou celle de la fosse. Avec une largeur constante de la fosse, la production piscicole a oscillé entre 841, 736 et 676 kg·ha⁻¹ à une largeur de billon de 53, 80 et 106 cm respectivement, tandis que les rendements en riz ont varié entre 13 et 14 tonnes. Avec une largeur constante du billon de 53 cm, les rendements en poisson ont atteint 613, 702 et 784 kg pour des largeurs de fosses de 40, 46 et 106 cm respectivement tandis que les rendements en riz ont varié entre 9,4, 10,1 et 10,4 tonnes.

Tableau 7. Production par unité de poissons en rizière, différents pays.

	Rendement en poissons (kg·ha ⁻¹)						
	Bangladesh	Chine	Inde	Indonésie	Philippines	Thaïlande	Viet Nam
Culture simultanée							
Monoculture							
Variation forte	188-239 ^a				223-263 ⁿ		
Variation faible	125-156 ^a	2 000-3 100 ^d		143 ^k	43,7-59,7 ^o		48-79 ^t
Polyculture							
Variation forte	187-605 ^b	750-1 500 ^e	500-2 000 ^h	2 000-3 500 ^l	606-636 ^p	468-1 472 ^r	677 ^u 187 bouquet +21 poisson ^v
Variation faible	116 -396 ^b	150-300 ^f	500-700 ^h		78-303 ^o	87,7-363,3 ^s	
Culture à rotation							
Monoculture							
Variation				80-367 ^m	406-527 ^q		
Polyculture							
Maximum		>1500 ^f					
Variation		300-450 ^f	815-2 135 ⁱ				
Culture simultanée - en eaux profondes							
Polyculture							
Variation	1 320-3 211 ^c	300 ^g	3-1 100 ^j				

- a) Gupta *et al.* (1998), fossé ou fosse, utilisant *C. carpio*, *B. gonionotus* ou *O. niloticus*. Forte variation – saison *boro* (sèche); variation faible – saison *aman* (humide).
- b) Gupta *et al.* (1999), fossé ou fosse, utilisant deux (chiffre minimum) ou plus d'espèces (chiffre maximum). Forte variation – saison *boro* (sèche); faible variation – saison *aman* (humide).
- c) Gupta *et al.* (1999), étangs creusés de 0,5 m de profondeur durant la saison sèche et une rétention minimum de 0,9m pendant 7,93 mois. Le chiffre minimum est celui de ceux qui ont adopté le système; le maximum est celui des pisciculteurs de recherche cultivant du poisson pendant un maximum de 9 mois.
- d) Chen (1995), basé sur le système billon-fossé avec *Clarias leather*, emploi d'aliments.
- e) Xu (1995), basé sur le système billon-fossé avec *C. idella*, *C. carpio* et *H. molitrix*.
- f) Zhang (1995), espèces non spécifiées: on peut présumer une polyculture de différents cyprinidés comme dans la pratique courante en Chine.
- g) Wan *et al.* (1995), basé sur une seule expérience utilisant *C. carpio* + *C. carassius* + *Oreochromis* sp.
- h) Dehadrai (1992), forte variation – système *Khazan* (eau saumâtre) à Goa avec crevettes+perches ; faible variation – système irrigué/pluvial avec ophichéphales+poisson-chat+carpe.
- i) Dehadrai (1992), système en eau saumâtre avec *P. monodon* + mulets.
- j) Ghosh (1992), la valeur la plus basse représente la production de stock naturel d'espèces non spécifiées et la valeur plus élevée de polyculture de carpes majeures indiennes+carpes chinoises+poisson-chat.
- k) Koesomadinata et Costa-Pierce (1992), système *minipadi* avec *C. carpio*.
- l) Koesomadinata et Costa-Pierce (1992), basé sur un rendement annuel pour le *sawah-tambak* de *C. chanos* + *C. carpio* + *P. javanicus* + *M. rosenbergii* ou *P. monodon*.
- m) Yunus *et al.* (1992), la valeur plus basse représente la culture *penyelang* et la valeur plus élevée, *palawija*, tous deux utilisant *C. carpio*.
- n) Saturno (1994), saison humide utilisant étang-refuge avec *O. niloticus* pour la valeur plus basse ; Israel *et al.* (1994) saison sèche utilisant étang-refuge avec *O. niloticus* pour la valeur plus élevée.
- o) Fermin *et al.* (1992), culture de saison humide avec tranchée-refuge utilisant *C. carpio* + *O. niloticus*.
- p) Torres *et al.* (1992), culture de saison sèche avec tranchée-refuge utilisant *O. niloticus*.
- q) Sevilleja (1992), basé sur une unique tentative utilisant rizière en jachère pour cultiver *C. carpio* + *O. niloticus*.
- r) Fedoruk y Leelapatra (1992), sur la base des chiffres de 1983 du Département thaïlandais des pêches.
- s) Thongpan *et al.* (1992), sur la base d'une recherche à la ferme de culture riz-poisson à Ubon, nord-est de Thaïlande.
- t) Mai *et al.* (1992), production de *M. rosenbergii* dans des canaux de rizières dans le delta du Mékong.
- u) Cantho Univ. College of Agric. (1997), canaux d'étangs reliés à la rizière utilisant trois espèces de cyprinidés.
- v) Mai *et al.* (1992), polyculture de *M. rosenbergii* et *P. gonionotus*.

Wang *et al.* (1995) ont signalé que les rendements en poisson variaient aussi en fonction des espèces cultivées et du stade de développement auquel ils étaient récoltés. La production piscicole a atteint son maximum dans la combinaison riz-azolla-

poisson de consommation à 536 kg·ha⁻¹ suivie de riz-azolla-alevins de *C. carpio* à 419 kg·ha⁻¹ et de riz-azolla-alevins de poisson chat (*C. gariepinus*) à 324 kg. Le rendement en poisson le plus faible a été obtenu avec des alevins de *C. gariepinus* à

280 kg · ha⁻¹. Wang a également obtenu le meilleur rendement avec des alevins de poisson-chat africain cultivés dans une rizière sans azolla à 717 kg · ha⁻¹. Le rendement le plus élevé a été signalé par Chen *et al.* (1995) en utilisant un système de polyculture de *H. molitrix*, *C. carpio* et de carassin à 7 038 kg · ha⁻¹ pour une combinaison de riz-azolla-poisson contre seulement 4 119 kg · ha⁻¹ pour une combinaison de riz-poisson. Ces rendements élevés ont été obtenus en utilisant du «fourrage fine» pour nourrir les porcs qui ont produit du fumier pour les rizières et des «restes de bière» (=drêche) comme aliments complémentaires.

7.1.3 Riz et crustacés

Les rendements en écrevisses provenant des rizières varient de 1 120 à 2 800 kg · ha⁻¹ en fonction de la durée de la période de récolte (Dela Bretonne et Romaine, 1990). Les crabes chinois entraînent un rendement de 227 à 303 kg · ha⁻¹ de crabes juvéniles. Le rendement de crabes commercialisables varie de 303 à 454 kg · ha⁻¹ à un taux d'empoisonnement de 75 à 150 kg · ha⁻¹. Le rendement en crevettes pénéidées varie en Inde de 3 kg · ha⁻¹ dans des parcelles rizicoles en eau profonde reposant sur un stock d'espèces mélangées à plus de 2 135 kg · ha⁻¹ dans des rizières d'eau saumâtre peu profonde empoisonnées de *P. monodon* (Ghosh, 1992).

7.1.4 Polyculture

L'empoisonnement de multiples espèces (ou polyculture) se traduit généralement par des rendements plus élevés qu'avec la monoculture. Les chiffres élevés dérivant du *sawah-tambak* indonésien et le riz en eau profonde du Bangladesh reposent tous sur la polyculture: *C. chanos* + *C. carpio* + *B. gonionotus* + *M. rosenbergii* ou *P. monodon* dans le cas de l'Indonésie et six espèces de carpes indiennes et chinoises dans le cas du Bangladesh. Avec la polyculture de *O. niloticus* et/ou de *B. gonionotus* avec d'autres carpes, des rendements plus élevés ont été signalés au Bangladesh par Gupta et Rab (1994) par rapport à la monoculture de toute espèce.

Gupta *et al.* (1998) ont observé que la combinaison de deux espèces parmi les *C. carpio*, *B. gonionotus* et *O. niloticus* se traduisait par des rendements moins élevés qu'avec une seule de ces espèces. Lorsque les pisciculteurs ajoutaient différentes espèces de carpe telles que *H. molitrix*, *L. rohita*, *C. catla*, *C. cirrhosus* et *C. idella*, la production dépassait la monoculture (tableau 8). La différence apparente dans la production moyenne pour toutes les espèces n'est pas significativement différente. Pendant la saison sèche, 66% des pisciculteurs ont préféré la *C. carpio* tandis que durant la saison humide, 54% ont préféré le *B. gonionotus*.

Tableau 8. Production, taille de la récolte et taux de rétablissement à différentes densités d'empoisonnement pendant les saisons *boro* (sèches) et *aman* (humides) au Bangladesh 1992-94. Les écarts-types sont entre parenthèses (Gupta *et al.*, 1998).

Espèces	Nombre de cas	Densité d'empoisonnement par ha	Poids moyen à la récolte (g)	Rétablissement (%)	Production piscicole (kg·ha ⁻¹)
Saisons Boro (1993 & 1994)					
<i>C. carpio</i>	96	3 400 (1 107)	115 (56)	53,8 (24,5)	204 (133)
<i>B. gonionotus</i>	13	3 017 (319)	95 (72)	65,0 (22,3)	188 (154)
<i>O. niloticus</i>	8	3 156 (442)	108 (25)	69,5 (12,1)	239 (75)
<i>C. carpio</i> + <i>B. gonionotus</i>	13	3 070 (324)	107 (42)	59,3 (15,4)	187 (64)
<i>C. carpio</i> + <i>O. niloticus</i>	1	4 667	86	39,6	158
<i>B. gonionotus</i>	2	3 643 (909)	25 (4)	50,5 (35,4)	47 (37)
Multi-espèces	12	9 323 (7 503)	241 (255)	49,1 (24,4)	605 (385)
Toutes les espèces	145	3 825 (2 814)	121 (96)	55,6 (23,4)	233 (197)
Saisons Aman (1992-1994)					
<i>C. carpio</i>	4	4 090 (2314)	54 (19)	76,8 (13,4)	156 (77)
<i>B. gonionotus</i>	53	3 130 (603)	58 (29)	66,4 (15,6)	125 (90)
<i>C. carpio</i> + <i>B. gonionotus</i>	20	3 771 (1611)	53 (38)	61,7 (22,0)	116 (85)
Multi-espèces	21	6 778 (2834)	214 (146)	34,1 (20,7)	396 (256)
Toutes les espèces	98	4 082 (2148)	90 (97)	59,0 (22,3)	184 (179)

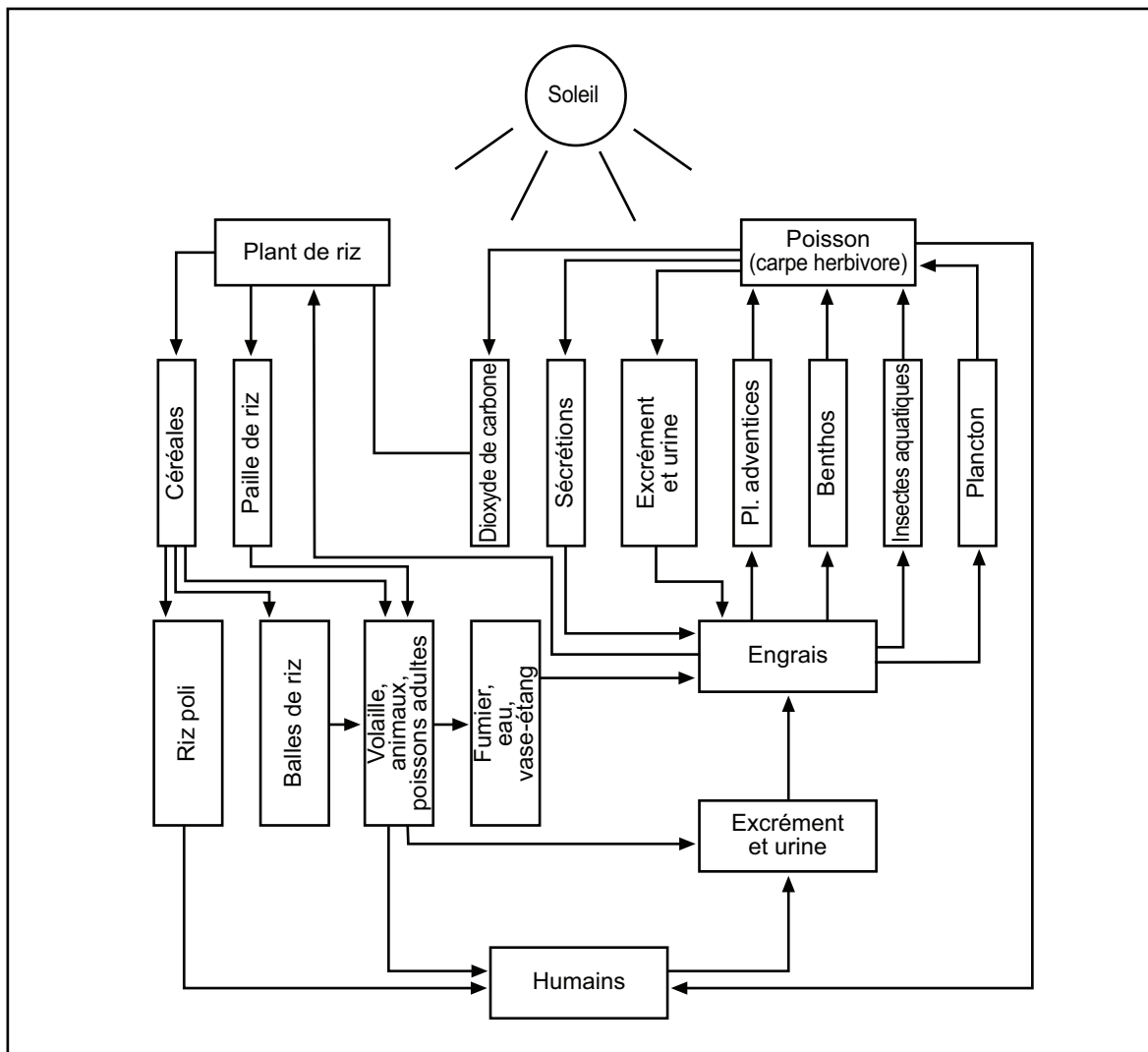


Figure 13. Flux d'énergie au sein d'un écosystème rizicole (Ni et Wang, 1995).

En synthèse, il est difficile, soit de prédire le rendement dans toute zone particulière, soit de conseiller (en l'absence de tentatives locales) la meilleure pratique d'empoissonnement. Globalement, il semblerait que la polyculture offre de meilleurs rendements, mais pas toute polyculture. De même, si des densités d'empoissonnement et des intrants alimentaires plus élevés augmentent les rendements (dans une certaine mesure), il y a lieu de mettre en balance ces résultats et l'augmentation des coûts qui y est liée. D'ordinaire, des tentatives locales sont nécessaires pour évaluer quelle serait la meilleure combinaison pour fournir au producteur le profit net maximum et comportant le moins de risques.

L'ampleur de la récolte piscicole dans un système de culture simultanée riz-poisson peut ne pas sembler spectaculaire par rapport à la récolte que l'on peut réaliser dans un système aquacole

intensif voire semi-intensif en étang, mais l'essentiel, cependant, ne se résume sans doute pas à cela puisque, au bout du compte, c'est le riz qui reste la culture principale. Ce qui apparaît plus important est, qu'avec des dépenses et des efforts supplémentaires, et sans devoir acheter davantage de terre, un riziculteur peut réellement produire du poisson, diversifiant de ce fait les choix des ménages en termes de sécurité alimentaire ainsi que de génération de revenu. Il est donc possible de considérer comme un avantage supplémentaire le fait que la présence du poisson puisse réellement contribuer à accroître la production rizicole et réduire, voire complètement éliminer, le besoin de recourir à des pesticides et des engrais.

7.2 Rendements en riz

La réciprocité entre le poisson et le riz a fait l'objet de nombreux débats. Cette réciprocité implique

des effets bénéfiques l'un envers l'autre. Le riz agit comme un bain d'azote et contribue à réduire l'ammoniac qui pourrait être libéré par le poisson, contribuant ainsi à rendre l'eau plus propre pour les poissons. La figure 13 indique l'interrelation entre le riz, le poisson et l'environnement au sein d'un écosystème rizicole (Ni et Wang, 1993). Dans une large mesure, la réciprocité est manifeste. Cela ne signifie pas toutefois que la présence du riz permette nécessairement une plus grande production de poissons. Au contraire, les besoins biologiques du riz et du poisson étant plutôt disparates, on peut affirmer que la présence du riz freine la production piscicole. Un exemple de ce phénomène a été observé par Rothuis *et al.* (1998b) au Viet Nam où le taux d'ensemencement du riz a affecté de façon négative le rendement en poisson. Des plants de riz trop denses ont empêché la croissance du phytoplancton vu que la disponibilité en nutriment a été réduite, que l'ombrage a été augmenté et que l'accès aux poissons au sein de la rizière a été restreint. En l'absence de riz, les rizières peuvent être gérées comme un étang à poissons et des rendements en poissons plus élevés peuvent être escomptés. Si l'on se réfère au volume croissant de la littérature concernant la culture riz-poisson, tout laisserait à penser qu'il est aisé de trancher sur les résultats de l'exploitation rizicole lorsque l'empoissonnement est également pratiqué. Cela n'est malheureusement pas aussi simple. Alors que nombre des études disponibles contiennent des chiffres relatifs aux rizières d'exploitation riz-poisson, peu seulement disposent d'informations sur ce que les rendements en riz auraient été sans pisciculture dans les mêmes circonstances ou sur ce que l'on peut considérer comme des chiffres de contrôle. Les affirmations ne sont pas souvent d'intérêt général mais s'en tiennent aux anecdotes. Comme Lightfoot *et al.* (1992) l'ont fait remarquer, «de nombreux auteurs ont cité des exploitants (ou cité d'autres auteurs citant des exploitants) pour élever au rang de sagesse traditionnelle l'accroissement des rendements en riz lorsque le poisson est empoissonné».

Des quelque 200 documents qui ont été consultés, 18 seulement comprenaient des chiffres de contrôle basés sur des données directes qui pourraient servir de base pour avoir une représentation plus claire des effets du riz sur le rendement. Parmi ces 18 documents figuraient 2 thèses d'université et un rapport annuel, outre certaines études scientifiques présentées lors de symposiums, ateliers ou conférences couvrant cinq pays. Il est important de sélectionner les données appariées relatives à la fois à la culture

riz-poisson et à la monoculture de riz et pratiquées par le même exploitant afin d'en dégager le «facteur compétence». Comme Waibel (1992) l'a fait remarquer, il est également possible que les exploitants qui ont opté pour la culture riz-poisson soient tout simplement de meilleurs exploitants.

Il est opportun de commencer par les Philippines où les chiffres de comparaison relatifs au rendement en riz sont les plus précoces. Lors de tentatives utilisant l'*O. niloticus* à travers les Philippines, le rendement en riz moyen n'était pas significativement plus bas dans les parcelles riz-poisson (NFAC, 1980). Des études plus récentes ont systématiquement indiqué des rendements en riz plus élevés dans des champs riz-poisson que dans des champs de monoculture de riz, à savoir entre 14 et 48% (tableau 9b). Le même schéma d'accroissement des rendements en riz dans des rizières contenant du poisson est ressorti des chiffres du Bangladesh (Gupta *et al.*, 1998).

Les études réalisées en Chine suivent les tendances observées aux Philippines et au Bangladesh à quelques exceptions près (tableau 9a). Toutes les provinces, à l'exception de la province de Jiangsu, ont affiché des rendements en riz plus élevés en présence de poissons que sans poissons. Dans le Bengale ouest en Inde, des essais sur le terrain de riziculture en eau profonde analysant l'effet des aliments complémentaires sur le poisson empoissonné ont entraîné une production rizicole de 4 à 11% plus élevée dans les parcelles riz-poisson tant avec, que sans aliments complémentaires. Néanmoins, les rendements en riz se sont révélés légèrement plus bas (de 2-5%) dans des systèmes riz-poisson utilisant de la bouse de vache (pauvre en azote et phosphore) comme engrais, mais plus élevés (8-43%) en utilisant du fumier de poulet riche en azote et phosphore (Mukhopadhyay *et al.*, 1992). Durant les saisons sèches de 1993 et 1994, une moyenne de 82,4% des 34 exploitations pratiquant la culture riz-poisson ont signalé des rendements plus élevés dans des rizières contenant des poissons. Durant les saisons humides de 1992 à 1994, 56,2% des 25 exploitations analysées ont signalé des rendements plus élevés. Les rendements en riz dans les champs comprenant des poissons ont connu une augmentation moyenne de 6,4% durant la saison sèche en 1994 et de 19,5% en 1993, et durant la saison humide, de 12,7% en 1992 et de 9,8% en 1998 (Gupta *et al.*, 1998) comme il est indiqué au tableau 10.

En Indonésie, des essais réalisés côte à côte ont systématiquement montré un rendement en riz plus élevé (22-32%) dans les parcelles riz-poisson par rapport aux parcelles de contrôle sans poissons (Fagi *et al.*, 1992), indépendamment de la saison et du fait que la parcelle ait été désherbée ou pas, et que des herbicides aient été utilisés. Purba (1998) a conclu dans son étude de Sumatra du Nord que, bien que le système riz-poisson réduise la zone effective de riziculture, son impact sur la production rizicole totale du pays est mineur et peut donc être ignoré. En Thaïlande, toutes conditions topographiques confondues, les rendements en riz se sont révélés, en moyenne, plus élevés dans les rizières empoissonnées (Thongpan *et al.*, 1992). Au Viet Nam, le rendement était plus faible, bien que statistiquement significatif. Le rendement en riz a été observé dans des rizières comprenant des *B. gonionotus* (Rothuis *et al.*, 1998c), mais il n'y a eu aucune analyse des rizières sans poisson.

Pour obtenir un aperçu global de la situation, la distribution de fréquence du taux d'augmentation de la production rizicole a été déterminée lorsque le poisson était présent. On a fait la moyenne des données issues des essais en ne considérant qu'une seule variable, avec ou sans poissons. Cependant, pour ce qui est des essais incluant des traitements, l'utilisation de différents engrais par exemple, le résultat de chaque traitement a été saisi séparément. Bien que cette approche ne semble pas suffisamment rigoureuse pour que le résultat soit considéré définitif par certains puristes, il est possible de donner un aperçu global de l'impact de la culture riz-poisson sur le riz en regroupant les résultats des différents travailleurs de cinq pays d'Asie différents (figure 14).

L'analyse démontre que même si des rendements en riz plus élevés n'ont pas toujours été obtenus avec l'introduction de poisson, cette introduction a entraîné pour la majorité des cas (80%) une augmentation des rendements de l'ordre de 2,5% ou plus. Les résultats semblent suffisamment convaincants pour pouvoir affirmer que l'élevage de poisson dans des rizières se traduit généralement par des rendements plus élevés que la culture du riz sans poisson.

Ces résultats indiquent que même si la superficie destinée à la riziculture est réduite dans la culture riz-poisson, la réciprocity avec le poisson augmente les intrants et/ou améliore la gestion et fait bien plus que compenser la perte de surface à travers de meilleurs rendements. L'accroissement des rendements semble à son tour être dû à l'augmentation du nombre de céréales par panicule¹³ (tableau 11) et éventuellement à sa combinaison avec une réduction de l'incidence du phénomène de panicules blanches¹⁴ (Magulama, 1990).

En synthèse, les rizières où le poisson est empoissonné auront tendance à produire un meilleur rendement étant donné que la rizière abritera moins de plantes adventices et de pyrales. Moins de plantes adventices entrant en concurrence avec le riz pour la recherche de nutriments et moins de ravageurs ne peut que contribuer à la production de plus gros et d'un plus grand nombre de grains, ainsi qu'à la réduction de la fréquence de grains non remplis. En bref, les rizières contenant du poisson posséderont des plants de riz plus sains que celles sans poisson.

¹³ Une panicule s'entend de la pousse terminale d'un plant de riz qui produit des grains.

¹⁴ Les panicules blanches sont de petites panicules et sont nommées ainsi en raison de l'apparence des plants de riz affectés. Ils sont principalement le résultat d'attaques de pyrales qui imposent que la partie plus basse de la tige du riz soit coupée. Les sécheresses et la dessiccation peuvent aussi causer le phénomène des panicules blanches.

Tableau 9a. Effet du poisson sur le rendement en riz, résultats appariés provenant de différents endroits 1977-94.

Système/Emplacement/Année	Rendement en riz (kg·ha ⁻¹)			Référence
	Avec poisson	Sans poisson	Plus (Moins)	
BANGLADESH				
F/f ^a , Mymensingh/Jamalpur/s. sèche 1993-94	4 980	4 555	425	Gupta <i>et al.</i> 1998
F/f ^a , Mymensingh/Jamalpur/s. humide 1992-94	3 811	3 496	315	-ditto-
INDE				
Fosse ^b /aucun aliment, Chinsura 1987	1 729	1 574	155	Mukhopadhyay <i>et al.</i> , 1992
Fosse/con alimento, Chinsura 1987	1 741	-ditto-	167	-ditto-
Fosse/nourri, Gosaba 1987	2 122 ^b	2 039	83	-ditto-
Fosse/con alimento, Gosaba 1987	2 130 ^b	-ditto-	91	-ditto-
Fosse/fv ^d , Sabang 1987	1 602	1 677	(75)	-ditto-
Fosse/fp ^d , Sabang 1987	2 399	-ditto-	722	-ditto-
Fosse/fv, Girirchak 1987	2 850	2 920	(70)	-ditto-
Fosse/fp, Girirchak 1987	3 160	-ditto-	240	-ditto-
INDONÉSIE				
Tr/0-d ^e , Sukamandi, s. humide 1988-89	6 620	5 430	1 190	Fagi <i>et al.</i> , 1992
Tr/1-d ^e , Sukamandi, s. humide 1988-89	7 130	6 700	430	-ditto-
Tr/2-d ^e , Sukamandi, s. humide 1988-89	7 380	7 300	80	-ditto-
Tr/h-cide ^e , Sukamandi, s. humide 1988-89	7 280	6 970	310	-ditto-
Tr/0-d, Sukamandi, s. sèche 1989	4 220	3 430	790	-ditto-
Tr/1-d, Sukamandi, s. sèche 1989	4 690	4 170	520	-ditto-
Tr/2-d, Sukamandi, s. sèche 1989	5 570	5 280	290	-ditto-
Tr/h-cide, Sukamandi, s. sèche 1989	4 970	4 560	410	-ditto-
Tr/TSP ^f , Sukamandi, s. sèche 1989	7 994	6 060	1 934	-ditto-
PHILIPPINES				
Tranchée/11 régions ^g , 1977-78	5 739	5 939	(200)	NFAC, 1980
Tranchée, Cavite 1986-87	7 100 ^h	4 750	2 350	Fermin, 1992
Tranchée, 20 x 20 ⁱ , Laguna 1988	2 392	2 348	380	Magulama, 1990
Tranchée, 40 x 20 ⁱ , Laguna 1988	2 693	2 199	494	-ditto-
Tranchée, 30 x 10 ⁱ , Laguna 1988	3 142	2 381	761	-ditto-
Tranchée, 20 x 15 ⁱ , Laguna 1988	2 431	2 431	0	-ditto-
Tranchée, Nueva Ecija 1989	6 300	6 200	100	Torres <i>et al.</i> , 1992
Étang ^j , Nueva Ecija, 1989	6 100	"	(100)	-ditto-
Étang ^j , Nueva Ecija, s. humide 1990 ^k	4 929	4 177	752	Israel <i>et al.</i> , 1994
Étang ^j , Nueva Ecija, s. sèche 1991 ^k	6 098	4 294	1 804	Israel <i>et al.</i> , 1994
THAÏLANDE				
Ns, Dom Noi, s. humide 1985	1 890 ^l	1 790	100	Thongpan <i>et al.</i> , 1992
Ns, Khoo Khad, s. humide 1985	1 630 ^l	1 510	120	-ditto-
Ns, Amnart Charoen 1987	2 537 ^l	2 014	523	-ditto-
Ns, Kheuang Nai 1987	2 574 ^m	2 372	202	-ditto-
Ns, Det Udom, 1987	2 651 ^m	2 427	224	-ditto-

Légende: TSP = superphosphate triple

- a) Fosse ou fossé, concernant 107 exploitations durant 3 saisons humides (aman) en 1992-94 et 149 exploitations durant 2 saisons sèches (boro) en 1993-94.
 b) Fosse centrale fournie, riz en eau profonde utilisé.
 c) Moyenne de deux parcelles.
 d) Fumier composté de vache (fv) et fumier séché de poule (fp) testés comme engrais.

- e) Tranchée, 0-d, 1-d, 2-d (0,1,2 désherbage respectivement) ; h-cide (herbicide utilisé).
- f) 7 niveaux de TSP contre 1 contrôle, le chiffre de rendements en riz avec poisson est la moyenne des 7 niveaux.
- g) Tests sur terrain au niveau national dans 13 provinces pilotes, les chiffres représentent la moyenne des résultats des 15 tests de terrain.
- h) Moyenne des opérations de 1986 et 1987.
- i) Se réfère aux quatre modèles de semis de riz testés.
- j) Étang-refuge au sein de la rizière.
- k) Récoltes moyennes issues de 15 exploitants utilisant un étang-refuge.
- l) Récoltes moyennes issues de 12 exploitants collaborateurs à Khoo Khad et de 13 à Amnart Charoen.
- m) Moyenne de tests utilisant 5 différentes variétés de riz à Kehung Nai et 3 à Det Udom.

Tableau 9b. Effet du poisson sur le rendement en riz, résultats provenant de Chine 1980-87.

Système/Emplacement/Année	Rendement en riz (kg·ha ⁻¹)			Référence
	Avec poisson	Sans poisson	Plus (Moins)	
Tr, Hunan, début 1980-83	3 272	2 734	538	Nie <i>et al.</i> , 1992
Tr, Hunan, mi 1980-83	5 596	5 138	458	-ditto
Tr, Hunan, fin 1980-83	8 595	6 218	2 377	-ditto
Ns, Hubei 1983	7 774 ^a	6 375	1 398	Wu, 1995
Ns, Hubei 1984	7 569 ^a	6 573	996	-ditto
RAP, ns. 1985-86	7 096	6 493	603	Wang <i>et al.</i> , 1995
Ns, Ns 1985-86	6 905 ^f	-ditto-	411	-ditto-
Tr + fosse ^b , Jiangsu 1985	8 667	9 054	(387)	Li <i>et al.</i> , 1995
Tr + fosse Jiangsu 1986	7 884	7 929	(45)	-ditto-
Tr + fosse, Jiangsu 1987	7 998	7 996	(2)	-ditto-
Bil, Anhui 1987	7 125	6 150	975	Yan <i>et al.</i> , 1995
Lbil, Anhui 1987	6 870	-ditto-	720	-ditto-
Lit, Anhui 1987	6 990	-ditto-	840	-ditto-
Conventionnel, Anhui 1987	6 795	-ditto-	645	-ditto-
B/F, Guilin, début 1987	7 632	6 135	1 497	Cai <i>et al.</i> , 1995
B/F, Guilin, fin 1987	6 750	6 225	525	-ditto-
B/F, Wuzhou, début 1987	11 654	11 037	617	-ditto-
B/Z, Wushou, fin 1987	6 606	6 206	400	-ditto-
B/F, Qinzhou 1987	5 537	4 857	680	-ditto-
Tr, Yunnan 1986	6 500	5 800	700	Chen, 1995
Tr, Yunnan 1987	7 100	6 400	700	-ditto-
Tr, Yunnan 1988	7 000	6 500	500	-ditto-
Ns, Hubei 1988	8 250	7 650	600	Lin <i>et al.</i> , 1995

Légende: Tr=tranchée; RAP=Riz-azolla-poisson; Bil=billon; Lbil=large billon; B/Z –B/F=billon/fossé; Ns=non spécifié.

a) Moyenne de deux traitements.

b) Tranchée en X 0,33 m de largeur x 0,4 m de profondeur + fosse (2,5x1x1m) aux intersections.

Tableau 10. Rendements en riz de parcelles intégrées et riz-poisson et de parcelles monoculture de riz. Variation entre parenthèses (Gupta *et al.*, 1998).

Saison	Année	No. de cas	Rendement en riz (kg·ha ⁻¹)		Cas avec rendements plus élevés tirés des parcelles intégrées (%)	Différence moyenne de rendement avec les parcelles de contrôle (%)
			Parcelle de contrôle	Parcelle intégrée		
Boro (irrigué)	1993	10	3 957	4 651	70,0	+ 19 (-13,3 a +57,6)
	1994	24	4 804	5 117	87,5	+6,4 (-30,0 a +19,0)
	Total	34	4 555	4 980	82,4	+10,25 (-13,3 a 57,6)
Aman (pluvial)	1992	15	3 749	4 108	67,0	+12,7 (-21,3 a +55)
	1993	10	3 121	3 364	40,0	+9,9 (-30,6 a -66,7)
	Total	25	3 498	3 811	56,2	+11,6 (-21,3 a 66,7)

Tableau 11. Caractéristiques comparées du riz cultivé avec et sans poisson, Philippines et Chine (sources des données indiquées dans le tableau).

	No. de grains par panicule		% de grains vides		Poids de 1000 grains (g)	
	Riz-poisson	Vérification	Riz-poisson	Vérification	Riz-poisson	Vérification
WU 1995						
Début-1	94,0	87,0	8,4%	13,0%	24,8	24,8
Début-2	107,0		7,8%		24,8	
Fin -1	104,0	111,6	19,7%	21,4%	28,5	28,6
Fin- 2	116,8		19,0%		28,7	
YAN ET AL., 1995a						
Billon	107,9	105,0	18,6%	21,6%	30,2	29,0
Billon large	115,6		19,7%		28,6	
Lit	112,2		23,2%		30,0	
Conventionnel	114,0		25,6%		29,1	
LI ET AL., 1995						
1985	153,3	152,2	10,9%	8,6%	29,1	29,8
1986	138,3	142,6	12,4%	12,1%	28,6	28,2
1987	152,5	152,7	17,4%	16,4%	28,8	28,9
CAI ET AL., 1995a						
Guilin, début	126,0	117,0	13,6%	17,7%	28,3	27,8
Guilin, fin	118,0	105,0	17,9%	21,6%	27,0	26,9
Wuzhou, début	124,3	118,4	11,0%	12,5%	25,6	24,8
Wuzhou, fin	127,7	109,6	19,8%	21,2%	25,3	24,8
Qinzhou	125,4	121,1	17,0%	27,8%	26,6	25,3
No, De grain par m²						
MAGULAMA 1990						
20 x 20 ^a	30 535	26 121	26,1%	32,0%	25,4	25,0
40 x 10	37 954	28 352	23,5%	33,4%	25,1	24,5
30 x 10	44 175	31 642	23,2%	33,5%	25,1	24,9
20 x 15	37 107	34 546	24,8%	32,0%	24,8	24,8

a) Traitement consistant en des modèles de semis, les chiffres se réfèrent aux plants de riz.

RÉSUMÉ:

Nombre total de rangs: 20

No. de grains/panicule:

Cas au total plus élevés dans parcelles riz+poisson: 17

Pourcentage moyen plus élevé dans parcelles riz+poisson: 9,9%

Pourcentage de grains vides

Cas au total de moins élevés dans parcelles riz+poisson: 15

Pourcentage moyen de moins élevés dans parcelles riz+poisson: 13%

Poids 1 000 grains

Cas au total plus élevés dans parcelles riz+poisson: 13

Pourcentage moyen plus élevé dans parcelles riz+poisson: 1,1%

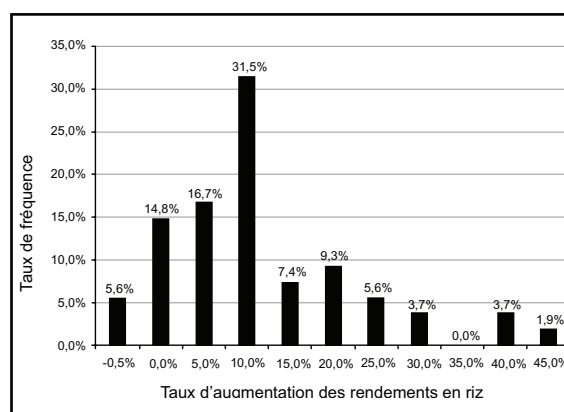


Figure 14. Distribution de fréquence du taux d'augmentation des rendements en riz suite à l'élevage de poisson en rizière sur la base de données publiées et issues de Chine, Inde, Indonésie, Philippines et Thaïlande de 1977 à 1992 tel qu'il a été résumé aux tableaux 9a et 9b.

8. Lutte raisonnée contre les ravageurs

8.1 Lutte raisonnée contre les ravageurs en présence de poissons

La lutte contre les ravageurs implique de nombreux choix et peut être répertoriée dans quatre catégories principales: mécanique, chimique, culturelle et biologique. Le premier type, à savoir la lutte mécanique est celle dont l'utilisation est la plus répandue et dont la tradition est la plus ancienne, et qui, combinée à une lutte naturelle, est considérée comme une composante de la lutte biologique. Le désherbage en est sans doute le meilleur exemple, mais cette pratique inclut également des techniques culturales telles que le contrôle du niveau de l'eau. Relativement récente et répandue, la lutte chimique contre les ravageurs est particulièrement populaire car perçue comme efficace mais aussi du fait qu'elle ne soit pas à forte intensité de main-d'œuvre. Malheureusement, les applications d'insecticides en riziculture se sont révélées très problématiques dans la mesure où elles déstabilisent l'écosystème et déclenchent une résurgence de ravageurs, créant de ce fait une situation encore plus critique qu'elle ne le serait sans leur utilisation. La lutte biologique contre les ravageurs dispose, quant à elle, d'un éventail d'applications allant de la préférence de certains organismes – comme par exemple les prédateurs de certains ravageurs – à l'utilisation de variétés de riz résistantes aux maladies. La lutte naturelle apparaît comme le choix le plus profitable aux exploitants, notamment lorsque l'emploi de pesticides cause des préjudices à la santé humaine (Rola et Pingali, 1993). Une approche intégrée utilisant différents types de lutte nommée Protection intégrée (ou PI) est ce qui est jugé le plus favorable dans la protection des plantes en riziculture¹⁵, et a été de fait adoptée comme stratégie nationale de protection des plantes par la plupart des pays producteurs de riz.

La lutte intégrée (LI)¹⁶ embrasse les quatre types de lutte susmentionnés et s'efforce d'optimiser leur utilisation. Les sections qui suivent passeront en revue les choix disponibles et leur impact établi ou possible sur le poisson présent en rizière. Les

principaux organismes nuisibles contre lesquels il faut lutter sont les plantes adventices, les agents pathogènes et les invertébrés (principalement escargots et insectes), bien que les rats et les crabes soient également susceptibles d'occasionner des dégâts dans certaines zones.

L'augmentation de l'emploi de pesticides est une raison pour laquelle les exploitants ne sont plus en mesure de récolter de poisson dans leurs rizières comme ils en avaient l'habitude et ce, notamment si l'irrigation provient des eaux d'une rivière. L'utilisation de produits chimiques est souvent citée comme l'une des principales contraintes à la vulgarisation de la culture riz-poisson (Koesoemadinata, 1980; Caguan et Arce, 1992). Or, l'empoisonnement en rizière réduit manifestement l'infestation de ravageurs, réduisant de ce fait, voire éliminant, le besoin d'applications d'herbicides et d'insecticides, en particulier des molluscicides, là où les poissons prédateurs d'escargots sont cultivés (Waibel, 1992; Caguan, 1995; Halwart 2001, 2003c, 2004a). Les avantages pratiques et économiques de l'utilisation de poissons au lieu de produits chimiques sont souvent évidents.

L'efficacité des poissons en tant qu'agents de lutte biologique dépend de leur bonne ou mauvaise distribution au sein de la rizière. Si les poissons se concentrent principalement dans l'étang-refuge, ils ne peuvent ainsi pas être efficaces dans la lutte contre les ravageurs du riz. Halwart *et al.* (1996) ont observé que dans les rizières dont l'étang-refuge couvrait 10% de la superficie totale, et empoisonnées de *C. carpio* ou *O. niloticus*, on dénombrait davantage de poissons parmi les plants de riz que dans l'étang. L'activité diurne des poissons étant majoritairement impulsée par l'alimentation, le modèle de distribution des poissons dans la rizière soutient l'hypothèse selon laquelle les poissons sont potentiellement importants dans la lutte contre les ravageurs.

Bien que les producteurs pratiquant l'empoisonnement tolèrent un niveau plus

¹⁵ À l'exception des pratiques de culture biologique

¹⁶ La lutte intégrée (LI) signifie l'«examen attentif de toutes les techniques disponibles pour lutter contre les ravageurs et intégration ultérieure de mesures appropriées pour prévenir l'apparition de populations nuisibles et maintenir l'utilisation des pesticides et d'autres types d'intervention à des niveaux économiquement justifiés, tout en réduisant le plus possible les risques pour la santé humaine et l'environnement. La lutte intégrée met l'accent sur la croissance d'une culture saine, avec un impact négatif minimal sur les agro-écosystèmes, et privilégie les mécanismes naturels de lutte contre les nuisibles.» – Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides de la FAO.

élevé d'infestation de ravageurs avant que la pulvérisation ne soit économiquement justifiable (Waibel, 1992), un niveau élevé d'infestation de ravageurs est toujours possible. Dans une telle situation, l'utilisation de pesticides ainsi que d'autres méthodes de lutte devraient être prises en considération sur la base des coûts et pertes possibles en termes de rendements en riz et de récolte piscicole. Les caractéristiques importantes dont on doit tenir compte dans la sélection de tout pesticide à appliquer dans une exploitation riz-poisson peuvent être synthétisées comme suit:

- une sécurité relative pour le poisson – le pesticide devrait être toléré par le poisson au dosage efficace recommandé contre les espèces d'insectes cibles;
- le taux de bio-accumulation – ne devrait pas s'accumuler ou persister dans le riz et devrait être métabolisé en composés non toxiques et excrétés par les poissons; et
- le taux de dégradation et de persistance – il devrait soit se volatiliser, soit se bio-dégrader ou se dégrader chimiquement après son application, de préférence en l'espace de quelques jours.

La sécurité pour les humains et le bétail ainsi que l'efficacité relative des produits sont autant de facteurs supplémentaires revêtant une importance qui ne peut être ignorée. En tout état de cause, ces dernières considérations s'appliquent à la riziculture, que le poisson soit cultivé avec le riz ou non.

On dénombre quatre groupes principaux de pesticides utilisés en rizières: les herbicides, insecticides, fongicides et molluscicides. Les herbicides sont considérés les moins toxiques et les insecticides généralement les plus toxiques pour les humains. Les changements qui surviennent actuellement dans la riziculture, dont les coûts de main-d'œuvre élevés et l'augmentation de la fertilisation azotée, semblent se traduire, respectivement, par l'utilisation d'herbicides et de fongicides. Plusieurs herbicides et fongicides sont connus pour avoir des taux de toxicité élevés hors cible et nécessitent donc d'être examinés d'un œil critique.

Les rizipisciculteurs ont tendance à éviter les pesticides, principalement parce qu'il y a un risque élevé de provoquer la mort des poissons,

et ce notamment, quand sont utilisés des pesticides dont la toxicité sur les poissons est élevée. L'emploi de composés non toxiques ou faiblement toxiques est perçu également avec prudence car bien qu'il soit fort probable que la consommation de poisson contaminé ne causera chez les humains ni la mort immédiate, ni le développement de maladie, la présence de résidus ainsi qu'une bio-accumulation de ces pesticides soi-disant «sûrs» sont toujours possibles.

Dans l'ensemble, la plupart des pays préconisent aujourd'hui les pratiques de lutte intégrée; en particulier, le choix de lutte naturelle s'est révélé le choix le plus avantageux pour les exploitants lorsque des poissons sont empoisonnés dans des rizières. Dans des cas où l'emploi de pesticides ne peut être que le seul choix possible, des mesures de précaution devraient être mises en place pour protéger le poisson¹⁷ et autres organismes non ciblés d'une part, et la santé des consommateurs, d'autre part.

8.2 Lutte raisonnée contre les plantes adventices des rizières

Il existe plusieurs possibilités pratiques pour lutter contre les adventices présentes en rizières: préparation du terrain, variation de la profondeur de l'eau, désherbage mécanique, utilisation d'herbicide et introduction de poissons herbivores.

À une profondeur de l'eau de 15 cm ou plus, la croissance des espèces adventices, telles que *Echinochloa crusgalli*, est stoppée et la plupart des plantes meurent (Arai, 1963). Manna *et al.* (1969) ont également signalé à quel point la profondeur de l'eau affectait de façon négative la fréquence de mauvaises herbes et de carex dans les rizières. Le fait qu'une rizière empoisonnée ait besoin d'une certaine profondeur d'eau facilite généralement la lutte contre les plantes adventices.

Le désherbage mécanique est sans doute la manière la plus fréquente de lutter contre les plantes adventices, et bien que le fait de remuer la terre et de provoquer ainsi de la turbidité soit susceptible d'affecter la croissance des poissons, il est peu probable que la fréquence à laquelle cela se manifeste ait un impact significatif sur la production piscicole. Cette méthode est toutefois une activité pour lutter contre les plantes

¹⁷ Afin de garantir la sécurité des poissons, la plupart des auteurs recommandent que les poissons soient regroupés dans les tranchées, fosses ou étangs avant de vaporiser et qu'un remblai temporaire soit construit pour empêcher que l'eau de la rizière n'arrive dans le refuge des poissons. Ce n'est qu'une fois que la toxicité du pesticide sera dispersée que les poissons seront autorisés à regagner la rizière.

adventices à forte intensité de main d'œuvre et en tant que telle, comporte souvent des charges supplétives (en particulier dans des zones intégrées dans une économie de rapport).

Utilisés de façon extensive, les herbicides ne sont cependant pas considérés comme un problème grave dans la culture riz-poisson. Si un herbicide est utilisé, il est normalement appliqué immédiatement après le repiquage. Les poissons sont introduits 10 à 14 jours après l'application du produit (Torres *et al.*, 1992). Par ailleurs, même à des niveaux élevés, il est possible de sélectionner un herbicide pouvant être toléré par les poissons. Cagauan et Arce (1992) avec Xiao (1992) ont répertorié neuf types d'herbicides actuellement en utilisation dans la riziculture asiatique.

Des analyses ont montré que les *C. carpio*, *M. rosenbergii* et un clam d'eau douce (*Corbicula manilensis*) ont des limites de tolérance très élevées pour le 2,4-D ou acide chlorophenoxyacétique (Cagauan et Arce, 1992; Xiao, 1992). La toxicité du 2,4-D pour les organismes aquatiques dépend des espèces, de la formulation du produit chimique, et des paramètres du système de l'eau de surface, tels que le pH, la température et la chimie de l'eau. 2,4-D est facilement excrété dans l'urine des animaux et ne se bio-accumule pas. Certains auteurs toutefois (Beaumont et Yost, 1999 par exemple), estiment que le type d'herbicide 2,4-D est cancérigène, citant plusieurs auteurs pour soutenir leur controverse selon laquelle ces types de produits chimiques provoquent des tumeurs. 2,4-D fait actuellement l'objet d'une réinscription à l'US EPA.

L'introduction de poisson en rizière peut réduire la quantité de plantes adventices de plusieurs façons. Pour les espèces de poissons herbivores, ces mauvaises herbes font partie de leur régime. Pour les espèces se nourrissant dans les fonds, les plantes adventices se trouvent par hasard sur leur chemin. En recherchant de la nourriture, le fond boueux de la rizière est labouré par les poissons ne laissant que peu de chances aux plantes adventices submergées de pouvoir ancrer leurs racines dans le sol, ce qui affecte leur croissance et prolifération. Dans les rizières où sont introduits des *B. gonionotus* et *C. carpio* au Bangladesh, des exploitants ont observé que les plantes adventices sont consommées directement par les poissons ou sont déracinées et meurent lorsque le sol est remué par les poissons qui broutent – réduisant de ce fait la diffusion des plantes adventices (Gupta *et al.*, 1998).

En Chine, on a observé que les poissons sont plus efficaces dans la lutte contre les plantes adventices que tout désherbage manuel ou toute utilisation d'herbicides. Le *C. idellus* s'est révélé l'espèce la plus efficace à cette fin et particulièrement dans la lutte contre 21 différentes espèces d'adventices, telles que *Echinochloa crusgalli*, *Eleocharis yokocensis*, *Cyperus difformis*, *Rotala indica*, *Sagittaria pygmaea*, *Monochoria vaginalis*, et *Marsilea quadrifolia*. L'introduction de poissons a réduit la quantité de mauvaises herbes présentes dans une rizière de 101 kg à seulement 20 kg en cinq semaines, tandis que dans une rizière adjacente qui n'avait pas été empoisonnée, la biomasse adventice avait augmenté de 44 kg à 273 kg durant la même période (Wu, 1995).

Les *C. carpio* se nourrissent de jeunes racines, de bourgeons et de tiges submergées de plantes adventices présentes en rizière, même si l'ingestion peut être involontaire puisque ces poissons se nourrissent d'ordinaire d'organismes benthiques. Seules les adventices dont les racines sont ancrées dans le sol (telles que les familles de Cyperaceae et Poaceae) sont consommées et non les herbes flottant librement (Satari, 1962).

Les *O. mossambicus* et *Tilapia zillii* peuvent également être utilisés dans la lutte contre les adventices, *T. zillii* étant particulièrement efficace (Hauser et Lehman, 1976). Les *O. niloticus* ne sont pas considérés comme des consommateurs de mauvaises herbes et s'avèrent plus efficaces dans la consommation d'algues bleu-vert (cyanobactéries) (Anon., 1971 cité par Moody, 1992), bien que Magulama (1990) ait observé que ces derniers peuvent aussi contribuer à la réduction des adventices. Deux autres espèces se sont révélées efficaces dans la lutte contre les mauvaises herbes: *B. gonionotus* et *Trichogaster pectoralis* (Khoo et Tan, 1980).

8.3 Lutte raisonnée contre les invertébrés

Des insectes ainsi que d'autres ravageurs invertébrés, principalement les escargots et, dans certaines régions, les crabes, peuvent endommager les cultures de riz pendant les étapes particulières de croissance. La section qui suit s'attache principalement à la protection contre les insectes et escargots nuisibles.

L'application de pesticides visant à réduire les insectes et autres invertébrés comporte plusieurs

conséquences qui sont importantes pour la culture riz-poisson puisque certains de ces pesticides affectent directement le poisson et dans d'autres cas, réduisent les organismes sources d'alimentation des espèces cultivées.

8.3.1 Lutte raisonnée contre les insectes ravageurs

Les insectes ravageurs peuvent être répertoriés en deux catégories générales: ceux qui affectent la production rizicole et ceux qui ne l'affectent pas mais sont néanmoins considérés comme des ravageurs pour des raisons ayant trait à la santé humaine, les moustiques par exemple. L'efficacité des poissons dans la lutte contre les insectes ravageurs est influencée par des facteurs hydrologiques, biologiques et agricoles. Il a été démontré que les poissons jouent un rôle significatif dans la réduction de certaines populations d'espèces d'insectes présentes dans les rizières. Leur interaction avec des organismes bénéfiques est moins claire. Il convient de noter que les dynamiques insectes ravageurs-prédateurs sont en général bien équilibrées dans un écosystème rizicole qui n'est pas perturbé par l'utilisation d'insecticides. Halwart (1994a) est arrivé à la conclusion selon laquelle la présence de poissons dans les rizières inondées renforce davantage la stabilité et l'équilibre des interactions ravageurs-prédateurs au sein de l'écosystème.

Au Bangladesh, la population d'insectes utiles tels que les coccinelles, araignées et demoiselles était de 5 à 48% plus élevée dans les exploitations riz-poisson que dans les exploitations rizicoles et ce, seulement 10-12 semaines après le repiquage; par la suite en revanche, le contraire a été observé. Cependant, l'infestation de ravageurs était de 40 à 167% plus élevée dans les exploitations de monoculture de riz durant tous les stades de croissance du riz (Gupta *et al.*, 1998).

Les moustiques et moucheron passent une partie de leur cycle de vie dans l'eau et bien que considérés non nuisibles aux plants de riz, ils n'en restent pas moins considérés comme des ravageurs. Certains travaux portant sur l'empoisonnement en rizière visaient principalement la lutte contre les moustiques plutôt que la production de poissons destinés à la consommation, à l'exception de la Chine où la culture combinée de gambusia et de carpe commune s'est traduite par la réduction de populations de larves anophèles et culicines à hauteur de 90 et 70% respectivement (WHO 1980 dans Pao, 1981). Les fulgoromorphes et cicadelles

restent généralement sur les parties centrales et inférieures des plants de riz afin de sucer la sève des végétaux pendant la journée et remontent sur la partie supérieure pour se nourrir la nuit ou en tout début de journée. Des *C. carpio* et *C. idellus* de plus de 6,6 cm de longueur se sont révélés efficaces dans la réduction des fulgoromorphes et cicadelles, respectivement (Xiao, 1992). *C. idellus* est l'espèce la plus efficace contre ces insectes ravageurs, suivie de *C. carpio* et *O. niloticus* (figure 15). Yu *et al.* (1995) justifient l'efficacité de *C. idellus* par sa consommation des feuilles externes des plants de riz précisément là où les fulgoromorphes pondent leurs œufs. De plus, les poissons consomment les fulgoromorphes qui tombent dans l'eau. Afin de ne pas dépendre purement du hasard, Xiao (1995) recommande qu'une «corde soit hissée sur les plants de riz» pour faire descendre les fulgoromorphes à la surface de l'eau, devenant ainsi accessibles aux poissons. Au Viet Nam, une exploitation riz-poisson a enregistré 3 800 de ces insectes au mètre carré contre des centaines de milliers au mètre carré dans des zones environnantes infestées (Tuan, 1994).

Yu *et al.* (1995) signalent que les observations provenant de Chine indiquent 47 à 51% de pyrales du riz en moins dans les parcelles riz-poisson que dans celles de monoculture de riz. Par ailleurs, une réduction de 28 à 44% a été observée dans le taux d'attaque par rapport aux champs de monoculture de riz. Magulama (1990) a observé que l'incidence de panicules blanches, un signe évident d'infestation de pyrales du riz, dans des parcelles expérimentales aux Philippines était de 11% dans les champs de riz-poisson et de 18% dans les parcelles rizicoles (figure 16). Halwart (1994a) a observé de faibles niveaux d'infestation de pyrales du riz dans des exploitations à la fois de riz et de riz-poisson durant trois saisons consécutives. Comparé aux champs de contrôle sans poissons où l'infestation s'élevait à 18%, Halwart a toutefois remarqué, lors de la quatrième saison, une réduction statistiquement significative de l'infestation de la chenille mineuse de la tige (*Scirpophaga incertulas*) se manifestant par des panicules blanches; la réduction en question étant de l'ordre de 3% dans les rizières empoisonnées de *O. niloticus* et de 5% empoisonnées des *C. carpio*. Il est fort possible que ce mécanisme de lutte contre les pyrales fonctionne grâce à l'activité prédatrice des poissons envers les larves de pyrales du riz à peine nées, larves qui une fois écloses se suspendent souvent sur les feuilles du riz à l'aide d'un fil de soie pour passer à d'autres touffes de riz repiqué.

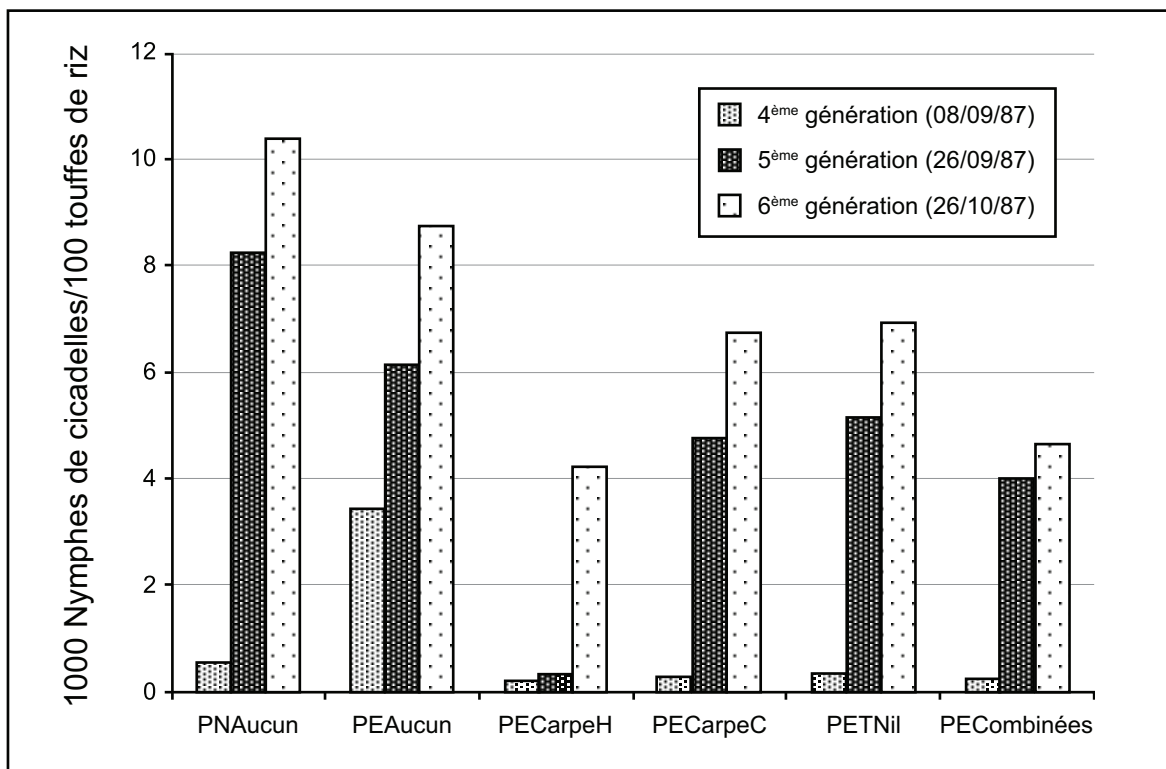


Figure 15. Effet des différentes espèces de poissons sur les nymphes de fulgoromorphes du riz dans des exploitations riz-poisson. PN=profondeur de l'eau normale ; PE=profondeur de l'eau maintenue à 10 cm ; Aucun=aucun poisson ; CarpeH=Carpe herbivore ; CarpeC=Carpe commune ; TNil=Tilapia du Nil ; Combinées=les 3 espèces. Canton de Shangyu, Province de Zhejiang, Chine. (Source des données: Yu *et al.*, 1995).

Inversement, le nombre de tordeuses des feuilles (*Cnaphalocrocía medinalis*), appelées aussi parfois pyrales des herbes, était plus élevé dans des champs riz-poisson que dans des champs de monoculture de riz en Chine. Les champs rizipiscicoles comptaient en effet de 90 à 234 tordeuses des feuilles par 100 touffes de riz repiqué contre 12 à 149 dans des champs rizicoles. Selon toute vraisemblance, les poissons ne se nourrissent pas de larves de tordeuses des feuilles alors que la présence de déchets de poisson ainsi qu'une eau profonde semblent avoir favorisé l'oviposition, l'éclosion et l'alimentation des larves d'insectes. Hendarish *et al.* (1994) ont remarqué toutefois que les dégâts causés au riz par les tordeuses des feuilles étaient de 50% de moins pour les rizipisciculteurs indonésiens, bien que ce résultat ne soit pas apparu statistiquement significatif.

Les insecticides chimiques sont généralement plus toxiques que les herbicides, mais il se peut que l'on doive les appliquer même si les poissons sont maintenus en rizière pour poursuivre leur croissance. Xiao (1992) affirme que les pesticides ne sont pas incompatibles avec la culture riz-poisson et qu'ils peuvent être appliqués en toute sécurité à condition que soient respectés les points suivants:

- la sélection d'un type de pesticide adapté;
- l'emploi d'un dosage ne comportant pas de danger;
- l'utilisation de bonnes méthodes de livraison;
- un timing correct de la période d'application; et
- la mise en place de préparations de pré-applications visant à protéger le poisson.

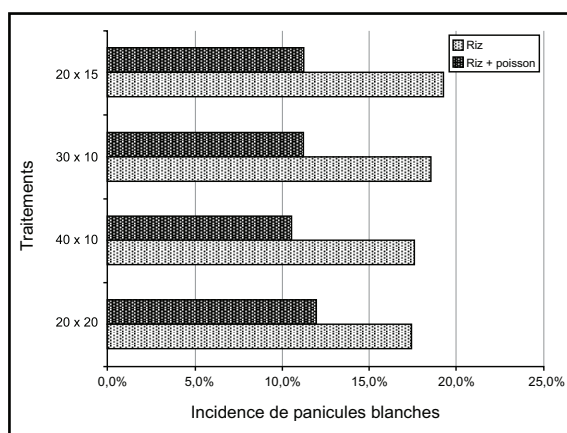


Figure 16. Incidence de panicules blanches dans les plants de riz dans les rizières empoisonnées de tilapia du Nil et dans des rizières sans poissons. (Source des données: Magulama, 1990).

Tableau 12. Toxicité des différents insecticides et herbicides exprimés à 48-h et 96-h CL₅₀ sur les *O. niloticus*, *O. mossambicus* et *C. carassius* testés au Freshwater Aquaculture Center – Central Luzon State University, Philippines (version abrégée de Cagauan et Arce, 1992).

Groupe de pesticides / nom courant	48-h CL ₅₀ (ppm de produit formulé) et niveau de toxicité ^a			48-h CL ₅₀ (ppm de produit formulé)					
	<i>O. niloticus</i>	<i>O. mossambicus</i>	<i>C. carassius</i>	<i>O. niloticus</i>	<i>O. mossambicus</i>	<i>C. carassius</i>			
INSECTICIDES									
<i>Carbamate</i>									
BMPC	5,6 -6,7	tt	-	28,3	mt	5,4-6,12	-	25,2	
Carbaryl	3,10	tt	-	-	-	2,93	-	-	
Carbofuran	2,27	tt	2,4	tt	-	1,97	1,72	-	
MTMC	68,0	mt	52,0	mt	-	50,0	46,9	-	
MTMC + Phenthoate	0,56	et	-	-	-	0,47	-	-	
PMC	6,05 ^c		6,0 ^c	-	34,75 ^c	-	-	-	
PMP	59,0	mt	-	-	34,8	mt	47,1	-	19,6
<i>Phosphate organique</i>									
Azinphos-éthyl	0,028 ^c		0,023 ^c		0,009	et	-	-	0,002
Chlorpyrites	2,0	tt	1,34		-		1,3	1,19	-
Diazinon	45,0	mt	-		40,7	mt	2,2	-	15,2
Méthyl parathion	25,7	mt	-		13,4	mt	19,0	-	11,0
Monocrotophos	1,2	tt	47,6		0,31	et	-	33,10	-
Triazophos	5,6	tt	-		-		-	-	-
<i>Pesticide organochloré</i>									
Endosulfane	5,8	tt	-		1,3		1,3	-	1,6
<i>Pyréthrianoïde synthétique</i>									
Perméthrine	0,75	et	1,3	tt	-		0,75	-	-
Cyperméthrine	0,63	et	-		-		0,63	-	-
Herbicides									
2,4-D ^c	-		-		-		-	-	-
Agroxone (MCPA) ^c	-		-		-		-	-	-
Rilof (piperophos)	27,5	mt	-		-		-	-	-
Machete (Butachlor)	1,4	tt	-		-		1,3	-	-
Modown (bifenox)	149,0	ft	-		128,0	ft	127,0	-	102,0
EPTAM D (EPTC)	71,5	mt	-		53,5	mt	54,4	-	49,5
Treflan (trifuralin)	308	ft	-		190,0	ft	225,0	-	170,0

^a Classement de pesticides d'après Koesomadinata et Dadjaredja (1976) pour 48-h CL₅₀: <1 = extrêmement toxique (et); 1-10 = très toxique (tt); 10-100 = modérément toxique (mt); et >100 = faiblement toxique (ft)

^b 24-h CL₅₀

^c Le 24-h CL₅₀ pour Agroxone et 2,4-D a été testé avec des espèces différentes: pour *C. carpio* (Agroxone: 520 ppm; 2,4-D: 800 ppm), *Macrobrachium* sp. (Agroxone: 1 840 ppm; 2,4-D: 920 ppm) et *C. manilensis* (Agroxone: 4 600 ppm; 2,4-D: 5 300 ppm)

Aucune évaluation systématique des différents pesticides n'a eu lieu quant à leur toxicité envers les différentes espèces de poissons ainsi qu'à leur taux de bio-accumulation dans le poisson. D'après les études de Cagauan et Arce (1992) et Xiao (1992), les informations dont on dispose consistent en un certain nombre d'analyses relatives aux insecticides les plus répandus dans différents endroits (tableaux 12, 13).

Il convient de noter à ce stade, qu'outre l'importance statistique, l'importance économique des données doit également être prise en considération et ce, avec ou sans la présence de poissons en rizière et qu'«aucune donnée n'est assez bonne pour pouvoir justifier un quelconque usage d'insecticides en riziculture irriguée tropicale» (Settle, comm. perso.)

Tableau 13. Limites de tolérances moyennes (LTM) de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) aux différents pesticides (abrégé tiré de Xiao, 1992).

	Produit formulé	LTM (ppm) 48-heures	Niveau de toxicité
<u>INSECTICIDES</u>	Trichlorfon	6,2	moyen
	Dichlorvos	4,0	moyen
	Fénitrothion	4,4	moyen
	Malathion	9,0	moyen
	Rogor	<40,0	faible
	Méthyl Parathion	5,0	moyen
	Phosmet	5,3	moyen
	Phenthoate	2,0	moyen
	Baytex	2,0	moyen
	Tsumacide	15,3	faible
	Landrin	38,1	faible
	Bassa	12,6	faible
	Etofolan	4,2	moyen
	Chlordiméforme	15,2	faible
	Roténone	0,032	élevé
	Bramaxymil octamoate	0,0	élevé
	<u>BACTERICIDES</u>	EBP	5,0
IBP		5,1	moyen
Edinphensop		1,3	moyen
Oryzon		6,7	moyen
Plictran		14,6	faible
Thiophanate méthyl		11,0	faible
Blasticidin		>40,0	faible
Kasugamycine		100,0	faible
CAMA		10,0	moyen
Phénazine		>10,0	faible
<u>HERBICIDES</u>	Triram	4,0	moyen
	2,4-D	>40	faible
	DMNP	14,0	faible
	Propanil	0,4	élevé
	Nitrofène	2,1	moyen
	Benthiocarb	3,6	moyen
	Amine methanearsonates	3,7	moyen
	GS 13633	0,86	élevé
	Hedazhuang	34,0	faible
	Oradiazon	3,2	moyen
	Prométryne	23,5	faible
	Glyphosate	119,0	faible
	Pentachlorophénol	0,35	élevé
<u>AUTRES</u>	Phosphure de zinc	80,0	faible
	Propargit	1,0	moyen
	Chaux	140,0	faible

8.3.2 Lutte raisonnée contre les escargots

L'un des derniers ravageurs à frapper la rizière en Asie du sud-est est l'ampullaire brune (*Pomacea canaliculata*). Provenant d'Amérique latine, cet escargot a envahi la plupart des zones de production rizicole d'Asie (Halwart, 1994b). Deux espèces ont été importées de Floride (États-Unis) en 1980 comme culture vivrière et d'exportation potentielle aux Philippines, un deuxième lot ayant été importé de la Province chinoise de Taïwan en 1984 par deux groupes privés distincts (Edra, 1991). Apparemment inoffensifs au moment de leur première introduction, ils sont désormais réputés pour être capables de dévaster des rizières entières de plants de riz fraîchement émergés.

L'utilisation de poissons comme lutte biologique contre les escargots est reconnue depuis un certain temps. L'analyse de Coche (1967) répertorie des travaux effectués en Ouganda, au Mozambique et au Congo dès 1952, jusqu'en 1957. Les préoccupations se concentraient alors sur la lutte contre les escargots qui servaient d'hôtes intermédiaires au *Schistosoma* spp., des trématodes qui provoquent la schistosomiase – une maladie débilitante chez les humains également connue comme la bilharziose.

En vue de lutter contre les ampullaires, les exploitants et les agences gouvernementales ont utilisé des molluscicides chimiques, principalement des composés organostanniques. L'amélioration de la sensibilisation quant aux dangers posés par les composés organostanniques sur les êtres humains et sur le bétail a conduit à leur interdiction dans certain pays. Aux Philippines, les sociétés de produits chimiques agricoles se sont tournées vers les métaldéhydes après leur homologation délivrée par les autorités compétentes. Les exploitants estiment que les métaldéhydes ne sont pas aussi efficaces vu qu'ils sont appliqués sous forme d'appât et doivent être ingérés par les escargots ciblés pour être en mesure de les affecter.

Les poissons apparaissent comme de bien meilleures options de lutte biologique. Aux Philippines, un programme de trois ans a été lancé en 1990 faisant partie intégrante de la recherche stratégique au sein de l'Asian Rice Farming Systems Network (ARFSN) chargé d'évaluer de manière spécifique le potentiel d'*O. niloticus* et *C. carpio* en laboratoires et sur le terrain (Halwart, 1994a). Des expériences conduites sur la réponse alimentaire et les quantités de prédation propres à une espèce

spécifique ont indiqué que la carpe commune était l'agent de lutte biologique de prédilection capable de taux de consommation journalière pouvant atteindre 1 000 escargots juvéniles, se nourrissant toutefois aussi de plus gros escargots (figure 17, Halwart *et al.*, 1998). Intégrés aux nouvelles données relatives à l'écologie des populations d'escargots, ces résultats ont conduit à des expériences menées sur le terrain examinant plusieurs combinaisons de différentes densités d'escargots et de poissons (figure 18, Halwart, 1994a). Par la suite, les résultats obtenus ont été soumis à des analyses testant leur probabilité et force à long terme développant un modèle de dynamique de populations d'escargots qui a identifié les poissons en rizières comme l'un des facteurs clés provoquant la mortalité des escargots (Heidenreich et Halwart, 1997; Heidenreich *et al.*, 1997). En Indonésie, des projections préliminaires ont indiqué quatre espèces potentiellement en mesure de lutter contre les escargots: *C. carpio*, *O. niloticus*, *B. gonionotus* et *O. mossambicus* (Hendarish *et al.*, 1994). Parmi ces espèces, celle des *C. carpio* a été identifiée comme la meilleure candidate et déclarée capable de consommer jusqu'à 40 jeunes escargots en une journée; les trois autres espèces ne consommant que 84-87% de cette quantité d'escargots en quatre jours. Ces résultats ont été appliqués au Viet Nam où l'on a identifié la lutte intégrée (LI) comme l'approche la plus appropriée dans la lutte contre les escargots, la carpe étant l'espèce de poisson préconisée pour la lutte biologique (FAO, 1998).

8.4 Lutte raisonnée contre les maladies

Le rôle du poisson dans une rizière ne se limite pas à la lutte contre la prolifération de

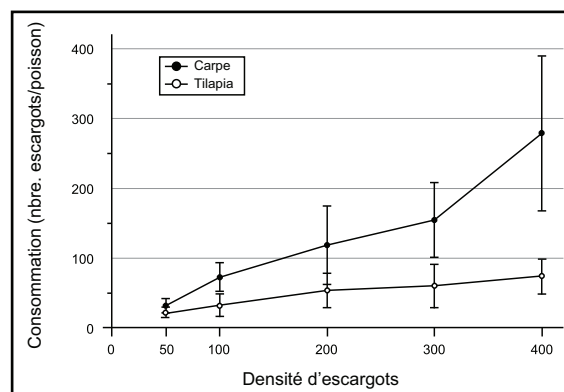


Figure 17. Nombre d'escargots *Pomacea canaliculata* juvéniles (moins de 5 jours) consommés en 24 heures par un seul poisson (*Cyprinus carpio* et *Oreochromis niloticus*) à mesure que la densité d'escargots est modifiée. (Source: Halwart, 1994a).

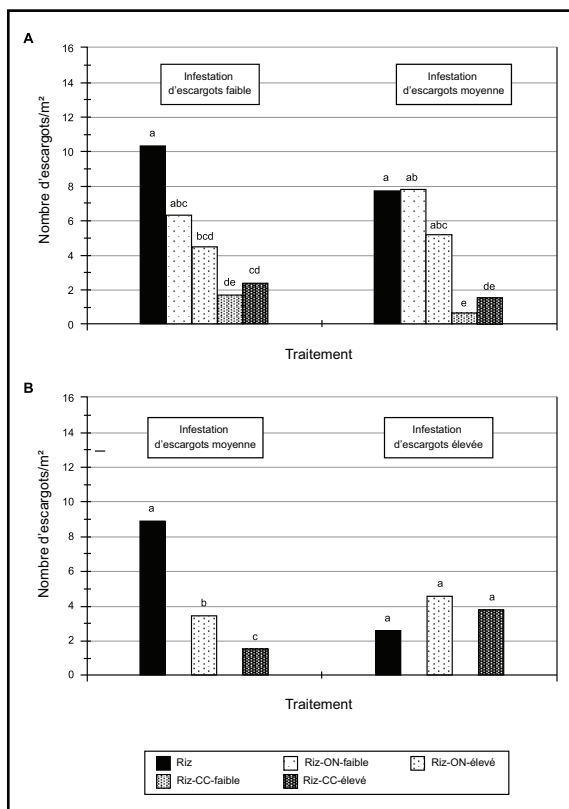


Figure 18. Abondance d'escargots *Pomacea canaliculata* vivants récoltés deux jours après la récolte du riz dans des parcelles de 50 m² pourvues d'étangs durant la saison humide (A) et des parcelles de 200 m² pourvues d'étangs durant la saison sèche (B) à des premiers niveaux d'infestation d'escargots faibles (0,18 escargots/m²), moyens (1,32 escargots/m²) et élevés (1,32 escargots/m²), Muñoz, Nueva Ecija, Philippines. CC=*Cyprinus carpio*; ON=*Oreochromis niloticus*; faible=5 000 poissons·ha⁻¹, élevé=10 000 poissons·ha⁻¹. Les mesures indiquées sont la moyenne de 3 réplifications. Les moyennes au sein de la même infestation (faible, moyenne, élevée) dont la lettre est la même ne sont pas radicalement différentes au niveau de 5 % par DMRT. (Source: Halwart *et al.*, 1998)

plantes adventices, d'escargots et de certains insectes nuisibles. En Chine, le Taoyuan County Agricultural Bureau dans la province de Hunan a observé que l'élevage de *C. idellus* en rizière a tenu sous contrôle la maladie de la pourriture à sclérotés de la gaine (Xiao, 1992). Dans des parcelles riz-poisson, l'indice d'incidence de la maladie a oscillé entre 8,5 et 34,3 pour les jeunes plants de riz et entre 2,4 et 26,4 pour le riz plus ancien contre 24,1-55,0 et 4,7-41,7 dans les parcelles de contrôle, respectivement (figure 19). Des résultats semblables ont été observés dans le

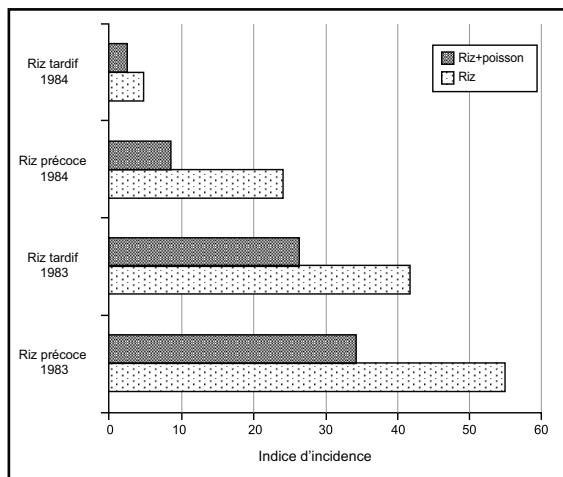


Figure 19. Indice d'incidence de la maladie de la pourriture à sclérotés de la gaine dans le riz cultivé avec des poissons et sans poissons, Tau Yuan Agricultural Bureau, Tao Yuan, Chine. (Source des données: Xiao, 1992).

canton de Shangyu dans la province de Zhejiang (Yu *et al.*, 1995) où l'incidence de la maladie a chuté de 9,9-19,6% dans des parcelles riz-poisson de profondeur normale.

L'ouvrage de Yu *et al.* (1995) a donné la description de trois mécanismes qui permettent aux poissons de réduire les effets d'infection fongique. Il a observé en premier lieu que les poissons arrachaient les feuilles malades près du fond des plants de riz, réduisant ainsi les sources de ré-infection au sein du champ. En deuxième lieu, l'amélioration de la ventilation et la pénétration de la lumière provoquées par l'arrachement des feuilles du fond ont rendu le microclimat défavorable au champignon. Enfin, le fait de maintenir une eau profonde à long terme a empêché toute ré-infection et germination de spores.

Xiao (1992) indique que la *C. idellus* se nourrit directement sur le sclérote (masses compactes de hyphes fongiques avec ou sans tissu-hôte) de la pourriture de la gaine et le digère en 24 heures. Les sécrétions provenant du poisson sembleraient également ralentir la germination des hyphes et réduire l'infection. Cependant, le poisson n'est efficace que lorsque l'infection se manifeste à la surface de l'eau. Une fois que l'infection s'étend vers le haut, en s'éloignant de la surface de l'eau, les poissons sont inefficaces.

9. Impact de la culture riz-poisson

C'est l'impact de rizipisciculture qui devrait déterminer si en fin de compte ce système de culture est une tentative valant la peine pour les riziculteurs. L'impact de la culture riz-poisson peut être mesuré de nombreuses façons, cette section se concentrera cependant sur son impact économique direct ainsi que celui sur la nutrition des ménages, la santé publique et son rôle dans la réduction de la pauvreté. Les questions environnementales seront abordées par la suite.

9.1 Aspects économiques de la production

9.1.1 Le résultat financier

Afin d'évaluer si l'élevage du poisson dans une rizière vaut vraiment l'effort supplémentaire requis, il a été nécessaire d'examiner les chiffres disponibles relatifs au coût comparatif et aux retours de la rizipisciculture et de la monoculture de riz. On a particulièrement pris en considération seuls les cas où il a été possible d'obtenir les deux chiffres au sein d'une même localité pendant la même période. De nombreuses études disponibles indiquent des chiffres relatifs aux coûts et retours pour l'exploitation riz-poisson, mais n'offrent pas de chiffres relatifs à la monoculture de riz. Ces derniers ne figurent pas dans cette analyse. Comme on peut l'observer dans les tableaux 14 et 15, les différences de taux de retours nets varient considérablement d'un pays à l'autre ainsi que d'une année et d'un endroit à l'autre au sein d'un même pays (Yu *et al.*, 1995). Toutefois, dans l'ensemble, on peut affirmer que la présence de poissons a entraîné l'augmentation des retours nets.

Au Bangladesh, les retours nets tirés de la culture riz-poisson se situaient au-delà de 50% de plus que ceux de la monoculture de riz. Ce résultat s'explique probablement par les coûts moyens plus bas de la culture du riz et par les rendements en riz plus élevés, en plus du rendement en poisson provenant des exploitations intégrées (Gupta *et al.*, 1998).

En Chine, l'augmentation a oscillé entre 45 et 270%. La pisciculture était presque trois fois plus rentable

que le riz cultivé seul (Yan *et al.*, 1995a). Lin *et al.* (1995) ont attribué les avantages économiques de la culture riz-poisson à une augmentation des rendements en riz et aux économies réalisées en main d'œuvre et en intrants de matériel. Les rendements en riz en rizipisciculture étaient de 8% supérieurs, l'apport de main d'œuvre 19% inférieur, et les coûts de matériel 7% inférieurs (économies du coût de lutte contre les maladies et les ravageurs). En outre, la production piscicole a augmenté le revenu net.

Les chiffres indonésiens indiquent que le fait de posséder deux cultures de riz-poisson et d'utiliser la rizière pour une courte culture intermédiaire (ou *penyelang*) de poisson implique un retour qui est 116% supérieur à la méthode consistant à pratiquer deux récoltes de riz et laisser la rizière en jachère pendant deux mois environ. Purba (1998) en est arrivé à la conclusion que le système riz-poisson est une technologie rentable et que le fait de l'adopter a de fortes chances d'augmenter le revenu des ménages de la ferme, l'absorption de la main d'œuvre ainsi que de générer de meilleures liquidités.

Aux Philippines, les exploitations de rizipisciculture ont produit un retour net 27% supérieur du poisson qu'avec une récolte unique de riz (Sevilleja, 1992). En outre, il a été démontré qu'il était possible de tripler la rentabilité de la riziculture en cultivant du poisson avec le riz (Fermin, 1992; Israel *et al.*, 1994).

La Thaïlande, contrairement aux pays susmentionnés, a affiché des retours nets plus faibles dans les champs riz-poisson que dans les champs de monoculture de riz. Les chiffres de ce pays indiquent que la rentabilité réalisée dans les champs de riz-poisson s'élevait à 80% de celle de la monoculture de riz. Thongpan *et al.* (1992) ont attribué ce résultat au fait que l'investissement initial était élevé dans la rizipisciculture¹⁸.

Une enquête réalisée auprès de 76 exploitations au Viet Nam dans le delta du Mékong (Rothuis *et al.*, 1998a) a indiqué une baisse du rendement en riz de 16% et une baisse du retour net global de 20% dans les exploitations qui consacraient une partie

¹⁸ Thongpan *et al.* (1992) ont remarqué que durant la saison sèche de 1985, la culture riz-poisson a enregistré des retours plus élevés que la monoculture de riz, ce qui n'a malheureusement pas été présenté en détail dans le rapport. Par la suite, deux autres exploitations ont affiché une rentabilité supérieure de la culture riz-poisson durant la saison des pluies de 1985.

Tableau 14. Synthèse des coûts et retours de la culture riz-poisson et de la monoculture de riz au Bangladesh et en Chine. Tous les chiffres sont exprimés en \$EU·ha⁻¹·récolte⁻¹ ou \$EU·ha⁻¹·an⁻¹ selon les indications et arrondis à l'unité la plus proche. La dernière colonne compare la culture riz-poisson à la monoculture de riz en termes de revenu issu de la culture rizicole, des dépenses encourues pour le riz et de retours nets.

Système riz+poisson, année, période (source)	Riz+poisson		Riz seulement		% en plus (en moins)
	Quantité	Total	Quantité	Total	
BANGLADESH					
Fosse/Cuve, <i>boro</i> (s. sèche) 1994 (Gupta <i>et al.</i> , 1998) ^a					
Riz: revenu	749		690		8,5%
Poisson: revenu	195				
Riz: dépenses	(302)		(326)		(7,4%)
Poisson: dépenses	(72)				
Retours nets		570		364	56,6%
Fosse/Cuve, <i>aman</i> (s. humide) 1993 (Gupta <i>et al.</i> , 1998) ^a					
Riz: revenu	464		444		4,5%
Poisson: revenu	183				
Riz: dépenses	(121)		(137)		(11,6%)
Poisson: dépenses	(31)				
Retours nets		495		307	61,2%
CHINE					
Grossissement – grande digue 1987, une seule récolte (Yan <i>et al.</i> , 1995) ^b					
Riz: revenu	559		562		(0,9%)
Poisson: revenu	864				
Riz: dépenses	(131)		(158)		(17,1%)
Poisson: dépenses	(202)				
Retours nets		1 090		404	169,8%
Grossissement - non spécifié 1998, une seule récolte (Lin <i>et al.</i> , 1995)					
Retours nets ^b		588		405	45,2%

a) Chiffres d'origine en taka du Bangladesh (BDT), converti en \$EU au taux de 1994: 1,00\$EU=39,00BDT. Revenu brut du riz non fourni mais dérivé en utilisant les bénéfices nets du riz et dépenses rizicoles.

b) Chiffres d'origine en yuan chinois (CNY), converti en \$EU au taux de 1987-88: 1,00\$EU=3,72CNY.

de leur superficie à la culture riz-poisson. Mai *et al.* (1992) ont signalé que des trois exploitations examinées dans le delta du Mékong, les retours nets provenant des rizières empoissonnées de crevettes non nourries étaient supérieurs de 52% à ceux provenant de monoculture de riz et de 176% dans les rizières où les crevettes étaient nourries de son de riz et d'animaux en décomposition.

9.1.2 Analyse des intrants

Il est important d'analyser quels intrants sont nécessaires étant donné que les coûts élevés des intrants excluront les groupes plus pauvres des zones rurales. Des informations détaillées relatives aux coûts et retours de la monoculture du riz en association au système riz-poisson sont disponibles pour le Bangladesh, l'Indonésie, les Philippines et le Viet Nam.

À l'exception de l'Indonésie, tous les autres cas ont systématiquement affiché une augmentation des besoins globaux de main-d'œuvre lorsque le poisson était cultivé en rizière, la proportion de

cette augmentation variant de 10% à non moins de 234%. Cela se justifie principalement par le besoin de préparer la rizière à l'empoisonnement ainsi qu'à la récolte du poisson. Toutefois, dans certaines activités spécifiques liées à la culture rizicole, telle que la fertilisation, le désherbage et les applications de pesticides, la présence du poisson a de fait réduit les besoins en main d'œuvre. Ici encore, la quantité varie d'une activité à l'autre et d'une région à l'autre comme cela est indiqué dans le tableau 16.

En termes de dépenses en engrais, le Bangladesh, l'Indonésie et les Philippines ont montré une réduction de 4 à 14% dans les coûts des engrais en rizières, tandis que les chiffres du Viet Nam indiquent une augmentation de 96%. Dans ce premier groupe de pays, les coûts des pesticides chimiques dans les exploitations riz-poisson (44-86%) ont considérablement diminué. Les applications de pesticides pratiquées au Viet Nam étaient cependant plus élevées dans les exploitations familiales pratiquant la culture riz-poisson.

Tableau 15. Synthèse de coûts et retours tirés de la culture riz-poisson et de la monoculture de riz, sélection de pays asiatiques. Tous les chiffres sont exprimés en \$EU·ha⁻¹·récolte⁻¹ ou en \$EU·ha⁻¹·an⁻¹ selon les indications et sont arrondis à l'unité la plus proche.

Système riz+poisson, année, période, (source)	Riz+poisson		Riz seulement		% en plus ou (en moins)
	Quantité	Total	Quantité	Total	
INDONÉSIE					
<i>Minapadi-Minapadi-Poisson vs. Riz-Riz-Jachère 1988, une année (Yunus et al., 1992)^a</i>					
Riz: revenu	1 518		1663		(8,7%)
Poisson: revenu	490				
Riz: dépenses	(621)		770		(19,4%)
Poisson: dépenses	(122)				
Retours nets		1244		576	116,0%
PHILIPPINES					
<i>Tranchée 1986, une récolte (Sevilleja, 1992)</i>					
Riz: revenu	674		700		(3,7%)
Poisson: revenu	126		-		
Dépenses totales	(506)		(469)		7,9%
Retours nets		294		231	27,3%
<i>Tranchée 1986, une récolte (Sevilleja, 1992)</i>					
Riz: revenu	1098			757	45,0%
Poisson: revenu (dont la propre consommation)	607				
Riz: dépenses	(322)			(390)	(17,4%)
Poisson: dépenses	(242)				
Retours nets		1141		367	210,9%
<i>Étang-refuge 1991-92, une année (Israel et al., 1994)^b</i>					
Riz: revenu	2077		1579		31,5%
Poisson: revenu (dont la propre consommation)	1126				
Dépenses totales	(1860)		(1143)		62,7%
Retours nets		1343		436	208,0%
THAÏLANDE					
<i>Non sp. 1984-85, une année (Thongpan et al., 1992)</i>					
Retours nets		121		160	(24,4%)
VIET NAM					
<i>ES/REP 1988, une année (Mai et al., 1992)</i>					
Retours nets de monoculture de riz				38	
Retours nets de culture riz-crevettes: nourries		105			176,3%
Retours nets de culture riz-crevettes: non nourries		58			(34,9%)
<i>Rizière avec ferme, étang et digue (Rothuis et al., 1998)^c</i>					
Riz: revenu	888		1060		(16,2%)
Poisson: revenu	89		6 ^d		1383,3%
Ferme et digue: revenu	175		119		47,1%
Riz: dépenses variables	(544)		(600)		(9,3%)
Poisson: dépenses variables	(66)		(3)		2100,0%
Ferme/digue: dépenses variables	(98)		(91)		7,7%
Frais fixes totaux à la ferme	(176)		(157)		12,1%
Retours nets		268		334	(19,8)

LÉGENDE: ES/REP=Eau saumâtre/Riz en eau profonde.

a) Extrapolé à 1 ha du poids moyen de 6 fermes de 0,35-1,0 ha pour riz-riz-jachère et 0,5-1,5 pour *minipadi-minipadi*-poisson.

b) Chiffres d'origine en peso philippin (PHP), convertis en \$EU au taux de 1991 de 1\$EU=27,48PHP.

c) Chiffres d'origine en dong vietnamiens (VND), convertis en \$EU au taux de 1\$EU=11 000VND tel que cela a été fourni par les auteurs.

d) Même les exploitants qui n'ont pas adopté la culture riz-poisson ont conservé un petit étang à poissons justifiant le poisson.

Tableau 16. Coûts comparatifs du travail et des intrants en matériel de la culture riz-poisson et de la monoculture de riz

	Bangladesh 1994 ^a (Gupta <i>et al.</i> , 1998)			Indonésie 1988 (Yunus <i>et al.</i> , 1992)			Philippines, 1991-92, (basé sur Israel <i>et al.</i> , 1994) ^c			Viet Nam 1994-95 ^e (Rothuis <i>et al.</i> , 1998)		
	Riz + poisson	Riz seule- ment	% de plus (de moins)	Riz + poisson	Riz seule- ment	% de plus (de moins)	Riz + poisson	Riz seule- ment	% de plus (de moins)	Riz + poisson	Riz seule- ment	% de plus (de moins)
RETOURS BRUTS	943,56	689,77	36,8%	2 087,54	1 663,02	25,5%	3 202,70	1 579,37	102,8%	1 152,55	1 186,00	(2,8%)
Riz	748,59	689,77	8,5%	1 518,24	1 663,02	(8,7%)	2 077,03	1 579,37	31,5%	888,45	1 60,18	(16,2%)
Poisson	194,97 ^b			569,30			1 125,67			89,00	6,45	1,28,9%
Autres										175	119	46,7%
COÛTS	374,4	325,7	15,0%	743,55	770,21	(3,5%)	1 701,17	1 095,20	55,3%			
Travail	158,28	153,34	3,2%	449,11	528,72	(15,1%)	720,93	404,57	94,3%	299,80	261,28	14,7%
Digues, refuges & réparations	13,92						43,87	7,79	463,5%			
Préparation du sol	35,90	35,44	1,3%	54,18	90,65	(40,2%)	93,28	93,28	0,0%			
Semis (traction et manipulation)				7,01	9,53	(26,4%)	27,97	27,08	3,3%			
Repiquage	32,13	32,49	(1,1%)	31,92	40,79	(21,8%)	77,98 ^d	54,20 ^d	43,9%			
Fertilisation				5,78	11,20	(48,4%)	14,71 ^d	13,64 ^d	7,8%			
Élimination des ravageurs				10,31	20,30	(49,2%)	-	-				
Désherbage	23,00	32,54	(29,3%)	12,88	18,75	(31,3%)	-	-				
Récolte du riz	53,33	52,87	0,9%	303,37	337,49	(10,1%)	251,68	208,58	20,7%			
Empoisonnement				1,48			3,74					
Alimentation, autres tâches piscicoles				16,27			34,45					
Récolte piscicole				5,93			173,24					
Irrigation et aménagement de l'eau	6,85						158,36	48,02	229,8%	63,17	36,00	75,5%
Intrants				218,48	156,89	39,3%	607,76	421,20	44,3%			
Semence de riz	17,05	19,23	(11,3%)	18,76	17,57	6,8%	93,19	95,61	(2,5%)	72,97	66,63	9,5%
Engrais	60,31	70,38	(14,3%)	86,53	90,22	(4,1%)	149,32	164,87	(9,4%)	197,02	100,34	96,4%
Produits chimiques	0,97	7,10	(86,3%)	27,19	49,11	(44,6%)	15,11	53,45	(71,7%)	33,09	14,44	129,1%
Fingerlings	44,08	-		78,47			120,09			45,66	-	
Aliments	7,21	-		7,53			56,73			23,87	-	
Carburant							173,32	107,27	61,6%			
Frais fixes	79,62	75,62	5,3%	75,95	84,60		372,49	269,43				
RETOURS NETS	569,21	364,10	56,3%	1 343,99	892,81	50,5%	1 343,16	436,14	208,0%			

a) Culture de saison sèche (*boro*). Monnaie d'origine en taka du Bangladesh (BDT), converti à 1\$EU=39BDT.

b) Les rendements en poisson n'incluent pas les poissons sauvages.

c) Construit en utilisant les données de ferme à ferme de Israel *et al.* (1994), monnaie d'origine en peso philippin (PHP) converti au taux de 1991 à 1\$EU=27,48PHP.

d) Le repiquage comprend la main-d'œuvre liée au désherbage et la fertilisation comprend l'application de pesticides.

e) Opération d'une année d'une exploitation de 1 hectare avec rizière, ferme, digue et étang reposant sur une double récolte de riz et une récolte de poissons. Les données saisies dans ce tableau ne sont pas complètes et ne s'additionnent pas comme elles le font pour d'autres pays puisque la manière de présenter du document d'origine ne se prêtait pas au reformatage. Les chiffres d'origine étaient exprimés en dong vietnamien (VND) et ont été convertis au taux de 1\$EU=11 000 VND. La différence entre les retours bruts est signalée comme non statistiquement significative.

9.2 Avantages tirés par les communautés

9.2.1 Augmentation des revenus pour les cultivateurs

Les bénéficiaires immédiats de la production de poisson et des rendements en riz qui sont bien souvent améliorés par la rizipisciculture sont les exploitants qui optent pour cette technologie. Bien que cela semble évident, Ruddle et Prein (1998) ont ouvertement déclaré: «l'existence d'une telle relation n'a pas été explicitement démontrée.» Toutefois, le fait que de nombreux exploitants continuent cette pratique dans différents pays, année après année, même en l'absence de programmes gouvernementaux, pourrait apporter une preuve suffisante des avantages dérivés de ce type de riziculture.

Les modèles développés utilisant des techniques de programmation linéaires dans une exploitation de 2,3 ha à Guimba, Nueva Ecija aux Philippines, indiquent que l'adoption de technologies de culture riz-poisson peut générer une augmentation supplémentaire du revenu de l'ordre de 23% en cultivant aussi du poisson sur 0,5 ha. Cela augmente à 91% si la zone de 2,3 ha est empoisonnée en entier, même si la production rizicole demeure constante et les exigences de l'exploitation en liquidités et en main-d'œuvre augmentent de 22% et de 17% respectivement (Ahmed *et al.*, 1992).

Une indication que la pisciculture en rizière doit être satisfaisante (d'un point de vue économique ou autre) pour les exploitants est que dans nombre de cas, ces derniers continuent par eux-mêmes voire augmentent l'étendue de leur exploitation riz-poisson après avoir fait l'expérience de cette technologie. Les riziculteurs zambiens, par exemple, ont souhaité poursuivre la culture riz-poisson alors que des chercheurs avaient indiqué que cette activité n'était pas rentable (Nilsson et Blariaux, 1994). Au nord-est de la Thaïlande, la superficie rizicole totale empoisonnée a connu une augmentation annuelle de 1985 à 1987 en dépit de tristes résultats la première année (Thongpas *et al.*, 1992). Il a été noté que les avantages en termes de nutrition et la réduction du risque de production pouvaient être source de forte motivation de la part des riziculteurs pour se diversifier et que la culture riz-poisson pouvait être «fructueuse» de nombreuses manières, y compris d'un point de vue social, environnemental ou écologique (Halwart, 1999).

9.2.2 Amélioration de la nutrition

L'un des avantages qui est souvent supposé, bien que jamais confirmé par une preuve solide, est que les exploitants qui cultivent du poisson dans leur rizière ont amélioré de ce fait leur nutrition. Villadolid et Acosta (1954), Coste (1967) ainsi que d'autres auteurs ont posé comme postulat que le poisson était en mesure de prévenir des carences en protéines et contribuer à l'amélioration du bien-être socio-économique des populations. Or, dans le cas de la rizipisciculture, on ne dispose d'aucun chiffre pour évaluer dans quelle mesure l'augmentation de l'apport énergétique et protéique ou de la consommation de poisson par personne est imputable à la disponibilité en poissons une fois que des derniers sont cultivés dans ses propres rizières. Il est estimé par exemple que la consommation familiale représente 35% de la production du nord-est de la Thaïlande, mais aucun chiffre absolu n'a été fourni (Mackay, 1992). Pour compliquer davantage la question, la consommation directe des animaux cultivés dépend dans une large mesure de la valeur marchande du produit et de la situation économique de l'exploitant.

Aux Philippines, et très probablement ailleurs, il est possible que les exploitants soient moins enclins à supporter la «charge supplémentaire» que représente l'élevage de poisson si le principal objectif de cette activité est d'améliorer leur propre nutrition. Il y a de plus fortes chances que les exploitants cultiveront du poisson s'ils estiment qu'ils en retireront un gain financier en plus de ce qu'ils gagnent déjà à travers leur activité rizicole. Horstkotte-Wessler (1999) n'a observé aucune réduction dans les dépenses alimentaires des ménages qui pratiquaient la culture riz-poisson puisque tous les poissons de taille marchande qui avaient été produits ont été vendus et qu'aucun n'a été consommé par le ménage. C'est l'accroissement de revenu qui était la raison la plus fréquemment exprimée pour démarrer une activité riz-poisson, le fait de disposer de davantage de nourriture ne figurant qu'en troisième place (Saturno, 1994). Au Bangladesh, on a fait remarquer que le fait d'en tirer un revenu supplémentaire était l'avantage le plus apprécié de l'élevage de poisson (70%), suivi de «plus de nourriture pour la famille» (59%) (Gupta *et al.*, 1998).

L'amélioration de la nutrition d'un ménage agricole suite à l'élevage de poisson en rizière peut n'être qu'un effet secondaire et sans doute même qu'un effet indirect, tout autant qu'être en

mesure d'acheter de la viande rouge ou du poulet grâce à l'argent supplémentaire que le poisson a fait gagner. L'avantage principal de la culture riz-poisson est souvent perçue comme une occasion qui est offerte pour gagner de l'argent.

L'amélioration de la nutrition de la communauté locale a été citée comme l'un des avantages de la rizipisciculture. Avec une plus grande disponibilité en poisson, la population locale d'une communauté piscicole bénéficiera d'un plus grand accès au poisson à des prix abordables. Toutefois, dans une économie de libre accès au marché, l'exploitant peut choisir de vendre le poisson à un distributeur à un prix plus élevé que ce que les voisins peuvent se permettre. Le distributeur, à son tour, peut choisir d'apporter le poisson vers le centre urbain le plus proche où les prix pratiqués sont plus élevés. Cette situation est fréquente dans la plupart des communautés piscicoles des Philippines où le poisson, ayant été détourné vers les villes, peut se trouver difficilement sur le marché local.

Néanmoins, particulièrement dans les zones les plus reculées et là où des formes distinctes de capture et de culture prévalent, il est estimé que le poisson et autres organismes aquatiques présents dans les rizières constituent une partie très importante du régime quotidien, d'où l'emploi également du terme «sociétés riz-poisson» (Demaine et Halwart, 2001). L'apport nutritionnel varie de micronutriments et protéines aux acides gras essentiels qui sont nécessaires au développement de la vue et du cerveau. En reconnaissant ce fait, la vingtième session de la Commission internationale du riz a recommandé à ses États membres de prêter une plus grande attention à la valeur nutritionnelle du poisson et des autres organismes aquatiques présents dans les rizières (FAO, 2002; Halwart, 2003a). Une récente étude FAO/UICN réalisée en RDP lao confirme le besoin urgent de se pencher davantage sur la question (Meusch *et al.*, 2003).

9.2.3 Santé publique

Il existe deux vecteurs nuisant à la santé publique contre lesquels les poissons ont été employés: les moustiques et les escargots. Les moustiques sont connus pour être porteurs du paludisme et de la fièvre dengue. Certaines espèces d'escargots d'eau douce servent d'hôtes aux trématodes (*Schistosoma* spp.) qui provoquent la schistosomiase s'ils pénètrent dans la circulation sanguine de l'homme. Le troisième aspect qu'il convient de

noter est que la rizipisciculture est susceptible de réduire l'utilisation de produits chimiques agricoles qui posent un danger à la santé humaine. Dans certaines régions où sont utilisées les matières fécales par tradition et/ou bien où les latrines font défaut, les infections humaines et les trématodes portés par les poissons peuvent poser des problèmes quand les poissons issus des rizières sont consommés crus ou semi-conservés.

Les enquêtes de terrain réalisées en Chine indiquent que les densités de larves de moustiques dans les rizières empoisonnées n'étaient que de 12 000 · ha⁻¹ contre 36 000 · ha⁻¹ dans des rizières sans poisson (Wang et Ni, 1995). Dans d'autres études, des larves de moustiques ont été observées dans seulement une des neuf rizières empoisonnées, les 8 autres en étant totalement dépourvues, tandis que dans d'autres rizières non empoisonnées, la densité de larves de moustiques oscillait entre 32 000 et 128 000 · ha⁻¹. En Indonésie, il a été observé que les poissons étaient encore plus efficaces dans la lutte contre les moustiques que le DDT. Après cinq ans de pisciculture en rizière, les cas de paludisme ont chuté de 16,5% à 0,2% dans une zone de paludisme fortement endémique (Nalim, 1994). Dans une zone de protection utilisant le DDT, la prévalence du paludisme est demeurée stable à 3,4% durant la même période.

L'effet du poisson sur les escargots porteurs de schistosomiase est moins clair. Comme il a été passé en revue par Coche (1967), des poissons ont été testés dans le passé à cette fin dans les nombreuses régions d'Afrique où la schistosomiase était endémique. À un niveau expérimental, de bons résultats ont été obtenus lorsque l'écrevisse rouge des marais Louisiana a été introduite dans de petites carrières remplies d'eau de pluie pour lutter contre les escargots *Biomphalaria* et *Bulinus* transmetteurs de schistosomiase au Kenya. Des travaux ultérieurs effectués sur les poissons en tant que prédateurs d'escargots se sont concentrés davantage sur l'ampullaire brune (comme cela avait été analysé dans la section sur les ravageurs du riz), dont l'efficacité a été démontrée pour le but escompté (Halwart, 1994a; Halwart *et al.*, 1998; Hendarish *et al.*, 1994; FAO, 1998). Dans des pays comme la Chine, la carpe noire (*Mylopharyngodon piceus*) est utilisée pour lutter contre les escargots qui sont des hôtes intermédiaires dans la transmission de parasites. À Katanga, la lutte contre la majorité des escargots en rizières a été réalisée à l'aide de *Haplochromis mellandi* et de *Tilapia melanopleura*

empoisonnés à une densité de 200 poissons · ha⁻¹ et de 300 poissons · ha⁻¹ respectivement. Halwart (2001) en arrive à la conclusion selon laquelle des opérations aquacoles bien entretenues contribuent, souvent de façon significative, à la lutte contre les insectes et escargots d'importance agricole et médicale, et que des programmes de lutte intégrée devraient être poursuivis afin de contenir les vecteurs et les ravageurs à des niveaux ne posant pas de problèmes majeurs.

On néglige trop souvent le fait que les poissons présents dans les rizières sont en mesure de réduire l'utilisation de pesticides chimiques. Même si on considère que certains pesticides peuvent être utilisés sans danger dans la culture riz-poisson en raison de leur faible niveau de toxicité, de leur faible tendance à la bioaccumulation et de leur courte période biologique, les pesticides restent des poisons et peuvent être cancérigènes ou nuisibles d'autres façons. Leur utilisation, ou mauvaise utilisation, est une question de santé publique sérieuse qui peut se révéler plus grave encore que les moustiques et les escargots. Les poissons sont de bons herbicides et pesticides potentiels et l'empoisonnement peut réduire fortement, voire éliminer complètement, le besoin d'utilisation de pesticides chimiques. La présence de poissons décourage les exploitants à appliquer des pesticides (Saturno, 1994). La réduction ou l'élimination du besoin d'application de produits chimiques ne peut se traduire que par un environnement plus sûr et plus sain pour les personnes.

9.2.4 Impact social

Il apparaît excessif d'affirmer que l'empoisonnement des rizières peut avoir un impact significatif sur la société dans son ensemble, en particulier en cas d'adoption de technologies de la part d'un ou de quelques exploitants très dispersés les uns des autres. Toutefois, lorsque l'adoption s'effectue à grande échelle impliquant une communauté entière, l'impact social peut se révéler résolument profond.

L'utilisation de rizières en jachère pour la pisciculture par des exploitants sans terre en Indonésie, tel qu'il a été décrit par Ardiwinata (1957), est l'un de ces cas. En Indonésie dans le passé, des exploitants sans terres étaient presque systématiquement autorisés à utiliser les rizières pour la pisciculture pendant la saison de jachère, donnant lieu au système *palawija*. De nos jours, l'utilisation des rizières pour la production piscicole durant la saison de jachère n'est pas limitée aux exploitants sans terres,

mais concerne des pisciculteurs requérant une plus grande superficie pour cultiver des fingerlings (Koesoemadinata et Costa-Pierce, 1992; Fagi *et al.*, 1992). Dans le jargon du développement des biens immobiliers, un tel schéma est appelé «multipropriété» (ou littéralement de l'anglais «partage du temps» n.d.t.), c.à.d. un emploi efficace d'une ressource offrant la possibilité aux paysans sans terres d'avoir accès à la terre, bien que temporairement.

Si l'exemple indonésien peut être considéré comme unique, il reste que l'adoption de la rizipisciculture devrait se traduire de façon générale par la création d'emplois. Les modifications physiques apportées aux rizières pour pouvoir recevoir et récolter des poissons exigent une main d'œuvre supplémentaire. Aux Philippines, les activités auxiliaires liées à la production de fingerlings de tilapia sont:

- la construction de digues et excavations;
- la confection de filets hapa, de sennes de récolte et autres accessoires piscicoles;
- la location de pompes à eau, filets de récolte, réservoir d'oxygène, etc.;
- la réparation des pompes et confection de cerceaux d'acier pour les épauettes, etc.;
- la récolte, le tri et l'emballage des fingerlings; et
- le transport des fingerlings

Chaque type d'activité est réalisé par une personne différente. Cela permet d'opérer une éclosion de tilapia sans encourir d'importants frais d'investissement, sans avoir un large éventail d'équipement ni de conserver plus de personnel que nécessaire. Étant donné qu'aucun de ces aspects n'a été quantifié ni documenté, on ne dispose que peu d'informations fiables sur la quantité de main-d'œuvre qui a été créée.

9.3 Impact sur l'environnement

L'impact de la riziculture sur l'environnement, y compris sa contribution à l'effet de serre, devrait être un sujet de préoccupation généralisé. Il ne fait aucun doute que le développement des terres rizicoles s'est traduit par la perte de terres humides et marécageuses naturelles, bien que cela ait pu éviter une famine répandue et ait permis la suffisance de nourriture dans de nombreuses régions du monde. Cette section n'analysera toutefois que l'impact que l'introduction de poissons peut avoir dans l'écosystème d'une rizière existante.

9.3.1 Biodiversité

On sait qu'une rizière est l'habitat d'une série d'espèces différentes (Heckman, 1979; Balzer *et al.*, 2002). L'intensification de la culture du riz avec l'augmentation conséquente de l'emploi de pesticides chimiques réduit la diversité (Fernando *et al.*, 1979). Réduisant souvent le besoin en produits chimiques dans la lutte contre les ravageurs, la rizipisciculture contribue à préserver un biote rizicole divers. L'utilisation des espèces indigènes existantes pour la pisciculture sert à préserver activement la biodiversité.

9.3.2 Ressources en eau

En présence de poissons dans la rizière, une plus grande profondeur de l'eau doit être maintenue et davantage d'eau peut s'avérer nécessaire, question ayant été soulevée il y a 50 ans par Schuster (1955). Même sans poisson, la riziculture consomme de larges volumes d'eau. Pour la riziculture en général, Singh *et al.* (1980) et Sevilleja *et al.* (1992) ont estimé qu'une récolte exige respectivement un minimum de 1 000 à 1 500 mm d'eau. Si un hectare de rizière produit 10 tonnes de riz, il faut encore 1 à 1,5 m³ d'eau pour produire 1 kg de riz paddy.

Les poissons sont des utilisateurs non consommateurs d'eau, et même s'ils peuvent contribuer à la dégradation de l'eau, ils ne l'épuisent pas. Si elle est nettoyée, la même eau peut être réutilisée par les poissons. L'augmentation de l'utilisation de l'eau est due à la percolation et l'infiltration (P&I) ainsi qu'aux fuites (F) – ce qui augmente avec la culture riz-poisson en raison de l'exigence de maintien d'une eau plus profonde –, un processus purement physique qui se manifeste avec ou sans poisson. Sevilleja *et al.* (1992) ont estimé que les besoins en eau pour la riziculture s'élevaient à 1 662 mm tandis que la rizipisciculture exigeait jusqu'à 2 100 mm, soit 26% de plus que la monoculture de riz. Les principales pertes d'eau sont imputables à la P&I (67%), suivi de F (21%). Une mise en boue approfondie durant la préparation du terrain, un bon entretien des digues ainsi qu'une imperméabilisation correcte des entrées et arrivées d'eau sont susceptibles de réduire les pertes.

9.3.3 Durabilité

Se pratiquant depuis au moins 4 000 ans, cette tradition séculaire de culture de riz aquatique indique que la riziculture traditionnelle est fondamentalement durable. Il est toutefois moins

certain que les augmentations dramatiques de la production rizicole, rendues possibles par la «révolution verte», soient durables (Greenland, 1997). On s'attend à ce que le réchauffement planétaire, la montée du niveau de la mer, l'augmentation des rayons ultraviolets voire la disponibilité en eau aient tous un impact négatif sur la production rizicole. Toutefois, de tels scénarios vont bien au-delà du niveau et de la portée de ce rapport, et dans un futur prévisible, on peut néanmoins présumer que la culture du riz se poursuivra. Par ailleurs, il est fort probable que la pisciculture en rizière peut améliorer la durabilité de la riziculture, si l'on s'en tient aux indications selon lesquelles la présence du poisson rend l'écosystème des rizières plus équilibré et plus stable. Étant donné que les poissons éliminent les plantes adventices et réduisent les populations d'insectes ravageurs à des niveaux acceptables, l'empoisonnement de l'eau et du sol peut être réduit.

9.4 Participation des femmes

Dans la plupart des pays asiatiques producteurs de riz, les femmes font déjà partie intégrante de la main-d'œuvre. L'intégration de la pisciculture au sein des activités de riziculture aura sans doute pour effet d'étendre davantage la participation des femmes. Il n'existe aucune donnée socioéconomique permettant de quantifier une possible implication des femmes dans les activités de culture riz-poisson. Cependant, comme Dehadrai (1992) l'a amplement fait remarqué, toutes «projections de nouvelles opportunités pour les femmes dans la rizipisciculture émanent largement de l'implication connue et bien documentée des femmes dans la gestion du riz en Asie.» Un aspect bénéfique peut être constitué par le fait que la présence de poissons dans les rizières pourrait faire gagner un temps précieux aux femmes et aux enfants qui le passeraient autrement à pêcher dans d'autres zones, bien que cet effet soit plutôt contrebalancé par le travail supplémentaire requis pour l'exploitation rizipiscicole.

9.5 Impact macroéconomique

Il y a trois questions macroéconomiques sur lesquelles l'adoption répandue des technologies de culture riz-poisson pourrait avoir un impact: la sécurité alimentaire, la création d'emplois et le revenu national. Cependant, ces discussions en resteront à la sphère de la spéculation puisque la plupart des pays ne disposent pas de statistiques distinctes sur les zones de rizipisciculture ni sur les rendements en riz et en poisson dans ces zones.

Les spéculations indiquent toutefois que l'impact potentiel est immense. Si 5% des terres rizicoles irriguées des Philippines étaient empoissonnées, la production augmenterait de 29 000 t d'une valeur de 35 millions de \$EU et fournirait 5 900 t de protéines (Ahmed *et al.*, 1992). Cai *et al.* (1995a) ont estimé que si 10% des rizières se situant au sud de la rivière Huai He en Chine était utilisé, le rendement commercial en poisson serait de l'ordre de 346 000 tonnes à un rendement de 300 kg/ha, et de 5 milliards de fingerlings de grande taille. Avec un tel potentiel de production, les avantages écologiques et économiques seraient considérables.

Coche (1967) en a parfaitement fait la synthèse en déclarant que l'élevage de poisson dans les rizières est techniquement une méthode quasi idéale d'utilisation des terres, combinant la production de protéines à la fois végétales et animales. La poursuite de son développement est importante, dans la mesure où il est susceptible de contribuer à la garantie de l'approvisionnement mondial en nourriture. L'adoption répandue de la rizipisciculture comme stratégie pour réduire de façon considérable le fossé entre l'offre et la demande en protéine est un choix potentiel pour tout pays producteur de riz. Tout ce qu'il requiert est la volonté politique de la faire accepter.

10. Expériences effectuées par différents pays

D'après les informations dont on dispose, la rizipisciculture se pratique encore dans un bon nombre de pays, comme il est indiqué à la figure 20. Aucune statistique précise n'existe sur l'étendue totale de la culture riz-poisson à l'échelle mondiale, mais des estimations portant sur les principaux pays sont disponibles (tableau 17). Les exploitations riz-poisson de la planète sont concentrées en Asie du Sud, de l'Est et du Sud-Est même si certains développements notables sont également à noter en Afrique. Le présent chapitre vise principalement à fournir un aperçu historique et différents bilans de la situation actuelle dans les principales régions.

10.1 Asie de l'Est

Chine

Avec 27,4 millions d'hectares de terres rizicoles, la Chine figure au deuxième rang derrière l'Inde en termes de superficie mais en première place en termes de production rizicole se situant à environ 166 millions de tonnes¹⁹. Producteur aquacole le

plus important au monde avec une production continentale de 28 millions de tonnes²⁰, la Chine a toujours mis l'accent sur la culture riz-poisson. C'est également en Chine que les plus anciennes traces archéologiques et écrites peuvent être trouvées.

Ce n'est cependant qu'après la création de la République populaire de Chine en 1949 que la culture riz-poisson a connu une rapide expansion dans tout le pays. En 1954, il a été proposé de développer la rizipisciculture à travers le pays (Cai *et al.*, 1995a), et en 1959, la culture riz-poisson s'étendait déjà sur 666 000 ha. Du début des années 1960 jusqu'au milieu des années 1970, la culture riz-poisson a connu un déclin temporaire. Cela a été attribué à deux développements: en premier lieu, l'intensification de la production rizicole qui a apporté avec elle l'application à grande échelle d'intrants chimiques; et en deuxième lieu, la Révolution culturelle d'une durée de 10 ans (1965-75) durant laquelle la pisciculture était considérée comme une façon bourgeoise de gagner de l'argent et on a officiellement découragé sa pratique.

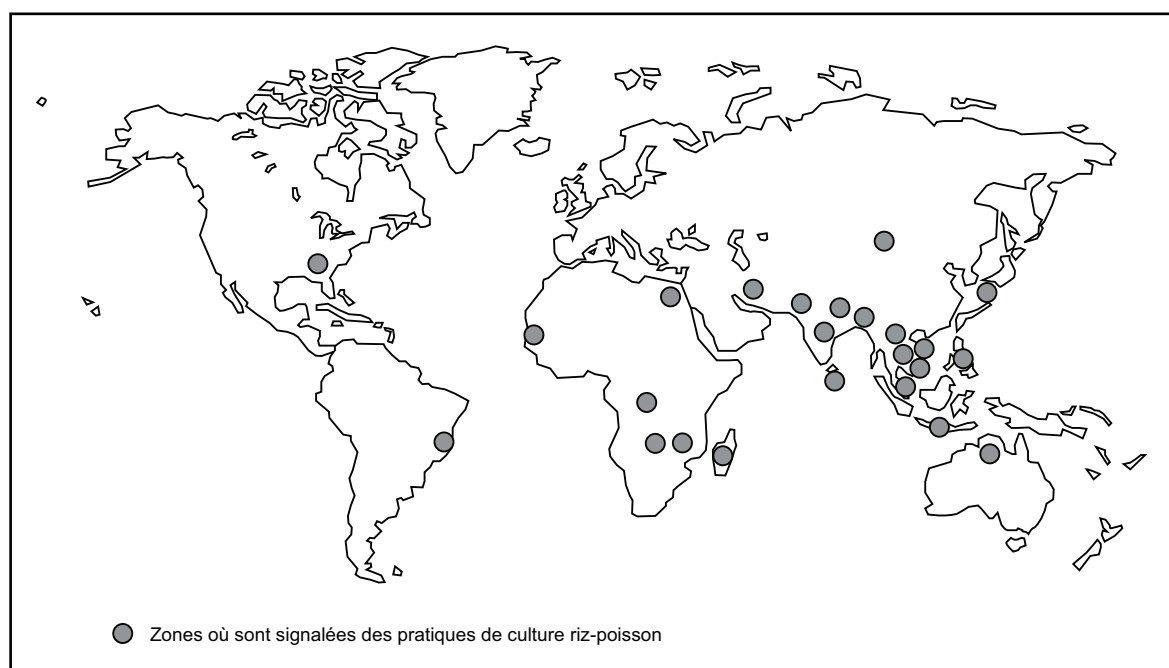


Figure 20. Carte du monde indiquant les zones d'exploitation riz-poisson et/ou riz-crustacés.

¹⁹ Données FAOSTAT (2003).

²⁰ Données FAO FISHSTAT (2002), à l'exclusion des plantes aquatiques.

Tableau 17. Distribution des zones rizicoles et rizipisicoles, par milieu (Halwart, 1999).

Pays	Riz					Riz-poisson
	Total	Irrigué	Pluvial basses terres	Inondé	Hautes terres	
	('000 ha)	%				('000 ha)
Bangladesh	10 245	22	47	23	8	?
Cambodge	1 910	8	48	42	2	?
Chine	33 019	93	5	-	2	1 204,9
Egypte	462	100	-	-	-	172,8
Inde	42 308	45	33	7	15	?
Indonésie	10 282	72	7	10	11	138,3
Corée, Rép. de	1 208	91	8	-	1	0,1
RDP Lao	557	2	61	-	37	?
Madagascar	1 140	10	74	2	14	13,4 (hautes terres)
Malaisie	691	66	21	1	12	?
Philippines	3 425	61	35	2	2	?
Sri Lanka	791	37	53	3	7	?
Thaïlande	9 271	7	86	7	1	25,5 (cultivé) 2 966,7 (capture)
Viet Nam	6 303	53	28	11	8	40,0 (delta du Mékong)

Les variétés de riz amélioré, l'emploi de produits chimiques moins toxiques et les changements politiques («contrats de production» ou «système de responsabilité de production») ont renversé les anciennes tendances des années 1960 et 1970. Le nouveau système a permis aux familles individuelles, plutôt qu'à la communauté, de devenir les principales unités de production. En outre, le rapide développement de l'aquaculture a nécessité un grand approvisionnement en alevins et en fingerlings. Cette demande a été en partie satisfaite par la production de fingerlings en rizière.

En 1983, le Ministère de l'agriculture, de l'élevage de bétail et des pêches (actuellement le Ministère de l'agriculture) a organisé le Premier atelier national sur la culture riz-poisson. Cet atelier a été à l'origine de la fondation d'un grand groupe de coordination pour la Chine de l'Est visant à vulgariser les techniques de rizipisciculture. Par ailleurs, plusieurs autres provinces différentes ont mis en pratique ces mesures en ligne avec les conditions locales. En conséquence, dès 1996, la Chine possédait 1,2 million d'hectares d'exploitations riz-poisson produisant 377 000 tonnes de poisson (Halwart, 1999).

On peut donc voir qu'en Chine la rizipisciculture est activement préconisée comme un choix viable pour la production rizicole. La culture riz-poisson fait partie du programme, non seulement des institutions de pêche, mais également d'agences

impliquées dans la production rizicole. En outre, elle reçoit un grand soutien au niveau ministériel.

Japon

La rizipisciculture semble bénéficier d'une moindre importance au Japon et peu de littérature existe sur le sujet. Après un pic de production de 3 400 tonnes en 1943 en conséquence des subventions de temps de guerre destinées à la production vivrière, la production de carpe en rizière a chuté à 1 000 tonnes seulement durant les années 1950. En 1954, 1% seulement des 3 millions d'hectares de terres rizicoles du Japon était utilisé pour la culture de carpe (Kuronoma, 1980), cette dernière n'étant plus pratiquée à une échelle significative, si elle est encore pratiquée (Pillay, 1990).

République de Corée

En République de Corée, la culture riz-poisson n'a démarré que dans les années 1950 et ne s'est jamais répandue à grande échelle car l'approvisionnement en poisson des eaux continentales était suffisant pour satisfaire la demande limitée de poisson d'eau douce (Kim *et al.*, 1992). La production continentale ne représentait en 1987 que 1,7% de la production piscicole totale qui s'élevait à 3,3 millions de tonnes. En 1989, 95 hectares de rizières seulement étaient utilisés à des fins piscicoles, et uniquement pour l'élevage des espèces les plus populaires de loche (*Misgurnus anguillicaudatus*).

10.2 Asie du Sud-Est

Indonésie

On estime que la culture riz-poisson a été pratiquée dans la région de Ciamis à Java-Ouest en Indonésie même avant 1860, bien que sa vulgarisation n'ait apparemment démarré que dans les années 1870. Ardiwanata (1957) a attribué l'expansion de la pisciculture en rizière aux profonds changements survenus dans le système de gouvernement durant la régence des Preanger à Java-Ouest en 1872, au cours de laquelle la possession des rizières est devenue héréditaire. La pression sur la terre arable par l'accroissement de la population était telle que les prix de location des terres ont connu un essor considérable. Les fermiers locataires ont commencé à utiliser leurs champs en les empoisonnant, généralement de carpe commune, ou en cultivant d'autres cultures. La pisciculture était populaire parce que le capital requis était minime et que les propriétaires ne s'attendaient pas à une part du poisson. Cette pratique est ce qui est appelé *palawija* ou culture de saison de jachère.

L'expansion du système *palawija* en dehors de sa zone d'origine à Java est attribuée à des administrateurs hollandais qui ont assuré la promotion du concept. Dans les années 1950, quelque 50 000 ha de terres rizicoles produisaient déjà du poisson. Le développement des systèmes d'irrigation a également contribué à l'expansion de la zone utilisée pour la culture riz-poisson. La superficie rizipiscicole moyenne a augmenté de façon constante après l'indépendance de l'Indonésie en 1947 et, en 1974, les exploitations riz-poisson couvraient 72 650 ha; ce qui a toutefois chuté à moins de 49 000 en 1977. Ironiquement, ce déclin a été attribué au programme gouvernemental d'intensification rizicole (Koesoemadinata et Costa Pierce, 1992). La demande croissante pour des fingerlings de carpe entraînée par la prolifération de cages piscicoles dans les barrages et réservoirs a stimulé de nouveau l'expansion. La superficie en exploitation a atteint un record absolu de 138 000 ha en 1982, mais a chuté à 94 000 ha en 1985.

Les récents rapports indiquent que la culture riz-poisson est en hausse. Les chiffres de 1995 issus du Directorate General of Fisheries indiquent une superficie totale de plus de 138 000 ha. Ce regain s'explique par le changement radical des pratiques de production rizicole qui s'est produit en 1986, année où la «lutte intégrée contre les ravageurs» (LI) a été déclarée stratégie nationale officielle de protection contre ces nuisibles.

Actuellement, la culture riz-poisson est pratiquée dans 17 des 27 provinces d'Indonésie. En résumé, le développement de la rizipisciculture peut être attribué à des fermiers locataires sans terres qui souhaitaient obtenir un revenu supplémentaire durant la saison de jachère du riz. Le programme gouvernemental d'intensification du riz, favorisant une importante utilisation de pesticides chimiques, est principalement à l'origine du déclin qui a été enregistré au début et jusqu'au milieu des années 1970. La croissance actuelle du secteur rizipiscicole a été attribuée à la demande accrue pour des fingerlings destinés à être mis en charge dans des cages piscicoles; ce qui fait du développement de la culture riz-poisson, un véritable développement soumis à la logique du marché.

Thaïlande

On estime que la rizipisciculture intégrée est pratiquée depuis plus de 200 ans en Thaïlande, en particulier dans le nord-est du pays où ce système de culture était tributaire de la capture de poissons sauvages pour les empoisonner dans les rizières. La culture riz-poisson a été favorisée par la suite par le Département des pêches et s'est développée dans les plaines centrales. L'acquisition de poissons semences et de technologies a contribué à vulgariser le concept. Les rendements en riz dans les exploitations riz-poisson dans les années 1950 ont augmenté de 25 à 30% et les rendements en poisson ont oscillé entre 137 et 304 kg·ha⁻¹·récolte⁻¹ (Pongsuwana, 1962). À l'image de l'importance accordée à la culture riz-poisson, le Département des pêches a établi en 1968 un Centre pour la recherche sur la rizipisciculture à Chainat dans la région des plaines centrales. Au cours des années 1970 cependant, la Thaïlande a introduit, comme le reste de l'Asie, des variétés de riz à haut rendement (VHR) et l'emploi de pesticides chimiques s'en est trouvé accru. Cette situation a provoqué un effondrement presque total du secteur de la culture riz-poisson dans les plaines centrales, les producteurs ayant séparé leurs exploitations rizicoles des opérations piscicoles ou tout simplement ayant interrompu l'élevage de poisson. En 1974, le centre de recherches de Chainat a été fermé.

Toutefois, la rizipisciculture n'a pas complètement disparu et s'est rétablie ces dernières années, notamment dans les plaines centrales et les régions du nord et du nord-est. En 1983, la pisciculture en rizière était pratiquée sur 2 820 ha, principalement dans les Provinces du centre, du nord et du nord-est, pour atteindre 23 900 ha en

1988 et 25 500 ha en 1992. Cette augmentation aussi rapide a entraîné une diminution générale de la disponibilité en poissons sauvages, qui fut par la suite aggravée par l'incidence de la nécrose ulcéreuse du stock de poissons sauvages. Fedoruk et Leelapatra (1992) ont imputé le rétablissement, entre autres facteurs, à un emploi plus sûr des VHR; à l'apparition de pesticides non toxiques pour les poissons si leur application est réalisée correctement; à la conscience grandissante des avantages économiques de la culture riz-poisson; enfin, à la promotion de projets spéciaux visant à offrir une assistance aux exploitants défavorisés.

Si l'on s'en tient à la conclusion de Little *et al.* (1996), il est peu probable que le développement des systèmes riz-poisson soit homogène dans la région du nord-est. Le fait que les communautés agricoles aient de fortes attentes risque de freiner considérablement un développement plus généralisé des systèmes riz-poisson, étant donné que le principal moyen d'existence de ces communautés dérivait d'emplois en dehors des exploitations agricoles et ce, jusqu'à la crise économique du milieu de l'année 1977. La fréquence accrue de l'épandage à la volée directement sur les semences de riz et l'emploi de machines pour la préparation des champs sont des signes de pénurie grandissante de main d'œuvre. Cette pénurie est susceptible de favoriser le développement d'une culture en étang plus facilement gérable plutôt que celui d'un système plus laborieux que constitue le système de culture rizipiscicole. D'un autre côté, l'adoption du système riz-poisson dans la région nord-est peut ne favoriser que les personnes déjà les plus favorisées et qui ont accès à la main d'œuvre et aux autres ressources.

Malaisie

En Malaisie, où la pratique rizipiscicole a été signalée dès 1928, les rizières ont toujours été une source importante de poissons d'eau douce. Avant les années 1970, lorsque les exploitants ne pratiquaient que la monoculture, les exploitations de culture intégrée riz-poisson étaient les principaux fournisseurs de poissons d'eau douce, en particulier de gourami peau de serpent (*Tichogaster pectoralis*), de poisson-chat (*C. macrocephalus*) et de poisson tête de serpent (*Channa striata*). La production piscicole issue de rizières a commencé à décliner avec l'introduction du système de polyculture et l'emploi répandu de pesticides et herbicides qui s'est ensuivi (Ali, 1990).

Viet Nam

Au Viet Nam, l'intégration de l'aquaculture avec l'agriculture est une tradition solide. Le système de ce pays implique la production de bétail, de légumes, et de poisson dans une exploitation familiale sans toutefois nécessairement impliquer le riz. Alors que le poisson, les crevettes et autres organismes aquatiques étaient traditionnellement capturés dans les rizières, il semblerait que la présence de ces animaux et organismes diminue depuis que les pesticides chimiques ont commencé à être utilisés (Mai *et al.*, 1992). Le (1999) signale cinq systèmes rizipiscicoles fréquents actuellement pratiqués au Viet Nam, mais n'offre aucun chiffre sur la superficie impliquée. Les cinq systèmes en question sont: riz-poisson pour l'alevinage et le grossissement, riz-poisson pour le grossissement seulement, riz/crevette, riz/poisson en rotation et riz/crevette en rotation.

Philippines

Aux Philippines, on laisse généralement entrer les poissons avec l'eau d'irrigation, ces derniers étant récoltés par la suite avec le riz. La première référence d'empoisonnement en rizière aux Philippines remonte à 1954 (Villadolid et Acosta, 1954), mais ce n'est qu'en 1974 que la culture riz-poisson est entrée à faire partie d'un programme de recherches de la Central Luzon State University (CLSU). Malgré des rendements en riz plus bas, en 1979, (3,8% en moyenne), le gouvernement s'est appliqué à promouvoir la culture riz-poisson à l'échelle du pays. Cette décision reposait sur les résultats d'une analyse économique selon laquelle, même avec une diminution de la production rizicole, les producteurs bénéficieraient toujours d'un avantage économique en raison du revenu supplémentaire généré par la pisciculture. Après un pic de 1 397 ha impliquant 2 284 exploitations en 1982, le programme a été interrompu en 1986. À ce moment-là, cela ne couvrait que 185 ha (Sevilleja, 1992) bien que la production rizicole moyenne issue des exploitations riz-poisson ait été supérieure à la moyenne nationale.

Sevilleja (1992) n'a pas fourni d'explications pour la chute soudaine de la participation en, 1983; les signalements indiquent toutefois que 1983 était l'une des pires années de El Niño que le pays ait connu récemment et que la sécheresse a gravement affecté l'agriculture (Yap, 1998). L'année 1983 a également marqué le début d'une agitation politique, une relative instabilité politico-économique ne s'étant pas fait sentir avant 1990. L'échec de la promotion de la rizipisciculture aux

Philippines devrait aussi être attribué à un milieu politique défavorable. En 1999, un programme plus modeste de culture riz-poisson a été lancé.

10.3 Asie du Sud

Il est attesté que la rizipisciculture est pratiquée en Inde, au Bangladesh et au Sri Lanka, culture dont une bonne partie de son histoire, sa pratique actuelle et son potentiel sont traités dans l'étude Fernando et Halwart (2001) sur la pisciculture dans les systèmes d'irrigation, une section spéciale étant réservée au Sri Lanka.

Inde

Disposant de la plus vaste superficie consacrée à la riziculture et s'étendant sur 42 millions d'hectares en 1994, l'Inde produit une quantité considérable de poissons issus de rizières. Un rapport sur la situation de la culture riz-poisson en Inde (Ghosh, 1992) indique que l'Inde possède des exploitations qui couvrent 2 millions d'hectares, soit la plus vaste superficie signalée destinée à la rizipisciculture pour un seul pays. Considérée comme une tradition séculaire dans les états du Bengale Occidental et de Kerala, la culture riz-poisson se limite cependant à des systèmes de capture dans les plaines du Gange et Brahmaputra.

La pratique de rizipisciculture en Inde traverse différents écosystèmes, allant des rizières en terrasse dans les terres collinaires du nord à des parcelles côtières *pokhali* et des rizières en eau profonde. À mi-chemin entre ces situations rizipiscicoles se trouvent les parcelles des vallées montagneuses de l'Inde orientale et les rizières de cultures pluviales ou irriguées des basses terres éparpillées à travers tout le pays. Les espèces impliquées sont tout aussi diverses avec 30 espèces de poissons à nageoires et quelque 16 espèces de crevettes répertoriées comme étant cultivées dans les rizières indiennes. La plupart des espèces qui ne sont pas des carpes et des crevettes pénéidées proviennent de stocks sauvages qui pénètrent dans les rizières avec les eaux de crue. Les taux de production sont variés, allant de 3 kg · ha⁻¹ · an⁻¹ dans les parcelles rizicoles en eau profonde et reposant sur le stock sauvage d'une combinaison d'espèces à plus de 2 t · ha⁻¹ · an⁻¹ de crevette géante tigrée (*Penaeus monodon*) dans des rizières d'eau saumâtre peu profonde (1992).

Bangladesh

Les producteurs du Bangladesh récoltent du poisson dans leurs rizières depuis très longtemps. La description qui suit de la pratique traditionnelle

au Bangladesh provient de Dewan (1992). Les exploitants construisent des étangs de taille différente dans des zones de basse terre de leur rizière et lorsque les étangs et rizières sont remplis d'eau par la mousson, des alevins de carpe sont introduits, ne suivant aucun modèle de densité d'empeisonnement spécifique. Les étangs peuvent être pourvus d'abris de broussaille, mais aucun engrais ni aliments ne sont employés. Les poissons sont récoltés sur une période s'étendant à partir du moment de la récolte du riz en novembre-décembre jusqu'en mars. Dans les zones côtières, les crevettes marines telles que les différentes pénéidées, dont la *P. monodon*, peuvent également être cultivées. Le système traditionnel *bheri* est utilisé dans les cas où les rizières sont entourées de diguettes et complétées de canaux d'arrivée d'eau et de vannes. La taille des rizières peut varier de 3 à 50 ha. Des systèmes de culture à la fois à rotation et simultanée sont pratiqués. Parfois, des bouquets d'eau douce (*M. rosenbergi*) sont cultivés. Les alevins de bouquet recueillis des rivières avoisinantes sont introduits une fois que les pluies de mousson ont lessivé la salinité des rizières.

Des études et enquêtes intensives entreprises de 1992 à 1995 au Bangladesh ont indiqué une amélioration du revenu et de la disponibilité en nourriture pour la plupart des répondants, et 89% des producteurs impliqués projetaient de poursuivre la pratique (Gupta *et al.*, 1998). CARE-Bangladesh s'est attaché à promouvoir la culture riz-poisson dans tous ses projets dans le cadre de sa stratégie de lutte intégrée contre les ravageurs (Nandeeshia et Chapman, 1999).

Le Bangladesh est l'un des quelques pays favorisant de façon active la rizipisciculture et conduisant un vigoureux programme de recherche et développement. De la même façon, les ONG présentes au Bangladesh montrent un intérêt grandissant pour la culture riz-poisson. Parmi les efforts des ONG les plus réussis figure le Programme de développement rural de Noakhali en 1989 qui a utilisé le système de rotation pour produire de 223 à 700 kg · ha⁻¹ d'espèces distinctes de poissons dans 50 rizières de variétés locales de riz (Haroon *et al.*, 1992). Plus récemment, CARE s'est affirmée comme l'ONG la plus active parmi celles engagées dans la rizipisciculture.

Des milliers de producteurs du Bangladesh ont expérimenté la culture riz-poisson et ont développé des pratiques s'adaptant à leurs propres systèmes d'exploitation. L'élevage en question concerne aussi bien des poissons taille portion que des fingerlings, les exploitants se concentrant

généralement sur les semences de poisson durant la saison sèche, qui est une période de culture irriguée. Le taux d'adoption à cette pratique parmi les participants au projet oscillait entre 10 et 40% selon la zone et le sexe des participants. Initialement, le taux d'adoption était inférieur parmi les femmes, mais il a été signalé que l'activité gagnait en popularité aussi bien parmi les hommes que parmi les femmes. Les familles ayant adopté la culture riz-poisson au Bangladesh ont noté une augmentation à la fois de leur revenu et de leur consommation de poisson.

10.4 Australie

Un grand riziculteur commercial de Newcastle dans l'État de Nouvelle-Galles-du-Sud empoissonne des rizières à titre d'essai de carpe commune. L'intention à terme est d'empoissonner 5 000 ha de carpe commune en se basant sur un système de culture simultanée avec le riz. Le poisson produit sera utilisé comme matière première pour de l'alimentation destinée aux animaux domestiques (communication personnelle, M. Jonathan Nacario, Consultant, 12 octobre, 1999).

10.5 Afrique, Moyen-Orient et Asie occidentale

À l'exception de l'Égypte, l'Afrique comprend 10 pays producteurs de riz couvrant une superficie totale consacrée au riz de 6,8 millions d'ha. La plus vaste superficie rizicole, soit 1,7 million d'hectares, se situe au Nigéria, puis viennent Madagascar et la Guinée avec 1,2 million et 1,1 million d'hectares respectivement. En termes de production rizicole, le Nigéria se classe au premier rang avec 3,8 millions de tonnes, suivi de Madagascar avec 2,36 millions de tonnes.

Madagascar

Le premier signalement de rizipisciculture en Afrique provient de Madagascar. Dès 1928, Legendre (cité dans FAO, 1957) a signalé la pratique à Madagascar de culture de *Paratilapia polleni*, *Carassius auratus* et *Cyprinus carpio* en rizière. Un deuxième signalement a suivi en 1938 indiquant l'élevage de volaille et de poisson en rizière. Si l'on se réfère au rapport de Coche (1967), le niveau de technologie à Madagascar à ce moment-là semble se rapprocher de celui existant en Asie, bien que l'empoissonnement ait été plus léger. Tant des systèmes de culture simultanée que de culture à rotation reposant sur l'entrée de stocks de poissons sauvages étaient pratiqués. En 1952, le gouvernement a lancé un programme

visant à promouvoir la pisciculture en étang et en rizière. La capacité locale de production de masse de fingerlings a été développée en 1972. Ce n'est qu'en 1979 que des progrès suffisants ont été accomplis pour que le gouvernement soit en mesure de promouvoir la culture riz-poisson. L'approvisionnement en fingerlings est restée une contrainte majeure jusqu'en 1985, moment où le gouvernement a favorisé la participation du secteur privé dans la production de fingerlings. À la fin des années 1980, on a réalisé que sans une aide externe continue, le gouvernement serait incapable de poursuivre l'opération (Van den Berg, 1996). Le rendement moyen de 80 kg·ha⁻¹ indique que les techniques de culture au niveau des exploitations doivent encore être améliorées (Randriamiarana *et al.*, 1995).

Un pays possédant plus de 900 000 ha de rizières détient un réel potentiel pour la culture riz-poisson, dans la mesure où 150 000 ha pourraient convenir à la culture riz-poisson. Les projections indiquent une production annuelle potentielle de 300 000 tonnes de poisson comestible issu des zones susmentionnées. En outre, la culture riz-poisson à Madagascar était suffisamment significative pour être mentionnée dans une étude de pays réalisée par la Library of Congress des États-Unis (Metz, 1994).

Malawi

Les exploitants du Malawi commencent à peine à pratiquer la culture intégrée du riz et du poisson ainsi que du poisson et des légumes. Bien que ce ne soit pas mentionné de manière spécifique, les poissons impliqués sont apparemment des tilapias, les *O. shiranus* et/ou *T. rendalii* étant, d'après les informations disponibles, les espèces principales du pays.

Zambie

Des essais de culture riz-poisson ont été signalés pour la Zambie par Coche (1967) sans, toutefois, qu'ils n'aient abouti. En 1992-93, la FAO a de nouveau introduit le concept au cours de la mise en œuvre du Programme d'aquaculture pour le développement des communautés locales (ALCOM). Bien que le projet ait été interrompu lorsque les analyses économiques ont montré que le revenu tiré de la pisciculture et le riz supplémentaire récolté ne suffisaient pas à compenser les coûts additionnels des activités d'élevage de poisson, de nombreux exploitants ont poursuivi la pratique de leur côté (Nilsson et Blariaux, 1994).

Sénégal

Au Sénégal, les exploitants des basses terres ont recouru à l'intégration de la pisciculture à la riziculture en raison de changements environnementaux qui ont mis en danger leurs exploitations (Diallo, 1998). L'eau de mer gagnant du terrain sur leurs champs côtiers de riz pluvial les a obligés à construire des étangs à poissons pour éviter que les eaux de marée inondent leurs rizières. Dans ce processus, ils produisent aussi du poisson.

Autres pays africains

Selon les informations disponibles, le Congo-Katanga (connu comme la province de Shaba de la République du Zaïre et, depuis 1997, comme les quatre provinces Haut-Kananga, Tanganyika, Lualaba et Haut-Lomami de la République démocratique du Congo) ainsi que la Rhodésie (désormais le Zimbabwe), la Côte d'Ivoire, le Gabon, le Liberia, le Mali et le Bénin entreprennent des essais de rizipisciculture (Coche, 1967; Nzamujo, 1995; Vincke, 1995). De plus récentes activités pour l'Afrique de l'Ouest ont été documentées par Moehl *et al.* (2001). Les essais d'intégration de l'aquaculture ont été limités aux poissons et au bétail seulement au Cameroun (Breine *et al.*, 1995) et au Rwanda (Verheust *et al.*, 1995).

Égypte

Plus grand producteur rizicole tant au Moyen-Orient que sur le continent africain, l'Égypte a commencé un type de rizipisciculture de capture reposant entièrement sur les stocks occasionnels de poissons qui rentrent avec l'eau d'irrigation. Les essais limités qui ont été entrepris utilisant des carpes dans les années 1970 ont obtenu des résultats encourageants (Essawi et Ishak, 1975). La zone consacrée à la rizipisciculture s'est considérablement développée utilisant des terres bonifiées auparavant affectées par le sel et a atteint un pic de 225 000 ha en 1989. Toutefois, les cours du riz ayant subi une augmentation, des variétés à haut rendement (VHR) ont été utilisées et les terres bonifiées ont été employées pour la monoculture de riz. Ce qui s'est traduit par un déclin de la superficie consacrée à la culture riz-poisson à 172 800 ha en 1995. En 1995, la production piscicole issue des rizières représentait malgré tout 32% de la production aquacole totale du pays (Shehadeh et Feidi, 1996). Depuis lors, 58 000 ha de terres agricoles ont été ajoutées, produisant 7 000 tonnes de *C. carpio* en 1997 (Wassef, 2000).

République islamique d'Iran

La République islamique d'Iran a démarré des essais de rizipisciculture en 1997 (Communication personnelle, M. Ibrahim Maygoli, Shilat Aquaculture Division Head, Téhéran, Iran, 30 août, 1999). Ayant obtenu de bons résultats, 18 exploitations, représentant un total de 12 ha, ont adopté cette technologie. Les carpes majeures chinoises sont utilisées simultanément au riz, quelquefois avec des aliments complémentaires. Des productions de plus de 1,5 tonne de poissons par hectare avec 7 tonnes de riz ont été réalisées avec un taux de survie élevé (96%), en dépit de températures moyennes de l'eau de 23°C seulement durant la période de culture. En outre, 70 exploitations ont adopté un système de rizipisciculture à rotation selon lequel la rizière est empoisonnée de truites durant les mois d'hiver lorsque la température moyenne de l'eau est de 12°C, produisant un rendement de 640 kg·ha⁻¹. La culture simultanée de *M. rosenbergii* avec le riz a également été tentée.

10.6 Europe

Le riz n'est pas la principale culture en Europe et n'est relativement importante qu'en Italie (216 000 ha de terres rizicoles) produisant 59% de la production rizicole de l'Union européenne (UE). Avec 86 000 ha, l'Espagne arrive loin derrière en deuxième place, ne contribuant qu'à 25% de la production UE. Les autres pays européens produisant du riz sont l'Albanie, la Bulgarie, la France, la Grèce, la Hongrie, l'ex République yougoslave de Macédoine, la Roumanie et la Yougoslavie.

Italie

La rizipisciculture a été introduite en Italie à la fin du XIX^e siècle et s'est progressivement imposée au cours des 40 années successives. Les principales espèces cultivées étaient *C. carpio*, *C. auratus* et *Tinca tinca*. Les rizières étaient utilisées pour produire des fingerlings qui étaient directement commercialisables parmi les propriétaires d'étangs et les associations de pêche à la ligne. La pratique a décliné progressivement jusqu'en 1967, année où l'activité n'était plus considérée comme une activité importante. Ce déclin a été imputé à des facteurs économiques, sociaux et techniques. À mesure que les riziculteurs abandonnaient les pratiques traditionnelles pour accroître la production rizicole, la production piscicole était de moins en moins compatible avec ces nouvelles

pratiques (Coche, 1967). On note un nouvel intérêt à l'Université de Bologne pour la recherche sur la gestion des pêches dans les rizières y compris sur les aspects écologiques et économiques des méthodes de culture modernes.

Hongrie

En Hongrie où les terres rizicoles irriguées ont couvert 45 000 ha dans le passé, la *C. carpio* était cultivée dans les champs inondés par les coopératives et les exploitations de l'État en vue de réduire les coûts de production. En l'absence de poissons marins, les poissons d'eau douce déterminaient un bon prix, stimulant de ce fait le revenu des exploitants. Il a également été signalé que les poissons ont contribué à ce que les rizières restent propres. Avec une superficie totale ayant chuté à 5 000 ha seulement en 1992, aucune information n'a été publiée indiquant si l'une des rizières cultivait toujours du poisson.

10.7 L'Ex-Union des Républiques socialistes soviétiques

Bien que le blé soit la céréale la plus importante pour la plupart des pays de l'ex-Union des Républiques socialistes soviétiques, le riz est cultivé dans certaines républiques d'Asie centrale et nombre sont ceux qui ont essayé ou pratiqué la rizipisciculture.

La liste des publications effectuée par Fernando *et al.* (1979) traitant de la faune aquatique des rizières de la planète comportait 55 inscriptions provenant de l'ex-Union des Républiques socialistes soviétiques, dont 12 traitaient spécifiquement de la culture riz-poisson. Ce qui peut être considéré comme un nombre important vu que la bibliographie comprenait un total de 931 inscriptions provenant de 61 pays et territoires différents. À titre de comparaison, un total de 70 ouvrages provenait des États-Unis, 89 d'Inde et 54 du Japon. L'étude historique de cette région qui fait le plus autorité est celui de Meien (1940).

10.8 Amérique du Sud et Caraïbes

Bien que le riz soit cultivé dans neuf pays d'Amérique du Sud et huit pays des Caraïbes, l'élevage de poisson en rizière n'est pas répandu. Dès les années 1940, des expériences ont été conduites en Argentine sur la culture de l'Athérine d'Argentine (*Atherina bonariensis*) en rizière comme poisson de consommation et pour la lutte contre les moustiques (Macdonagh 1946

tiré de FAO, 1957). Des tentatives ont également été effectuées pour introduire le concept dans les Antilles Britanniques et la Guyane britannique (désormais le Guyana) au début des années 1950 (Chacko et Ganapati 1952 tiré de FAO, 1957).

Des expériences sur l'intégration de la pisciculture à la production rizicole sont, ou ont été, conduites au Brésil, à Haïti, au Panama et au Pérou, mais seul le Brésil semble remporter un certain succès commercial. Une culture extensive riz-poisson a débuté dans la Vallée de Rio São Francisco (nord-est) et dans les rizières du sud. Dans le nord-est, les producteurs se sont intéressés à la rizipisciculture semi-extensive utilisant des espèces de poissons indigènes capturés dans les lacs le long de la rivière tels que les curimatà pacu (*Prochilodus argentes*), piau verdadeiro (*Leporinus elongatus*), et mandí arnarelo (*Pimelodus clarias*). Des expériences sur la rizipisciculture intensive ont aussi été conduites dans le bassin de Paraíba en utilisant des *C. carpio* et *T. rendalli* (Guillen, 1990). Les perspectives de la culture riz-poisson semblent favorables pour la région en raison de son climat adapté et des zones irriguées. De récents travaux facilités par la FAO se sont concentrés sur la promotion de l'aquaculture et autres méthodes de production intégrées dans des systèmes rizicoles en Guyane et au Surinam.

10.9 Les États-Unis d'Amérique

Dans le passé, la rizipisciculture était considérée importante aux États-Unis d'Amérique. Une fois que le riz était récolté, les terres rizicoles étaient inondées et empoissonnées principalement de *C. carpio*, de poissons-taureau (*Ictiobus cyprinellus*) et de Barbue d'Amérique (*Ictalurus punctatus*). En 1954, quelque 4 000 ha de terres boisées en Arkansas ont été entourées de diguettes, inondées et empoissonnées. En 1956, la superficie a augmenté pour se situer à 30 000 ha et, selon les informations disponibles, aurait produit 3 200 tonnes de poisson. La demande pour des fingerlings est montée en flèche et de nouvelles écloséries ont dû être mises en place.

L'importance accrue de la rizipisciculture ainsi que le besoin d'améliorer les pratiques existantes ont conduit le Congrès américain à décréter la Loi de 1958 sur la rotation poisson-riz (*Fish Rice Rotation Act*) pour que le Ministre de l'intérieur (qui à ce moment-là avait juridiction sur la conservation des poissons, de la faune et de la flore) la mette en œuvre. Cette loi avait pour objectif d'«établir un programme visant à entreprendre certaines recherches et expériences pour développer des

méthodes de production piscicole commerciale sur une superficie rizicole inondée en rotation avec les cultures de riz, ainsi qu'à d'autres fins.» Pour mener à bien ces études sur la rotation riz-poisson, une station de recherche, qui allait devenir le Stuttgart National Aquaculture Research Center (SNARC), a été établie à Stuttgart dans l'État de l'Arkansas.

En 1960, une enquête effectuée auprès d'une sélection de 53 exploitants dans les États d'Arkansas, de Louisiane et du Mississippi a indiqué que 20,4% de la superficie totale de la surface de l'eau a été utilisée pour la pisciculture. Il y avait à ce moment 1,25 million de terres rizicoles irriguées aux États Unis d'Amérique et le potentiel de la pisciculture était jugé considérable. Coche (1967) a estimé que les perspectives du secteur étaient prometteuses en déclarant: «il est possible de prévoir sans quasiment aucun doute qu'une nouvelle zone de culture intensive se développera pour la pisciculture dans le vaste complexe des rizières américaines.»

À mesure que les technologies évoluaient et en raison de nouvelles réalités économiques, l'intérêt pour la rizipisciculture semble avoir diminué quelques temps après les années 1960. Cela peut être imputé à la conjecture du moment, à savoir au changement de direction survenu dans les recherches du SNARC.

Néanmoins, le concept de rotation riz-poisson à une échelle commerciale est loin d'être éteint aux États-Unis. Au lieu de poissons à nageoires cependant, des écrevisses sont cultivées en rotation avec le riz. Deux espèces d'écrevisses sont populaires en raison de leur robustesse et capacité d'adaptation, l'écrevisse rouge des marais (*Procambarus clarkii*) et dans une certaine mesure l'écrevisse blanche de rivière (*P. zonangulus*). Le cycle de vie des écrevisses ainsi que leurs exigences en termes de milieu se prêtent très bien à la rotation avec le riz, voir avec le riz et soja. La plupart des écrevisses produites aux États-Unis proviennent désormais des rizières des États du sud (De La Bretonne et Remaire, 1990).

11. Perspectives et programme pour l'avenir

11.1 Perspectives

Le moment actuel apparaît particulièrement opportun pour promouvoir la rizipisciculture. Ce système de culture intégrée est pratiqué depuis un certain temps sans être pourtant parvenu à s'imposer comme une seconde nature pour les riziculteurs. L'intérêt porté à la culture riz-poisson dans différents pays a augmenté dans un premier temps pour diminuer par la suite parmi les décideurs politiques, les scientifiques, les agents de vulgarisation et les exploitants. Ce qui est compréhensible étant donné les circonstances de ces périodes particulières. L'heure est propice pour raviver l'intérêt au sein de tous les secteurs car les décideurs politiques, les chercheurs, les agents de vulgarisation et les exploitants sont susceptibles d'être plus réceptifs en raison de la convergence de quatre facteurs.

Premièrement, les pêches de captures ont atteint leur limite dans de nombreuses régions. L'augmentation de la production aquacole apparaît donc comme une solution évidente pour satisfaire les demandes croissantes, et les rizières mondiales représentent des millions d'hectares de zones piscicoles. Le Sommet mondial de l'alimentation de 1996 a consenti à «promouvoir le développement d'une aquaculture raisonnée et durable d'un point de vue environnemental et bien intégrée dans le développement rural, agricole et côtier».

Deuxièmement, il y a une reconnaissance croissante du besoin de «travailler avec» plutôt que «contre» la nature. La Lutte intégrée (LI) est préconisée au lieu d'une utilisation importante de pesticides, et les poissons se sont révélés des agents efficaces de lutte contre les ravageurs. Les pesticides chimiques sont des armes à double tranchant qui peuvent être nuisibles à la santé humaine et à l'environnement tout autant qu'aux ravageurs ciblés.

Troisièmement, l'eau douce est une ressource limitée et l'intégration du poisson au riz est une façon d'utiliser l'eau de façon plus efficace en produisant à la fois des animaux aquatiques et du riz. Par ailleurs, la quantité de nouvelles terres adaptées à l'aquaculture est limitée et l'élevage

de poisson avec le riz est une manière efficace d'utiliser les ressources en terre qui se raréfient.

Quatrièmement, le riz n'est pas un produit de base véritablement rentable; dans de nombreux pays, c'est également un produit de base politique. Le prix du riz à la ferme n'est pas toujours basé sur la possibilité d'un retour économique aux exploitants, mais a des implications politiques telles que la sécurité alimentaire et le potentiel d'exportation du pays. C'est néanmoins le marché qui détermine le prix du poisson. Alors que l'élevage de poisson dans une rizière entraîne des coûts différentiels minimes, c'est aussi une façon d'augmenter le revenu des exploitants.

Ces développements servent d'élan à la promotion de la culture riz-poisson. Ensemble, ces tendances couvrent les différentes préoccupations de tous les secteurs impliqués dans la riziculture.

11.2 Principales questions et contraintes

Plusieurs préoccupations relatives à la rizipisciculture ont été identifiées (dans un document de travail préparé pour la seizième session de la Commission internationale du riz, 1985):

- Le besoin d'une plus grande profondeur d'eau pour la rizipisciculture par rapport à la culture traditionnelle du riz peut être un facteur limitant si l'approvisionnement en eau est inadapté. Comme il a été susmentionné, la plus grande occurrence de fuites, d'infiltration et de percolation qui se manifeste en raison du besoin de maintien d'une eau stagnante pour la culture riz-poisson peut accroître considérablement les besoins en eau.
- Les poissons endommagent les plants de riz qu'ils déracinent et consomment. La destruction des cultures de riz de la part des poissons a été observée, notamment dans le cas d'empeisonnements de *C. carpio* (dont le fond est leur habitat) réalisés trop tôt après l'établissement des cultures alors que les tiges de riz n'ont pas encore développé un bon système racinaire, ou lorsque des poissons herbivores tels que *C. idellus* sont introduits à

de plus grandes tailles et sont ainsi en mesure de consommer les plants en entier. Ces problèmes peuvent être facilement évités par de bonnes pratiques de gestion dont la sélection des espèces, la taille à l'empoissonnement et le calendrier d'empoissonnement.

- Davantage d'engrais sont requis pour accroître la productivité primaire de l'eau et pour nourrir les poissons. Une fertilisation accrue est supposée puisque tant le riz que le phytoplancton requièrent des nutriments. La fertilisation accrue a été estimée en premier par Chen (1954) pour se situer entre 50 et 100%. Toutefois, l'expérience a montré que dans la plupart des cas, les besoins en engrais ont diminué avec l'introduction de poissons (Gupta *et al.*, 1998; Israel *et al.*, 1994; Yunus *et al.*, 1992). Cagauan (1995) a observé qu'une rizière empoisonnée a une plus grande capacité de produire et de capturer l'azote (N) qu'une rizière dépourvue de poissons.
- Un faible pourcentage de la surface cultivable est perdu en raison de la construction de drains et d'excavations-refuges se traduisant par une réduction des rendements en riz. Ici encore, l'expérience a démontré que le rendement en riz augmente souvent dans la culture riz-poisson, par conséquent, l'excavation d'une petite partie de la rizière (d'ordinaire pas plus de 10%) ne se traduit, dans la plupart des cas, par aucune perte nette mais engendre plutôt un gain net dans la production rizicole.
- L'utilisation de variétés de riz à tiges courtes et à haut rendement est limitée par la profondeur de l'eau stagnante qui est requise pour la rizipisciculture. Même le IR36, qui a une hauteur de taille de 85 cm, a été utilisé avec succès pour la rizipisciculture. Costa-Pierce et De la Cruz (1992) ont observé qu'une utilisation répandue de variété à haut rendement n'était pas considérée comme une contrainte majeure dans la culture riz-poisson dans la plupart des pays²¹, ni non plus l'usage de pesticides. En effet, comme il a été précisé lors de la dix-neuvième session de la Commission internationale du riz, le cas de la Chine comptant 1,2 million d'hectares consacrés à la culture riz-poisson sur une superficie rizicole presque exclusivement ensemencée de variétés modernes montre que l'utilisation de ces variétés ne semble pas constituer une contrainte pour la culture riz-poisson (Halwart 1999, tableau 17).
- L'utilisation de pesticides sera limitée. Il est affirmé à cet égard que la réduction de

l'utilisation de pesticides est un avantage pour les exploitants, les communautés et l'environnement en général. Des études entreprises au Bangladesh ont révélé que les rizipisciculteurs utilisent moins de 50% de pesticides que ce qui est utilisé par les riziculteurs (Gupta *et al.*, 1998). Saturno (1994) a observé que les exploitants ont moins tendance à utiliser des pesticides lorsque leurs rizières sont empoisonnées et enregistrent tout de même des rendements élevés. Kenmore et Halwart (1998) ont souligné que l'élimination de presque tous les pesticides dans les rizières de la part des exploitants ayant suivi une formation sur la lutte intégrée (LI) se traduit par une diversité biologique plus riche de grenouilles, escargots, insectes aquatiques et autres, diversité qui est fréquemment utilisée par les exploitants d'une façon durable.

- L'exploitant est tenu de faire un investissement initial plus élevé pour les installations nécessaires au sein des rizières (diguettes plus élevées, drains, excavations-refuges). L'investissement initial est un facteur qui ralentit la diffusion de l'adoption de la culture riz-poisson. C'est un inconvénient qui augmente l'exposition financière de l'exploitant, toutefois, les retours potentiels peuvent être gratifiants et les risques sont souvent très faibles.
- La pratique de cultures multiples (plusieurs rotations annuelles) sera limitée parce que les champs sont inondés pendant une période plus courte – quatre mois contre six à huit mois, dans le cas de cultures annuelles. Au contraire, une inondation continue de six à huit mois est avantageuse pour la culture riz-poisson dans la mesure où elle permet la croissance du poisson jusqu'à une plus grande taille.

De nombreuses contraintes ont été identifiées, même si elle ne sont pas inhérentes à la rizipisciculture, mais s'appliquent à l'aquaculture et l'agriculture en général, à savoir par exemple le manque de semences et de facilités de crédit (Costa-Pierce et De la Cruz, 1992). Certaines de ces contraintes sont spécifiques à l'emplacement, par exemple le cycle naturel d'inondation (Bangladesh, Cambodge et Viet Nam) et la présence de mauvais sols (Indonésie et Thaïlande). On affirme souvent que la contrainte majeure à une adoption plus importante de la pratique de la part d'exploitants réside dans le fait que la culture riz-poisson ne fait pas partie de la pratique agronomique dominante.

²¹ À l'exception des Philippines

11.3 Exigences de recherche et développement

Le besoin de perfectionner la rizipisciculture est évident, et ce, en vue d'une amélioration de la production piscicole qui n'affecterait pas la production rizicole. De la Cruz *et al.* (1992) ont identifié des domaines et sujets possibles de recherche pour différents pays. Les sujets communs à plusieurs pays où la culture riz-poisson est pratiquée ou dont le potentiel est élevé sont:

- des études écologiques, en particulier sur les réseaux trophiques et le cycle nutritif au sein d'un écosystème rizicole;
- l'identification de la capacité de charge et des densités optimales d'empoisonnement;
- le développement d'un système d'écloseries et/ou de nurseries en rizière;
- le développement de modèles de rizipisciculture spécifiques aux différentes zones agro-climatiques;
- les taux et méthodes de fertilisation optimums;
- l'évaluation de nouvelles espèces de poisson pour la culture en rizière;
- l'évaluation de différentes espèces de poissons pour le contrôle des ravageurs et maladies du riz;
- le développement de techniques de concentration et de récolte du poisson; et
- des modèles optimums de semis du riz pour la rizipisciculture.

Les autres sujets qui ont été identifiés ne sont pas nécessairement spécifiques à la culture riz-poisson et peuvent être couverts par les travaux de recherche réguliers réalisés dans le domaine aquacole, tels que la nutrition du poisson et le développement de l'alimentation, ou dans le domaine agronomique, par exemple l'écologie des plantes adventices et la lutte intégrée contre ces dernières. Sur la «liste des souhaits» en matière de recherche à long terme figure la mise en valeur de nouvelles variétés de riz pour les différents systèmes rizipiscicoles.

Selon Fernando et Halwart (2000), une approche systématique du développement de la rizipisciculture est nécessaire au niveau des systèmes d'irrigation, ce qui réduirait la plupart des contraintes rencontrées dans le processus de promotion de la culture riz-poisson pratiquée uniquement dans les rizières. Une tâche importante consisterait à classer les zones productrices de riz en fonction de leur caractère approprié à la culture riz-poisson, tout en tenant compte de la capacité

de l'infrastructure d'irrigation, des caractéristiques générales du sol, des exigences physiques ainsi que de la situation socioéconomique. Le résultat pourrait servir de guide quant aux endroits où il convient de redoubler d'effort dans la promotion de la culture riz-poisson. La disponibilité de matériel provenant de Chine peut s'avérer utile pour tester sur le terrain certains systèmes en vue par la suite d'une possible adoption de la pratique dans d'autres pays.

La conduite d'études socioéconomiques avant et après l'introduction/la promotion de la rizipisciculture serait utile. Des données de base sur l'état des revenus et sur les régimes seront importantes pour évaluer le plein impact de la technologie rizipiscicole. Les systèmes rizicoles en eau profonde justifient davantage d'études puisque ces zones pourraient constituer des emplacements naturels de pisciculture. Les faibles rendements de ces systèmes pourraient potentiellement être compensés par les rendements piscicoles vu que Dehadrai (1992) a signalé des rendements de $1\ 100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{récolte}^{-1}$ en Inde et de $650\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en quatre mois au Bangladesh (Ali *et al.*, 1993), bien que ce système ne se soit pas révélé viable en raison du coût de l'enclos en filet de 4 m.

La montée du niveau de la mer peut nécessiter des recherches dans le domaine de la rizipisciculture en eau saumâtre. Les rapports indiquent que les crevettes pénéidées cultivées en même temps que le riz en eau saumâtre – tel que cela a été démontré au Viet Nam (Mai *et al.*, 1992) et en Inde, avec les systèmes *pokhali* et *khazan* et des variétés de riz résistantes au sel – produiraient de 885 à $2\ 135\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{récolte}^{-1}$ de crevettes géantes tigrées et de mullets et de 500 à $2\ 000\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{récolte}^{-1}$ de crevettes et de perches respectivement. Le système *sawah-tambak* (Indonésie) peut être approprié pour des zones côtières de basses terres affectées par l'intrusion de l'eau salée puisqu'il produit de $2\ 000$ à $3\ 500\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ d'espèces d'eau saumâtre (telles que les crevettes pénéidées, le chano et les bars). Il est également possible d'utiliser des exploitations de crevettes abandonnées pour la culture riz-crevettes puisque, à l'origine, ces exploitations étaient des rizières.

11.4 Politiques et services de soutien institutionnels

11.4.1 Généraliser la rizipisciculture

Les personnes impliquées dans la production rizicole considèrent souvent la rizipisciculture comme une nouveauté, et la littérature

traditionnelle relative à la protection des végétaux dans la production rizicole (par ex. Heinrichs, 1994; Reissig *et al.*, 1986) ne mentionne ni le poisson comme agent potentiel de lutte biologique ni la culture riz-poisson. Pour affronter cette réalité, la culture riz-poisson doit être intégrée au programme d'agriculture des universités et être reconnue comme un système agricole viable.

Dans la mesure du possible, les ministères de l'agriculture, ou leur équivalent, des pays producteurs de riz devraient intégrer la rizipisciculture dans les pratiques agronomiques traditionnelles de façon à ce qu'elle devienne un choix logique et viable pour les exploitants.

La lutte intégrée (LI) étant une approche acceptée de la lutte contre les ravageurs, le moment d'introduire l'élevage de poisson en rizière apparaît opportun. Toutefois, des programmes adaptés pour les champs écoles des producteurs (CES) doivent être développés.

11.4.2 Popularisation du concept

De nombreux exploitants sont conscients que le poisson peut être cultivé avec le riz, mais peu se rendent compte des avantages. Il est probable qu'une préoccupation majeure concernera la façon d'affronter les infestations d'insectes lorsque le poisson est cultivé en rizière. Puisque les gouvernements font souvent la promotion de la lutte intégrée (LI) pour la culture du riz, l'élevage de poisson devrait être considéré comme une partie intégrante des méthodes de LI dans la mesure où l'élevage de poisson peut être efficace pour renforcer d'autres stratégies non chimiques de LI (Kamp et Gregory, 1994) ainsi que pour mieux utiliser les ressources. L'acceptation de la part des exploitants d'une lutte intégrée non chimique et d'un rejet des pesticides est renforcée par la possibilité d'un meilleur revenu et d'une culture de riz saine (Kenmore et Halwart, 1998).

L'opinion publique devrait être assez sensibilisée à la culture riz-poisson pour que l'élevage de poisson en rizière soit autant perçu comme une composante de la culture du riz que l'application d'engrais. Il n'y a d'ailleurs pas si longtemps, c.à.d. avant la promotion de pesticides chimiques, les poissons et autres organismes aquatiques étaient considérés comme ce qu'on pouvait disposer de plus naturel dans les eaux d'inondation des rizières. Cela continue à être le cas, par exemple dans certaines régions du Cambodge, de la RDP lao et autres régions d'Asie du Sud-Est où l'utilisation de pesticides est négligeable.

11.4.3 Formation et éducation

Le renforcement de la sensibilisation de l'opinion publique ne suffit toutefois pas à lui seul car cela peut être source de frustration si aucune technologie adaptée n'est offerte. Les exploitants doivent savoir où s'adresser pour obtenir une assistance. Pour ce faire, il est nécessaire de former et réorienter les agents de vulgarisation agricole. Les ingénieurs agronomes plutôt que les fonctionnaires des pêches devraient être ciblés pour cette formation puisque ce sont ces personnes qui sont le plus souvent en contact avec les riziculteurs.

Au-delà de la formation à court terme des agents de vulgarisation agricole, les programmes des écoles d'agriculture devraient inclure la culture riz-poisson comme système agricole viable et le rôle du poisson dans la lutte contre les ravageurs devrait également être enseigné. Les manuels de riziculture devraient inclure des sections sur la rizipisciculture. Il conviendrait de faire prendre conscience à toutes les personnes impliquées dans la production rizicole que les avantages de la culture riz-poisson vont bien au-delà de la simple production de poissons.

11.4.4 Approvisionnement en fingerlings

Les semences de poisson destinées à l'empeusement constituent un intrant essentiel de la rizipisciculture. Dans des pays où l'industrie aquacole n'est pas significative, les fingerlings sont rares et coûteux. Nombreuses sont les questions en rapport à la façon de promouvoir la production de fingerlings avec succès; toutes concernent toutefois l'aquaculture dans son ensemble et ne sont pas spécifiques à la culture riz-poisson. Tout effort visant à promouvoir une adoption plus généralisée de la rizipisciculture se doit d'être assorti d'un effort de développement des capacités locales dans la production de fingerlings. Cela pourrait être réalisé par les riziculteurs eux-mêmes, comme cela a été effectué avec succès à Madagascar où un réseau de producteurs privés de fingerlings a progressivement été mis en place. Un producteur privé étant devenu opérationnel, la distribution de fingerlings par le gouvernement a été interrompue dans ce domaine. Dans la phase successive, des services de vulgarisation dans ce domaine destinés aux rizipisciculteurs ont été inclus dans la stratégie de marketing pour les producteurs de semences de poissons, passant par des démonstrations de leurs propres opérations rizipiscicoles à l'organisation de réunions. À ces

fins, les producteurs de fingerlings ont été formés dans les méthodes des marketing, compétences didactiques et méthodes de vulgarisation. Des activités ont fait l'objet d'un soutien de la part d'un groupe, certes restreint mais hautement qualifié, d'agents de vulgarisation issus du gouvernement (Van den Berg, 1996).

11.4.5 Financement

Un financement pourrait être nécessaire puisque le relèvement des diguettes et l'excavation d'étangs ou de tranchées-refuges peuvent encourir des

dépenses qui vont au-delà de ce qui est requis d'ordinaire pour la riziculture. Les sommes concernées (500 \$EU ou moins) sont souvent assez réduites pour pouvoir être couvertes par des microcrédits. Même si des centaines d'exploitants doivent être financés dans chaque localité, la somme totale concernée s'inscrira certainement dans les capacités des établissements bancaires ruraux. L'aquaculture ayant du mal à être perçue comme un choix agricole ne comportant que peu de risques, une question plus critique consiste à faire accepter à l'institution bancaire cette pratique agricole comme une entreprise viable.

12. Conclusion

La rizipisciculture offre un potentiel considérable pour la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté dans les zones rurales. C'est une manière efficace d'utiliser la même ressource en terre pour produire à la fois des hydrates de carbone et des protéines animales simultanément ou en série. L'eau est utilisée de la même façon pour produire simultanément les deux produits alimentaires de base.

Les poissons en rizière ont démontré être en mesure d'éradiquer les plantes adventices en les mangeant ou en les déracinant. Ils dévorent aussi quelques insectes ravageurs parmi lesquels, et non des moindres, les foreurs de tiges. L'expérience a montré que le besoin en pesticides chimiques a considérablement été réduit, voire éliminé, dans de nombreux cas de figure. Le poisson favorise également la fertilité des rizières et peut réduire les besoins en engrais. L'intégration de l'aquaculture à la riziculture se traduit par une utilisation efficace des nutriments à travers le recyclage des produits dans la mesure où de nombreux sous-produits peuvent servir d'engrais et d'intrants alimentaires à l'aquaculture (Willmann *et al.*, 1998). Situation qui conduit à son tour, à davantage de poissons pour le ménage et qui est susceptible d'augmenter le revenu. Par ailleurs, la pisciculture en rizière a pour répercussion importante de favoriser un environnement rural plus propre et plus sain.

D'autres répercussions économiques peuvent être escomptées. Les modifications apportées aux rizières peuvent requérir une main d'œuvre supplémentaire au-delà de ce qui est disponible au sein de la famille, favorisant de ce fait l'emploi rural. L'augmentation de la demande en fingerlings peut stimuler la croissance du commerce de la production en écloserie et celui des fingerlings ainsi que toutes autres activités auxiliaires, telles que la confection de filets hapas et de sennes de récolte, la fabrication d'outils manuels, l'installation et la réparation de pompes, entre autres activités. Les poissons doivent être ciblés pour le marché et sans doute aussi transformés avec leur commercialisation, générant ainsi un potentiel d'emploi supplémentaire.

La réalité montre néanmoins que le taux d'adoption de la rizipisciculture est très faible. Comptant 1,2 million d'hectares utilisés pour la culture riz-poisson, la Chine est clairement

le leader mondial, ce chiffre ne représentant toutefois que 3,92% de ses zones irriguées. C'est étonnamment en dehors de l'Asie que le nombre des exploitations riz-poisson est important par rapport à la superficie rizicole irriguée. En Égypte, la superficie consacrée à la rizipisciculture représente 37,4% de la surface irriguée et à Madagascar, 11,75%. En Asie du Sud-Est, il est signalé que la Thaïlande posséderait 2,966 millions d'hectares destinés à la culture riz-poisson et 25 500 autres hectares liés à l'empoissonnement et à la gestion de pêcheries. Dans tout le reste de l'Asie, le taux d'adoption n'est qu'à peine plus de 1% ou bien aucune statistique n'est disponible quant à l'envergure de la culture riz-poisson. Si le taux d'adoption devait augmenter à une moyenne de 10% des champs de riz irrigués (soit 68,07 millions d'hectares), même un rendement annuel de seulement 150 kg·ha⁻¹ signifierait plus d'un million de tonnes de poisson par an. Ce chiffre ne tient pas compte des zones de riz pluvial qui détiennent elles aussi un potentiel de production piscicole.

Afin de réaliser ce potentiel, un changement radical de l'attitude envers la culture riz-poisson est nécessaire et ce, dans tous les secteurs impliqués dans la production rizicole, à commencer par les décideurs politiques jusqu'aux agents de vulgarisation et aux producteurs. Actuellement, la culture riz-poisson est considérée au mieux, comme une nouveauté et au pire, comme une activité marginale ne méritant pas sérieuse considération dans la formulation de stratégies nationales de production rizicole, et est souvent reléguée à une série limitée de projets. Par ailleurs, les scientifiques et spécialistes des technologies en matière de pêche ne sont pas les personnes adéquates pour atteindre au mieux les producteurs rizicoles, ni se sont des personnes que les producteurs écouteront. Le message doit être transmis par les personnes impliquées dans le secteur du riz.

Pour intégrer la pêche à la riziculture, Willman *et al.* (1998) ont préconisé une intégration multisectorielle entre les différentes agences gouvernementales impliquées dans la mise en valeur des bassins fluviaux et du littoral d'une part, et les différentes agences gouvernementales susceptibles d'être impliquées dans le secteur des pêches et de l'agriculture, d'autre part. Les auteurs reconnaissent toutefois la difficulté d'une telle

intégration. Quoique idéale, la question concernant l'implication d'une plus grande adoption de la culture riz-poisson ne nécessite pas nécessairement d'impliquer un trop grand nombre d'agences, mais devrait, en effet, n'impliquer que celles engagées dans le secteur agricole.

Les différents sous-secteurs de l'agriculture doivent reconnaître la culture riz-poisson comme un système agricole distinct et viable pour lequel les exploitants peuvent opter chaque fois que les conditions physiques s'y prêtent. Si la rizipisciculture est perçue comme une pratique agronomique viable, une bonne partie des frais encourus par l'élevage de poissons dans les rizières feront partie des dépenses légitimes où est impliqué un crédit bien encadré. Les agences du secteur des pêches ont un rôle important à jouer, c.à.d. celui de surveiller que des fingerlings de bonne qualité soient disponibles au moment requis pas les exploitants.

Des directives appropriées devraient également être mises en place afin de veiller à ce que la composante piscicole ne soit pas surexploitée au détriment de la production rizicole. Avec une bonne production piscicole et des prix élevés, les rizipisciculteurs vietnamiens ont tendance à élargir les zones de refuge à poissons (Halwart, 1998). Purba (1998) a tiré la conclusion selon laquelle une augmentation des prix et de la demande en poisson en Indonésie entraînerait la réduction de la production rizicole, dans la mesure où le taux refuges/surface rizicole deviendrait excessif. L'objectif de l'élevage du poisson en association avec la culture du riz devrait être clair, à savoir d'accroître la production piscicole sans pour autant réduire les rendements en riz.

Avec un tel changement au plus haut niveau, les agents de vulgarisation agricole peuvent

être correctement formés pour promouvoir et démontrer cette «nouvelle» technologie. De cette façon, la popularisation de l'intégration riz-poisson ne se limitera pas à quelques exploitants dans le cadre d'un projet spécial, bien que cela puisse être la manière dont ce processus sera amorcé. Une adoption plus soutenue de la pratique peut être possible à condition, premièrement, que les concepts riz-poisson soient présentés de façon plus généralisée aux communautés, ce qui comprendrait des démonstrations réalisées dans les propres champs des exploitants, et deuxièmement, qu'un rapprochement soit fait entre l'approche riz-poisson et les champs écoles des producteurs qui assurent une formation sur la lutte intégrée contre les ravageurs (Kenmore et Halwart, 1998). Les exploitants eux-mêmes sont les agents les plus efficaces de ce changement. Pour un meilleur contact avec ceux qui adoptent la pratique et pour que ces derniers obtiennent des informations sur les nouvelles technologies, les canaux de communication de personne à personne demeurent les meilleurs mécanismes. Ces canaux incluent le contact direct avec les autres exploitants, les agents de vulgarisation et les experts techniques. En Inde, environ 85% des exploitants ont mentionné d'autres exploitations comme sources d'information.

On peut affirmer en synthèse qu'afin de populariser la rizipisciculture, le concept devrait faire partie intégrante du système agricole, plutôt que du système des pêches. Les agences des pêches seront tenues de redoubler d'effort pour renforcer la viabilité d'une production et d'un système de distribution de semences de poissons à l'échelon national opérés par le secteur privé de façon à ce que les fingerlings des espèces souhaitées soient facilement disponibles pour les exploitants. Ce n'est que dans ce cas que l'on trouvera davantage de poissons dans les rizières.

13. Références

- Abdel-Malek, S.A. 1972. Food and feeding habits of some Egyptian fishes in Lake Qurun. I. *Tilapia zillii* (Gerv.) B. according to different length groups. Bull. Inst. Oceanogr. Fish. Cairo. 2:204-123.
- Ahmed, M., M.A.P. Bimbao et R.C. Sevilleja. 1992. The economics of rice-fish in Asian mixed farming system - a case study of the Philippines, p.207-216. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Ali, A.B. 1990. Rice-fish farming in Malaysia: a resource optimization. *Ambio* 19(8):404-408.
- Ali, A.B. 1992. Rice-fish farming in Malaysia: past, present and future, p. 69-76. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Ali, A.B. 1998. Rice agroecosystem and the maintenance of biodiversity, p. 25-36. **Dans** B.M. Nashriyak, N.K. Ho, B.S. Ismael, A.B. Ali et K.Y. Lun (éds.) Rice agroecosystem of the Muda Irrigation Scheme, Malaysia. Mintmada Malaysia, 250p.
- Ali, M. H., N.I. Miah et N.U. Ahmed. 1993. Experiences in deepwater rice-fish culture. Rice Farming Systems Division, Bangladesh Rice Research Institute, Gazipur, Bangladesh. Mimeo, 28p.
- Anonymous. 1971. Algicide for direct-seeded rice. IRRRI Reporter 2/71:2-3.
- Arai, M. 1963. Theory of rice crop protection. I. Weed control, p. 228-251. **Dans** M. Matsubayashi, R. Ito, T. Nomoto, T. Takase et N. Yamada (éds.) Theory and practice of growing rice. Fuji Publs. Co., Ltd., Tokyo, Japan.
- Ardiwinata, R.O. 1953. Common carp culture in rice fields. Vorhink Van Hoeve Vol. V. Bandung's Gravenhage (en Bahasa avec un résumé en anglais).
- Ardiwinata, R.O. 1957. Fish culture in the rice fields in Indonesia. Proc. Indo-Pacif. Fish. Coun. 7:119-154.
- Balzer, T., P. Balzer et S. Pon. 2002. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems - I. Kampong Thom Province, Kingdom of Cambodia. **Dans** M. Halwart et D. Bartley (éds.) FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service. CD ROM, ISBN 92-5-104820-7. FAO, Rome. Disponible à <ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/AwarnessAgrBiodiv/default.htm>.
- Beaumont, J.J. et K.J. Yost. 1999. Phenoxy herbicides and cancer. **Dans** Agricultural chemicals and cancer website. Univ. of Calif. Center for Occup. and Env. Health, revised 2 March 1999.
- Bowen, S.H. 1979. A nutritional constraint in detritivory by fishes: the stunted population of *Sarotherodon mossambicus* in Lake Sibaya, South Africa. *Ecol. Monogr.* 49(1):17-31.
- Bowen, S.H. 1982. Feeding, digestion and growth - qualitative considerations, p. 141-156. **Dans** R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. Proc. Int. Conf. on the Biol. and Cult. of Tilapias, ICLARM Conf. Proc. 7, 432p.
- Bowen, S.H. 1980. Detrital nonprotein amino acids are the key to rapid growth of tilapia in Lake Valencia, Venezuela. *Science*. 207:1 216-1 218.
- Boyd, C.E. 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier, Amsterdam, 318p.
- Boyd, C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University Agricultural Experiment Station, 359p.
- Breine, J.J., G.G. Teugels et F. Ollevier. 1995. Preliminary results of integrated fish farming at the fish breeding research station, Fouban, Cameroon, p. 381-386. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Buddington, R.K. 1979. Digestion of an aquatic macrophyte by *Tilapia zillii*. *J. Fish. Biol.* 15(3):449-456.
- Cagauan, A.G. 1995. Overview of the potential roles of pisciculture on pest and disease control and nutrient management in rice fields, p. 203-244. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Cagauan, A.G., C.R. De la Cruz et C. Lightfoot. 1993. Nitrogen models of lowland irrigated ecosystems with and without fish using ECOPATH. Paper presented during the 3rd Asian Regional Workshop on Integrated Rice-Fish Research and Development, 6-11 June 1993, Sukamandi Research Institute for Food Crops, West Java, Indonesia.
- Cagauan, A.G. et R.G. Arce. 1992. Overview of pesticide use in rice-fish farming in Southeast Asia, p. 217-234. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Cai, R., D. Ni et J. Wang. 1995a. Rice-Fish culture in China: the past, present and future, p.3-14. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC) Ottawa, Canada, 276p.

- Caulton, M.S. 1976. The importance of pre-digestive food preparation to *Tilapia rendalli* Boulenger when feed on aquatic macrophytes. *Trans. Rhod. Sci. Assoc.* 57:22-28.
- Caulton, M.S. 1977. A quantitative assessment of the daily ingestion of *Panicum repens* L. by *Tilapia rendalli* Boulenger (Cichlidae) in Lake Kariba. *Trans. Rhod. Sci. Assoc.* 58(6):38-42.
- Chacko, P.I. et S.V. Ganapati. 1952. Fish culture in paddy fields. *Ind. Comm. J. Madras* No. 8:3.
- Chapman, G. 1992. Fry nursery techniques in the rice-fish systems of Northeast Thailand, p. 130-144. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Chen, D., H. Ying et M. Shui. 1995. Rice-azolla-fish in rice fields, p. 169-176. **Dans** K.T. MacKay (éd.) *Rice-fish culture in China*. International Development Research Centre (IDRC) Ottawa, Canada, 276p.
- Chen, H.L., A.T. Charles et B.T. Hu. 1998. Chinese integrated fish farming, p. 97-109. **Dans** J.A. Mathias, A.T. Charles et B. T. Hu (éds.) *Integrated Fish Farming*. Proc. Workshop on Integrated Fish Farming, 11-15 Oct. 1994, Wuxi, Jiangsu Prov., P.R. China. CRC Press, 420p.
- Chen, T.P. 1954. The culture of tilapia in rice paddies in Taiwan. *Jt. Comm. Rural Reconstr. China Fish. Ser.* 2. 29p.
- Chien, Y.H. 1978. Double cropping rice *Oryza sativa* and crawfish *Procambarus clarkii* (Girard). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge LA, USA. 85p. M.S. thesis.
- Chikafumbwa, F.J.K. 1996. Use of terrestrial plants in aquaculture in Malawi, p. 175-182. **Dans** R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *The Third International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 575p.
- Coche, A.G. 1967. Fish culture in rice fields. A worldwide synthesis. *Hydrobiologia* 30:11-44.
- Costa-Pierce, B. et C.R. De la Cruz. 1992. Working group reports on on-station research methodology, p. 415-424. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Costa-Pierce, B.A. 1992. Rice-Fish systems as intensive nurseries, p. 117-130. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Darvin, L.C. 1992. Status of rice fields as hatcheries/nurseries for tilapia in the Philippines, p. 145-150. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Dehadrai, P.V. 1992. Opportunities for women in rice-fish culture. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 367p.
- De la Bretonne, L.W. Jr. et R.P. Romaine. 1990. Crawfish culture: selection, pond construction and water quality. SRAC Publication No. 240, January 1990. Southern Regional Aquaculture Center, Stoneville, MS, USA.
- De la Cruz, C.R. 1980. Integrated agriculture-aquaculture systems in the Philippines with two cases on simultaneous and rotational rice-fish culture, p. 209-223. **Dans** R.S.V. Pullin and Z.H. Shehadeh (éds.) *Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems*, 6-9 August 1979, Manila, Philippines.
- De la Cruz, C.R., C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal, et M.P. Bimbao (éds.) 1992. *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM, Manila, Philippines, 457p.
- De la Cruz, C.R. 1979. Integrated agriculture-aquaculture farming systems in the Philippines. ICLARM/SEARCA Conf. on Integration of Agriculture-Aquaculture Farming Systems, 6-9 August 1979, Manila, Philippines, 29p.
- Demaine, H. et M. Halwart 2001. An overview of rice-based small-scale aquaculture, p. 189-197. **Dans** IIRR, IDRC, FAO, NACA and ICLARM. *Utilizing different aquatic resources for livelihoods in Asia: a resource book*. International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management, 416p.
- Denny, P., D.W. Bowker et R.G. Bailey. 1978. The importance of littoral epiphyton as food for commercial fish in the recent African man-made lake, Nyumba ya Mungu reservoir, Tanzania. *Biol. J. Linn. Soc.* 10(1):139-150.
- Deomampo, N.R. 1998. Farming systems, marketing and trade for sustainable aquaculture, p. 201-217. Annexe IV-5 du ADB/NACA, 1998. *Aquaculture sustainability and the environment*. Report on a regional study and workshop on aquaculture sustainability and the environment. Bangkok, Thailand. Asian Development Bank and Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific, 492p.
- Dewan, S. 1992. Rice-fish farming in Bangladesh: past, present and future, p. 11-16. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Diallo, A. 1998. Integrated farming: a new approach in Basse Casamanche, Senegal, p. 257-264. **Dans** J.A. Mathias, A.T. Charles et B. T. Hu (éds.) 1998. *Integrated Fish Farming*. Proc. Workshop on Integrated Fish Farming, 11-15 Oct. 1994, Wuxi, Jiangsu Prov., P.R. China. CRC Press, 420p.
- Diana, J.S., C.K. Lin et Y. Yi. 1996. Timing of supplemental feeding for tilapia production. *Journal of the World Aquaculture Society* 27 (4):410-419.

- Edra, R. 1991. Introduction of the golden snail and escalation of its infestation in Philippine ricelands (Abstract), p. 11. **Dans** B.O. Acosta et R.S.V. Pullin (éds.) 1991. Environmental impact of the golden snail (*Pomacea* sp.) on rice farming systems in the Philippines. ICLARM Conf. Proc. 28, 34p.
- Essawi, A.K. et M.M. Ishak. 1975. A preliminary study on raising carp in rice fields of Sakha Research Station, Arab Republic of Egypt. CIFA/75/SE1. Paper presented at the FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, 30 Sept.-6 Oct. 1975, Accra, Ghana.
- Fagi, A.M., S. Suriapermana et I. Syamsiah. 1992. Rice-fish farming research in lowland areas: The West Java case, p. 273-286. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- FAO. 1957. Fish culture in rice fields, p. 193-206. **Dans** A preliminary review and annotated bibliography from Section II and III of Proc. Indo-Pacif. Fish. Coun. 7. FAO, Rome.
- FAO. 1998. Fish-farming in Vietnamese rice fields fights golden apple snail pest. News & Highlights, FAO Web Page <http://www.fao.org/NEWS/1998/980410-e.htm>
- FAO. 2000. Des petits étangs font toute la différence. Intégrer le poisson aux cultures et à l'élevage du bétail. FAO, Rome, 30p.
- FAO. 2002. Report of the International Rice Commission, Twentieth Session. Bangkok, Thailand, 23-26 July 2002. FAO, Rome, 46p.
- FAO/ICLARM/IIRR. 2003. Intégration agriculture-aquaculture - Principes de base et exemples. FAO Document technique sur les pêches. No 407. FAO, Rome. 161p.
- Fedoruk, K. et W. Leelapatra. 1992. Rice field fisheries in Thailand, p. 91-104. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Fermin, F.V. 1992. The adaptation of rice-fish farming technology: the case of Mang Isko in Cavite, Philippines, p. 333-338. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Fernando, C.H. 1993. Rice field ecology and fish culture – an overview. *Hydrobiologia* 259:91-113.
- Fernando, C.H., J.I. Furtado et R.P. Lim. 1979. The aquatic fauna of the world's rice fields: a general introduction and bibliography of references to the aquatic fauna of rice fields with an introduction to the ecology of the rice field fauna. *Wallacean Suppl.* 2 March, 105p.
- Fernando, C.H. et M. Halwart. 2000. Possibilities for the integration of fish farming into irrigation systems. *Fisheries Management and Ecology* 7:45-54.
- Fernando, C.H. et M. Halwart. 2001. Fish farming in irrigation systems: Sri Lanka and global view. *Sri Lanka J. Aquat. Sci.* 6:1-74.
- Fillery, I.R.P., J.R. Simpson et S.K. de Datta. 1984. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from a flooded soil. *Soil Science Soc. Am. J.* 48(4):914-920.
- Fish, G.R. 1955. The food of tilapia in East Africa. *Uganda J.* 19:85-89.
- Funge-Smith, S.J. 1999. Small-scale rural aquaculture in the Lao PDR. *FAO Aquaculture Newsletter*, Nos. 22 and 23.
- Ghosh, A. 1992. Rice-fish farming development in India: past, present and future, p. 27-43. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Greenland, D.J. 1997. The sustainability of rice farming. *CAB International*, UK, 273p.
- Gregory, R. 1996. Rice field fisheries handbook. Cambodia-IRRI-Australia Project. Phnom Penh, 37p.
- Gregory R. et H. Guttman, H. 1996. Capture or culture? *ILEIA Newsl.* 12 (2):20-21, July 1996.
- Guillén, F.A. 1990. Current status of integrated rice-fish culture in Latin America and the Caribbean. *Int. Rice. Comm. Newsl.* 39:196-207.
- Gupta, M.V. 1998. Social and policy issues involved in adoption of integrated agriculture-aquaculture-livestock production systems in Bangladesh, p. 229-244. **Dans** J.A. Mathias, A.T. Charles et H. Baotong (éds.) Integrated fish farming. CRC Press, Boca Raton, New York.
- Gupta, M.V. et M.A. Rab. 1994. Adoption and economics of silver barb (*Puntius gonionotus*) culture in seasonal waters in Bangladesh. *ICLARM Tech. Rep.* 41, 39p.
- Gupta, M.V., J.D. Sollows, M. Abdul Mazid, A. Rahman, M.G. Hussain et M.M. Dey. 1998. Integrating aquaculture with rice farming in Bangladesh: feasibility and economic viability, its adoption and impact. *ICLARM Tech. Rep.* 55, 90p.
- Gupta, M.V., M. Abdul Mazid, Md. S. Islam, M. Rahman et M.G. Hussain. 1999. Integration of aquaculture into the farming systems of the flood-prone ecosystems of Bangladesh: an evaluation of adoption and impact. *ICLARM Tech. Rep.* 56, 32p.
- Guttman, H. 1999. Rice field fisheries – a resource for Cambodia. *NAGA*, The ICLARM Q. 22(2):11-15.
- Halwart, M. 1994a. Fish as biocontrol agents in rice. *Margraf Verlag*, Weikersheim, Germany, 169p.
- Halwart, M. 1994b. The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice-farming systems: present impact and future threat. *International Journal of Pest Management* 40(2):199-206.
- Halwart, M. 1998. Trends in rice-fish farming. *FAN*, the FAO Aquaculture Newsletter, April 1998. No. 18.
- Halwart, M. 1999. Fish in rice-based farming systems – trends and prospects, p. 130 - 141. **Dans** Dat van Tran (éd.) International Rice Commission - assessment and orientation towards the 21st century. Proceedings of the 19th Session of the International Rice Commission, 7-9 September 1998, Cairo, Egypt, 260p.

- Halwart, M. 2001. Fish as biocontrol agents of vectors and pests of medical and agricultural importance, p. 70-75. **In** IIRR, IDRC, FAO, NACA and ICLARM. Utilizing different aquatic resources for livelihoods in Asia: a resource book. International Institute of Rural Construction, International Development Research Center, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific and International Center for Living Aquatic Resources Management, 416p.
- Halwart, M. 2003a. Recent initiatives on the availability and use of aquatic organisms in rice-based farming, p. 195-206. **Dans** Proceedings of the 20th Session of the International Rice Commission. Bangkok, Thailand, 23-26 July 2002. FAO, Rome.
- Halwart, M. 2003b. Ricefield fisheries and rice-based aquaculture – underestimated and undervalued resources, p. 36-47. **Dans** FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service. Review of the State of World Fishery Resources: Inland Fisheries. FAO Fisheries Circular No. 942, Rev. 1. Rome, FAO, 60p.
- Halwart, M. 2003c. Les poissons comme composante de la gestion intégrée des déprédateurs en production rizicole, p. 115-117. **Dans** FAO/ICLARM/IIRR Intégration agriculture-aquaculture – Principes de base et exemples. Document technique sur les pêches. No 407. FAO, Rome. 161p.
- Halwart, M., M. Borlinghaus et G. Kaule 1996. Activity pattern of fish in rice fields. *Aquaculture* 145:159-170.
- Halwart, M., M.C. Viray et G. Kaule 1998. *Cyprinus carpio* and *Oreochromis niloticus* as biological control agents of the Golden Apple Snail *Pomacea canaliculata* – effects of predator size, prey size and prey density. *Asian Fisheries Science* 11:31-42.
- Halwart, M., S. Funge-Smith et J. Moehl. 2002. The role of aquaculture in rural development, p. 71-83. **Dans** FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service. Review of the state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular No. 886 (Rev 2). FAO, Rome, Italy.
- Hauser, W.J. et W.F. Lehman 1976. Raising fish for weed control subject of study. *The Rice Journal* 79(5):10-11, 22, 24.
- He, Q.H., H.Q. Sheng et G.H. Xu. 1998. The use of supplementary feeds for semi-intensive fish culture practices in reservoirs in China, p. 307-324. **Dans** J.A. Mathias, A.T. Charles et B.T. Hu (éds.) Integrated Fish Farming. Proc. Workshop on Integrated Fish Farming, 11-15 Oct. 1994, Wuxi, Jiangsu Prov., P.R. China, CRC Press, 420p.
- Heckman, C.W. 1979. Rice field ecology in Northeastern Thailand. *Monographs Biologicae* 34:1-228. Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Heidenreich, A. et M. Halwart. 1997. Fish farming and other Integrated Pest Management strategies against *Pomacea* snails in rice fields: a computer simulation, p. 287-290. **Dans** Y.Q. Zhou, H.Q. Zhou, C.Q. Yao, Y. Lu, F.Y. Hu, H. Cui et F.H. Din (éds.) The Fourth Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines.
- Heidenreich, A., Poethke, H.J., Halwart, M. et Seitz, A. 1997. Simulation der Populationsdynamik von *Pomacea canaliculata* (Prosobranchia) zur Bewertung von Managementmassnahmen. **Dans** J. Pfadenhauer (ed.) Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Proceedings of the Meeting of the German Society for Ecology 27: 441-446.
- Heinrichs, E.A. (éd.) 1994. Biology and management of rice insects. IRRI/Wiley Eastern Limited, New Delhi, India, 779p.
- Hendarsih, S., S. Suriapermana, A. Fagi et I. Manwan. 1994. Potential of fish in rice-fish culture as a biological control agent of rice pests (Abstract), p. 32. **Dans** C.R. De la Cruz (éd.) Role of fish in enhancing rice field ecology and in integrated pest management. Summary report of the 3rd Asian Regional Rice-Fish Farming Research and Development Workshop, 6-11 June 1993, Sukamandi Research Institute for Food Crops, West Java, Indonesia. ICLARM Conf. Proc. 43, 50p.
- Horskotte-Wesseler, G. 1999. Socio-economics of rice-aquaculture and IPM in the Philippines: synergies, potentials and problems. ICLARM Tech. Rep. 57, 225p.
- IIRR, IDRC, FAO, NACA et ICLARM. 2001. Utilizing different aquatic resources for livelihoods in Asia: a resource book. IIRR, Cavite, Philippines. International Development Research Center, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific and International Center for Living Aquatic Resources Management, 416p.
- IRRI. 1993. Rice research in a time of change. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Israel, D.C., R.C. Sevilleja, A.V. Circa et R.D. Cocio. 1994. Rice-fish culture: an output risk programming analysis. Freshwater Aquaculture Center, Central Luzon State University, Muñoz, Nueva Ecija, Philippines.
- Kamp, K. et R. Gregory. 1994. Fish cultivation as a means to increase profitability from rice fields: implications for integrated pest management, p. 29. **Dans** C.R. De la Cruz (éd.) Role of fish in enhancing rice field ecology and in integrated pest management. Summary report of the Third Asian Regional Rice-Fish Farming Research and Development Workshop, 6-11 June 1993, Sukamandi Research Institute for Food Crops, West Java, Indonesia, 50p.
- Kenmore, P. et M. Halwart 1998. Functional agrobiodiversity, Integrated Pest Management, and aquatic life management in rice. **Dans** Proceedings of the FAO/CBD International Workshop on Opportunities, Incentives, and Approaches for the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in Agricultural Ecosystems and Production Systems. FAO, Rome, Italy.
- Khoo, K.H. et E.S.P. Tan. 1980. Review of rice-fish culture in Southeast Asia, p. 1-14. **Dans** R.S.V. Pullin et Z.H. Shehadeh (éds.) Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on

- Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems, 6-9 August 1979, Manila, Philippines, 258p.
- Kim, B.H., H.D. Kim et Y.H. Kim. 1992. Rice-fish farming systems and future prospects in Korea, p. 63-68. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Koesoemadinata, S. 1980. Pesticides as a major constraint to integrated agriculture-aquaculture farming systems, p. 45-51. **Dans** R.S.V. Pullin et Z.H. Shehadeh (éds.) Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems, 6-9 August 1979, Manila, Philippines, 258p.
- Koesoemadinata, S. et B.A. Costa-Pierce. 1992. Development of rice-fish farming in Indonesia: past, present and future, p. 45-62. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Koesoemadinata, S. et Djajadiredja. 1976. Some aspects on the regulation of agricultural use of pesticides in Indonesia with reference to their effects on inland fisheries. Inland Fisheries Research Institute Cont. 3, 14p.
- Kuronoma, K. 1980. Carp culture in Japanese rice fields. (Edité et condensé par R.S.V. Pullin de l'œuvre original de l'auteur, publié en, 1954), p. 167-174. **Dans** R.S.V. Pullin et Z.H. Shehadeh (éds.) 1980. Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems, Manila, Philippines, 6-9 August 1979, 258p.
- Le, T.L. 1999. Small-scale aquaculture in the context of rural livelihood development in Viet Nam. FAO/NACA Expert Consultation on "Sustainable Aquaculture for Rural Development", 25-31 March 1999, Chiang Mai, Thailand.
- Li, D., N. Wu et T. Zhou. 1995. Effect of fish on growth and development of rice, p. 209-212. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Li, K. 1988. Rice-fish culture in China: A review. *Aquaculture* 71:173-186.
- Li, K. 1992. Rice-fish farming in China: past, present and future, p. 17-26. **Dans** C.R. de la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Li, K. 1998. Rice aquaculture systems in China: a case of rice-fish farming from protein crops to cash crops. **Dans** E.L. Foo et T. Della Senta (éds.) Integrated bio-systems in zero-emissions applications. Proc. of the Internet Conf. on Integr. Biosystems. Microbial Resources Center (MIRCEN), Unesco. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs>. 14p.
- Li, K. et Y. Pan. 1992. Ricefields as fish nurseries and growout systems in China, p. 151-164. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Li, X., W. Huaixun et Z. Yontai. 1995b. Economic and ecological benefits of rice-fish culture, p. 129-138. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Librero, A.R. 1992. Technology transfer in rice, corn and wheat in Asia and the Pacific, p. 19-67 **Dans** Technology transfer for small farmers in Asia. Report of the APO Study Meeting on Transfer of Technology to Small Farmers held in India, 10-19 Dec. 1990. Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan, 307p.
- Lightfoot, C., P. Pingali et L. Harrington. 1993. Beyond romance and rhetoric: sustainable agriculture and farming systems research, *NAGA*, ICLARM Q. 16(1):17-18.
- Lightfoot, C., A.A. van Dam et B.A. Costa-Pierce. 1992. What's happening to the rice yields in rice-fish systems?, p. 177-184. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Lin, X., L. Zhang et G. He. 1995. Economic analysis of rice-fish culture, p. 247-252. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Little, D.C., P. Surintaraseree et N. Innes-Taylor, 1996. Fish culture in rainfed rice fields of northeast Thailand. *Aquaculture* 140 (1996):295-321.
- Liu, C.C. 1995. Rice-azolla-fish cropping system, p. 210-208. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC) Ottawa, Canada, 276p.
- Macdonagh, E.J. 1946. Piscicultura del Pejerrey en el arrozal de la Facultad de Agronomía de la Plata. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 26:33-50.
- MacKay, K.T. 1992. Why do rice-fish research on farms?, p. 393-397. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- MacKay, K.T. (éd.) 1995. Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Magulama, E.E. 1990. Effect of planting pattern in rice-fish production system. University of the Philippines at Los Baños. 94p. M.S. thesis.
- Mai, T.D., T.D. Le, K.S. Dang, N.M. Pham et N.D. Nguyen. 1992. Rice field aquaculture systems in the Mekong Delta, Viet Nam: potential and reality. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.

- Man, H.S.H. et I.J. Hodgkiss. 1977. Studies on the ichthyofauna in Plover Cove Reservoir, Hong Kong: feeding and food relations. *J. Fish. Biol.* 11:1-13.
- Manna, G. B., M.S. Chaudhury et A.R. Bedekar. 1969. Control of weeds in rice fields. *Oryza* 6(2):90-94.
- Meien, V.A. 1940. Fish farming in rice fields. (Russian). Food Ind. Leningrad and Moscow, 96p.
- Metz, H.C. (éd.) 1994. Country Study - Madagascar. Federal Research Division. Library of Congress, Washington, DC, USA. (<http://lcweb2.loc.gov/frd/cs/mgtoc.html>)
- Meusch, E., J. Yhoung-Aree, R. Friend et S. Funge-Smith. 2003. The role and nutritional value of aquatic resources in the livelihoods of rural people – a participatory assessment in Attapeu Province, Lao PDR. FAO and IUCN, Bangkok, Thailand, 34p.
- Micha, J.C., J.P. Descy et F. Laviolette. 1996. Consumption of phytoplankton by *Oreochromis niloticus* in Lake Muhazi (Rwanda). (Abstract), p. 346 **Dans** R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) The Third International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 575p.
- Moehl, J.F., I. Beernaerts, A.G. Coche, M. Halwart et V.O. Sagua. 2001. Proposal for an African network on integrated irrigation and aquaculture. Proceedings of a workshop held in Accra, Ghana, 20-21 September 1999. Rome, FAO, 75p.
- Moody, K. 1992. Fish-crustacean-weed interactions, p. 185-192. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Moriarty, C.M. et D.J.W. Moriarty. 1973. Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George, Uganda. *J. Zool.* 171:15-24.
- Mukhopadhyay, P.K., D.N. Das et B. Roy. 1992. On-farm research in deepwater rice-fish culture in West Bengal, India, p. 255-272. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Munro, J.L. 1967. The food of a community of East African freshwater fishes. *J. Zool.* 151(3):389-415.
- Naik, I.U. 1973. Studies on *Tilapia mossambica* Peters in Pakistan. *Agric. Pak.* 24(1):47-76.
- Nalim, S. 1994. The impact of fish in enhancing rice field ecosystem. **Dans** C.R. De la Cruz (éd.) Role of fish in enhancing rice field ecology and in integrated pest management. Summary report of the 3rd Asian Regional Rice-Fish Farming Research and Development Workshop, 6-11 June 1993, Sukamandi Research Institute for Food Crops, West Java, Indonesia. ICLARM Conf. Proc. 43, 50p.
- Nandeesh, M.C. et G. Chapman. 1999. Aquaculture development in Bangladesh through capacity building: experiences of CARE. Paper presented at the Joint FAO/NACA Consultation for the Development of a Regional Collaborative Programme on Sustainable Aquaculture for Rural Development, 29-31 March 1999, Chiang Rai, Thailand, 11p.
- NAS. 1976. Making aquatic weeds useful: some perspectives for developing countries. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation, Board of Science and Technology for International Development, Commission on International Relations. National Academy of Sciences, Washington D.C., 175p.
- NFAC. 1980. 1979 Annual Report. National Food and Agriculture Council. Quezon City, Philippines.
- Ni, D. et J. Wang. 1995. Material cycles and economic returns in a rice-fish ecosystem, p. 177-182. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Nilsson, H. et D. Blariaux. 1994. Rice-cum-fish trials in Luapula Province, Zambia. ALCOM Field Document No. 25. Aquaculture for Local Community Development Programme, GCP/INT/555/SWE; GCP/RAF/277/BEL. FAO. Harare, Zimbabwe, Jan. 1994, 23p.
- Nzamujo, F. 1995. Aquaculture in Benin, p. 413-421. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Pillay, T.V.R. 1990. Aquaculture principles and practices. Fishing News Books, Oxford, England U.K., 575p.
- Pao, L.L. 1981. The present status of biocontrol of mosquitoes in China, p. 54-77. **Dans** M. Laird (éd.) Biocontrol of medical and veterinary pests. Praeger Inc.
- Pongsuwana, V. 1962. Progress of rice field fish culture in Thailand. p. 157-163. Proceedings of the 10th Indo-Pacific Fisheries Council (IPFC) Session II: 157-163.
- Purba, S. 1998. The economics of rice fish production systems in North Sumatra, Indonesia: an empirical and model analysis. Farming Systems and Resource Economics in the Tropics, Vol. 31. Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG.
- Quyen, M.V., L.T. Duong, D.K. Son, P.N. Minh et N.D. Nghia. 1992. Rice field aquaculture systems in the Mekong Delta, Viet Nam: potential and reality, p. 105-115. **Dans** C.R. de la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Ramsey, P. 1983. Rice-fish practices in Ifugao Province, Philippines. ICLARM Newsl. 6(3):8.
- Randriamiarana, H., A. Rabelahatra et J. Janssen. 1995. Rice/fish farming in Madagascar: the present situation and future prospects and constraints, p. 353-371. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal

- Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Reissig, W.H., E.A. Heinrichs, J. Litsinger, K. Moody, L. Fiedler, T.W. Mew et A.T. Barrion, 1986. Illustrated guide to integrated pest management in rice in tropical Asia. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Roger, P.A. 1996. Biology and management of the floodwater ecosystem in rice fields. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, 250p.
- Rola, A.C. et P.L. Pingali. 1993. Pesticides, rice productivity and farmers health: an economic assessment. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, 100p.
- Rosario, W.R. 1984. Rice-fish culture, p. 189-206. **Dans** Philippines (BFAR) Freshwater Aquaculture Extension Training Manual, Vol. III Technology. USAID-Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Quezon City, Philippines, 248p.
- Rothuis, A.J., D.K. Nhan, C.J.J. Richter et F. Ollevier. 1998a. Rice with fish culture in the semi-deep waters of the Mekong Delta, Viet Nam: a socio-economical survey. *Aquaculture Research* 29:47-57.
- Rothuis, A.J., D.K. Nhan, C.J.J. Richter et F. Ollevier. 1998b. Rice with fish culture in the semi-deep waters of the Mekong Delta, Viet Nam: Interaction of rice and fish husbandry management on fish production. *Aquaculture Research* 29:59-66.
- Rothuis, A.J., L.T. Duong, C.J.J. Richter et F. Ollevier. 1998c. Polyculture of silver barb, *Puntius gonionotus*, Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), and common carp, *Cyprinus carpio*, in Vietnamese rice fields: feeding ecology and impact on rice and rice field environment. *Aquaculture Research* 29:649-660.
- Ruddle, K. et M. Prein. 1998. Assessing potential nutritional and household economic benefits of developing integrated farming systems. **Dans** J.A. Mathias, A.T. Charles et H. Baotong (éds.) *Integrated fish farming*. CRC Press, Boca Raton, New York.
- Satari, G. 1962. Wet rice cultivation with fish culture. A study on some agronomical aspects. Univ. Indonesia, Bogor, Indonesia. 126p. Ph.D. thesis (en Bahasa, résumé en anglais).
- Saturno, J.O. 1994. Comparative analysis of rice-fish farming and rice monoculture in Nueva Ecija. 117p. Master's thesis.
- Schuster, W.H. 1955. Fish culture in conjunction with rice cultivation. *World Crops* 7:11-14; 67-70.
- Sevilleja, R.C. 1992. Rice-fish farming in the Philippines: past, present and future, p. 77-90. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Sevilleja, R.C., A.G. Cagauan, E.A. Lopez, C.R. de la Cruz et A.A. van Dam. 1992. Component technology research in rice-fish systems in the Philippines, p. 373-384. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Shehadeh, Z.H. et M. Pedini 1997. Aquaculture development research priorities in Africa and West Asia, p. 43-46. **Dans** J.H. Annala (éd.) *Fisheries and aquaculture research planning needs for Africa and West Asia*, ICLARM Conf. Proc. 50, 80p.
- Singh, V.P., A.C. Early et T.H. Wickham 1980. Rice agronomy in relation to fish culture, p. 15-34. **Dans** R.S.V. Pullin et Z.H. Shehadeh (éds.) *Proc. of the ICLARM-SEARCA Conf. on Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems*, 6-9 August 1979, Manila, Philippines, 258p.
- Spataru, P. et M. Zorn. 1976. Some aspects of natural feed and feeding habits of *Tilapia galilaea* (Arteidi) and *Tilapia aurea* (Steindachner) in Lake Kinneret. *Bamidgeh* 28:12-17.
- Spataru, P. et M. Zorn. 1978. Food and feeding habits of *Tilapia aurea* (Steindachner) (Cichlidae) in Lake Kinneret (Israel). *Aquaculture* 13(1):67-79.
- Syamsiah, I., S. Suriapermana et A.M. Fagi. 1992. Research on rice-fish culture: past experiences and future research program, p. 287-293. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Tamura. 1961. Carp cultivation in Japan, p. 103-120. **Dans** G. Borgstrom (éd.) *Fish as Food*. Vol. 1. Academic Press, New York.
- Thongpan, N., M. Singreuang, C. Thaila, S. Mankheng, S. Kaeowsawat et J.D. Sollows. 1992. On-farm rice-fish farming research in Ubon Province, Northeast Thailand, p. 301-314. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Tokrishna, R. 1995. Integration of agriculture, livestock and fish farming in Thailand, p. 245-263. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) *Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas"*, 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Torres, J., N.A. Macabale et J.R. Mercado. 1992. On-farm rice-fish farming systems research in Guimba, Nueva Ecija, Philippines, p. 295-300. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) *Rice-fish research and development in Asia*. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Tuan, N.A. 1994. Culturing fish in rice fields as a means of preventing insect infestations: preliminary observations (Abstract), p. 31. **Dans** C.R. De la Cruz (éd.) *Role of fish in enhancing rice field ecology and in integrated pest management*. Summary report of the 3rd Asian Regional Rice-Fish Farming Research and

- Development Workshop, 6 -11 June 1993, Sukamandi Research Institute for Food Crops, West Java, Indonesia. ICLARM Conf. Proc. 43, 50p.
- Tuong T.P., S.P. Kam, L. Wade, S. Pandey, B. Bouman et B. Hardy (éds.) 2001. Characterising and understanding rainfed environments. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Univ. of Durham. 1987. Hydrology of deepwater rice fields in Bangladesh and Thailand: general report on contracts for U.S. Overseas Dev. Adm. and Comm. of the European Community, Univ. of Durham Dept. of Botany, Durham, England, 57p.
- Van den Berg, F. 1996. Lessons from Madagascar. FAO Aquaculture Newsletter 12 (4):14-16.
- Verheust L., E. Rurangwa et F. Ollevier. 1995. Tilapia-*Clarias* polyculture in Rwanda with special emphasis on the integration of pisciculture-agriculture animal husbandry, p. 401-412. **Dans** J.J. Symoens et J.C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Villadolid, D.V. et P.A. Acosta. 1954. Raising tilapia for food and profit. Pamphlet Department of Agriculture and Natural Resources, Bureau of Fisheries, Manila, Philippines, 7p.
- Vincke, M.M.J. 1995. The present state of development in continental aquaculture in Africa, p. 27-61. **Dans** J.J. Symoens et J.-C. Micha (éds.) Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994. Tech. Center for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, 587p.
- Waibel, H. 1992. Comparative economics of pesticide use in rice and rice-fish farming, p. 245-254. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Wan, B. et Q. Zhang. 1995. New techniques for raising fish in flooded rice fields, p. 85-90. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Wan, Q., K. Li, P. Li, H. Gu et X. Zhou. 1995. Developing rice-fish culture in shallow waters in lakes, p. 67-76. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Wang, J. and D. Ni, 1995. A comparative study of the ability of fish to catch mosquito larva, p. 217-222. **Dans** K.T. MacKay (éd.), 1995. Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC) Ottawa, Canada, 276p.
- Wang, B. et Q. Zhang. 1995. Cultivating different breeds of fish in rice fields, p. 139-146. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Wang, G. et Song Q. 1999. Culture of Chinese mitten-handed crab. Aquaculture Asia 6(2):18-21.
- Wassef, E.A. 2000. Status of aquaculture in Egypt. World Aquaculture 31 (1):29-32, 60-61.
- Weatherley, A.H. et B.M.G. Cogger. 1977. Fish culture: problems and prospects. Science 197(4302):427-430.
- Willmann, R., M. Halwart et U. Barg, 1998. Integrating fisheries and agriculture to enhance fish production and food security. FAO Aquaculture Newsletter, Dec. 1998, No. 20:3-8.
- Wu, L. 1995. Methods of rice-fish culture and their ecological efficiency, p. 91-96. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Xiao, P. 1995. Fish culture in rice fields: rice-fish symbiosis, p. 183-188. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Xiao, Q.Y. 1992. Role of fish in pest control in rice farming, p. 235-244. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Xu, S. 1995b. The development of rice-fish farming in Chongqing City, p. 43-48. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Yan, D., J. Ping, Z. Wenliang, Z. Chuanlu et W. Yingduo. 1995a. Ridge-cultured rice integrated with fish farming in trenches, Anhui Province, p. 97-102. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Yang, G., Q. Xiao et T. He. 1995. Techniques adopted in rice-azolla-fish system with ridge culture, p. 107-116. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Yap, W.G. 1998. Who's afraid of El Niño? Aquaculture Asia 3(1) 45-49.
- Yu, S.Y., W.S. Wu, H.F. Wei, D.A. Ke, J.R. Xu, et Q.Z. Wu. 1995. Ability of fish to control rice diseases, pests, and weeds, p. 223-228. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.
- Yunus, M., A. Hardjamulia, I. Syamsiah et S. Suriapermana. 1992. Evaluation of rice-fish production systems in Indonesia, p. 131-138. **Dans** C.R. De la Cruz, C. Lightfoot, B.A. Costa-Pierce, V.R. Carangal et M.P. Bimbao (éds.) Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- Zhang, R. 1995. Scientific and technological development of rice-fish culture in China, p. 23-30. **Dans** K.T. MacKay (éd.) Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 276p.

Publications connexes

- Balzer, T., Balzer, P. et Pon, S. 2002. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. I. Kampong Thom Province, Kingdom of Cambodia. Edité par M. Halwart & D. Bartley (FAO) et H. Guttman (éditeur invité, MRC). CD ROM. FAO, Rome
- De la Cruz, C.R., Lightfoot, C., Costa Pierce, B.A., Carangal, V.R. et Bimbao, M.P. (éds). 1992. Rice-fish research and development in Asia. ICLARM Conf. Proc. 24, 457p.
- FAO/ICLARM/IIRR. 2003. Intégration agriculture-aquaculture – Principes de base et exemples. FAO Document technique sur les pêches. No. 407. Rome, FAO. 161p.
- Gupta, M.V., Sollows, J.D., Abdul Mazid, M., Rahman, A., Hussain, M.G. et Dey, M.M. 1998. Integrating aquaculture with rice farming in Bangladesh: Feasibility and economic viability, its adoption and impact. ICLARM Tech. Rep. 55, 90p.
- Halwart, M. 1994. Fish as biocontrol agents in rice. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 169p.
- Horskotte-Wesseler, G. 1999. Socio-Economics of rice-aquaculture and IPM in the Philippines: Synergies, potentials and problems. ICLARM Tech. Rep. 57, 225p.
- IIRR, IDRC, FAO, NACA et ICLARM. 2001. Utilizing different aquatic resources for livelihoods in Asia: A resource book. International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Center, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific et International Center for Living Aquatic Resources Management, 416p.
- MacKay, K.T. (éd). 1995. Rice-fish culture in China. International Development Research Centre (IDRC) Ottawa, Canada, 276p.
- Mathias, J.A., Charles, A.T. et Hu, B.T. (éds). 1998. Integrated fish farming. Proc. Workshop on Integrated Fish Farming, 11-15 October 1994, Wuxi, Jiangsu Prov., Chine. CRC Press, 420p.
- Symoens, J.J. et Micha, J.C. (éds). 1995. Proceedings of the Seminar on "The Management of Integrated Agro-Piscicultural Ecosystems in Tropical Areas", 16-19 May 1994, Brussels. Tech. Centre for Agric. and Rural Co-op. (CTA) Royal Academy of Overseas Sciences, Bruxelles, 587p.



Le riz est actuellement cultivé dans 113 pays. La riziculture offre aussi un milieu adapté pour l'élevage de poisson et autres organismes aquatiques. Cette publication fait la synthèse des informations disponibles sur le rôle que l'aquaculture peut jouer dans les systèmes agricoles rizicoles en vue d'atteindre la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté.

Cette analyse décrit l'histoire qui a conduit à l'intégration de l'aquaculture aux différents écosystèmes rizicoles; elle décrit également les différents systèmes de production en opération – tels que les systèmes simultanés, à rotation et en alternance – les modifications nécessaires aux rizières pour intégrer la pisciculture à la riziculture, et la gestion agronomique et aquacole requise. Les avantages, d'ordre économique et environnemental, tirés par les communautés font également l'objet de descriptions comprenant des analyses des expériences vécues par les différents pays.

Les réels impacts de la rizipisciculture ainsi que son futur potentiel en termes d'amélioration des revenus et de nutrition sont significatifs mais généralement sous-estimés et sous-évalués. Des changements notables se sont fait sentir dans la lutte contre les ravageurs dans le domaine de la riziculture, ainsi que dans la production et la disponibilité de semences de poisson, rendant ainsi ce moment particulièrement opportun pour insister sur l'importance de la rizipisciculture. Le potentiel d'expansion de la rizipisciculture est considérable dans de nombreux pays, tout comme la possibilité de contribuer de manière substantielle à la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la planète.

ISBN 978-92-5-205605-8



A0823F/1/06.10/500

