

La pisciculture

À partir de la contribution de L. Dabbadie (CIRAD),
J. Lazard (CIRAD) et M. Oswald (APDRAF)

L'aquaculture d'eau douce est sans conteste la plus ancienne activité de production de ressources aquatiques ; ses premières traces connues remontent à 2 500 ans. Le poisson en est le principal produit et l'étang de terre est à la fois le mode de production le plus ancien et le plus employé, puisque sa contribution à la production aquacole d'eau douce représente 80 à 85 % de la totalité.

L'aquaculture d'eau douce diffère des autres systèmes aquacoles par un certain nombre de caractéristiques. Elle permet, à différents niveaux, une forte intégration aux systèmes de production agricoles (agriculture et élevage) grâce à l'utilisation de l'eau, au recyclage des déchets comme fertilisants des étangs de pisciculture, ou à l'utilisation de sous-produits agricoles comme aliments pour le poisson. La production aquacole d'eau douce repose principalement sur des espèces à chaîne alimentaire courte (carpes, tilapias) et se distingue ainsi nettement de l'élevage d'espèces marines basé principalement sur des poissons carnivores (saumon, sériole). L'aquaculture d'eau douce est surtout mise en œuvre à travers des systèmes de production aquacoles extensifs et semi-intensifs dans lesquels la polyculture, la fertilisation et l'alimentation complémentaire constituent les points essentiels à maîtriser.

Ces dernières décennies, des innovations biotechniques majeures ont eu un impact important sur le développement de l'aquaculture d'eau douce : maîtrise de la reproduction artificielle de nombreuses espèces piscicoles, utilisation d'aliments complémentaires ou artificiels, amélioration génétique, introduction d'espèces exotiques dans de nombreux pays. Pourtant, malgré tous les travaux de recherche menés dans ce domaine, l'étang, en tant qu'environnement d'élevage, demeure une véritable boîte noire dans laquelle les poissons se nourrissent à différents niveaux du réseau trophique et où les espèces interagissent activement. Les progrès des pratiques d'élevage ont été obtenus davantage grâce à des processus d'essai-erreur qu'à travers une démarche scientifique planifiée.

LA PRODUCTION PISCICOLE DANS LE MONDE

En 1995, la production mondiale de poissons, crustacés, mollusques et végétaux aquatiques a atteint 120,7 millions de tonnes, au sein desquelles l'aquaculture a contribué à hauteur de 27,8 millions de tonnes. De 1989 à 1995, la contribution annuelle de l'aquaculture à la production aquatique totale est passée de 14,4 % à 23 %, et plus d'un quart de l'approvisionnement mondial en poisson de consommation a pour origine l'aquaculture. Les pays d'Asie sont les principaux producteurs, notamment la Chine, l'Inde et l'Indonésie, qui produisent respectivement 67 %, 6,7 % et 3,1 % de la production aquacole mondiale.

La production aquacole asiatique a augmenté entre 1984 et 1995 à un taux de croissance moyen annuel de 10,4 % ; elle représente aujourd'hui plus de 90 % de la production mondiale. L'essentiel de cette croissance est cependant dû à la Chine. En Afrique et en Amérique latine, la production aquacole est considérablement plus faible. Néanmoins, même avec une production totale moindre, le taux de croissance est élevé puisqu'il a atteint 12,7 % en Afrique et 12,8 % en Amérique latine durant la même période.

● **Une production dominée par les poissons d'eau douce**

Si on exclut les plantes aquatiques, les poissons et les mollusques d'eau douce dominent la production ; ils représentent, en 1995, environ 63 % du tonnage total des poissons et coquillages cultivés. Les élevages en eau saumâtre (principalement des crustacés) et marine (principalement des mollusques) ont contribué respectivement à 7 % et 30 %.

Parmi les 292 espèces listées par les statistiques de la FAO en 1995 et pour lesquelles des données sont disponibles, les vingt-deux premières espèces représentent 80 % de la production totale. Parmi ces vingt-deux espèces, pratiquement tous les animaux élevés sont des filtreurs, des herbivores, ou des omnivores. Une seule espèce, le saumon atlantique, est carnivore et il s'agit clairement d'une espèce mineure en terme de volume de production. Le groupe le plus important est celui des poissons d'eau douce : 12,7 millions de tonnes, en comparaison avec 1,4 million de tonnes pour les poissons amphihalins et 0,6 million de tonnes pour les poissons marins.

Les poissons d'eau douce sont dominés par les cyprinidés et les tilapias. Avec une contribution de 10,3 millions de tonnes en 1995, les cyprinidés présentent un certain nombre d'avantages comparatifs qui devraient leur permettre de maintenir leur prépondérance à court et moyen terme : ils peuvent utiliser des aliments au contenu en protéines et en farine de poisson limité ; ils peuvent être élevés en polyculture, permettant de valoriser de manière optimale la productivité naturelle des étangs et des plans d'eau dans lesquels ils sont stockés ; ils correspondent aussi à des marchés porteurs dans les pays asiatiques, en raison des traditions et des prix relativement bas.

● **Les carpes chinoises et indiennes**

Quelques espèces de carpes dominent l'élevage des cyprinidés : les carpes chinoises (carpe argentée, carpe herbivore, carpe marbrée, carassin, carpe noire et carpe de vase), la carpe commune, et les carpes indiennes majeures (rohu, catla et mrigal). En 1995, ces dix espèces représentaient 80 % de toutes les carpes élevées.

L'élevage des carpes chinoises est dominé par trois espèces : les carpes argentée, herbivore et marbrée (70 % de la production totale de carpes chinoises en 1995).

La carpe commune contribue pour 21 % et est géographiquement la plus répandue, étant élevée dans 86 pays. En 1995, les plus importants producteurs de carpe commune étaient, outre la Chine, l'Inde, l'Indonésie, la fédération de Russie et l'Ukraine.

Toute la production de carpes indiennes majeures est issue de l'aquaculture et de l'élevage des trois espèces principales. Elle a progressé à un taux annuel de 12 % entre 1984 et 1995. Pratiquement toute la production de carpes indiennes majeures provient d'Inde, mais ces dernières années une part croissante a été élevée en Birmanie, en Thaïlande et au Laos.

● Les tilapias d'aquaculture

Entre 1984 et 1995, la contribution des tilapias d'aquaculture à la production totale de tilapia est passée de 38 % (198 000 t) à 57 % (659 000 t). Quatre espèces ou groupes d'espèces de cichlidés (tilapia du Nil, tilapias non identifiés, tilapia du Mozambique et tilapia bleu) ont dominé la production entre 1984 et 1995, où ils ont contribué pour 99,5 % à la production de tous les cichlidés. Le tilapia du Nil a représenté 72 % de la production totale de tilapia ; le taux de croissance annuel de sa production entre 1984 et 1995 a été de 19 %. En 1995, les principaux producteurs de tilapia ont été la Chine (315 000 t), les Philippines (81 000 t), l'Indonésie (78 000 t) et la Thaïlande (76 000 t).

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PISCICULTURE

Les différents systèmes de production piscicole sont généralement caractérisés par leur degré d'intensification, lui-même défini selon les pratiques d'alimentation ; l'aliment exogène représente en effet en général plus de 50 % du coût total de production dans les systèmes intensifs. Cependant l'intensification concerne de nombreux autres facteurs de production, comme l'eau, le foncier, le capital et le travail.

Une première classification peut être établie de la manière suivante :

- > *les systèmes de production piscicole extensifs, basés sur la productivité naturelle de l'environnement ou de la structure d'élevage des poissons, sans ou avec très peu d'apports d'intrants.* Les systèmes d'intégration entre riziculture et pisciculture (rizipisciculture) appartiennent à cette catégorie extensive, puisque le poisson bénéficie des intrants apportés pour la culture du riz ;
- > *les systèmes de production piscicole semi-intensifs reposant sur l'utilisation d'une fertilisation ou sur l'emploi d'une alimentation complémentaire, sachant qu'une part importante de l'alimentation du poisson est fournie in situ par l'aliment naturel.* Les élevages associés du type volaille-poisson ou porc-poisson appartiennent typiquement à ce type de pisciculture, ainsi que tous les systèmes piscicoles recyclant différents types de déchets, notamment les systèmes de recyclage direct (étangs à latrines du Vietnam par exemple) ou indirect. Ces différents systèmes permettent d'obtenir des rendements piscicoles élevés ;
- > *les systèmes intensifs et superintensifs, dans lesquels tous les besoins nutritionnels des poissons sont satisfaits par l'apport exogène d'aliments complets, avec pas ou très peu d'apports nutritionnels issus de la productivité naturelle du bassin ou du plan d'eau dans lequel le poisson est élevé (lac, rivière).* L'aliment utilisé dans ces systèmes d'élevage est généralement riche en protéines (25 à 40 %) ; il est par conséquent coûteux. Les principales infrastructures d'élevage de ce type de pisciculture sont les enclos, les cages ou les *raceways*¹, avec des taux de renouvellement de l'eau très élevés.

Les différents types de systèmes de production piscicole sont présentés dans le tableau 1 selon leur degré d'intensification.

¹ Bassin de forme allongée et à fort renouvellement d'eau.

Tableau 1. Différents niveaux d'intensification des systèmes d'élevage piscicole

Densité de poissons à la mise en charge	< 1/m ²	1 à 5/m ²		5 à 10/m ²	10 à 100/m ²
Structure d'élevage	Etang	Etang	Etang	Etang/cage	Cage/raceway
Rendement (t/ha/an)	0 – 1	1 – 5	5 – 15	15 – 50	50 et plus jusqu'à 100 kg.m ⁻³
Intrants	Pas d'intrants	Macrophytes Fumure	Fumure et aliment simple	Aliment composé	Aliment composé
Taux journalier de renouvellement de l'eau (%)		< 5 compensation des pertes	5 à 10	10 à 30 aération Recirculation de l'eau	> 30 aération/oxygénation
Niveau d'intensification	Extensif	Semi-intensif	Semi-intensif	Intensif	Super intensif

Un exemple intéressant de système intermédiaire entre la pisciculture semi-intensive en étang et l'élevage superintensif de poisson est donné par l'élevage de tilapia en cage flottante dans les eaux productives de plans d'eau tels que les lacs volcaniques des Philippines. La densité d'empoissonnement en jeunes tilapias (*fingerlings*) est adaptée à la taille de la cage, à la productivité naturelle de l'eau et au mode de gestion. Aux faibles densités d'empoissonnement (jusqu'à 25 poissons/m²), l'alimentation complémentaire n'est pas forcément nécessaire, notamment dans les lacs productifs aux périodes où le plancton est abondant. Mais, pour accélérer la croissance du poisson pendant les mois peu productifs, une alimentation complémentaire peut être fournie, à raison de 3 à 5 % de la biomasse de poisson par jour.

Tableau 2. Densité d'empoissonnement du tilapia du Nil en cages de différentes tailles dans les lacs naturels des Philippines et modalités d'exploitation

Taille de la cage* (m ²)	Nombre de poisson/m ²	Nombre de poisson par cage	modalités d'exploitation
1 (1 x 1)	200	200	avec aliment
25 (5 x 5)	100	2 500	avec aliment
100 (10 x 10)	50	5 000	avec ou sans aliment
400 (20 x 20)	25	10 000	avec ou sans aliment

* Cage de 2 m de profondeur en moyenne.

Une autre typologie des systèmes de production piscicole peut être proposée, basée sur une différenciation entre :

- > les systèmes où l'aliment a pour origine essentielle (ou unique) l'écosystème (cas de l'écosystème étang), systèmes appelés *piscicultures de production*,
- > et les systèmes où l'aliment est entièrement exogène et où le poisson se nourrit entièrement grâce à des aliments artificiels, généralement sous forme de granulés et comportant une proportion parfois très élevée de farine de poisson², systèmes appelés *piscicultures de transformation*.

La gestion du premier type fait appel à la fertilisation ou à l'alimentation complémentaire, ainsi qu'à la mise en oeuvre de la polyculture. Il existe une forte interaction

² Systèmes comparables aux systèmes d'élevage « hors-sol » des animaux terrestres.

entre la densité d'empoissonnement, le poids individuel final des poissons (taux de croissance) et le rendement qui doit être géré de manière attentive. En revanche, la gestion du second type repose essentiellement sur la monoculture, des densités d'empoissonnement élevées et une alimentation artificielle riche en protéines.

La décision de mettre en œuvre l'un de ces types de système piscicole dépend de nombreux facteurs qui sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques des deux principaux types de pisciculture vis-à-vis des différents facteurs de production.

Facteur de production	Pisciculture de transformation	Pisciculture de production
Foncier	+	–
Eau	débit	surface
Impact environnement	–	+
Capital/fonds de roulement	–	+
Force de travail (par kg de poisson produit)	+	+
« Aliment »	–	+
Technicité	–	–
Risque	–	+
Coût de production	–	+
Rendement	+	–
Plasticité (ex : production d'alevins)	–	+

Le signe – indique que le facteur de production constitue une contrainte pour la mise en œuvre du type de pisciculture concerné; le signe + un atout.

● Quel modèle piscicole transférer ?

Pendant longtemps il a été admis que la pratique de la *pisciculture de production* ne nécessitait qu'un faible niveau de technicité de la part des pisciculteurs en comparaison des systèmes basés sur une alimentation exogène. La réalité est loin d'être aussi simple. Le système s'est surtout développé dans des pays ayant une tradition piscicole ancienne et où le savoir-faire ancestral, bien qu'empirique, joue un rôle essentiel. Les nombreuses tentatives de transfert de ces modèles piscicoles vers des pays où il n'y avait pas de tradition piscicole ont échoué.

Les modèles aquacoles intensifs, basés sur des technologies plus évoluées, s'avèrent en fin de compte peut être plus faciles à transférer puisque leurs principales composantes³ sont bien définies et que l'élevage est conduit dans un environnement où les composantes naturelles non contrôlées interfèrent peu (élevage en cages en lacs et rivières) ou pas du tout (raceways, bacs). Le niveau de risque, en termes de maladies des poissons, est toutefois considérablement réduit dans les systèmes d'élevage extensifs par rapport aux systèmes intensifs. Les coûts de production et les rendements sont supérieurs dans les systèmes intensifs.

● Les étangs piscicoles

En termes de besoins fonciers, pour un niveau de production donné, les étangs nécessitent davantage de surface foncière (ou surface en eau) que les systèmes piscicoles plus intensifs qui, eux, nécessitent des taux de renouvellement en eau élevés. Les étangs de pisciculture ont en général un faible impact négatif sur l'environnement. Ils

3 Densité d'empoissonnement, taux de nourrissage, composition de l'aliment.

peuvent être utilisés pour recycler différents types de déchets comme les effluents (domestiques ou d'élevage), directement dans des milieux empoissonnés ou indirectement via des bassins de stabilisation et de maturation (lagunage où le poisson constitue le maillon ultime).

L'investissement en capital nécessaire à la construction des étangs peut être substitué par la capacité de travail du pisciculteur, ce qui n'est pas le cas pour les cages, enclos ou bacs qui requièrent du matériel devant être acheté, voire importé. L'approvisionnement en intrants des systèmes basés sur l'emploi d'un aliment de haute qualité nécessite un fonds de roulement élevé, ce qui n'est généralement pas le cas des systèmes semi-intensifs utilisant des intrants peu coûteux comme les sous-produits agricoles ou les déchets d'élevage ou agricoles.

Exprimée en hommes-jours par unité de poisson récoltée, la quantité de travail requise pour la gestion des systèmes d'élevage est supérieure avec les étangs (principalement pour la maintenance des infrastructures, le nettoyage, la fertilisation et la récolte) qu'avec les cages ou les autres systèmes de production intensive de poisson.

L'étang constitue une infrastructure d'élevage du poisson multi-usages, qui peut être utilisée pour le stockage de géniteurs et la maturation, pour la reproduction en utilisant diverses méthodes (naturelle, semi-naturelle et artificielle), l'élevage larvaire et le grossissement. De plus, la production d'alevins peut être réalisée dans des structures comme les hapas utilisés pour le tilapia, structures placées elles-mêmes au sein des étangs. Au contraire, les infrastructures de type intensif sont habituellement spécialisées dans la production de poissons de taille marchande.

LES PRINCIPALES ESPÈCES PISCICOLES

● Les carpes

Sept principales espèces de carpes sont élevées dans le monde et elles sont traditionnellement regroupées sur la base de leur répartition géographique :

- > les carpes dites chinoises incluent la carpe herbivore ou amour blanc *Ctenopharyngodon idella*, la carpe argentée, *Hypophthalmichthys molitrix* et la carpe marbrée ou à grosse tête, *Aristichthys nobilis* ;
- > les carpes majeures indiennes comprennent le catla, *Catla catla*, le rohu, *Labeo rohita* et le mrigal, *Cirrhinus mrigala* ;
- > la septième espèce est la carpe commune, *Cyprinus carpio*.

Sur le plan taxonomique, les carpes appartiennent à la famille des Cyprinidés (ordre des Cypriniformes).

● Les carpes majeures chinoises

● La carpe herbivore

La carpe herbivore peuple naturellement les rivières avec plaines d'inondation de Chine ainsi que les sections moyennes et inférieures du fleuve Amour en Russie. Elle a été introduite dans plus de cinquante pays du monde entier depuis le début du xx^e siècle. Le principal objectif, outre son élevage, était très souvent le contrôle biolo-

gique de la prolifération des végétaux aquatiques dans les cours d'eau naturels, les lacs, les retenues et les canaux d'irrigation. La carpe herbivore possède en effet des dents pharyngiennes dont la structure permet de râper la végétation aquatique. Les adultes sont capables de mastiquer les feuilles de plantes terrestres comme les graminées. Le rapport entre la longueur de l'intestin et la longueur standard varie entre 1,6 et 2,7 chez les adultes (0,5 pour les larves). La digestion des fibres par les carpes herbivores est incomplète ; environ la moitié de la biomasse alimentaire ingérée est rejetée sous formes de fèces qui sont censées permettre directement ou indirectement le développement d'une biomasse importante d'autres espèces de poissons.

L'alimentation naturelle des alevins est constituée en priorité de protozoaires, rotifères et nauplii, puis de cladocères, copépodes et d'algues benthiques lorsque la larve atteint 20-25 mm de long. Ensuite, le régime alimentaire naturel s'oriente vers le phytoplancton et, pour les poissons de plus de 30 mm, les macrophytes. Les végétaux consommés varient selon les régions du monde, mais il s'agit généralement de : *Wolffia*, *Lemna*, *Spirodela*, *Hydrilla*, *Najas*, *Ceratophyllum*, *Potamogeton*, *Vallisneria* et *Myriophyllum*. En élevage, la carpe herbivore est souvent alimentée avec des produits comme les céréales, les tourteaux, les pupes de ver à soie ou les déchets de cuisine.

En milieu naturel, la carpe herbivore atteint un poids compris entre 200 et 650 g à la fin de la première année ; après quatre ans, elle peut peser 4 à 5 kg. Dans le Yangtze, des poissons dont le poids dépassait 20 kg ont été capturés. En élevage, la croissance est le résultat de nombreux facteurs : densité d'empoissonnement, qualité de l'alimentation, compétition avec d'autres espèces en cas de polyculture etc. La croissance journalière moyenne varie entre 2,8 et 9,8 g/j selon les conditions d'élevage et l'environnement climatique.

L'âge auquel elle atteint sa maturité varie fortement selon le climat et surtout selon la température : de un à deux ans en Asie tropicale, jusqu'à huit à dix ans dans des pays froids (Russie). Sa fécondité relative est comprise entre 80 000 et 120 000 œufs par kg de poids de la femelle (tableau 4).

Tableau 4. Fécondité relative (nombre d'ovules par kg de poids vif de femelle) des principales carpes d'élevage

Espèce de carpe	Nombre d'ovules par kg de poids vif de femelle
Carpe herbivore	80 000 – 120 000
Carpe argentée	160 000 – 195 000
Carpe marbrée	70 000 – 130 000
Carpe commune	90 000 – 300 000
Catla	100 000 – 250 000
Cohu	100 000 – 400 000
Mrigal	90 000 – 420 000

Dans son environnement d'origine, cette carpe se reproduit durant les mois de mousson, en rivière, mais elle ne semble pas pondre spontanément en eau stagnante d'étang ou en bacs. Dans ces conditions, une ponte induite doit être provoquée.

● La carpe argentée

La carpe argentée occupe naturellement les bassins des rivières Yangtze, West River, Kwangsi et Kwangtung en Chine centrale et du Sud, et le bassin de l'Amour en Russie. L'espèce a été introduite dans de nombreux pays à des fins d'aquaculture.

Son régime alimentaire repose principalement sur le zooplancton, les rotifères et les nauplii de copépodes aux jeunes stades, puis s'étend aux copépodes, cladocères et au phytoplancton lorsque le poisson grossit. Les alevins de grande taille et les adultes se nourrissent principalement de phytoplancton (*Flagellata*, *Dinoflagellata*, *Myxophyceae*...). Cette espèce possède des adaptations anatomiques et morphologiques corrélées à son régime alimentaire essentiellement phytoplanctivore. L'intestin est quinze fois plus long que le corps. Les branchies de la carpe argentée possèdent un réseau complexe de branchiospines abondants et serrés, permettant au poisson de filtrer des cellules algales de petite taille (jusqu'à 30 μm de diamètre).

En élevage, la carpe argentée peut atteindre 1,8 kg au bout de deux ans, 4,6 kg après trois ans ; généralement la croissance commence à décroître à partir de la quatrième année. Le taux de croissance moyen est de 6,3 $\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ durant les trois premières années d'élevage.

Comme pour la carpe herbivore, l'âge de première maturité de la carpe argentée dépend essentiellement de la température. Par exemple, en Chine du Nord, la maturité sexuelle est atteinte après cinq ou six ans (poids : 2-5 kg) alors qu'en Chine du Sud, la maturité est obtenue après seulement deux ou trois ans (même poids individuel).

La fécondité relative moyenne de la carpe argentée est légèrement supérieure à celle de la carpe herbivore. Le poisson se reproduit dans le milieu naturel entre avril et juillet dans les eaux courantes de son habitat d'origine, les rivières de Chine, mais elle ne se reproduit pas spontanément en étangs ou en bacs où la reproduction induite est nécessaire.

● La carpe marbrée

L'habitat d'origine de cette carpe est le même que celui de la carpe argentée ; elle a également été introduite dans de nombreux pays. Les larves de carpe marbrée se nourrissent de différents organismes planctoniques unicellulaires, de nauplii et de rotifères. Les alevins de grande taille et les adultes se nourrissent principalement de plancton animal ; leur tube digestif est bien plus court que celui de la carpe argentée. Les habitudes alimentaires de la carpe marbrée sont très proches de celles des carpes majeures indiennes. Aussi la compétition pour l'alimentation entre ces deux groupes est-elle très forte lorsqu'ils sont élevés en polyculture dans le même étang.

Dans des conditions d'élevage favorables, les taux de croissance des fingerlings peuvent atteindre 6,3 g/j et celui des adultes 14,7 g/j alors que le poids individuel de la carpe marbrée atteint dans ces conditions 3,2 kg après deux ans d'élevage et 10,7 kg après trois ans.

L'âge de première maturité de la carpe marbrée est de trois ou quatre ans en Chine du Sud (poids : 5-10 kg) et de six ou sept ans en Chine du Nord (même poids). Le poisson pond durant la mousson dans son habitat d'origine mais il ne se reproduit pas spontanément en captivité.

● Les carpes majeures indiennes

● *Le catla*

Le catla est originaire des sections d'eau douce des rivières du nord de l'Inde, du Pakistan, du Bangladesh et de Birmanie. L'espèce a été introduite dans les rivières de la péninsule indienne et, plus récemment, dans différents pays de l'est et du sud-est asiatique.

Au stade juvénile, le catla se nourrit principalement de zooplancton (crustacés) et lorsqu'il est adulte de zooplancton (deux tiers) et d'algues (un tiers). Ses proies alimentaires sont principalement d'origine pélagique (produites en pleine eau) mais une partie provient aussi du fond.

Le catla est la carpe majeure indienne qui grossit le plus vite. Lorsque les conditions d'élevage sont favorables, il peut atteindre un poids de 3,2 à 4,1 kg après un an, 10,9 kg après deux ans et 18 kg après trois ans.

Le catla atteint sa maturité sexuelle en étangs pendant sa deuxième année de vie, à un poids moyen d'environ 3 kg. La fécondité relative se situe entre 100 000 et 250 000 œufs/kg de poids vif de la femelle, lorsque le stock de géniteurs a plus de trois ans.

La saison de reproduction du catla survient entre mai et août en Inde du Nord et du nord-est, au Bangladesh et au Pakistan. Dans les rivières du sud de l'Inde, elle est plus fluctuante (mai-octobre) et peut survenir deux fois par an.

● *Le rohu*

La distribution naturelle du rohu est identique à celle du catla. Cette espèce a également été introduite sur tous les continents. Son alimentation repose sur la matière végétale, y compris la végétation en décomposition. Il se nourrit aussi bien dans la colonne d'eau que sur le fond, bien qu'il soit moins adapté à la filtration du zooplancton que les autres carpes indiennes. Jusqu'à 100-200 mm de long, les alevins et juvéniles de rohu se nourrissent d'algues unicellulaires ou filamenteuses et de végétation en décomposition, la part relative de ces dernières augmentant chez les poissons plus grands. En conditions d'élevage, le rohu montre un potentiel de croissance inférieur à celui du catla mais qui reste très élevé. Les meilleures performances enregistrées sont de 1 kg après un an et 2,6 à 5,4 kg au bout de la deuxième année d'élevage.

En étang, le rohu atteint sa première maturation sexuelle à la fin de la deuxième année, mais il a été observé en Inde que cette maturité peut aussi être atteinte en une année seulement (trois ou quatre ans au Bangladesh). Le poids moyen à la première maturité se situe autour de 0,5 kg (longueur : 350 mm). La fécondité relative du rohu indiquée dans la littérature varie entre 100 000 et 400 000 œufs par kg de poids vif des femelles. Sa saison de reproduction coïncide avec la mousson, de juin à septembre dans la plupart des régions du sous-continent indien.

● *Le mrigal*

L'habitat naturel du mrigal est le même que celui du rohu et du catla, et il a également été introduit dans les eaux de la péninsule indienne et des autres pays d'Asie tropicale à des fins d'aquaculture.

Le mrigal se nourrit de détritus, avec un spectre alimentaire relativement large. Il s'alimente sur le fond, principalement de végétation en décomposition mais il peut

occasionnellement consommer des organismes pélagiques. Les jeunes poissons se nourrissent en priorité de plancton et, de façon secondaire, de matière organique semi-décomposée. Des quantités importantes de sable et de vase sont aussi observées dans les intestins de mrigal, elles peuvent représenter jusqu'à 35 % du contenu intestinal.

En conditions d'élevage, le mrigal peut atteindre un poids de 1,8 kg après un an de croissance, 2,6 kg après deux ans et 4,0 kg après trois ans. Il semble le plus souvent atteindre sa première maturité à deux ans en étangs (les mâles peuvent atteindre leur première maturité à la fin de la première année). La fécondité relative du mrigal est comprise entre 100 000 et 400 000 œufs/kg de poids vif des femelles. La saison de reproduction du mrigal correspond à la mousson du sud-ouest en Inde, au Bangladesh et au Pakistan (entre avril et septembre) et sa durée varie d'une région à l'autre du sous-continent.

● La carpe commune

La carpe commune comprend quatre sous espèces et de nombreuses variétés et souches. Parmi ce grand nombre de races, les plus fréquentes sont : la *Big Belly* des fleuves Kwantung et Kwangsi de Chine, la carpe orange indonésienne (*Cyprinus carpio* var. *Flavipinnis* C.V.) et la carpe miroir (*Cyprinus carpio* var. *Specularis*), avec ses variétés Aischgrunder (Allemagne) et Royale (France).

Les postlarves de carpe commune commencent à s'alimenter à partir de petit zooplancton (*Moina*, rotifères, *Cyclops*, nauplii). Les ostracodes et les insectes, y compris les larves de chironome, s'ajoutent à ce régime lorsque les alevins atteignent 20 à 100 mm de long.

Les carpes communes dépassant 10 cm de long se nourrissent de matière végétale en décomposition contenant des organismes benthiques, principalement des tubificidés, des mollusques, des chironomidés, éphéméridés et trichoptères. La carpe commune creuse et fouille les digues et le fond des étangs, à la recherche de matière organique. Pour cela, le poisson prélève la boue qu'il tamise afin de retenir la matière digestible et rejette le reste. Cette habitude alimentaire aboutit souvent à une détérioration des digues de l'étang et à une augmentation de la turbidité de l'eau.

Le taux de croissance de la carpe commune, fonction de ses conditions d'élevage, est d'environ 2 g/j en moyenne.

L'âge de la première maturité varie entre un an (voire six mois) dans les pays d'Asie tropicale (Inde, Indonésie, Thaïlande, Malaisie) et en Israël, et trois ou quatre ans en Europe. Le poids moyen à maturité varie respectivement entre quelques centaines de gramme et 1,5 à 2,5 kg. La saison de reproduction peut durer toute l'année (pays tropicaux) ou seulement pendant une période définie (mai-juin en Europe, mars-août en Israël, mars-juin dans le sud des États-Unis), dépendant principalement de la température de l'eau avant et pendant la période de reproduction. La carpe commune se reproduit naturellement dans son habitat naturel ainsi qu'en étangs et bacs. Les œufs sont adhésifs et le poisson a besoin d'un substrat pour pondre et fixer ses œufs.

La fécondité relative de la carpe commune varie entre 90 000 et 300 000 œufs par kilogramme de poids vif de femelle.

● Les tilapias

Les tilapias appartiennent à la sous-famille des Tilapiinés, un groupe de poissons exclusivement africain, et à la famille des Cichlidés. Antérieurement considérés comme membres d'un seul genre, *Tilapia*, trois genres principaux sont aujourd'hui reconnus depuis la dernière révision taxonomique (1983). Outre des caractéristiques anatomiques, le critère pour la distinction des genres est basé sur la biologie reproductive : *Oreochromis* (incubation buccale maternelle), *Sarotherodon* (incubation buccale paternelle ou bi-parentale) et *Tilapia* (pondeurs sur substrat). Une centaine d'espèces piscicoles sont désignées par le nom commun tilapia, mais trois espèces seulement sont utilisées aujourd'hui de façon significative en aquaculture : *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* et *O. aureus*.

Pratiquement tous les tilapias de grande taille appartiennent au genre *Oreochromis* ; au sein de cet ensemble, le tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, représente l'espèce la plus importante non seulement pour son taux de croissance élevé ou son adaptabilité à une grande diversité de conditions d'élevage, mais aussi en raison de la demande élevée des consommateurs pour ce poisson. Ces quarante dernières années, il a été introduit dans plus d'une centaine de pays. Il est devenu le pilier de la pisciculture du tilapia à travers de nombreux systèmes de production, à tous les niveaux d'intensification, depuis la production de subsistance jusqu'aux piscicultures les plus intensives.

Tous ces transferts, à l'intérieur et à l'extérieur de l'Afrique, ainsi que l'hybridation largement utilisée en aquaculture, ont conduit à une certaine confusion sur l'origine et la pureté de certaines souches commerciales de tilapia. Il est donc important de connaître la constitution génétique exacte des souches employées à des fins commerciales. De nombreuses techniques biochimiques et biomoléculaires ont été développées pour cette caractérisation génétique.

● Un comportement reproducteur spécifique

Les problèmes associés à l'élevage du tilapia ont souvent pour origine le mode de reproduction inhabituel des espèces du genre *Oreochromis*. En plus d'être un incubateur buccal, il atteint sa maturité sexuelle très précocement (vers six mois et à un poids qui peut être inférieur à 40 g). Ce détournement de l'énergie de la croissance vers la reproduction devient une réelle contrainte en conditions d'élevage. Une fois matures, les femelles de tilapia se reproduisent à fréquence élevée, l'incubation buccale de chaque lot étant suivie d'une courte période de récupération avant qu'une nouvelle ponte n'intervienne. Chaque cycle reproductif dure 1 à 1,5 mois. En moyenne, *O. niloticus* produit de quelques centaines à 3 000 œufs par femelle, et peut se reproduire jusqu'à dix fois par an.

En aquaculture, ce comportement reproducteur génère deux problèmes principaux :

- > les pontes d'*Oreochromis* ne sont pas synchronisées entre les femelles, si bien qu'une population de géniteurs produit continuellement des alevins, en relativement faibles quantités, ce qui induit un problème réel de gestion au niveau des éclosiers de tilapia. À cela s'ajoute le cannibalisme exercé sur les jeunes par les alevins plus âgés, qui constitue une autre cause majeure de la réduction de la quantité d'alevins produite dans les étangs de reproduction ;
- > la reproduction précoce et continue des tilapias conduit rapidement à une surpopulation et au nanisme en structures d'élevage fermées (étangs, bacs, ...).

● Le contrôle de la reproduction

Le principal enjeu de la gestion du stock de géniteurs de tilapia est de développer des systèmes de conditionnement des géniteurs et de reproduction, ainsi qu'un prélèvement régulier des alevins des milieux de reproduction, afin d'accroître la production d'alevins par unité de surface.

Tableau 5. Données biotechniques sur la production d'alevins de *Oreochromis niloticus* en étangs selon différentes méthodes en Asie et en Afrique

Infrastructure	Etang	Etang	Etang	Etang	Etang	Hapa	Hapa
Superficie (m ²)	4 500	350	200	200	100	1 à quelques m ²	1,65 x 1,65 x 1,20
Densité de géniteurs (ind.m ⁻²)	0,16	0,7	4	0,6	0,6	1 à 10	1,5
Poids moyen des géniteurs (g)	62-356	100 (femelles) 240 (mâles)	80-100	100-150	100-150	60 - 80	100-150
Sex-ratio (femelles : mâles)	3 : 1	3 : 1	3 : 1	3 : 1	3 : 1	1 : 1	3 : 1
Durée d'élevage (jours)	250	120	45-60	75	62	30	62
Première récolte d'alevins (jours après mise en charge)	60	35	14	11 à 13	11 à 13	10 - 12	dès apparition des alevins
Intervalle entre deux récoltes (jours)	30 *	15*	6 fois/jour à partir de 7 h à 2 h d'intervalle**	4 à 6 fois par jour aux heures les plus chaudes**	4 à 6 fois par jour** aux heures les plus chaudes	1	cycles successifs
Alimentation/fertilisation	fertilisation organique +minérale	50 % SR + 50 % TA	fertilisation organique + SR (75 %) + FP (25 %)	son de riz (1,5 % de la biomasse)*	son de riz (1,5 % de la biomasse)#	75 % SR + 25 % FP	aucune
Nombre d'alevins produits (ind./m ² /mois ¹)	8,0	45,4	200 – 250	350	375	300 - 600	475
Poids moyen des alevins produits	4,3 g	0,7 g	quelques mg à 0,1 g	10 (±1) mm	10 (±1) mm	quelques mg	7,6 (±1,5) mm
Pays	Philippines	Niger, Côte d'Ivoire	Philippines	Niger	Niger	Philippines	Niger

SR : son de riz.

TA : tourteau d'arachide.

FP : farine de poisson.

* pêche à la senne.

** pêche à l'épuisette à mailles fines.

les géniteurs sont nourris, avant mise en place dans les structures de reproduction, avec un aliment composé de TA (50 %) +SR (50 %) ou SR (80 %) + FP (20 %) à raison de 1,5% de la biomasse.

Pour résoudre les problèmes de surpopulation du tilapia en étang, différentes méthodes de contrôle de la reproduction ont été développées dans les systèmes d'élevage de tilapia : polyculture avec un poisson prédateur qui élimine les alevins par prédation ou élevage de poissons monosexes mâles (les mâles possèdent une meilleure croissance que les femelles). Les méthodes utilisées pour la production de populations monosexes mâles incluent le sexage manuel, l'hybridation et l'inversion sexuelle par traitement hormonal. Cette dernière est désormais considérée comme la technique la

plus efficace pour la production de lots entièrement mâles sur un plan commercial mais elle n'est pas sans poser problème : niveau de technicité nécessaire pour obtenir des populations 100 % mâles, impact sur l'environnement aquatique de l'utilisation à grande échelle d'hormones stéroïdes synthétiques artificielles.

En termes de régime alimentaire, les tilapias du genre *Oreochromis*, et particulièrement *Oreochromis niloticus*, sont généralement considérés comme des poissons phytoplanctonophages, capables d'ingérer et de digérer de grandes quantités d'algues phytoplanctoniques et de cyanobactéries. Selon différents auteurs les tilapias seraient même le seul véritable poisson herbivore, en raison de leur structure intestinale : longueur égale à quatorze fois la longueur totale du poisson ; pH stomacal très acide, de l'ordre de 1,5, permettant la destruction des parois cellulaires végétales. En élevage dans des étangs fertilisés, *Oreochromis niloticus* se nourrit de rotifères, copépodes, cladocères, larves de chironome, diatomées, algues vertes, cyanobactéries, matière organique végétale en décomposition, nanoplancton mais il intègre également vase, argile et sable.

Il semble par conséquent avoir un régime alimentaire relativement opportuniste, plus omnivore-détritivore que strictement microphytophage. La fraction détritique de l'aliment ingéré par *Oreochromis niloticus* semble être particulièrement importante et a été sous-estimée pendant longtemps. Le poisson est capable d'adapter sa morphologie et son comportement alimentaire pour digérer la composante détritique de l'aliment : sélection de la fraction organique de l'aliment et hydrolyse grâce à de nombreuses petites dents pharyngiennes, digestion grâce au pH très acide de l'estomac et enfin faculté d'assimiler les acides aminés sur l'intégralité de l'intestin.

● **Les stratégies alimentaires**

Les jeunes *Oreochromis niloticus* se nourrissent principalement de microzooplancton et de crustacés alors que les poissons de plus grande taille ont un spectre alimentaire plus large.

Oreochromis se nourrit sur la colonne d'eau, sur le fond et sur des substrats en suivant trois voies principales d'ingestion : succion par création d'un flux d'eau dirigés vers sa bouche, filtration à travers ses branchiospines et broutage sur des substrats et sur le fond des étangs. Des études récentes ont montré que le broutage semble être la stratégie alimentaire la plus avantageuse pour les tilapias *Oreochromis* sur le plan énergétique.

Les habitudes alimentaires des principales espèces piscicoles d'eau douce ainsi que des espèces présentant un intérêt potentiel pour l'aquaculture tropicale sont données dans le tableau 6.

Tableau 6. Niches trophiques et spatiales des principales espèces piscicoles d'eau douce utilisées en pisciculture.

Nom scientifique	Nom commun anglais	Niche trophique		Particules macroscopiques			Niche spatiale		
		Filtreur					Surface	Fond	Colonne
		Phyto-plancton	Zoo-plancton	Macro-phyte	Détritus benthos	Prédation			
Cyprinidae									
<i>Ctenopharyngodon idell</i>	Grass carp			□□					■
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Silver carp	□□	□				■		
<i>Aristichthys nobilis</i>	Big Head carp	□	□□				■		
<i>Cyprinus carpio</i>	Common carp		□		□□			■	
<i>Labeo rohita</i>	Rohu	□□	□				■		
<i>Catla catla</i>	Catla	□	□□				■		
<i>Cirrhinus mrigala</i>	Mrigal				□□		■		
Cichlidae									
<i>Oreochromis niloticus</i>	Nile tilapia	□□			□				■
Serassalmidae									
<i>Colossoma macroponum</i>	Tambaqui		□	□□					■
Osteoglossidae									
<i>Heterotis niloticus</i>	Heterotis		□□	□	□				■
Clariidae									
<i>Clarias gariepinus</i>	Catfish				□□	□		■	
Cichlidae									
<i>Hemichromis fasciatus</i>						□□			
Channidae									
<i>Channa striata</i>	Snakehead					□□			

□□ : niche trophique principale ou unique de l'espèce.

□ : niche trophique accessoire de l'espèce.

■ : niche spatiale occupée par l'espèce.

LA GESTION DES ÉLEVAGES PISCICOLES

● La reproduction

La pratique de la pisciculture nécessite un approvisionnement en alevins programmé et en grand nombre. Quand le nombre d'alevins capturés dans le milieu naturel s'avère insuffisant pour empoissonner les étangs ou cages, les pisciculteurs doivent obtenir des reproductions en captivité des poissons adultes qu'ils possèdent. Bien qu'il soit possible de contrôler la production d'alevins en ayant recours à la reproduction naturelle grâce à des méthodes de gestion de l'environnement, les pontes stimulées par traitement hormonal restent les plus efficaces. Avec une telle méthode, plus la physiologie de la reproduction de l'espèce est connue, meilleures sont les chances de succès.

● La stimulation hormonale

Les systèmes nerveux et endocrinien des poissons agissent de concert pour coordonner la reproduction. La stimulation neuronale est à l'origine de la chaîne d'évène-

ments, et les liens ultérieurs sont hormonaux. La réception de stimuli de l'environnement, comme la longueur du jour (photopériode), la température et les précipitations ou crues, relève du système nerveux. Elle comporte le passage de l'information des récepteurs sensoriels au cerveau. Cette information, au moment où elle atteint l'hypothalamus, détermine l'activité hypophysaire par le biais de messagers chimiques connus sous le nom de libérines ou *releasing hormone* et ils sont identiques ou très peu différents chez la plupart des poissons. Ils initient la libération d'hormones gonadotropes par l'hypophyse. Ces dernières influencent la production d'hormones sexuelles stéroïdiennes au niveau de la gonade.

Les hormones stéroïdiennes sont responsables de la maturation des gamètes et, si les stimuli environnementaux et sociaux sont présents, l'ovulation (ou la spermiation⁴) et la ponte surviennent. La libération des gonadotropines est inhibée par certains mécanismes, notamment hormonaux. La dopamine est la principale substance inhibitrice de la gonadotropine chez les poissons.

● **Estimer la maturité des reproducteurs**

Le pisciculteur désireux d'induire la reproduction au moyen d'hormones doit avant toute chose estimer la maturité des reproducteurs, puisque le succès de l'opération repose sur l'exactitude des informations sur l'état de maturation de la gonade. La maturité des poissons peut être estimée à partir de l'apparence externe⁵, ou en utilisant des méthodes plus complexes ou nécessitant du temps, basées sur des biopsies gonadales et des analyses d'ovocytes (diamètre de l'ovocyte et distribution des tailles, morphologie des ovocytes et position du noyau dans la cellule).

● **Minimiser le stress**

Les manipulations de poissons doivent être réalisées de manière à minimiser le stress : utilisation d'anesthésiques, stockage d'un faible nombre de géniteurs, humidification des mains et de tous les ustensiles de manipulation des poissons, couverture des yeux des poissons, réduction du bruit, etc. L'hormone induisant la ponte est généralement administrée par voie intramusculaire ou intrapéritonéale, mais il existe également des techniques d'induction par voie orale ou par implant. Cette dernière permet une libération lente de l'hormone, sur plusieurs semaines ou plusieurs mois.

● **Le choix de l'hormone**

Le choix de l'hormone dépend de nombreux facteurs, notamment de l'espèce à reproduire, de son coût et de sa disponibilité, de la formation technique et des installations disponibles pour l'incubation des œufs et l'élevage larvaire. Les pisciculteurs utilisent en général soit une gonadotropine, soit un analogue de GnRH, avec ou sans antagoniste de la dopamine.

L'hypophysation, injection d'extraits hypophysaires bruts prélevés sur d'autres poissons, est utilisée depuis les années 1930. Elle présente des avantages, notamment économiques (faible coût), et des inconvénients car les extraits sont impurs et contiennent des hormones accessoires qui peuvent stimuler certains poissons et en inhiber d'autres. Mais, les pisciculteurs ayant le plus d'expérience reconnaissent fréquemment

⁴ Spermiation : émission de gamètes mâles.

⁵ Abdomen gonflé et mou, et papille génitale enflée chez les femelles, libération de laitance après massage de l'abdomen chez les mâles.

que si des hypophyses *de bonne qualité* sont disponibles, l'hypophysation constitue une excellente méthode pour induire la ponte. Une technique d'hypophysation typique pour les poissons d'eau douce consiste en deux injections chez les femelles : une faible dose stimule la migration de la vésicule germinative ; elle est suivie douze heures plus tard par une dose plus importante qui permet la rupture de la vésicule germinative, l'ovulation et la ponte. Les mâles reçoivent en général une seule dose induisant la stimulation de la production de liquide séminal et assurant une spermiation optimale simultanée avec l'ovulation.

Des gonadotropines partiellement purifiées de poisson sont aussi disponibles, mais leur coût élevé limite leur utilisation. La gonadotropine chorionique humaine (hCG) peut aussi être utilisée mais la molécule est tellement différente de la gonadotropine de poisson que de fortes doses doivent être employées pour la plupart des espèces et, malgré cela, un certain nombre ne répond pas au traitement. En outre, cette hormone peut induire une réponse immunitaire préjudiciable chez différentes espèces de poissons.

De nombreuses hormones libérines sont disponibles ; elles présentent trois grands avantages. Elles agissent en amont dans la chaîne hormonale en induisant le poisson à produire sa propre gonadotropine, éliminant ainsi tous les problèmes causés par l'emploi de gonadotropine d'autres espèces. De plus, les molécules de GnRH sont peu spécifiques à une espèce. Ensuite, elles sont faciles et simples à conditionner, ce sont des molécules stables dont l'activité biologique ne varie pas d'un lot à l'autre et, comme elles sont actives à très faible concentration, leur utilisation est économique. Les analogues de GnRH peuvent être utilisés seuls ou simultanément avec un antagoniste de la dopamine (pimozide ou dompéridone). L'injection de GnRH combinée à un antagoniste de dopamine porte le nom de méthode Linpe, en hommage à Lin et Peter, les chercheurs qui l'ont conçue.

Les doses employées varient fortement mais la tendance consiste en une injection unique de 5 à 20 $\mu\text{g/kg}$. Des doses d'analogues de GnRH de 1 à 100 $\mu\text{g/kg}$ ont aussi montré leur efficacité. La dompéridone est généralement efficace à des doses comprises entre 1 et 5 mg/kg . Le tableau 7 présente une comparaison de la méthode de Linpe avec une hypophysation classique pour la reproduction induite de carpes indiennes.

Tableau 7 Comparaison des performances de reproduction de carpes indiennes femelles après administration de préparations d'hypophyses de carpe (HC) et d'Ovaprim (10 mg dompéridone et 20 μg sGnRH/ml) (Billard, 1995)

Traitement	<i>Catla catla</i>		<i>Labeo rohita</i>	
	Ovaprim®	HC	Ovaprim®	HC
Température (°C)	25-31	25-31	27-30	27-30
Dose (par kg)	0,4 - 0,6 ml	20 - 24 mg	0,25 - -0,35 ml	18 mg
Nombre de femelles	74	68	68	67
% ovulation totale*	93	78	100	90
% non réponse*	0	12	0	0
% fécondation	83	77	95	83
% éclosion	95	92	95	90

* La différence entre ces deux colonnes correspond à des ovulations incomplètes.

● Le mélange du sperme et des oeufs

Le sperme et les ovocytes des poissons ayant reçu un traitement hormonal sont généralement collectés par massage en comprimant doucement l'abdomen, puis ils sont mélangés. Le mélange artificiel des œufs et spermatozoïdes peut aboutir à un taux de fécondation très élevé, supérieur à 90 %, mais les techniques varient d'un poisson à l'autre. La méthode sèche est la plus employée.

Afin d'optimiser la très courte période de motilité du sperme, le mélange des œufs et du sperme est opéré avant une quelconque addition d'eau. Juste après le mélange, les gamètes sont humidifiés minutieusement avec un peu d'eau du milieu de reproduction ou d'une solution de dilution. Quelques minutes plus tard, les œufs fécondés sont lavés avec de plus grands volumes d'eau, avant d'être transférés vers les incubateurs, généralement des bouteilles de Zoug.

● La reproduction naturelle en captivité

Les pisciculteurs ont généralement des échéances et des objectifs de production à respecter. Il est difficile de les persuader d'accorder plus d'attention à la reproduction naturelle lorsqu'une reproduction induite par hormone est possible, même si son efficacité est partielle. Pourtant, les meilleurs exemples de reproduction naturelle proviennent du monde de l'aquariologie tropicale où les succès sont légion, et où la plupart des espèces sont reproduites en utilisant des voies naturelles. Dans le cas de l'arowana, ostéoglossidé asiatique (*Scleropages formosus*), la demande en juvéniles est forte mais ils ne peuvent plus être obtenus de façon légale à partir du milieu naturel, si bien que leur prix est désormais très élevé.

Dans ce contexte, la stratégie qui s'est révélée efficace pour le reproduire en captivité a simplement consisté à lui procurer un environnement calme, une eau de dureté correcte et une alimentation de haute qualité. En fait, la reproduction induite par la manipulation des facteurs environnementaux peut être appliquée à de nombreuses autres espèces : carpes (par stimulation thermique ou en plaçant les poissons dans des étangs enherbés ou avec substrats artificiels), ostéoglossidés (en plaçant les géniteurs dans des étangs enherbés ou par simulation de la crue), etc. Le développement de nouvelles méthodes de gestion permettant un meilleur contrôle de la reproduction naturelle pourrait s'avérer un outil d'avenir particulièrement efficace.

● L'alimentation des espèces d'élevage

Le succès d'une activité piscicole repose essentiellement sur la qualité de l'alimentation. Dans de nombreux modèles techniques, en particulier dans les raceways et les cages où il y a peu, voire pas du tout d'aliment naturel, le pisciculteur doit apporter une ration alimentaire complète. Il s'agit en général d'aliments riches en protéines et en vitamines, et donc très coûteux. Le coût de l'alimentation dans les systèmes d'élevage intensifs représente jusqu'à la moitié des coûts totaux. Des pratiques alimentaires appropriées jouent un rôle majeur, non seulement pour l'optimisation économique mais également pour la *bonne santé* du stock d'élevage et donc les performances de croissance.

● Les besoins en protéines et acides aminés

Les poissons ont des besoins en protéines supérieurs à ceux des mammifères ou des oiseaux. L'aliment doit contenir 40 à 45 % (poids sec) de protéines pour les salmonidés, 32 à 36 % pour le poisson chat américain, 30 à 35 % pour les carpes, 44 % pour l'anguille, 25 à 30 % pour les tilapias. Elles sont généralement apportées par des farines de poisson coûteuses.

Les poissons ont besoin de davantage de protéines que les autres groupes animaux, mais leurs besoins en acides aminés essentiels sont comparables à ceux des vertébrés supérieurs, si l'on exclut l'arginine qui peut être synthétisée par le cycle de l'urée.

Mais le mythe du poisson ayant de fortes exigences en protéines doit être relativisé. En effets, même pour une espèce à longue chaîne alimentaire telle que le saumon, le pourcentage de protéines fixées à partir de l'aliment peut atteindre 30%, alors qu'il est de 29 % pour le poulet et 22 % pour le porc.

Les tilapias sont réputés plus phytophages que les poissons-chats ou les carpes. Pour cette raison, plusieurs tentatives de substitution de la farine de poisson par des protéines d'origine végétale ont été réalisées pour essayer de réduire les coûts de l'aliment. Le remplacement de la farine de poisson par des proportions croissantes de farine d'algues a montré que la croissance diminue à partir de 5 % d'incorporation d'algues, en raison des déséquilibres en acides aminés et minéraux. Pourtant, en conditions d'élevage réelles en Israël, une ration dans laquelle la moitié de la farine de poisson avait été remplacée par du soja n'a pas eu d'effet négatif sur la croissance, sans qu'une quelconque supplémentation en acides aminés n'ait été réalisée.

● Les besoins en lipides

La nutrition lipidique est un des secteurs les mieux étudiés en nutrition des animaux aquatiques. Les principales étapes du métabolisme des lipides sont connues. En dépit de grandes similitudes, elles diffèrent de celles des vertébrés supérieurs à différents points de vue. En particulier l'environnement aquatique est caractérisé par la présence de grandes quantités d'acides gras polyinsaturés, en particulier ceux à longue chaîne (> 20 atomes de carbone). Ceux de la série (n-3) sont ceux pour lesquels les poissons ont les plus grands besoins, en comparaison avec les vertébrés supérieurs. Dans le cas de la truite, les acides gras polyinsaturés (n-3) doivent représenter au moins 10 % des lipides alimentaires, et au moins 14 % dans le cas de la carpe. De plus, les lipides peuvent fournir un complément d'énergie.

Comme la majorité des poissons digère mal les hydrates de carbone complexes mais catabolisent les protéines pour satisfaire leurs besoins en énergie, la capacité d'utiliser les lipides permet d'économiser des protéines et de réduire le coût de l'alimentation. Ainsi la croissance de la truite peut être améliorée sans accroître le contenu en protéines de l'aliment, mais en augmentant la quantité de lipides.

Pour cette raison, les lipides sont aujourd'hui de plus en plus employés dans la formulation d'aliments à haute efficacité. La ration alimentaire doit contenir des lipides en quantité significative, variable suivant l'espèce considérée. Les salmonidés ont besoin de 18 à 20 % de lipides dans leur ration, alors que les cyprinidés en réclament 7 à 18 %. Quant aux besoins des tilapias, ils sont inférieurs à 10 %. Pour la plupart des poissons, la digestibilité des lipides est très élevée, de l'ordre de 90 %.

● Les besoins en glucides

Les glucides ou hydrates de carbone forment la troisième composante majeure de l'alimentation des poissons. Ils constituent une source d'énergie peu coûteuse. D'une façon générale, les poissons n'ont pas une capacité d'utilisation des glucides aussi développée que les vertébrés supérieurs, bien que les poissons omnivores ou herbivores tels que les poissons-chats, les carpes ou les tilapias les utilisent mieux que les salmonidés. Dans le cas de ces derniers, un excès de glucides peut même entraîner une forte mortalité. Les glucides contribuent pour 30 % à l'alimentation des salmonidés et pour 50 % à celle des cyprinidés.

La digestibilité des glucides à petite molécule (glucose, saccharose) est bien supérieure (proche de 100 %) à celle de l'amidon (70-80 % en général, mais parfois < 50 %), mais ce dernier est le seul glucide qui puisse être incorporé de manière économique à l'aliment. En fait, sa digestibilité augmente avec la température ; elle est en général supérieure pour les espèces tropicales que pour les poissons tempérés. De plus, il est possible de l'améliorer par cuisson. Ainsi, les quantités d'amidon incorporées dans les aliments pour poissons dépassent des limites qui ne semblaient pas pouvoir être dépassées il y a vingt ans. La part retenue de l'énergie ingérée est de 27 % pour le saumon, contre respectivement 12 et 16 % pour le poulet et le porc.

● Les besoins en vitamines

Les besoins en vitamines et minéraux des poissons et des vertébrés sont proches. La vitamine A2, une autre forme du rétinol, est spécifique aux poissons, mais elle est aussi efficace que la vitamine A ; la choline et l'inositol sont nécessaires ; en revanche, le calciférol et la vitamine K jouent un rôle limité. Au contraire, les vitamines E et C ont une importance supérieure chez les poissons par rapport aux vertébrés supérieurs.

● Le calcul d'une ration et la distribution

Grâce à ces connaissances, il est possible de définir des formules alimentaires comme celles présentées dans le tableau 8. Le calcul d'une ration se heurte cependant à trois difficultés :

- > l'ingestion effective de l'aliment distribué ;
- > la pollution de l'environnement par l'aliment non consommé ou non digéré ;
- > la variation temporelle des besoins nutritionnels des poissons qui rend indispensable un ajustement permanent des rations distribuées.

L'alimentation *ad libitum* est difficile à estimer et risque de générer des pertes. Elle peut aussi se trouver confrontée à des problèmes de densité énergétique. Ainsi, avec des composés peu riches en énergie, l'alimentation risque d'être limitée par le volume de l'estomac et, dans certains cas, d'être insuffisante pour permettre de bonnes performances de croissance. Au contraire, avec un aliment très énergétique, la ration ingérée peut excéder les besoins du poisson. Le surplus est alors stocké sous forme de graisse, responsable de pertes au moment de l'éviscération.

Tableau 8. Aliments pour poissons d'eau douce en élevage intensif (g/kg) (Guillaume *et al.*, 1999)

	Truite	Carpes	Poisson-chat	Tilapias	Anguilles
Farine de poisson	300	250	80	150	650
Farine de viande		40			
Lactosérum	100				
Tourteau de soja	130	60	482	200	
Gluten de maïs	170	50			
Germes de blé	165	410	100		
Maïs			312		
Blé				200	
Sorgho				450	
Son de riz		55			
Amidon gélatine/extrudé					210
Huile de poisson	115		15		50
Huile végétale		50			20
Suif		50			
Mélange vitaminique	10	5	0.5		20
Mélange minéral	10	5	0.5	20	
Phosphate bicalcique	25	10			
Liants					30
Proteines (g/kg MS)	380	310	320	290	360-400
Lipides (g/kg MS)	150	125	40	80	120-150
Energie digestible (MJ/kg MS)	17,2	16,4	13,0	14,5	18,0

Le rationnement des animaux doit par conséquent prendre en considération des paramètres liés au poisson, à l'aliment et à l'environnement. Il est défini en utilisant un coefficient de conversion de l'aliment⁶ et le taux de croissance.

La distribution peut être effectuée de manière manuelle, automatique ou à la demande. La distribution manuelle est de loin la méthode la plus flexible et la plus employée ; en effet, elle permet d'ajuster la quantité d'aliment distribuée au comportement du poisson. Elle est cependant coûteuse en travail et contraignante, même lorsque le nourrissage est réalisé une seule fois par jour.

L'alimentation automatique permet de fractionner la distribution, voire de réaliser une distribution continue, rendant ainsi possible des améliorations du coefficient de conversion de l'aliment. Enfin, avec la distribution à la demande, le poisson prélève la quantité d'aliment désirée, en utilisant un dispositif mécanique (tige tactile). L'inconvénient de ce dispositif est qu'il encourage la compétition entre les poissons et favorise ainsi les disparités de croissance. De façon objective, l'idéal consiste à combiner les différents modes d'alimentation, afin de bénéficier des avantages de chacun.

● La gestion de l'étang de pisciculture

● Les aliments naturels et artificiels

L'étang de pisciculture constitue un environnement écologique où coexistent et interagissent de nombreux organismes bactériens, animaux et végétaux. Leur impact sur

⁶ FCR, *Food Conversion Ratio*, rapport entre la quantité d'aliment distribuée et le gain de poids des poissons.

la production piscicole est majeur, non seulement en raison de leur valeur alimentaire mais également à cause des modifications qu'ils induisent sur la qualité de l'eau (oxygénation, pH). La contribution des aliments naturels au rendement piscicole est essentielle, même dans des systèmes basés sur l'utilisation d'aliments artificiels.

Le tableau 9 montre les contributions respectives pour la croissance des poissons d'aliments granulés et d'aliments naturels, obtenues en employant des méthodes basées sur le traçage isotopique utilisant deux isotopes stables du carbone ^{12}C et ^{13}C . Le tableau 9 montre clairement que, dans un tel étang, l'essentiel de la croissance provient des aliments naturels (> 50 % pour les carpes et > 60 % pour les tilapias).

Tableau 9. Évaluation des proportions des différentes sources alimentaires ayant contribué à la croissance de poissons élevés en étangs à faibles densités (cf. tableau 10) nourris avec un aliment composé équilibré (25 % protéines ; 3 à 4 % de la biomasse par jour) selon la méthode du traçage isotopique (ΔC) (D'après Schroeder, 1983)

Espèce	Pourcentage de la croissance imputable à :	
	<i>consommation directe de l'aliment</i>	<i>consommation d'aliments naturels (benthos, phytoplancton, périphyton)</i>
Carpe commune	< 50 %	> 50 %
Tilapia hybride	< 40% (< 20 % sans doute)	> 60 % (probablement > 80 %)
Carpe argentée	0	100 %

● La régulation écologique des étangs

La production piscicole est conduite au cours de cycles à l'issue desquels les étangs sont entièrement vidangés et généralement mis à sec. À la différence des milieux aquatiques pérennes, la colonisation écologique des étangs ne peut pas être ignorée, car elle a des conséquences majeures sur les caractéristiques ultérieures de l'écosystème. Durant cette période, qui dure de quelques jours à quelques semaines, de nombreux changements quantitatifs et qualitatifs contribuent à structurer l'environnement aquatique.

Les processus de régulation sont essentiellement des facteurs endogènes, en relation avec les capacités de prolifération des organismes. Le ratio C/N peut contribuer fortement à la structuration de l'écosystème. Un milieu riche en carbone et pauvre en azote favorise le comportement organotrophe des bactéries, aux dépens de la minéralisation. En conséquence, il permet le développement de microzooplancton bactériophage : protozoaires, formes nauplii de copépodes, rotifères, etc. Au contraire, un milieu riche en azote paraît favorable au comportement minéralisateur des bactéries et peut stimuler le macrozooplancton, par l'intermédiaire du phytoplancton. Dans tous les cas, ces étapes très instables précèdent un état d'équilibre relatif.

Les dynamiques écologiques des écosystèmes aquatiques en équilibre sont abondamment décrites en limnologie : théories du type des interactions trophiques en cascade. Malgré cela, il n'existe pas de modèle utilisable en étangs. Ces environnements sont trop complexes et variables pour pouvoir être correctement représentés par des chaînes alimentaires simplifiées. Il existe cependant quelques données de base de portée générale.

● La voie autotrophe

Tous les transferts d'énergie ayant pour origine la production primaire peuvent être appelés *voie autotrophe*. Les microalgues planctoniques se développent suite à l'activité photosynthétique. Elles sont ensuite consommées par les poissons phytoplanctonophages (tels que le tilapia) ou filtrées par le zooplancton qui est lui-même consommé par les poissons. En réalité, la voie autotrophe est beaucoup plus complexe, car les transferts d'énergie ne sont absolument pas linéaires.

Les étangs de tilapia du Nil

Dans ces étangs, la composition en phytoplancton a une grande importance. La filtration biologique des algues de petite taille n'est pas forcément intéressante sur le plan énergétique pour le tilapia, qui se nourrit alors sur le fond des étangs lorsque les organismes benthiques dominent la flore aquatique. La valeur alimentaire des aliments du fond des étangs (benthos) peut être très bonne et la croissance du poisson est alors satisfaisante. Au contraire, lorsque des algues de grande taille dominent (principalement les cyanobactéries), la filtration peut s'avérer énergétiquement plus intéressante pour le poisson, mais la composition chimique de ces algues n'est pas toujours conforme aux besoins du tilapia. De plus, lorsque ces algues apparaissent, la qualité de l'eau est fréquemment mauvaise, et la concentration en oxygène souvent faible. La croissance du tilapia peut alors en être affectée.

● La voie hétérotrophe

D'autres relations existent, qui n'ont pas pour origine la production primaire. Il s'agit de la *voie hétérotrophe*, identifiée en utilisant des méthodes basées sur la mesure du rapport $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ dans la chair du poisson et dans ses aliments potentiels. De nombreux travaux ont confirmé sa contribution significative au rendement piscicole. La matière organique fournit une source de carbone pour les organismes hétérotrophes qui profitent ensuite au rendement piscicole. Le tableau 10 présente les contributions respectives des voies autotrophe et hétérotrophe à la croissance de poissons et crevettes d'eau douce en étangs de terre recevant une abondante fertilisation organique.

Si la croissance de la carpe argentée, espèce phytoplanctonophage, repose exclusivement sur la voie autotrophe, ce n'est pas le cas des espèces omnivores comme le tilapia et la carpe commune, dont la moitié de la croissance repose sur la voie hétérotrophe. Il se peut pourtant qu'elle passe totalement inaperçue lorsque toutes les conditions sont réunies pour que la voie autotrophe exprime pleinement son potentiel : ensoleillement, environnement riche en carbonates et minéraux. De plus, de nombreuses algues autotrophes peuvent avoir une nutrition hétérotrophe et la majorité des organismes planctoniques ont une alimentation très diversifiée. Les mécanismes biologiques qui contribuent aux voies autotrophes et hétérotrophes sont donc étroitement enchevêtrés et encore peu connus.

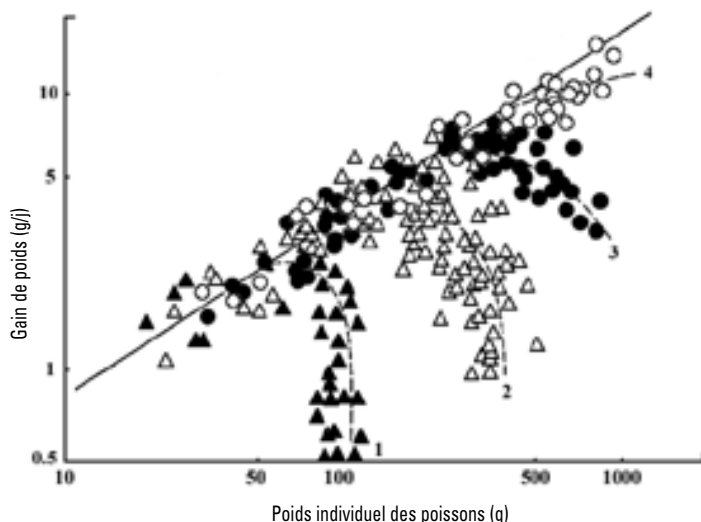
Tableau 10. Contributions relatives des voies autotrophe et hétérotrophe à la croissance de poissons (3 000 *Cyprinus carpio*/ha, 1 000 carpes argentées/ha, 450 carpes herbivores/ha et 7000 tilapias/ha) et de crevettes d'eau douce (5 000-15 000 *Macrobrachium rosenbergii*/ha) en étangs de terre recevant une abondante fertilisation organique : 50-200 kg/ha/jour (D'après Schroeder, 1983).

	Densité (par m ²)	Origine de la croissance en %	
		Voie hétérotrophe	Voie autotrophe
Carpe commune	0,3	50 – 65	50 – 35
Tilapia	0,7	20 – 40	80 – 60
Carpe herbivore	0,045	0	100
Carpe argentée	0,1		100
Crevette	0,5 à 1,5	30 - 50	50 – 70

● La fertilisation des étangs

Dans ce contexte de connaissances partielles, le principal objectif des pisciculteurs est d'orienter la circulation de l'énergie vers les voies trophiques qui profitent en premier lieu aux poissons. La fertilisation des étangs est le premier outil à la disposition des éleveurs. En effet, en stimulant la production primaire, il est possible de stimuler la production des autres niveaux trophiques et par conséquent d'influer positivement sur le rendement piscicole. Ceci peut être fait en utilisant des engrais chimiques, qui fournissent les minéraux requis pour la production de matière organique par la photosynthèse. Mais lorsque les minéraux sont présents en quantité suffisante, la densité du phytoplancton augmente à des niveaux tels que la lumière ou le carbone dissous deviennent rapidement des facteurs limitants. Une manière de dépasser cette limitation consiste à stimuler la production d'organismes hétérotrophes en utilisant des engrais organiques.

La figure 1 montre les relations entre le taux de croissance (en g/j) et le poids moyen de carpes communes, déterminées par des échantillonnages bi-hebdomadaires dans des étangs recevant quatre traitements différents. La comparaison entre la courbe 1 (ni fertilisation ni alimentation) et la courbe 2 (fertilisation mais pas de nourrissage) montre l'impact de la fertilisation : elle permet de prolonger la croissance du poisson vers des poids individuels supérieurs. En effet, lorsque le poisson grossit, la prédation exercée sur les aliments naturels augmente et, tôt ou tard, la quantité d'organismes naturels est insuffisante pour satisfaire les besoins nutritionnels des poissons. La croissance individuelle ne stoppe pas immédiatement, mais son taux d'accroissement diminue rapidement. En étang fertilisé, l'évolution de la croissance est identique, néanmoins, comme les aliments naturels sont plus abondants, le niveau critique survient à un poids individuel supérieur.



► Figure 1. Relation entre le taux de croissance (g/j) et le poids moyen de carpes communes, déterminée par des échantillonnages bi-hebdomadaires pour quatre traitements : (1) ni fertilisation ni nourrissage (triangles noirs) ; (2) fertilisation sans nourrissage (triangles vides) ; (3) alimentation à base de sorgho (cercle noir) ; (4) alimentation riche en protéines (cercles vides). Chaque point est une valeur moyenne déterminée à partir de quatre étangs répliqués (d'après Hephher, 1988, redessiné)

● La fertilisation minérale

Les engrais minéraux utilisés en aquaculture sont classés en deux catégories : engrais azotés et engrais phosphorés. En aquaculture, les fertilisants riches en potasse ne sont pas pris en compte, car leur impact fertilisant semble généralement inexistant. Différents fertilisants azotés sont disponibles sur le marché : urée, nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, nitrate de sodium, cyanamide de calcium. Ceux contenant de l'urée ou de l'ammoniaque ont un effet acidifiant sur le milieu, effet qui peut être neutralisé par l'emploi de chaux. L'impact des engrais est meilleur lorsqu'ils sont distribués fréquemment à faible dose plutôt que peu fréquemment à haute dose. Les quantités généralement recommandées sont comprises entre 5 et 10 kg N/ha toutes les deux semaines.

Différents engrais phosphatés sont disponibles sur le marché. L'épandage d'un engrais riche en phosphore aboutit à la libération de phosphates dans l'eau. Ces derniers peuvent précipiter lorsque l'eau est riche en calcium ou que le pH est élevé. Les phosphates établissent alors des liaisons fortes avec le sédiment, ce qui les rend indisponibles pour le réseau trophique. Pour cette raison, il est généralement recommandé de dissoudre ces fertilisants avant de les épandre. Les quantités recommandées sont comprises entre 8,75 et 17,5 kg de P_2O_5 /ha toutes les deux semaines.

L'utilisation d'engrais minéraux est parfois limitée par les risques de toxicité de certains composés. La toxicité de l'azote est élevée lorsque les nitrites ou l'ammoniac non-ionisé sont abondants. La forme toxique NH_3 de l'ammoniac devient de plus en plus abondante lorsque le pH augmente.

L'épandage d'engrais déséquilibrés peut aussi favoriser le développement de certaines cyanobactéries, qui sont fréquemment dommageables à la pisciculture : diminution de

la croissance des poissons, désoxygénation de l'eau pouvant entraîner des mortalités, toxicité de certaines espèces. Comme certaines de ces algues sont en mesure d'utiliser l'azote atmosphérique N_2 , de nombreux auteurs considèrent qu'elles se développent lorsque le rapport N/P est faible. Mais des proliférations ont aussi été observées dans des situations opposées. En fait, ces algues semblent capables de se développer dans des environnements où les autres groupes ont du mal à s'établir, et elles prolifèrent donc à chaque fois que le milieu est déséquilibré (rapport N/P déséquilibré, étangs riches en fer, etc.).

● La fertilisation organique

Comme en agriculture, des engrais organiques peuvent être utilisés pour fertiliser des étangs. Il s'agit en général de déchets agricoles ou de sous-produits, en théorie peu coûteux. Ils stimulent efficacement l'écosystème, car ils ne contribuent pas seulement à l'enrichissement en azote et en phosphore. Ils fournissent aussi du carbone et de la matière organique. Ils stimulent donc non seulement la voie trophique autotrophe, mais également la voie hétérotrophe. En conséquence, les engrais organiques permettent d'obtenir des productions piscicoles supérieures à celles obtenues avec des engrais minéraux. Le tableau 11 donne la composition moyenne de certains engrais organiques utilisés en pisciculture, mais il peut y avoir en pratique des différences importantes par rapport aux valeurs présentées.

Tableau 11. Composition chimique de quelques engrais organiques (d'après Delincé, 1992)

Animaux	Ratio déjection : urine	Humidité	Azote (%)	Phosphore (% P_2O_5)	Potassium (% K_2O)
Vache laitière	75:25	85	4,0	2,7	3,4
Bœuf	75:25	85	7,8	2,5	3,6
Poulet	100	65	6,0	7,9	3,7
Porc	53:47	85	4,7	4,3	2,7
Mouton	67:33	70	3,9	2,4	3,5
Cheval	75:25	75	2,3	1,3	1,4

Des essais ont été conduits pour apprécier les impacts respectifs des engrais organiques (litière de poulailler et fumier de bovin laitier) et d'engrais chimiques (urée + superphosphate triple) sur la production de tilapia du Nil en étangs de terre. Les résultats montrent clairement que les meilleurs rendements sont obtenus en utilisant les déjections de poulet (11,7 kg/ha/jour) ou le fumier de bovin (8,6 kg/ha/jour).

La supériorité de certains fertilisants organiques est confirmée par d'autres expériences. En Chine, la comparaison entre la litière de poulailler, le lisier de porc et la fumier de bovin a montré que les meilleurs rendements étaient obtenus avec le lisier de porc et la litière de poulailler (respectivement 5,2 et 5,1 fois le témoin non fertilisé) et les moins bons avec le fumier de bovin (3,9 fois le témoin non fertilisé).

D'un autre côté, leur rapport entre contenu minéral et matière sèche est vingt à trente fois plus faible que celui des engrais minéraux. Ainsi, une tonne d'engrais organique possède une valeur fertilisante équivalente à environ 200 kg d'engrais minéral 10-5-10.

Une manière simple de fertiliser les étangs consiste à élever d'autres animaux sur (ou à proximité) des étangs. Le problème est ensuite de déterminer le stock animal nécessaire pour fertiliser correctement l'étang. Le tableau 12 montre certains types

d'associations poisson-animal et les productions obtenues. La taille des élevages associés varie en fonction du degré d'intensification, du poids et de l'âge des animaux. Pour les porcs, la taille d'élevage recommandée est de 35 à 85 porcs/ha et pour les canards, 1 000 à 3 500 canards/ha. La principale contrainte est liée au fait que les éleveurs doivent dominer parfaitement les deux élevages.

Tableau 12. Exemples d'élevages terrestres associés à la pisciculture et rendements piscicoles obtenus (t/ha/an)

Pays	Nombre d'animaux par ha	Rendement en poissons
	Canard	
Chine	2 500	3,4
Côte d'Ivoire	1 000 – 1 500	3,8 – 4,5
Philippines	750 – 1 250	2,2 – 4,5
	Porc	
Chine	30 – 45	2 – 3
Philippines	40 – 140	4,7 – 8,7
Côte d'Ivoire	50 – 100	7,7 – 10,2
	Poulet	
Côte d'Ivoire	2 500	5,4
Afrique du Sud	6 000	6,3

La concentration en oxygène dissous résulte d'un équilibre entre l'activité phyto-planctonique autotrophe (principale source d'oxygène) et l'activité bactérienne hétérotrophe (principal consommateur). Il y a une évolution quotidienne typique, caractérisée par une oxygénation progressive durant le jour⁷ et une désoxygénation durant la nuit⁸.

Comme déjà signalé, les apports fertilisants organiques stimulent l'activité hétérotrophe, consommatrice d'oxygène. Lorsqu'ils sont excessifs, ils peuvent entraîner une désoxygénation totale et la mortalité de tous les organismes aquatiques, dont les poissons. Pour cette raison les quantités d'épandage recommandées sont de l'ordre de 100 à 150 kg de matière sèche par hectare et par jour. Plus précisément, les apports journaliers recommandés (exprimés en pourcentage de la biomasse piscicole) sont de 3 à 4 % pour les déjections de bovin et le lisier de porc, 2 à 4 % pour la litière de poulet et 2 à 3 % pour la litière de canard (matière sèche).

Certains étangs ne répondent pas correctement à la fertilisation parce que leur pH est trop faible. En effet, la vase, lorsqu'elle est acide, retient les phosphates rendus ainsi indisponibles pour les organismes vivant dans l'étang. De plus, les organismes benthiques, et notamment les bactéries, ne se développent pas correctement lorsque le pH est trop faible, et le phytoplancton manque de carbone et de calcium dans des eaux dont la dureté et l'alcalinité sont trop faibles.

Pour accroître les bénéfices de la fertilisation, le pH de la vase doit donc être compris entre 6 et 7 et l'alcalinité totale doit être d'au moins de 20 mg/l de CaCO₃. Les épandages de chaux permettent de résoudre ces problèmes et ils ont d'autres avantages. Ainsi, ils permettent de *stériliser* l'étang pendant l'assèchement, en éliminant les parasites et pathogènes ; ils améliorent la décomposition de la matière organique ; ils

⁷ Production d'oxygène par photosynthèse supérieure à la consommation par l'activité bactérienne.

⁸ Consommation d'oxygène seule, pas de photosynthèse.

accélèrent la nitrification ; ils réduisent le potentiel d'oxydoréduction du sédiment ; ils permettent de faire flocculer et sédimenter la matière organique dissoute ou en suspension, améliorant ainsi la pénétration de la lumière dans l'eau. La chaux peut aussi être amenée dans le but de compenser l'effet acidifiant de certains engrais azotés. Dans ce cas, les quantités nécessaires sont proportionnelles à la quantité de fertilisant épandue. Elles sont en général comprises entre 85 et 170 kg pour 100 kg de fertilisant acidifiant.

La chaux doit être épandue sur le fond des étangs asséchés ou à la surface des étangs remplis. Les quantités de chaux agricole épandues sont en général comprises entre 2 000 et 10 000 kg/ha et l'opération doit être répétée tous les trois à cinq ans. Il est recommandé d'apporter chaque année la moitié de l'apport initial.

● Les densités d'élevage

● La polyculture et la monoculture

La fertilisation peut s'avérer peu efficace si l'empoissonnement n'est pas réalisé correctement. Le contrôle de la population de poisson doit être total, ce qui implique de limiter l'introduction d'espèces sauvages (grille à l'arrivée d'eau) et de contrôler la reproduction à l'intérieur de l'étang : élevage monosexue ou polyculture avec un poisson prédateur dans le cas des tilapias.

La polyculture consiste à associer une espèce piscicole ayant un régime alimentaire complémentaire de l'espèce principale, afin d'accroître la biomasse produite dans l'étang et, si possible, de bénéficier d'effets synergiques entre les différentes espèces piscicoles. Il s'agit d'une situation intermédiaire entre la monoculture, où le flux d'énergie est concentré sur une seule espèce et un écosystème naturel en équilibre où les bénéficiaires du flux sont très diversifiés en termes d'espèces.

Si la polyculture est originaire d'Asie, elle est désormais pratiquée sur tous les continents. Les Chinois emploient deux méthodes. La première consiste à réaliser le cycle de production dans une série d'étangs contenant des poissons de tailles différentes. Dans l'autre, l'élevage est conduit dans le même étang, jusqu'à ce que la taille commerciale soit atteinte. Le poisson est alors récolté dès qu'il atteint cette taille commerciale et il est remplacé par des jeunes, qui y demeurent pendant une durée d'au moins un an. Les espèces et les ratios employés sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13. Densité de stockage concernant diverses formes de polyculture en étang (Chine), exprimée en pourcentage des différentes espèces (Billard, 1980)

	Nourriture dominante		
	<i>Macrophytes</i>	<i>Mollusques</i>	<i>Phytoplankton</i>
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	16	12	65
<i>Aristichthys nobilis</i>	10	7,4	10
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	55	24,2	12
<i>Cyprinus carpio</i>			
<i>Cirrhinus molitorella</i>		3	6
<i>Milopharyngodon piceus</i>		42	
Divers	19	10	8

Dans la polyculture traditionnelle d'Europe de l'Est, les carpes constituent le groupe dominant et les autres poissons représentent à peine plus de 10 % du total : tanche (6-7 %), brochet (0,9-1,7 %), salmonidés (3,2-5,5 %), autres (1,2-4,8 %).

En raison de leurs performances de croissance et de leur régime alimentaire à courte chaîne, les carpes herbivores chinoises (*Ctenopharyngodon idella*, macrophytophage et *Hypophthalmichthys molitrix*, phytoplanctonophage) sont souvent incluses dans la polyculture.

Exemples d'associations d'espèces

La polyculture israélienne associe ainsi 3 000 carpes communes (*Cyprinus carpio*) avec 1 000 carpes argentées (*Hypophthalmichthys molitrix*), 500 carpes herbivores (*Ctenopharyngodon idella*) et 7 000 tilapias par hectare. En Afrique, les élevages piscicoles associent le tilapia du Nil comme espèce principale (*Oreochromis niloticus*) avec un siluriforme (*Heterobranchus isopterus*, *Clarias* sp.), un ostéoglossidé (*Heterotis niloticus*) et le prédateur *Hemichromis fasciatus* (pour éliminer les alevins indésirables), selon un ratio de 0,03 *Heterotis niloticus*, 0,04 *Heterobranchus isopterus*, 0,2 *Hemichromis fasciatus* pour chaque tilapia. Dans ces conditions les espèces secondaires peuvent accroître le rendement piscicole total de plus de 40 %. En Amérique du Sud, des expériences ont été conduites avec *Colossoma macropomum* comme espèce principale et *Prochilodus* sp., *Cyprinus carpio* et des tilapias comme espèces secondaires.

Les avantages de la polyculture

- > *les aliments naturels sont mieux utilisés, de façon plus complète*, puisqu'une seule espèce piscicole, même avec un large spectre alimentaire, n'utilise jamais toutes les ressources alimentaires d'un étang ;
- > *certaines impasses trophiques sont évitées*. Lorsque que la carpe commune est élevée en monoculture à densité élevée, un petit crustacé, *Bosmina longirostris*, se développe. Or ce crustacé se nourrit de phytoplancton et n'est pas consommé par la carpe commune. Ainsi, *Bosmina longirostris* se positionne comme un compétiteur des organismes zooplanctoniques herbivores qui seraient autrement consommés par la carpe commune. En revanche, lorsque la carpe argentée est introduite dans la polyculture avec la carpe commune, *Bosmina longirostris* régresse suite au broutage du phytoplancton exercé par *Hypophthalmichthys molitrix* ;
- > *la production des aliments naturels est stimulée*. La carpe commune a un comportement fouisseur lorsqu'elle est à la recherche d'aliments ; cette attitude remet en suspension et aère le sédiment, oxyde la matière organique et améliore le recyclage des éléments nutritifs qui stimulent la production d'aliments naturels ;
- > *il peut y avoir une double fertilisation*. Les déjections des poissons herbivores (*H. molitrix*, *C. idella*) sont tellement « riches » qu'elles ont un impact fertilisant qui peut être comparé à celui d'un élevage terrestre associé. Cet effet est parfois nommé « double fertilisation » parce qu'une fertilisation chimique est bien plus efficace quand ces poissons sont présents dans la polyculture. Cette double fertilisation peut augmenter le rendement en carpe de 14 à 35 % par rapport à une fertilisation normale obtenue en étang de monoculture ;

- > *la qualité de l'eau est améliorée.* En étang, la présence de carpe argentée ou de tilapia permet d'améliorer l'oxygénation de l'eau. Les carpes argentées consomment les algues sénescents en excès, qui autrement pourraient créer un déséquilibre entre la production et la consommation d'oxygène. Les tilapias améliorent aussi l'oxygénation en consommant la matière organique du fond qui, sinon, aurait été minéralisée par les bactéries consommatrices d'oxygène ;
- > *les organismes indésirables sont mieux contrôlés.* Le contrôle des mollusques est possible en étangs de pisciculture en utilisant 75 à 100 carpes noires ou 200 *Heterotis niloticus*/ha⁻¹, alors que les proliférations des petits poissons sauvages ou des crevettes peuvent être contrôlées en utilisant 200 à 600 poissons carnivores/ha⁻¹.

Les inconvénients de la polyculture

Ils surviennent surtout lorsqu'un déséquilibre apparaît suite à une compétition entre les espèces élevées. Par exemple, la polyculture de *Colossoma macropomum* avec *Piaractus brachipomus* ou *Brycon* sp. conduit à de faibles taux de croissance, probablement à cause d'une compétition alimentaire entre les différentes espèces.

De plus, lorsque la densité d'empeisonnement est très élevée, le rôle de la productivité naturelle de l'étang dans l'alimentation des poissons diminue, puisque les ressources trophiques naturelles doivent être réparties entre tous les individus. Le gain obtenu par la pratique de la polyculture est relativement limité, alors que le travail occasionné par le tri des différentes espèces au moment de la récolte devient une réelle contrainte.

La monoculture est donc la seule méthode d'élevage utilisée dans les systèmes intensifs où l'apport des aliments naturels est très limité. En étang, des densités d'empeisonnement élevées ne sont pas courantes, car l'oxygénation et l'accumulation de substances toxiques (NH₃, NO₂, etc.) deviennent vite un facteur limitant.

L'exemple de la monoculture de *Oreochromis niloticus*

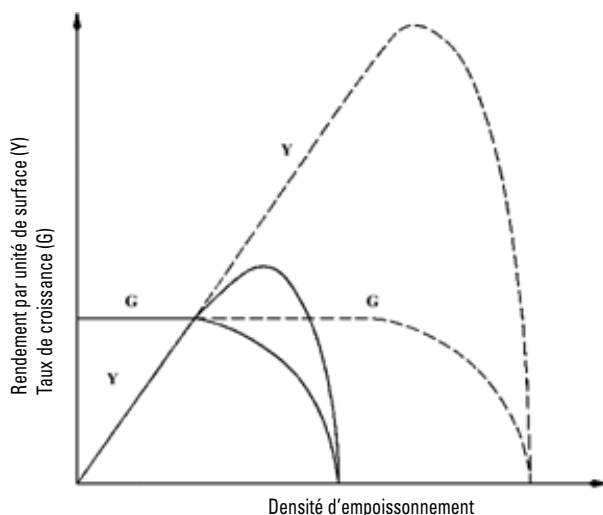
Elle a permis d'obtenir une production supérieure à une polyculture (4-3-3) de *Hypophthalmichthys molitrix*, *Labeo rohita* et *Cirrhinus mrigala*, que ce soit à la densité d'un ou de trois poissons/m². Pourquoi ? Parce que les bonnes conditions d'oxygénation de la monoculture de tilapia ont permis d'accroître les apports de fertilisants, ce qui n'était pas le cas dans la polyculture de carpes où ce facteur était critique.

● La densité d'empeisonnement des étangs

La densité d'empeisonnement optimale d'un étang de pisciculture est la quantité de poisson au début de la période de production qui garantit l'obtention du revenu économique le plus élevé. La définition de la densité d'empeisonnement d'un étang est l'un des paramètres les plus importants dans la réussite d'un élevage.

Dans les systèmes aquacoles, un stock de jeunes poissons grossit à une vitesse presque maximale tant que l'aliment et les autres conditions environnementales ne sont pas limitantes. Lorsqu'elles le deviennent, la biomasse atteinte est appelée charge critique ou *critical standing crop* (CSC). La croissance diminue à partir de cette CSC, mais elle n'est pas nulle. La biomasse continue donc à augmenter, jusqu'à ce que la population atteigne le niveau de capacité biotique ou *carrying capacity* (K).

À partir de K, les effets liés à la densité de la population sont tels que la croissance cesse et la biomasse reste stable. Il est cependant possible d'augmenter la densité d'empoissonnement, ce qui permet d'accroître le rendement, tant que le taux d'augmentation de la densité d'empoissonnement reste supérieur à la diminution du taux de croissance individuel. Mais à partir du moment où la diminution du taux de croissance devient supérieure à l'augmentation de densité, le rendement chute, ainsi que cela apparaît sur la figure 2.



► Figure 2. Présentation schématique des relations entre la densité d'empoissonnement, le taux de croissance instantané (G), et le rendement instantané par unité de surface (Y), avec (pointillé) et sans (trait plein) alimentation complémentaire (d'après Hepher, 1988, redessiné)

Exemple de calcul de charge critique

Par exemple, dans un étang de carpes fertilisé et nourri avec des céréales (2 200 carpes/ha), la CSC est atteinte lorsque le poisson parvient à un poids moyen de 275 g ($0,275 \times 2\,000 = 550$ kg/ha). En dessous de ce poids, le taux de croissance est maximal, mais au-dessus de 275 g, le taux de croissance est inférieur au taux potentiel, à cause du manque d'aliment. Lorsque les carpes atteignent 1 kg (2 000 kg/ha), elles cessent de croître. En revanche, si le même étang est empoissonné avec 4 000 carpes/ha, la CSC est atteinte à 137 g et elles cessent de croître à 500 g.

Si les poissons sont placés dans des étangs à faible densité et que les aliments naturels sont abondants, ils grossissent à la vitesse maximale permise par la température. L'apport d'aliment complémentaire est inutile à ce stade et n'apporte rien de plus car l'aliment n'est pas un facteur limitant. En revanche, lorsque le stock élevé atteint la CSC, l'aliment devient limitant. La croissance diminue donc, sauf si la gestion de l'élevage est intensifiée.

Si la production d'aliment naturel peut être accrue par fertilisation, la croissance maximale est de nouveau relancée, jusqu'à ce qu'une nouvelle CSC soit atteinte à un niveau supérieur. À ce stade, une alimentation complémentaire peut s'avérer

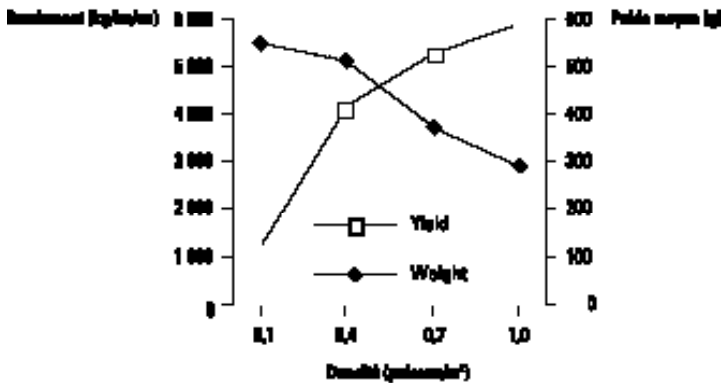
nécessaire au maintien de la croissance maximale. Puis, de nouveau, une CSC est atteinte lorsque la qualité de l'aliment ou la qualité de l'eau devient limitante. Ces relations entre la densité d'empoissonnement et le niveau des apports d'intrants peuvent être clairement observées dans les figures 1 et 2.

Rendement, croissance individuelle et densité

La densité peut être utilisée pour réguler le taux de croissance moyen des poissons et par conséquent, la durée de la période d'élevage. Comme déjà vu, lorsque la densité d'empoissonnement est accrue, la CSC est atteinte pour un poids individuel moindre et la croissance au-delà de la CSC est réduite. La croissance moyenne sur la totalité de la période d'élevage est par conséquent inférieure. De façon plus générale, le rendement et la croissance individuelle sont respectivement positivement et inversement corrélés à la densité. En d'autres termes, jusqu'à un certain seuil, plus la densité est basse, plus la croissance est rapide et plus le rendement est faible.

Le revenu économique d'une pisciculture ne dépend pas uniquement du rendement total, mais aussi du prix de vente du poisson. Lorsque le poisson est vendu au même prix quel que soit son poids individuel, le pisciculteur doit choisir la densité qui correspond au rendement le plus élevé par unité de surface. Lorsque les poissons de grande taille sont vendus à un meilleur prix au kilogramme sur le marché, le pisciculteur doit trouver un compromis entre le rendement et le poids moyen final.

En conditions d'élevage semi-intensives⁹, le principal facteur contrôlé par le pisciculteur est la densité d'empoissonnement. En utilisant des densités peu élevées, il peut obtenir un meilleur taux de croissance, un poids final plus élevé mais un rendement moindre. Mais avec un taux de croissance supérieur, la durée du cycle d'élevage diminue, ce qui peut permettre d'obtenir un bénéfice supérieur à la fin de l'année. Des expériences conduites en Côte d'Ivoire (figure 3) ont montré qu'en utilisant du son de riz comme unique intrant, le compromis entre le rendement et le poids moyen final se situe pour une densité comprise entre 4 000 et 7 000 tilapias du Nil/ha. Désormais, on conseille l'emploi de densités d'empoissonnement plus faibles qu'auparavant (20 000 poissons/ha) pour l'aquaculture à faible niveau d'intrants.



➤ Figure 3. Rendement et poids moyen individuel en fin d'élevage de tilapia du Nil en fonction de la densité de mise en charge (Dabbadie, 1996)

⁹ Utilisation de déjections animales ou de sous produits agricoles de faible valeur.

LES AMÉNAGEMENTS PISCICOLES

Comme pour l'ensemble des aménagements hydro-agricoles, la réussite de l'implantation de nouveaux étangs piscicoles dépend de facteurs techniques et sociaux. La plupart des poissons produits dans des zones tropicales, le sont en étangs ; ses qualités conditionnent en partie les pratiques piscicoles.

La conception et la réalisation des étangs doivent permettre la maîtrise la plus parfaite possible des poissons et de l'eau ; de plus, la qualité des ouvrages piscicoles détermine aussi la facilité avec laquelle le suivi, la récolte et le tri peuvent se faire, en d'autres termes, elles déterminent la faisabilité de la pisciculture.

Les étangs restent avant tout des aménagements agricoles et ils sont fonctionnels seulement s'ils sont utilisés, entretenus et même reproduits par les producteurs.

● *Les qualités idéales d'un étang*

La maîtrise de la population de poissons et de la circulation de l'eau nécessite que les points suivants soient respectés :

- > *l'étang peut se remplir dès que le besoin s'en fait ressentir*, à tout moment de l'année, et le pisciculteur peut renouveler l'eau de façon partielle ou totale ;
- > *l'étang peut se vider*. Outre le fait que c'est le moyen le plus efficace et le moins cher pour récolter les poissons, l'assec de l'étang améliore les qualités de la vase du fond ce qui est bénéfique pour la productivité de l'étang. C'est aussi un excellent moyen de se débarrasser des poissons sauvages et de pratiquer un vide sanitaire : l'assec doit donc pouvoir être total, toutes les flaques doivent pouvoir être vidées ;
- > *l'eau de l'étang peut être isolée de la circulation de l'eau environnante* : ceci permet la pratique de la fertilisation, empêche que le milieu d'élevage soit envahi par des poissons indésirables du milieu naturel ou que les poissons élevés ne s'échappent. L'étang doit bien sûr être protégé des crues (par des systèmes de trop-pleins adaptés) ; les infiltrations et les fuites doivent être minimales ;
- > *l'étang doit mesurer, sur sa plus grande partie, entre 60 cm et 1 m de profondeur*. Ceci facilite la mise en place de fermentation aérobie au niveau des sédiments favorables à l'obtention de bons rendements. Une profondeur moindre facilite la prédation des poissons et l'envahissement du milieu par certains végétaux, tandis qu'une profondeur plus importante limite le réchauffement des eaux (facteur positif) et accroît les risques d'anaérobiose sur le fond.

Plus la surface en eau d'un étang est grande plus sa capacité à produire du poisson est élevée.

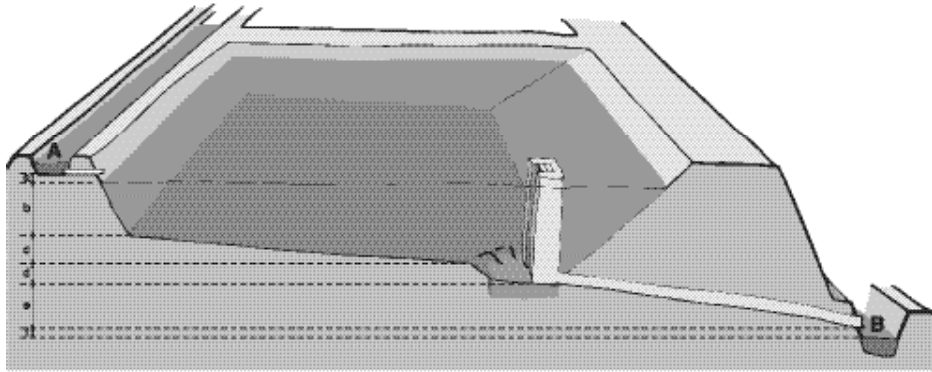
● *Quelques grands types d'aménagements piscicoles*

● *L'étang de dérivation*

L'eau est dérivée à partir d'un cours d'eau permanent à l'aide d'un canal d'alimentation qui suit à peu près la courbe de niveau avec une pente variant de 0 à 1 ‰. Elle peut ensuite alimenter un étang dont les parties les moins profondes mesurent 60 cm ; une pente de 1 à 2 ‰ sur l'assiette assure une bonne vidange vers un tuyau

d'évacuation, souvent équipé d'un moine et dont l'ouverture est située dans la partie la plus basse de l'étang.

Le dénivelé minimum nécessaire pour un étang de 30 m de long est de 1,3 m. Il correspond à $b + c + e$ (voir figure 4). Des ouvrages (batardeaux, microbarrages) édifiés sur le cours d'eau peuvent faciliter le remplissage de l'étang.



Légende :

- a) chute d'eau au canal d'alimentation : (20 cm)
- b) profondeur minimale de l'étang : 60 cm
- c) pente de l'assiette (2 %) : pour 30 m d'assiette : 60 cm
- d) enterrement du moine : (10 cm)
- e) pente dans le tuyau de vidange : 10 cm
- f) chute d'eau dans le canal de vidange : (10 cm)

Les chiffres entre parenthèses sont des indications.

➤ Figure 4. Schéma en coupe d'un étang

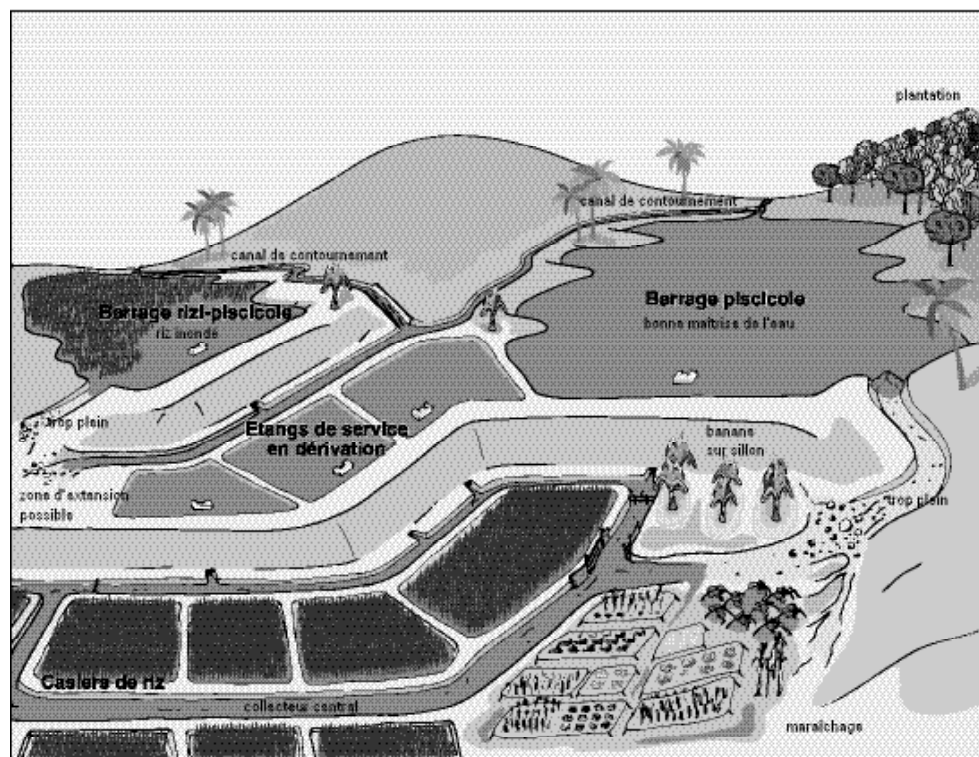
● L'étang de barrage

Une digue en travers de la vallée permet de retenir l'eau. Cette retenue devient un bon outil pour la pisciculture, à condition que le cours d'eau qui s'écoule normalement dans la vallée soit dévié de la retenue par un fossé de dérivation (appelé parfois canal de contournement), et que la retenue puisse être complètement vidée.

La gestion des crues est particulièrement délicate sur ces aménagements et nécessite la réalisation de trop-pleins correctement dimensionnés. Ces ouvrages sont plus faciles à réaliser s'ils se situent en tête de bas-fonds.

● Un continuum possible

Une complémentarité dans l'espace s'établit, de fait, entre les étangs de barrage situés dans le lit des rivières et les étangs de dérivation situés sur les coteaux (voir figure 5). Les conceptions de ce genre permettent, pour une même surface, de construire moins de digues, certaines servant pour plusieurs étangs à la fois. Elles constituent aussi un moyen d'économiser l'eau qui peut être réutilisée plusieurs fois.



➤ Figure 5. Aménagements piscicoles résultant d'une conception d'ensemble

DES POINTS SENSIBLES LORS DE LA CONCEPTION

● L'utilisation du dénivelé

Lorsque le dénivelé total¹⁰ est nettement supérieur à ce qui est nécessaire pour un plan d'étang, le choix de l'implantation de la digue devient délicat : d'une part, il faut rechercher le terrassement minimal qui offre la plus grande surface d'eau ; d'autre part, en général, moins les étangs seront profonds plus les digues seront faciles à réaliser mais plus les surfaces productives seront réduites.

● Economiser l'eau

Les étangs ne doivent pas être implantés de façon à rentrer en concurrence avec d'autres aménagements quant à l'utilisation de l'eau. La plus grande complémentarité possible dans l'utilisation de l'eau avec les autres utilisations (riz, maraîchage par exemple) doit être recherchée, c'est l'une des conditions d'une entraide sociale.

La façon dont seront placées les digues permet souvent d'économiser l'eau. Le remplissage d'un étang s'accompagne de l'établissement d'une nappe sous-jacente qui

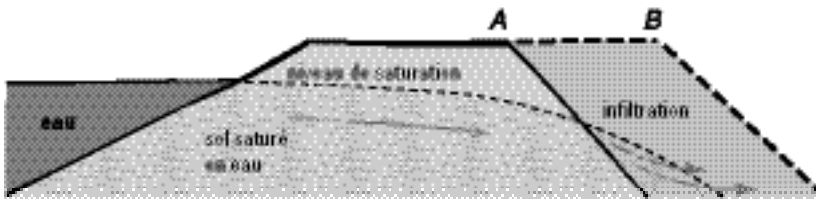
¹⁰ Différence entre le niveau de l'alimentation la plus élevée et de la vidange la plus basse.

constitue un élément important de l'aptitude de l'étang à garder l'eau ; mieux vaut chercher un positionnement de l'étang qui freine la circulation de la nappe vers l'aval, plutôt qu'un positionnement qui aurait tendance à drainer la nappe existante.

Si, dans son trajet, l'eau rencontre une nappe phréatique située plus bas, l'eau située dans le sous-sol de l'étang est en équilibre avec la nappe puisqu'elle perd sa pression : dans ce cas favorable, il n'y a plus d'infiltration une fois que le sol sous les étangs est saturé en eau.

● Bien dimensionner la digue-aval

La digue qui ceinture le site piscicole et qui empêche l'eau de partir en aval, est l'objet d'une pression de l'eau retenue dans les étangs, celle-ci sature la terre dans le bas de la digue (voir figure 6). Cette digue-aval doit être conçue en conséquence pour éviter toute infiltration. Sur les terrains sableux, elle doit avoir une base plus large que sur les terrains argileux.



➤ Figure 6. Localisation de la terre saturée en eau dans une digue

Sur la figure 6, la digue en A est insuffisamment large, si bien qu'il y a de nombreuses infiltrations dans le pied de la digue-aval. Si la digue est élargie jusqu'en B, l'eau est contenue dans le sol et perd sa pression, il n'y aura pas d'infiltration dans le pied de la digue (voir figure 7).

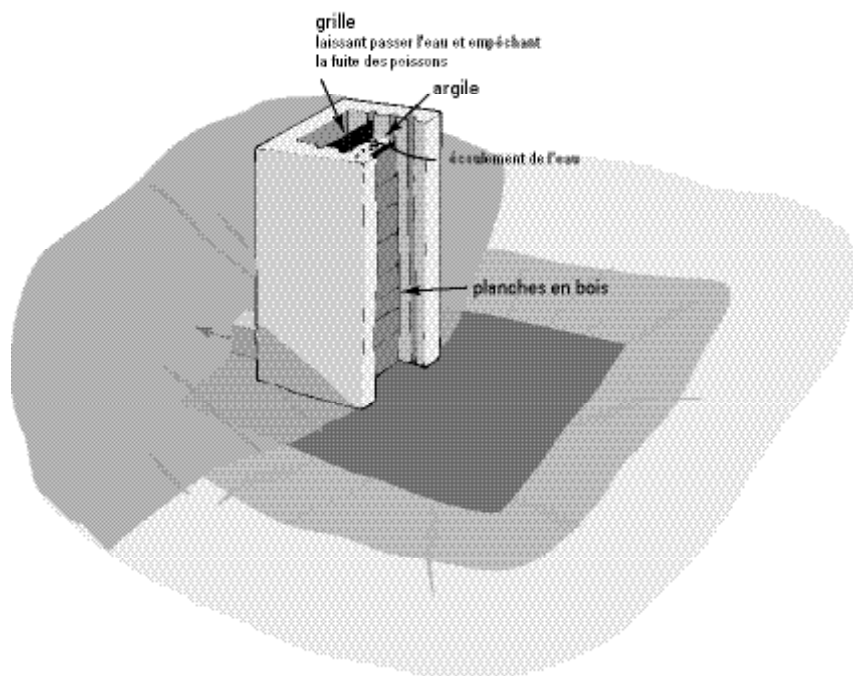


➤ Figure 7 : dimensionnement de la digue en fonction des infiltrations

De façon empirique, la vérification de l'état d'humidité de l'arrière de la digue permet de vérifier si la digue a été correctement élargie.

● Choisir un type de moine

Le moine est l'équipement le plus facile à réaliser. Il permet à la fois une vidange et un trop-plein, plusieurs matériaux peuvent servir à sa construction : si dans certains endroits le PVC revient moins cher, dans d'autres (Côte d'Ivoire, Guinée) des moines et des buses réalisés en béton à l'aide de moule en bois se révèlent nettement plus avantageux.



► Figure 8. Un exemple de moine

● En conclusion

Les décisions prises sont fréquemment des compromis, par exemple entre la taille de l'aménagement souhaitée par le pisciculteur, sa capacité d'investissement et ses objectifs de rentabilité.

Dans les régions où le développement de la pisciculture paraît embryonnaire, la recherche d'un aménagement convenant à la plupart des espèces élevées constitue un gage de durabilité de l'investissement. La réalisation de bassins annexes (étangs de service) pouvant servir au stockage des poissons lors des vidanges, à l'isolement de certains poissons, ou à leur reproduction, est généralement une nécessité.

La conception des étangs constitue un exercice complexe dans des bas-fonds très enherbés ! Cet exercice paraît impossible à résoudre sans l'emploi d'un niveau de chantier avec trépieds et d'une mire donnant une bonne vision d'ensemble du bas-fond. La matérialisation soignée du plan avec des piquets permet aux producteurs de bénéficier d'une conception réfléchie.

● **Des points sensibles sur le plan social**

La volonté de produire des poissons n'est pas la seule motivation pour aménager un étang :

- > aménager un étang représente aussi, comme installer une plantation, un excellent moyen de marquer durablement le foncier. Les stratégies d'appropriation foncière ne doivent pas être ignorées (cf. chapitre 231) ;
- > la possibilité (très fréquente) de bénéficier de subventions ou de crédits pour construire des étangs constitue une motivation qui gêne l'évaluation technique et économique de la pisciculture.

La pisciculture communautaire s'est souvent soldée par un échec. Les avantages apparents de cette forme de pisciculture se traduisent le plus souvent par des désavantages : pertes de temps, difficultés de responsabilisation pour le suivi, litiges fonciers qui resurgissent fréquemment dès la fin du projet.

Pour que la pisciculture puisse se développer au sein d'un système agraire, il faut que l'aménagement soit accessible à nombre d'exploitants agricoles. Poser d'emblée la question de la subvention ou du crédit comme une condition de développement empêche la nécessaire adaptation de la démarche d'aménagement et du modèle proposé aux capacités effectives des paysans. Les questions relatives à l'organisation des formations à la construction, à la spécialisation de personnes-relais dans la diffusion des connaissances, au contrôle de leur évolution, aux moyens de générer un capital de connaissance en découlent.

Pour la construction des étangs, il vaut mieux que le tâcheron (celui qui exécute de façon contractuelle l'étang) ne soit pas aussi le concepteur, sinon toutes les solutions visant à minimiser le terrassement seront privilégiées au détriment de solutions plus difficiles qui peuvent parfois mieux correspondre aux besoins des pisciculteurs. C'est pour cela qu'en Guinée et en Côte d'Ivoire, des aménagistes, sous le contrôle des pisciculteurs, participent à la conception des étangs.

D'une façon résumée, *comment développer la pisciculture ?* se traduit dans les régions sans grand passé hydro-agricole par *comment initier une dynamique de groupe entraînant la réalisation constante de nouveaux étangs répondant aux besoins socio-économiques des producteurs ?*

● **Un aménagement conditionné par le milieu environnant**

● **L'influence du climat**

Le climat a une incidence importante sur la conception des étangs : plus la saison sèche est longue, plus le risque d'une évaporation cumulée est fort ; les étangs doivent donc avoir une hauteur d'eau importante afin de garder l'eau de façon continue et les terrains doivent être imperméables. La construction d'étangs représente un travail d'autant plus important que la saison sèche est longue.

Les régions qui ont une bonne répartition des pluies tout au long de l'année disposent bien évidemment d'un avantage important pour la pisciculture. Dans les zones à longue saison sèche (Niger, versants secs de Sulawesi par exemple), les aménagements piscicoles les plus accessibles aux paysans sont des puits qui permettent aux poissons de se réfugier et de maintenir un potentiel reproducteur en attendant le retour des eaux à la saison des pluies. La réalisation d'un étang classique n'est généralement pas accessible aux paysans de ces régions.

En zone sèche, la construction d'étangs ne peut se faire qu'avec des sols argileux et nécessite un cours d'eau permanent. En revanche, l'utilisation de nappes temporaires qui s'établissent lors de la saison des pluies et la valorisation de terrain sableux sont possibles dans des milieux humides.

Les techniques de construction sont également variables et dépendent de l'environnement : alors qu'il est généralement recommandé d'arroser et de compacter l'argile lors de la construction des digues, l'installation d'un noyau étanche au sein des digues est parfois suffisant. En zone tropicale humide, le simple empilement de terre meuble suffit à l'édification de digues correctes à la condition que les matériaux organiques importants (bois, terres végétales des bas-fonds) soient soigneusement retirés.

● L'influence des autres facteurs

Le relief a également beaucoup d'importance. Les zones accidentées rendent difficile l'aménagement de surfaces importantes. À l'inverse, des zones trop plates entraînent la réalisation d'ouvrages importants pour obtenir des hauteurs d'eau intéressantes.

Le rôle de la température influe sur le choix des systèmes d'élevage, qui n'ont pas les mêmes performances et dont il faut tenir compte pour dimensionner correctement le projet.

Un exemple de démarche d'aménagement

Première étape

- repérer le terrain et la vallée ;
- comprendre le fonctionnement du réseau hydrographique : écoulements de surfaces et nappes sous-jacentes (saisonnalité, débits), taille des bassins versants concernés, nature des sols, obstacles éventuels (barre rocheuse) ;
- valoriser les connaissances des populations environnantes, expliquer les éléments recherchés à l'ensemble des pisciculteurs ;
- faire un exposé public des limites foncières pouvant être renforcées par un document certifié localement.

Deuxième étape

- à l'aide de la lunette topographique, mesurer le dénivelé et les transects qui permettent de déterminer la surface aménageable, l'ensemble de la vallée est pris en compte au delà des limites foncières ;
- discuter avec le pisciculteur et si possible avec d'autres pisciculteurs afin de définir un premier projet évolutif : estimation du terrassement, de la surface en eau, du gain espéré et des évolutions possibles ;
- parfois renégocier ou faire des échanges de parcelles environnantes.

Troisième étape

- faire un piquetage qui matérialise le projet défini à l'étape précédente.

Quatrième étape

- construire des digues, confectionner des moines, vérifier la capacité d'investissement du paysan ;
- si des problèmes apparaissent, ajuster le projet.

Cinquième étape

- mettre en eau ;
- vérifier les hypothèses de remplissage et de dimensionnement des digues ;
- constater les modifications du milieu (niveau des nappes notamment) ;
- ajuster le projet, discuter de la poursuite et des extensions.

Cet exemple souligne la nécessité d'établir une démarche régionale d'aménagement prenant en compte à la fois les contraintes environnementales¹¹ et les contraintes socio-économiques¹², les stratégies d'investissement et d'acquisition de connaissances développées par les producteurs. Une définition soignée de la démarche permet en retour de l'évaluer et de l'améliorer.

LES DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES

● *L'analyse économique des exploitations piscicoles*

Tous les niveaux d'intensification sont utilisés dans le monde en aquaculture d'eau douce, des plus extensifs aux plus intensifs. Deux exemples sont présentés ici : aux Philippines et en Afrique.

Aux Philippines, les tableaux 14 à 16 donnent des comptes d'exploitation annuels de différents systèmes de production piscicole : rizipisciculture, élevage associé porc-poisson, élevage en cages flottantes.

Tableau 14. Compte d'exploitation d'une rizipisciculture de 1 000 mètres carrés (deux récoltes) aux Philippines, en 1990 (en P, 1 US\$ # 30 P)

Rubrique	Montant (P)
1. Coûts	
a) Coûts variables	
Semences de riz (6 P/kg)	60
Fingerlings de <i>O. niloticus</i> (1 000 individus de 15g à 0,25 P/individu)	250
Engrais	305
Pesticides/produits chimiques	245
Main d'œuvre	1 620
Matériaux	30
Sous-total	2 510
b) Coûts fixes	
Intérêt sur emprunt	90
Amortissement	116
Taxes	57
Frais d'irrigation	88
Sous- total	351
Total coûts	2 861
2. Recettes	
Riz paddy (250 P/sac de 50 kg)	3 750
Poisson marchand (30 P/kg)	900
Total recettes	4 650
3. Bénéfice net	1 789

11 Eaux, sols, topographie.

102 Capacité de terrassement en travail et en capital des candidats, capital de connaissance présent, accès au foncier.

Tableau 15. Compte d'exploitation semestriel d'une pisciculture en étangs de terre de 1 000 mètres carrés associée à un élevage d'engraissement de porc en 1990 (en P, 1 US\$ # 30 P)

Rubrique	Montant (P)
4. Investissements	
Construction de l'étang (terrassement et ouvrages hydrauliques)	7 500
Porcherie	9 000
Total Investissements	16 500
5. Coûts	
a) Coûts variables	
Porcelets (10-12 kg à 800 P/tête)	8 000
Fingerlings 4 000 individus à 0,20 P/individu	800
Aliments	13 320
Main d'œuvre	5 520
Produits vétérinaires	666
Réparations et maintenance	25
Divers	500
Sous-total	29 631
b) Coûts Fixes	
Amortissement porcherie	675
Total coûts	30 306
6. Recettes	
Porcs	28 050
Poissons Tilapia	10 140
Carpes	1 575
Total recettes	39 765
7. Bénéfice Net	9 459

Tableau 16. Compte d'exploitation d'une ferme de production de tilapia en cages flottantes aux Philippines (en P, 1 US\$ # 30 P)

1. Investissement		
10 cages y compris poches en filet et abris de gardien	300 000	
Balance	8 000	
Caisses plastique	20 000	
Equipement de transport	300 000	
Total	628 000	
2. Coût de production		Coût/kg
Alevin 120 000 alevins à 0,25 P/individu	P 30 000	1,70
Aliment (10 P/kg ; FCR =2)	300 000	11,90
Main-d'œuvre		
Gardien	25 000	0,99
Ouvriers (nettoyage et entretien des cages)	15 750	0,62
Récolte (main d'œuvre temporaire)	10 500	0,42
Chauffeur	15 750	0,62
Glacé	12 500	0,50
Amortissement équipements (5 ans)	65 600	2,60
Amortissement cages (2 ans)	150 000	5,95
Carburant	15 000	0,60
Total	P 640 000	P25,40
3. Recettes		
25 200 kg x 35 P/kg	P 882 000	
4. Bénéfice net	P 242 000	

Données de production

Densité de mise en charge = 12 000 alevins/cage.
Poids moyen final = 300 g.

Taux de survie= 70 %.

Production 2 520 kg/cage x 10 cages = 25 200 kg.

L'analyse économique montre une meilleure rentabilité des systèmes intégrés. L'analyse comparée des taux de retour sur investissement des différents systèmes piscicoles montre que les systèmes de pisciculture intégrés à l'élevage sont les systèmes les plus rentables, avec des taux de retour sur investissement supérieurs à 63 % (tableau 17).

Tableau 17. Taux de retour sur investissement pour différentes productions (Philippines, 1990)

Système	Taux de retour
Riz	33 %
Rizipisciculture	42 %
Monoculture de tilapia	48 %
Élevage de porc	53 %
Pisciculture associée à un élevage de porc	63 %

Intégrer le poisson avec le riz permet d'augmenter le revenu d'environ 30-40 %, la même augmentation étant obtenue avec l'association de la pisciculture à un élevage terrestre. Dans ce dernier cas, cependant, la contribution du poisson au revenu net peut être supérieure à 50 %.

L'élevage en cages, le système le plus intensif, nécessite un niveau élevé de trésorerie et les coûts de production sont formés essentiellement par les aliments et secondairement, par les alevins. Ce mode d'élevage conduit à un plus faible bénéfice net par unité de poids de poisson produit. Pour obtenir le même revenu net, le pisciculteur doit disposer d'unités de production plus grandes.

En Afrique de l'Ouest, l'élevage en cages flottantes de tilapia au Niger montre les mêmes tendances économiques que celles observées aux Philippines pour ce même mode d'élevage (tableau 18).

Tableau 18. Compte d'exploitation d'une cage flottante d'élevage de tilapia de 20 m³ sur le fleuve Niger (Afrique de l'Ouest) en 1995 (en francs CFA, 1 US\$ = 600 FCFA)

Rubriques (F CFA)	Par cage de 20 m ³	Par kg de poisson	Coûts (%)
Coûts			
Coûts fixes	29 500	67,5	11,0
Amortissement de la cage (7 ans)	28 000	64,0	10,5
Amortissement de l'équipement (3 ans)	1 500	3,0	0,5
Coûts variables	243 000	558,5	89,0
Entretien de la cage	5 000	11,5	2,0
Alevins : 2.200 x 45 CFA	99 000	227,5	36,0
Aliment : 363 x 3 x 100 CFA	109 000	250,5	40,0
Transport (alevins, aliment et poisson marchand)	30 000	69,0	11,0
Total coûts	272 500	626,0	100,0
Recettes : 435 kg x 850 F CFA	369 750	850,0	
Bénéfice net	97 250	224,0	

En Côte d'Ivoire, l'analyse comparative de différents systèmes de production piscicole en étangs met en évidence que les modes de production les plus intensifs, utilisant un aliment composé, ne sont pas ceux qui conduisent à la meilleure rentabilité financière (tableau 19).

Tableau 19. Ratios de rentabilité financière de différents modèles de pisciculture développés en Côte d'Ivoire (Koffi *et al.*, 1996)

Modèles	Ratios	(moyenne)	(écart-type)
M1	BNE/T	14 189	5 117
	TRT	2 745	1 006
	TRF	47 %	0.17
	TRA	47 %	0.17
M2	BNE/T	13 604	6 850
	TRT	2. 01	1 410
	TRF	43 %	0.26
	TRA	43 %	0.26
M3	BNE/T	22 009	6 369
	TRT	3 919	1 410
	TRF	522 %	3.57
	TRA	126 %	0.75

BNE/T : bénéfice net d'exploitation par are et par an en F CFA

TRT : taux de rémunération journalière du travail et de la gestion familiale en F CFA

TRF : taux de rentabilité des fonds propres

TRA : taux de rentabilité des actifs

Modèle M1 : encadrement dense - pisciculteurs témoins Bouaké - tilapia monosexé mâle + espèce prédatrice associée : *Clarias* - aliment composé.

Modèle M2 : encadrement dense - Pisciculteurs témoins Daloa - tilapia monosexé mâle + espèce prédatrice associée : *Clarias* - aliment son de riz.

Modèle M3 : encadrement dense PAPU-CD (Projet agricole périurbain de la commune de Daloa) – tilapia monosexé mâle + espèces prédatrices + polyculture de *Heterotis* et de *Heterobranchus* – aliment son de riz et intégration à l'élevage de porcs pour la fertilisation organique.

Cette analyse montre également l'intérêt qu'il y a à combiner un fertilisant organique et un aliment complémentaire à coût peu élevé (son de riz) dans le cas du modèle M3.

Les spéculations qui entrent le plus en compétition avec la pisciculture pour le foncier et l'eau sont le riz irrigué et le maraîchage. La comparaison des produits monétaires indique que la mise en œuvre de modèles piscicoles tels que ceux développés en Côte d'Ivoire valorise mieux la terre que le riz irrigué : 13 600 à 22 000 francs CFA/100 m²/an pour la pisciculture contre 1 600 à 5 600 francs CFA/100 m²/an pour le riz irrigué.

En termes de valorisation du travail familial, les modèles d'élevage monosexé de tilapia peuvent être favorablement comparés à d'autres productions alimentaires : 2 500 à 3 900 francs CFA/jour pour la pisciculture, 460 à 2 000 francs CFA/jour pour le riz irrigué et 670 à 1 100 francs CFA/jour pour la culture d'igname. De plus, les taux de retour sur investissement des bonnes piscicultures d'étang d'Afrique se situent entre 43 et 52 %, et sont donc totalement comparables à ceux enregistrés aux Philippines (48 à 63 %).

LES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE D'EAU DOUCE

Bien que la production totale de poissons, mollusques, crustacés et d'algues issue de la pêche ait totalisé 92 millions de tonnes en 1995, les marchés destinés à la consommation humaine directe ont représenté seulement 61 millions de tonnes (poids frais) de ce total, soit 66 %. Le restant, 31 millions de tonnes, a été transformé en farine et huile de poisson utilisées comme aliments pour le bétail, ou à des fins industrielles.

Entre 1984 et 1995, le volume des captures issues de la pêche a augmenté à un taux moyen annuel de 1,5 %. Durant la même période, l'aquaculture a enregistré une forte croissance, avec une production de poissons de consommation augmentant à un taux annuel de 10,9 %, contre 3,1 % d'augmentation pour les autres viandes d'animaux terrestres. Au niveau mondial, la contribution de l'aquaculture à la production totale de poissons de consommation a plus que doublé entre 1984 (11,5 %) et 1995 (25,6 %). La contribution de l'aquaculture à la production mondiale a ainsi atteint 23 % en 1995 (70 % du total des poissons d'eau douce, 37 % du total des poissons diadromes et seulement 1,3 % des poissons marins). En terme de fourniture alimentaire, l'aquaculture a produit 6,2 % de la production totale mondiale de viandes d'animaux d'élevage, se plaçant en quatrième position (porcs : 37,6 %, bovins et veaux : 24 %, poulet : 20,9 %).

Plus de 85 % de la production totale de poisson d'aquaculture est issue des pays en développement et particulièrement des pays à bas revenus qui ont fourni plus de 76 % de la production totale de poissons de pisciculture. Dans ces pays, la production piscicole par individu est passée de 1,2 à 4,5 kg entre 1984 et 1995. La contribution de l'aquaculture (et particulièrement de la pisciculture d'eau douce) à la sécurité alimentaire des zones rurales des pays en développement est donc probablement bien supérieure à ce qui est rapporté par les statistiques officielles de pays concernés en raison de l'autoconsommation par les pisciculteurs et leurs familles, non prise en compte.

Dans les pays asiatiques les plus avancés en matière de production piscicole, le poisson de consommation joue un rôle majeur dans la nutrition humaine, en fournissant plus du tiers des apports totaux de protéines animales : 35 % au Vietnam, 41,1 % en Thaïlande, 51,5 % aux Philippines et jusqu'à 65,2 % en Corée du Nord (DPR). En Afrique, bien que la contribution du continent à la production aquacole mondiale soit la plus faible (moins de 0,4 %), le poisson de consommation joue un rôle essentiel en fournissant plus de 30 % des apports totaux en protéines animales dans des pays comme le Ghana (58,6 %), le Congo (45,3 %), le Malawi (44,2 %), le Sénégal (37,8 %) et la Côte d'Ivoire (36,0 %). Cette forte tradition de consommation de poisson devrait aider l'aquaculture à se développer dans les prochaines années. En Amérique latine, l'aquaculture est essentiellement orientée vers l'exportation (crevettes et salmonidés) et la pisciculture d'eau douce représente à peine 2 % du volume total de la production aquacole mondiale en 1995. En comparaison, l'essentiel de la production aquacole de poisson de consommation dans les pays développés est restreint à la production d'espèces à forte valeur ajoutée, et elle concerne surtout les espèces marines et diadromes ainsi que les crevettes.

Dans le futur, l'aquaculture d'eau douce devrait continuer à fournir la part principale de la production. Les espèces principales seront probablement des poissons (et crustacés) herbivores ou omnivores, de valeur moindre mais qui se nourrissent aux niveaux inférieurs des chaînes alimentaires aquatiques. Ces espèces seront élevées de

plus en plus dans des systèmes de polyculture efficaces et respectueux de l'environnement, moins exigeants en intrants et largement intégrés dans les systèmes de production agricoles. Cette forme d'aquaculture continuera à fournir des quantités substantielles de protéines d'origine aquatique à une grande partie de la population des pays en développement et constituera, très probablement, le principal pôle de développement des productions à faible coût.

En termes de biodiversité piscicole utilisée à des fins d'aquaculture, le nombre d'espèces élevées a augmenté de 34 % entre 1984 et 1994. Cependant, la production de la pisciculture d'eau douce reste largement dominée par neuf espèces qui représentent 78 % de la production totale. Toutes ces espèces sont herbivores ou omnivores et se caractérisent par une chaîne alimentaire courte. En Amérique latine, dans les pays appartenant au bassin de l'Amazone, le nombre d'espèces autochtones élevées est très faible, en dépit de l'existence d'un énorme potentiel de ressources génétiques. Deux tendances semblent émerger au début du troisième millénaire : la recherche d'une diversification des espèces élevées et le besoin d'amélioration génétique des animaux aquatiques domestiqués, qui sont encore fréquemment très proches de leurs formes sauvages.

Quelles seront les priorités dans le futur : l'accent sera-t-il mis sur l'amélioration génétique des espèces déjà élevées et pour lesquelles les technologies d'élevage sont déjà maîtrisées ou portera-t-il sur la domestication de nouvelles espèces d'intérêt aquacole parmi les 25 000 espèces de poissons peuplant le milieu naturel ? À moins que les deux orientations ne soient toutes les deux mises en œuvre.

La communauté scientifique qui travaille sur la question de l'aquaculture est limitée et doit choisir ses priorités, sachant que chacune des deux options est susceptible d'avoir des impacts négatifs :

- > l'amélioration génétique par le moyen de la modification du génome est perçue comme présentant un haut degré de risque pour les espèces sauvages, l'environnement global et les consommateurs ;
- > l'émergence d'espèces nouvellement domestiquées peut conduire à augmenter les introductions en dehors des aires d'origine, vers des pays souhaitant diversifier leur production, ce qui n'est pas sans risque pour les écosystèmes où sont réalisées les introductions.

Pour l'alimentation des poissons, la plupart des aliments disponibles dans le commerce pour les systèmes de production en étangs extensifs ou semi-intensifs sont *surformulés*, car ils ne prennent pas en compte le potentiel des aliments naturels disponibles. Aussi un travail de recherche très important doit-il être conduit pour comprendre les mécanismes biologiques qui aboutissent à la production piscicole au sein du réseau trophique, pour mieux définir les interactions entre les différents poissons de la polyculture et pour déterminer de manière plus précise la densité d'empeuplement. Ceci devrait permettre d'optimiser les apports d'intrants, de limiter les pertes d'aliment et l'impact sur l'environnement, de réduire les coûts de production et de maximiser les profits.

Sur le plan du développement durable, l'effort doit porter dans le futur sur les systèmes de production qui peuvent contribuer positivement à l'amélioration et à la préservation de l'environnement. Différents systèmes de production intégrés permettent le recyclage des éléments minéraux et des matières organiques ainsi que de différents

types de déchets. Ils sont connus depuis longtemps pour leur respect de l'environnement. La rizipisciculture peut par exemple contribuer à réduire l'utilisation de pesticides dangereux pour l'environnement, et la pisciculture d'eau douce fertilisée par des eaux usées peut permettre de piéger les sels nutritifs produits en excès par les déjections d'élevage, les excréments, sous-produits agricoles ou autres déchets. L'aquaculture d'eau douce contribue de cette façon à réduire les risques d'eutrophication et de pollution, d'autant que les effets négatifs de l'aquaculture sur l'environnement ont surtout été associés à des systèmes intensifs à haut niveau d'intrants et à haut niveau de production.

Bibliographie

- BILLARD R.(ed), 1980. *La pisciculture en étang*, Paris, France : INRA, 434 pp.
- BILLARD R., 1995. *Les carpes : biologie et élevage*, Paris, France : INRA, 387 pp.
- DÉLINCÉ G., 1992. *The ecology of the fish pond ecosystem with special reference to Africa*. Kluwer Academic (Publ.), Dordrecht, Netherlands : 230 pp.
- EGNA H.S., BOYD C.E., 1997. *Dynamics of pond aquaculture*, Boca Raton, USA : CRC Press, 437 pp.
- FAO, 1997. *Review of the state of world aquaculture*. FAO Fisheries Circular. N°886, Rev. 1. Rome, Italy : FAO Inland water resources and aquaculture service, Fishery Resources Division.
- GUERRERO III R. D. (1987). *Tilapia farming in the Philippines*, Manila, Philippines : National Book Store, 85 pp.
- GUILLAUME J., KAUSHIK S., BERGOT P., METAILLER R., 1999. *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*, Paris, France : INRA/IFREMER, 489 pp.
- HARVEY B., CAROLSFELD J., 1993. *Induced breeding in tropical fish culture*, Ottawa, Canada : IRDC, 144 pp.
- HEPHER B., 1988. *Nutrition of pond fishes*, New York, USA : Cambridge University Press, 388 pp.
- Hepher B., Pruginin Y., 1990. *Commercial fish farming*, New York, USA : John Wiley & sons, 261 pp.
- JINGHRAN V.G., PULLIN R.S.V., 1985. *A hatchery manual for the common, Chinese and Indian major carps*, Manila, Philippines : ADB/ICLARM, 191 pp.
- LAZARD J., MORISSENS P., PARREL P., AGLINGLO C., ALI I., ROCHE P., 1990. *Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique*, Nogent sur Marne, France : CTFT-CIRAD, 82 pp.
- PCAMRD, 1990. *Integrated crop-livestock-fish farming systems*. Los Baños, Laguna, Philippines : PCAMRD.
- PULLIN R.S.V., LAZARD J., LEGENDRE M., AMON KOTHIAS J.B., PAULY D., 1996. *Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture*, Manila, Philippines : ICLARM/CIRAD-EMVT/ORSTOM/CRO. Proceedings of the international symposium on tilapia in aquaculture, 630 pp.