

Les systèmes de production aquacole et leurs relations avec l'environnement

Roland Billard

La production mondiale des ressources vivantes aquatiques en 1991 a été de l'ordre de 100 millions de tonnes, dont 15 % étaient dus à l'élevage, le reste relevant d'activités de la pêche, dont les captures sont à rapprocher de la production mondiale de viande, qui se situe à près de 170 millions de tonnes et qui résulte quasi exclusivement

d'activités d'élevage. Pour les ressources aquatiques, l'activité de la pêche demeure donc remarquablement élevée par rapport aux autres productions animales. Le poids de l'aquaculture dans les productions aquatiques totales reste difficile à évaluer, car il y a une mauvaise distinction entre la production des stocks entièrement sauvages et les systèmes de production exten-

sifs dans lesquels il y a activité d'élevage à un stade du cycle. Des productions de systèmes extensifs sont souvent comptabilisées avec les captures de stocks sauvages. D'après les données de la FAO (*tableau 1*), les productions aquacoles mondiales ont été, en 1991, de 16,5 millions de tonnes pour une valeur de 28 milliards de dollars US. Les apports de

Tableau 1

Productions aquacoles mondiales en 1991 (d'après FAO [1])

	t x 1 000	%
Poissons	8 741	52,7
Mollusques	3 095	18,7
Crustacés	806	4,9
Divers	33	0,2
Algues	3 904	23,5
Total	16 580	100,0

Worldwide aquaculture production in 1991

R. Billard : Muséum national d'histoire naturelle, Laboratoire d'ichtyologie, 43, rue Cuvier, 75231 Paris cedex 05, France.

Tirés à part : R. Billard

Tableau 2

Tonnage et valeur (en millions de FF) des importations et exportations des produits aquatiques en France ; balance négative de 9,8 milliards de FF

	Tonnes	FF
Importations		
<i>Produits de la pêche</i>		
Poissons	480 000	7 000
Crustacés, mollusques, coquillages	186 000	4 000
Conserves	151 000	2 800
Total	817 000	13 800
<i>dont produits provenant en majorité d'élevage :</i>		
Saumons	72 000	1 900
Truites	2 200	40
Crevettes	67 000	1 900
Moules	40 000	150
Exportations		
Poissons	277 000	3 000
Crustacés, mollusques	46 000	600
Conserves	16 400	400
Total	339 400	4 000

French import and export of aquatic products in 1991: metric tons and value in French francs. Negative balance of FF 9.8 billions



▲ **Photo 1.** La carpe commune *Cyprinus carpio* (variété à écailles).

Photo 1. The common carp, *Cyprinus carpio* (scaly variety).



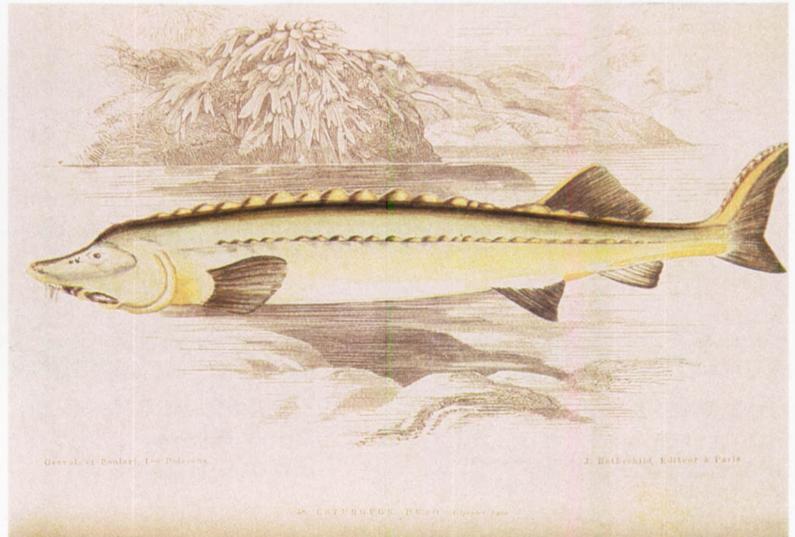
Photo 2. Le poisson rouge *Carassius auratus*, ou cyprin doré (variété « tête de lion »).

Photo 2. The goldfish, *Carassius auratus* ("lion's head" variety).



▲ **Photo 3.** Écloserie de saumons du Pacifique à Cowlitz, Washington (États-Unis).

Photo 3. Pacific salmon hatchery at Cowlitz, Washington, USA.



▲ **Photo 4.** L'esturgeon *Huso huso* est l'un des plus grands poissons d'eau douce avec un poids record de 1 100 kg rapporté en 1912. Il fait l'objet d'opérations de repeuplement dans l'ex-URSS avec capture des géniteurs sauvages, reproduction artificielle et prégrossissement de juvéniles (photo L. Bessoles reprise de Gervais et Boulart [35]).

Photo 4. The sturgeon, *Huso huso*, is one of the largest fresh-water fish (record weight: 1,100 kg, 1912). Re-stocking operations in the ex-USSR are common: brood fish are caught in the wild, artificially reproduced and the juveniles reared.



▲ **Photo 5.** Capture du poisson au filet dans le lac Li Hu (100 ha) près de Wuxi (Chine).

Photo 5. Netting fish in Li Hu lake (100 ha), near Wuxi, China.

Photo 6. Adaptation du système des « acadjas » à la pisciculture. Implantation de tiges de bambou dans un enclos dans la lagune Ebré (Côte d'Ivoire) offrant une plus grande surface pour le développement du péryphyton et augmentant la productivité du réseau trophique de la lagune.



Photo 6. Adapting the "acadja cage" system to pisciculture. Bamboo stakes are planted in a pen in the Ebré lagoon (Ivory Coast) allowing a larger surface area for periphyton development and increasing productivity.



Photo 7. Installations d'élevage d'huîtres au Japon occupant de larges surfaces en zone côtière (préfecture de Mie).

Photo 7. Oyster rearing facilities in Japan, occupying large areas of coastal water (Mie Prefecture).

Photo 9. Étang recevant directement les effluents d'une porcherie établie sur la berge d'un étang à Wuxi (Chine).

Photo 9. Pond fed with waste from a pig farm on the bank in Wuxi, China.

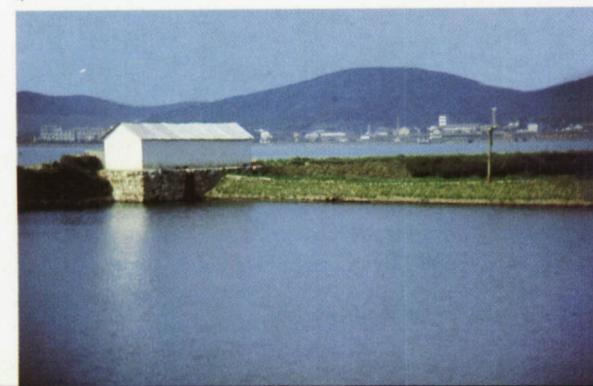


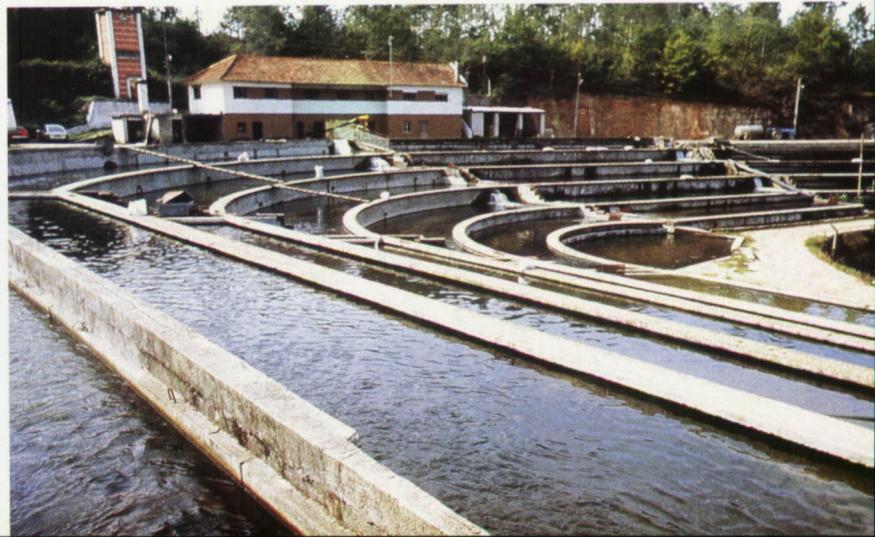
Photo 8. Petit étang traditionnel des Dombes (France) en cours de vidange en hiver en vue de la capture des poissons. L'étang est ensuite remis en eau ou, une année sur trois ou quatre, remis en culture, ce qui l'inclut dans l'assolement.

Photo 8. Small traditional pond in Dombes (France), drained in winter to catch fish. The pond is then refilled or, once every 3-4 years, rotated with cereals.



Photo 10. Pisciculture de truites dans le nord du Portugal, construite dans une région accidentée et contribuant à maintenir une activité en zone déshéritée.

Photo 10. Rainbow trout farm in a hilly region of northern Portugal, providing work in a depressed rural area.



la pêche tendent à se stabiliser depuis plusieurs années aux environs de 85 millions de tonnes, de sorte que l'augmentation de la demande mondiale due à la pression démographique et l'élévation perceptible de la consommation individuelle devraient entraîner, à l'avenir, une progression des productions aquacoles, lesquelles augmentent d'ailleurs régulièrement depuis une dizaine d'années (11 % par an en moyenne depuis 1984) [1] (figure 1). Pour Mathiesen [2], la couverture attendue de l'aquaculture serait de 35 millions de tonnes en 2000, 52 en 2010 et 77 en 2025.

Les productions françaises annuelles en produits aquatiques sont de l'ordre de 600 000 tonnes par pêche et 250 000 tonnes par élevage (dont 200 000 de mollusques ; principalement des huîtres). Elles sont nettement insuffisantes pour couvrir les besoins, et la balance des importations est négative de 500 000 tonnes, soit plus de 10 milliards de francs. Une part du déficit provient de produits le plus souvent issus d'élevages comme le saumon, les grosses crevettes, les coquilles Saint-Jacques et divers mollusques (tableau 2).

Les systèmes de production aquacole sont extrêmement diversifiés et présentent des degrés plus ou moins marqués d'intégration aux écosystèmes aquatiques et aux agrosystèmes. Le nombre d'espèces faisant l'objet d'élevage ou de culture est très élevé, de l'ordre de 200 (environ 110 de poissons, 25 de crustacés, 50 de mollusques et 8 d'algues), mais 80 % de la production provient d'une dizaine d'espèces seulement (figure 2) [3]. Il s'agit encore le plus souvent d'activités de grossissement de juvéniles capturés dans la nature. Le nombre d'espèces réellement domestiquées, dont toutes les phases du cycle vital sont maîtrisées et qui sont adaptées aux conditions de captivité et aux objectifs de production, est très limité, une dizaine environ. Les espèces domestiquées de longue date sont les huîtres, déjà élevées par les Romains, la carpe (*Cyprinus carpio*) (photo 1) dont l'élevage remonte aux VI^e et VII^e siècles avant J.-C. en Chine (avec, depuis, création d'un grand nombre de races, en particulier en Europe) et le poisson rouge (*Carassius auratus*) (photo 2), élevé comme poisson d'ornement depuis plus de 1 000 ans en Chine [4]. L'élevage de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) remonte au milieu du XIX^e siècle ; il en existe actuel-

Summary

Aquacultural production systems and their relation to the environment

R. Billard

Total world aquacultural production in 1993 amounted to 16.5 million tons (Table 1, Figs. 1, 2 & 3), i.e. 16% of the total aquatic production resources (fisheries and aquaculture). A wide range of production systems are encountered worldwide in various economic and social systems, more or less dependent on aquatic ecosystems and agrisystems. The systems are closely linked to the natural environment, for example, juveniles and broodstock of a large number of non-domesticated species are captured and reared in captivity.

Water is an unusual cultivation medium, partly due to it being a fluid and partly because it is not the farmer's property. Aquatic farming systems may be seen as a continuum ranging from the cultivation of juveniles and their release into the wild (followed by capture by professional or amateur fishermen = ranching) to rearing structures more or less open to the wild (Table 3). Commercial fisheries ranch several species: e.g. salmonids, acipenserids and coregonids (Figs. 3, 4 & 5; Photos 3, 4 & 5). Fish are also reared in captivity and released into the wild, either to be caught by anglers (Fig. 6) or for the protection of endangered species or populations (Table 4). In some cases, species are cultivated directly in natural aquatic conditions, e.g. oysters attached to the substrate (Fig. 7) or kept in cages (Fig. 12, photos 11 to 14), where they are susceptible to environmental phenomena, predation and poaching. In pond polyculture (associations of live species feeding at different levels of the food web, Figs. 7 & 8), fish excrement and organic fertilisers are recycled in situ; the same does not apply to pond monoculture (salmonids, carp and channel catfish) with exogenous feeding where the water released may pollute the environment (Table 4) and require suitable treatment. On fish farms, i.e. systems removed from the natural environment (Figs. 9, 10 & 11), there is a tendency nowadays to recycle and purify water in situ. Here, the entire production environment, water included, becomes the farmer's property, and aquaculture bears a closer resemblance to agriculture. In the future, we may well see the development of:

– intensive mass production systems of a few well-domesticated species organised into a commodity chain of production, processing and marketing;

– extensive systems, more or less open to the wild, with a large number of species (mostly non-domesticated), each yielding limited production for a limited market. Both categories contribute towards a better occupation and organisation of the land.

The various types of aquatic production systems will probably continue to co-exist and interact in the future. Commercial fisheries are here to stay, and have the benefit of recruitment stock (ranching), both in the open sea and continental waters. Ranching could contribute towards safeguarding species either in decline (e.g. the Atlantic salmon) or threatened (e.g. sturgeons). Although open-water aquaculture is a risk activity, it should be kept up and encouraged, since its extensive nature does not only not harm the quality of the water, it also ensures its being maintained. As to aquaculture in confined water, this will develop even more.

Cahiers Agricultures 1995 ; 4 : 9-28.

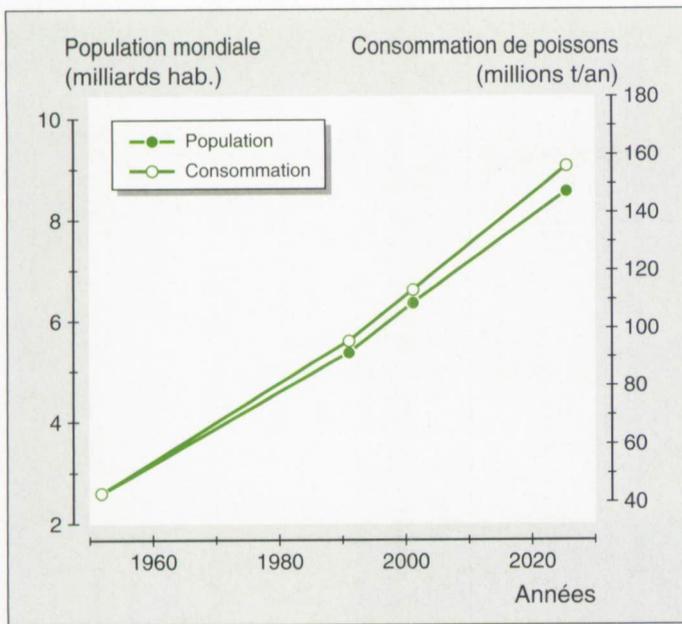


Figure 1. Prédiction de la croissance démographique et de la consommation de poissons. Les besoins seraient couverts par les apports des pêches qui resteraient stables (environ 85 millions de t), le complément étant apporté par l'aquaculture dont on prévoit un développement régulier [2].

Figure 1. Forecast growth in world population and fish consumption. Input from fisheries would remain stable at ± 85 M tonnes, the remainder coming from aquaculture, expected to continue growing smoothly.

lement plusieurs souches. D'autres espèces ont été mises en élevage, depuis les années 50-70, en bénéficiant des apports de la recherche, ce qui a contribué à accélérer le processus de domestication : bar (*Morone labrax*), poisson-chat américain (*Ictalurus punctatus*), diverses espèces de dorades, de saumons, de tilapias et d'huîtres. Le processus d'intensification des productions aquatiques comportant « domestication » des espèces et des milieux n'est pas aussi achevé que dans le cas des espèces et des milieux terrestres. Il y a eu progressivement déplacement d'une activité tertiaire (pêche) vers l'exploitation de la production primaire et secondaire (élevages extensifs) et vers des élevages intensifs dépendant alors principalement du milieu physique (eau, température...), le tout constituant un continuum. Les systèmes extensifs sont encore largement dominants dans le monde, avec une gradation qui part du forçage du recrutement, en protégeant artificiellement les stades précoces (fécondation, développement embryonnaire et larvaire) et en agissant sur l'habitat requis pour les stades critiques (par exemple supports pour la fixation de larves d'huîtres), et

qui va jusqu'aux élevages de tous les stades en mono- ou en polyculture en étangs fertilisés. Le caractère récent de cette domestication des espèces aquatiques résulte probablement des difficultés de voir et de capturer les animaux dans leur milieu tandis que, par ailleurs, la pêche des espèces sauvages restait importante, tant en tonnage qu'en nombre d'espèces offertes au consommateur.

Il existe diverses typologies des systèmes de production basées sur leur caractère intensif ou extensif, l'origine des eaux, des aliments, des espèces en place, leur intégration aux autres activités d'élevage et à l'agriculture, etc. [5]. La typologie présentée ici (tableau 3) tient compte du degré de dépendance des systèmes vis-à-vis de l'environnement, qu'il s'agisse du milieu physique, du contexte social ou du contexte biologique : espèces élevées, encore sauvages ou domestiquées, origine des juvéniles, production ou non de nourriture par l'écosystème aquatique. Les impacts que les systèmes de production ont sur l'environnement doivent aussi être pris en compte.

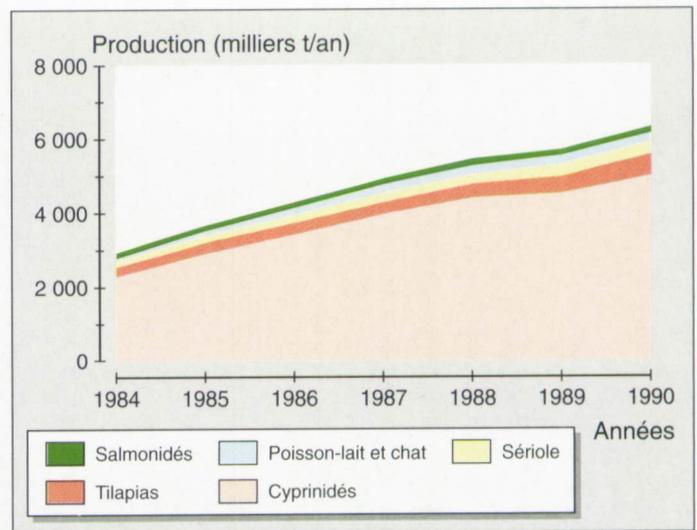


Figure 2. Évolution des productions d'élevage des groupes de poissons les plus importants : cyprinidés (comportant quatre espèces principales), salmonidés (quatre), tilapias (une), sériole (une) et poisson-chat américain (une).

Figure 2. Patterns of major fish type production over the past years: cyprinids (including four main species), salmonids (four), tilapias (one), yellow-tail (one) and channel catfish (one).

Élevage et soutien de stocks en milieu ouvert

Le pacage lacustre ou marin

Il s'agit d'un système de production encore très dépendant du milieu naturel (ensemencement en juvéniles de mer, de lacs, ou de rivières et capture par le pêcheur), mais qui fait appel à une phase d'élevage portant en général sur les jeunes stades. Des juvéniles sont produits en éclosiers et élevés jusqu'à une taille leur permettant de résister à la prédation avant d'être lâchés dans le milieu naturel. C'est le cas pour les saumons du Pacifique (photo 3) avec des développements spectaculaires au Japon où les captures de saumons de repeuplement atteignent 150 000 t/an en zone côtière (figure 3). Plusieurs espèces d'esturgeons font l'objet d'activité de repeuplement en juvéniles dans la mer Noire et la mer Caspienne. Cette activité porte aussi sur des lacs, par exemple pour divers salmonidés et corégonidés en France (lac Léman) et en Europe centrale. Un système d'élevage en cage de corégones juvé-



◀ **Photo 11.** Élevage de saumon en cage dans la baie de Puerto Montt (Chili).

Photo 11. Salmon rearing in cages in Puerto Montt, Chile.

Photo 12. Élevage de la sériole en cage dans une baie du Japon.

Photo 12. Yellowtail rearing in cages in Japan.



Photo 14. Élevage de poissons en enclos dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire).

Photo 14. Fish rearing in pens in the Ebrié lagoon (Ivory Coast).



Photo 13. Élevage de la sériole au large, en cage reliée à une plate-forme au Japon (préfecture de Ehimé).

Photo 13. Yellowtail rearing in cages attached to large offshore structures in Japan (Ehimé Prefecture).



Photo 15. Destruction de mangroves dans une zone d'élevage de crevettes (Thaïlande).

Photo 15. Destruction of mangroves in shrimp culture area (Thailand).





Photo 16. Étang d'élevage de poissons-chats récemment creusé sur d'anciennes terres agricoles au Mississippi (États-Unis).

Photo 16. Rearing catfish in ponds recently dug in former farmland (Mississippi, USA).



Photo 17. Vue d'une pisciculture d'étang polyvalente (5 à 6 espèces) nouvellement construite en Bresse par P. Dannancier (France). Elle est basée sur la récupération intégrale de l'eau de pluie, le pompage d'eau dans la nappe phréatique à - 30 m et la réutilisation de l'eau de vidange des étangs après transit et épuration dans le bassin récepteur situé à l'aval.

Photo 17. Fish farm rearing 5 to 6 species recently built by P. Dannancier in Bresse, France. The principle is based on complete recuperation of rain-water and underground pumping. Water is recycled *in situ* and not released outside the farm.

Clichés R. Billard.

Photo 18. Installation pilote de recyclage de lisier de porcherie en opération à l'Ucaab, Château-Thierry (France). Le lisier est introduit en amont dans deux bassins produisant des algues, lesquelles sont déversées dans deux autres bassins (au centre) où elles servent d'aliment à des daphnies qui sont prélevées ou dirigées avec l'eau de leur élevage dans un bassin aval (au premier plan) où sont élevés des poissons zooplanctonophages [24].

Photo 18. Pilot pig-manure recycling plant at UCAAB, Château-Thierry, France. The manure is put into two tanks upstream producing algae, in turn sent to two other basins (centre) as food for daphnia. The latter are netted and either processed or given straight to the fish in the pond (foreground) [24].

Photo 19. Exemple d'un produit haut de gamme au Japon (hiramé) qui, consommé cru, requiert une qualité stricte, tant du point de vue gustatif qu'hygiénique.

Photo 19. Example of up-market Japanese product: *hiramé*. Eaten raw, its organoleptic and hygiene qualities are strictly controlled.

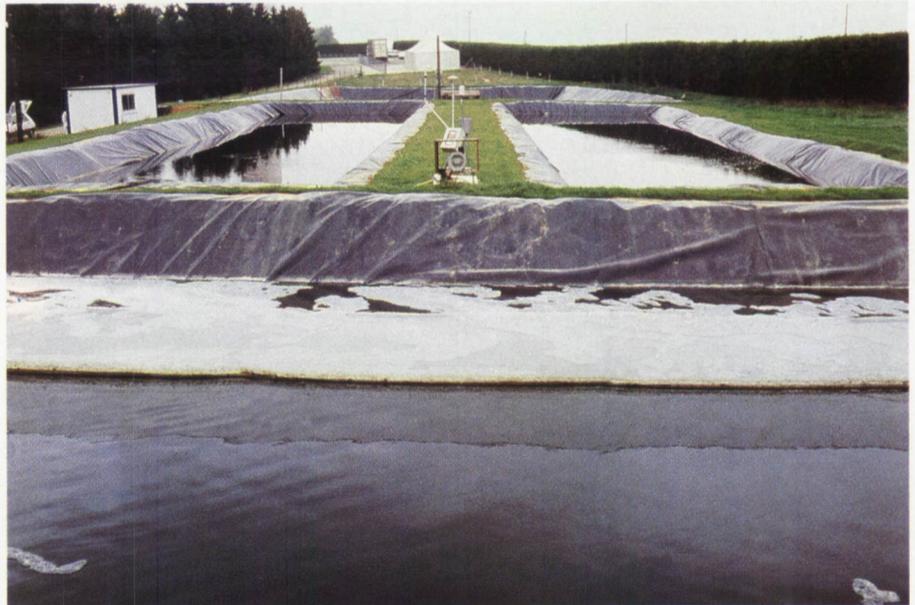


Photo 20. Production de poissons d'ornement (carpe Koi) dans un jardin japonais. Le public est autorisé à distribuer des granulés, ce qui donne lieu à une forte agitation des poissons et des jeux de couleurs spectaculaires.

Photo 20. Koi carp in a Japanese garden. The public is allowed to feed the fish with pellets, resulting in great movement among the fish and a spectacular play of colour.



Tableau 3

Les systèmes d'exploitation des ressources vivantes aquatiques et leurs relations avec les milieux et les populations sauvages

Système d'exploitation	Activité de pêche	Élevage		Impact négatif sur :		Exemple
		Stade	Apport d'aliments artificiels	Les milieux naturels*	Les populations sauvages**	
Pêche (stocks sauvages) : - commerciale - récréative	+		-		+	Nombreux stocks exploités Surtout en mer (bar, « gros »)
Élevage en vue du soutien de stocks en milieu ouvert : - pacage marin ou lacustre	+	Juveniles	+		+ / ++	Corégone, saumon, daurade rouge
- pêche récréative	+	Tous stades	+	+	+ / ++	Truite, saumon, brochet
Élevage pratiqué directement en milieu ouvert	+***	Tous stades	-		++	Conchyliculture
Élevage captif basé sur des prélèvements de géniteurs ou juvéniles sauvages : - extensif - intensif	+*** +***	Tous stades**** Tous stades****	- +			Poisson-lait (SE Asie) brochet, Sériole en cage
Élevage captif ouvert sur les milieux naturels • Aliments produits par l'écosystème aquatique : - étangs non fertilisés (système européen) - étangs fertilisés (système chinois) - cages en milieux eutrophes		Grossissement Tous stades Grossissement	- - ±	+	+	Cyprinidés Cyprinidés Cyprinidés, salmonidés
• Élevage « hors sols » avec apport d'aliments artificiels : - à forte consommation d'eau - à faible consommation d'eau - en eau réchauffée de centrales nucléaires		Tous stades Tous stades Grossissement	+	++ ++	++ ++ ++	Salmonidés Poissons-chats, crevettes Tilapia (B), bar (F)
Élevage captif « hors milieu naturel » : - éclosion en eau recyclée thermorégulée et épurée - grossissement en eau recyclée thermorégulée et épurée - grossissement en eau réutilisée		Œufs et larves Grossissement Grossissement	+			Éclosion marine Poisson-chat africain en Hollande Opérations pilotes en Israël et en France

* altération de la qualité de l'eau et de l'environnement physique ; ** + = surexploitation et ++ = altération de l'originalité génétique des populations sauvages ; *** géniteurs ou juvéniles ; **** sauf géniteurs.

Live aquatic resources production systems and relationships with the natural environment and wild populations

niles est pratiqué en lac en Pologne. Après capture et prélèvement des gamètes, les géniteurs sont relâchés dans le milieu naturel ; les œufs sont fécondés et les embryons sont incubés, éclos en éclosion, puis transférés en cages, dans un lac, où l'élevage est conduit jusqu'à la taille requise pour le lâcher (figure 4). Ce système suppose l'intervention d'un corps de pêcheurs professionnels qui doit se montrer discipliné et respecter notam-

ment tailles limites et quotas de capture. Dans les pays de l'ex-Union soviétique, ces conditions paraissent de moins en moins respectées pour les esturgeons dont la puberté est tardive (entre 10 et 20 ans), ce qui suppose qu'un grand nombre de classes d'âge soit protégé pour que les poissons puissent atteindre l'âge de la reproduction. Dans ces pays, où se trouvent actuellement les stocks d'esturgeons les plus importants au

monde, les changements de structure et la séparation en plusieurs États rendent plus difficile l'application des mesures de gestion, de sorte que des risques de surpêche menacent d'extinction les espèces d'esturgeons exploitées (photo 4). Une forme de pacage lacustre est couramment pratiquée en Chine, qui consiste à placer les larves (en général de cyprinidés) provenant d'écloseries dans des cages ou enclos dans lesquels elles sont alimentées.

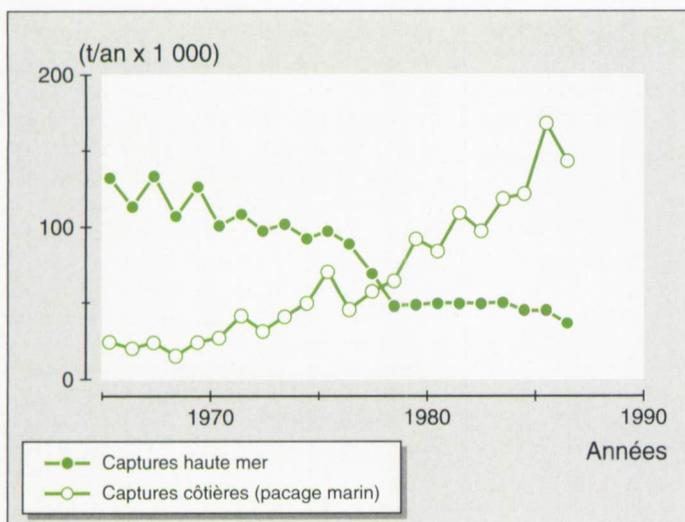


Figure 3. Évolution des captures de saumon (toutes espèces confondues) au Japon. Les captures de populations sauvages en haute mer déclinent régulièrement alors que celles pratiquées en zones côtières, portant sur des populations dont les juvéniles ont été élevés en écloseries et lâchés en mer, augmentent.

Figure 3. Patterns of salmon capture (all species) in Japan. Catches of wild populations in the open sea have been declining regularly over the past years, whereas those of ranched species in coastal waters have increased.

Quand elles atteignent une certaine taille, les enclos sont ouverts et les juvéniles sont lâchés dans le milieu même où ils grossiront et seront pêchés (figure 5 et photo 5). La taille au lâcher dépend de celle des poissons piscivores présents dans le milieu. Dans un lac près de Wuxi, les espèces de carnassiers rencontrées ne consomment pas de poissons dont la taille dépasse 13 centimètres, ce qui définit la taille au lâcher.

Une variante de ce système est le soutien des peuplements de poissons exploités par la pêche récréative en eau douce qui constitue, avec près de 2 millions de pêcheurs, une activité de loisir dont l'importance économique est notable en France. Philippart [6] a dénombré 45 espèces d'eau douce en Europe bénéficiant de soutien de stocks par repeuplement (tableau 4). Dans cette catégorie pourrait se placer la mise en élevage

d'espèces menacées en vue de leur conservation. Il s'agit de capturer des géniteurs dans la nature, de les mettre en élevage en pisciculture, de tenter de les reproduire puis de lâcher des juvéniles ou des adultes dans des milieux ouverts. On peut aussi capturer les juvéniles dans la nature, les faire grossir en pisciculture avant lâcher ou les amener au stade de reproduction. Un exemple de cette démarche est illustré par les essais de sauvegarde de l'esturgeon de la Gironde (*Acipenser sturio*) très sévèrement menacé de disparition et dont il ne reste qu'un très petit nombre de géniteurs qu'il est pratiquement impossible de capturer afin d'en maîtriser la reproduction en captivité. En revanche, il existe encore des juvéniles qui peuvent être capturés et qu'une équipe du Cemagref de Bordeaux tente actuellement d'élever jusqu'à la puberté afin de constituer un stock de géniteurs. D'autres espèces menacées, comme l'apron (*Zingel asper*), pourraient bénéficier de mesures similaires. S'agira-t-il, en fait, de réimplanter des espèces dans le milieu naturel ou, simplement, de les élever pour maintenir l'espèce et la montrer en aquarium ou en bassin comme on le fait dans les zoos ? Une autre forme de soutien des stocks de poissons est l'implantation de récifs artificiels, qui offrent des zones refuges favorisant la reproduction et le dévelop-

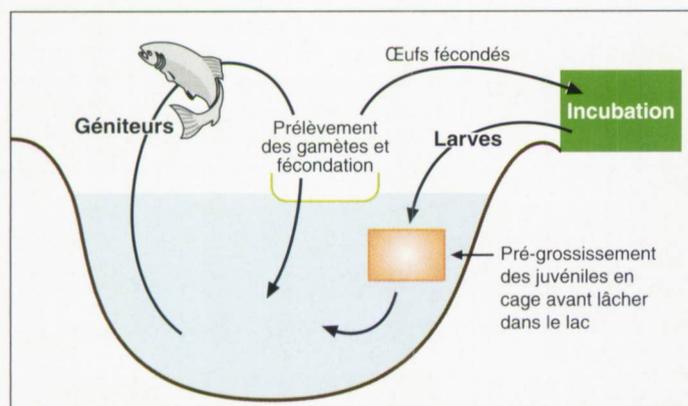


Figure 4. Schéma des opérations de soutien des stocks de corégones pour l'élevage de larves en cage et en lac, en Mazurie dans le Nord de la Pologne. Les gamètes sont prélevés sur les géniteurs sauvages, les œufs sont fécondés artificiellement et mis en incubation en écloserie et les larves sont transférées quelques jours après l'éclosion dans des cages placées en surface ou entièrement immergées à quelques mètres de profondeur.

Figure 4. Coregonid ranching operations in Lake in Mazury (northern Poland). The gametes are taken from wild males and females, artificially fertilised and incubated in hatcheries; some days after hatching, the larvae are transferred to cages located at the surface or fully immersed at a depth of several metres.

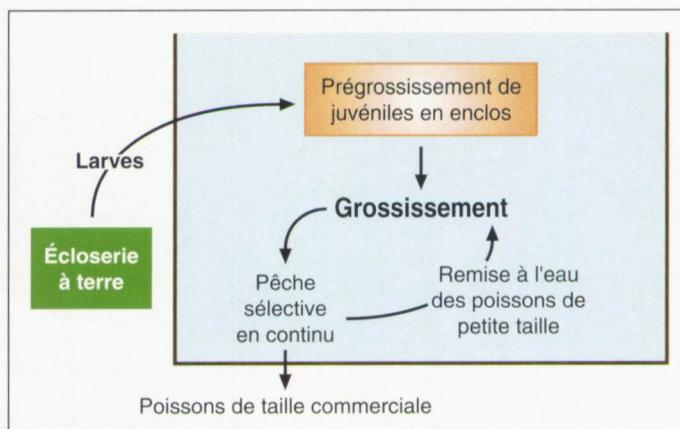


Figure 5. Pacage lacustre en Chine (exemple d'un lac d'une centaine d'hectares près de Wuxi produisant environ 1 t/ha/an). Les larves issues d'écloseries sont mises en enclos dans une partie peu profonde du lac où elles reçoivent une alimentation artificielle. À la taille requise, les larves sont libérées dans le milieu ouvert où elles grossissent. Des pêches sont pratiquées périodiquement (photo 5). Seuls les sujets ayant atteint la taille marchande sont retirés, les autres étant remis dans le lac où ils continueront de grossir.

Figure 5. Lake ranching in China (example: lake close to Wuxi producing approx. 1 t/ha/yr). Larvae are put in pens in the lake and fed artificially. On reaching the required size, they are released into the lake where they continue to grow. Catches are made regularly (photo 5). Individuals having reached the market size are removed, the others are returned to the lake.

Tableau 4

Espèces de poissons faisant l'objet d'élevage en vue de repeuplement en Europe (d'après Philippart [6])

Esturgeons

Acipenser ruthenus, *A. stellatus*, *A. sturio*, *A. naccarii*, *Huso huso*

Salmonidés

Salmo salar, *S. salar sebago*

Salvelinus alpinus, *Salmo trutta m. lacustris*

Salmo t. m. trutta, *Salmo t. m. fario*, *Salmo t. marmoratus*

Coregonus albula, *C. lavaretus*, *C. muksun*, *C. oxyrhynchus*

Hucho hucho, *Thymallus thymallus*

Cyprinidés

Barbus barbus, *B. meridionalis*

Chondrostoma nasus, *Alburnoides bipunctatus*

Leuciscus cephalus, *L. leuciscus*, *L. idus*

Gobio gobio, *Phoxinus phoxinus*, *Aspius aspius*

Cyprinus carpio, *Carassius carassius*

Rutilus rutilus, *Scardinius erythrophthalmus*, *Tinca tinca*

Abramis brama, *Vimba vimba*

Autres groupes

Esox lucius, *Perca fluviatilis*, *Stizostedion lucioperca*

Silurus glanis, *Lota lota*

Fish species reared for re-stocking in Europe

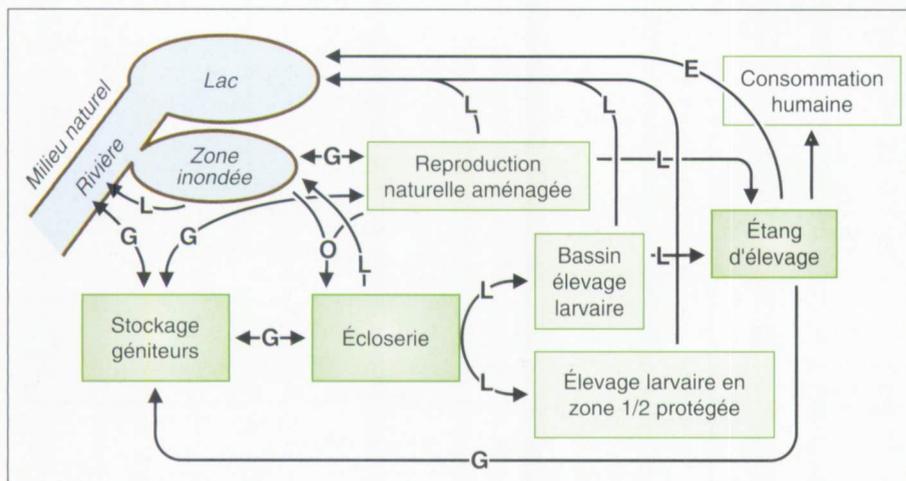


Figure 6. Reproduction intégrée au milieu naturel de population de brochets. Les généiteurs, (G) provenant de divers sites naturels ou d'élevage extensif en étangs, sont stockés dans des bassins avant d'être reproduits en écloserie ou mis à reproduire naturellement dans de petits étangs (reproduction naturelle aménagée) [8]. Les œufs (O) prélevés sur généiteurs sauvages sont aussi mis en incubation en écloserie. Les larves (L) sont remises dans la nature directement ou après élevage en zone semi-protégée ou en bassin. Des juvéniles d'un été (E) sont aussi relâchés après une saison d'élevage en étang.

Figure 6. Integrated pike production. Brood fish (G) from the wild or extensive breeding in ponds are stored in tanks prior to reproduction in hatcheries or left to reproduce naturally in small ponds (fitted natural reproduction) [8]. Eggs (O) taken from wild fish are also incubated in hatcheries. Larvae (L) are returned to the wild or, after rearing, to semi-protected zones or tanks. One-summer juveniles (E) are also released after one pond-rearing season.

pement de la production primaire, ce qui augmente les disponibilités alimentaires. De tels récifs, constitués de troncs d'arbres et de branchages, sont traditionnels et communs au Bénin (acadja) et ont fait l'objet d'adaptation à la pisciculture (photo 6) [7]. Des structures plus modernes (blocs de béton ou même épaves diverses) commencent à être implantées en zones côtières dans différents pays (Japon, États-Unis).

Élevages pratiqués directement dans des milieux ouverts

Un exemple de ce système (ensemencement en juvéniles et récolte par l'éleveur) est donné par la conchyliculture (élevage des mollusques) où l'éleveur capte le plus souvent les juvéniles (naissin) en milieu naturel et les élève dans des structures variées en milieu ouvert, en général en zone côtière (photo 7). Des innovations apparaissent actuellement, avec la mise en place d'écloseries permettant de régulariser les apports de juvéniles et de rendre possibles, par exemple, des améliorations génétiques. Ces systèmes restent très soumis aux aléas du climat et du milieu (disponibilité en algues, développement d'algues toxiques par exemple). Ils sont susceptibles d'avoir des impacts non négligeables sur les populations naturelles. Dans les cultures traditionnelles de mollusques, il y a une introduction permanente d'espèces et de populations venant de l'extérieur et, dans le cas des huîtres, il y a des échanges fréquents entre les élevages du monde entier. Il en résulte des problèmes pathologiques avec apports d'agents pathogènes nouveaux.

Élevages captifs basés sur des prélèvements de juvéniles dans des populations sauvages

L'élevage de beaucoup d'espèces non domestiquées est basé sur la capture dans le milieu naturel de généiteurs (mis en reproduction et produisant des juvéniles) ou sur le prélèvement direct d'œufs, de larves ou de juvéniles qui sont mis en

grossissement en milieu contrôlé. Dans certains cas comme le brochet (*Esox lucius*), le système d'élevage est très imbriqué dans le milieu naturel ; il s'agit, le plus souvent, de soutenir des stocks naturels aux fins de pêche récréative et, parfois, de produire des brochets pour la consommation (figure 6). Ce type de production reste quantitativement faible mais donne un revenu intéressant, bien qu'irrégulier, car les aléas dus aux prédateurs ou au climat sont nombreux.

Il existe d'autres espèces dont l'élevage dépend entièrement de la capture de juvéniles dans la nature avec mise en grossissement dans des structures confinées (cages, étangs). C'est le cas de la sériole (*Seriola quinqueradiata*) au Japon (production 162 000 t en 1991), du poisson-lait (*Chanos chanos*) dans le Sud-Est asiatique (production 409 000 t en 1991) et de carpes indiennes en Inde (production 1 114 000 t en 1991). C'est dire qu'une partie importante de la production mondiale de produits aquatiques provient d'espèces encore sauvages. Il faut toutefois noter que la production de sériole et de poisson-lait tend à se stabiliser, voire à diminuer, en partie à cause des aléas de capture de juvéniles et aussi en raison, dans le cas de la sériole, des impacts très négatifs sur l'environnement.

Élevages captifs prélevant et rejetant l'eau dans le milieu naturel

Dans ces systèmes, les poissons sont élevés en captivité et confinés en cage, en bassins allongés en béton ou en brique, les *raceways*, en étangs, bassins, etc., mais l'eau les alimentant est prélevée dans le milieu naturel (que ce soit en mer, en lac ou en rivière) et y retourne (dans le cas des cages, l'eau ne fait que traverser les structures). La nourriture peut provenir soit de l'écosystème lui-même (forme extensive avec des productions annuelles allant de 100 kg à 10 t/ha), soit des apports exogènes sous formes variées (sous-produits divers, céréales, granulés), ce qui donne lieu à des formes plus intensives allant jusqu'au type industriel organisé en filière avec mise en charge de 10 à 100 kg de poisson/m³ et production pouvant atteindre plusieurs centaines de tonnes par hectare et par an.

Aliments produits en majeure partie par les écosystèmes aquatiques [9, 10]

• Étangs

Les étangs de pisciculture en eau douce sont traditionnels en Europe où ils sont conduits de façon très extensive, recevant une fertilisation légère, minérale et/ou organique avec des productions annuelles de quelques centaines de kilos de poissons (photo 8). En Chine, les étangs reçoivent une intense fertilisation organique sous la forme de divers effluents d'élevage (lisier de porc, fientes de volailles, fumier de bovins, voire même des effluents domestiques) et produisent au total plus de 4 millions de tonnes de poissons (photo 9). Ce système est extrêmement performant, car il associe plusieurs espèces inféodées aux différents

niveaux d'un réseau trophique dont le développement est fortement stimulé par la fumure organique apportée (espèces phytoplanctonophages, zooplanctonophages, molluscophages, herbivores...), ce qui permet des productions exceptionnelles, dépassant communément 5 t/ha/an sans aucun apport alimentaire exogène (tableau 5). De l'air est insufflé dans les étangs par des aérateurs qui apportent de l'O₂ et, dans une moindre mesure, du CO₂.

Il est intéressant de noter que, en Chine, la production animale se situe autour des eaux (porcs, bovins), sur les eaux (canards, oies) et dans les eaux (poissons). Il existe des relations complexes entre ces trois compartiments (figure 7), avec des étangs d'eau saumâtre en bord de mer (par exemple les « tambacks » du Sud-Est asiatique) où est produit, entre autres, le poisson-lait. Une particularité de ces systèmes est que les déjections des poissons sont recyclées *in situ* et contri-

Tableau 5

Performances de productions aquacoles (kg/ha/an) obtenues en associant, dans un même plan d'eau, diverses espèces de poissons, de complexité croissante (système dit de polyculture). Expérience conduite à Taiwan en étangs recevant ou non une fumure organique (d'après Billard [33])

Espèce de poissons	Régime alimentaire	Étang fertilisé	Étang non fertilisé
Perche	Poissons	170	13
Carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i>) Carpe noire (<i>Mylopharyngodon idella</i>)	Omnivore (zooplancton, benthos) Mollusques	910	34
Carpe amour (ou herbivore) <i>Ctenopharyngodon idella</i>	Végétaux supérieurs	263	7
Carpe marbrée (ou grosse tête) <i>Aristichthys nobilis</i> + mulet	Zooplancton	3 238	42
Carpe argentée (poisson filtreur) <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Phytoplancton, micro-zooplancton, détritux	2 706	262
Total		7 287	358

Aquacultural yield (kg/ha/yr) obtained by associating various fish species of increasing complexity (so-called polyculture system) in one and the same pond. Experiment conducted in Taiwan using ponds with or without organic dressing

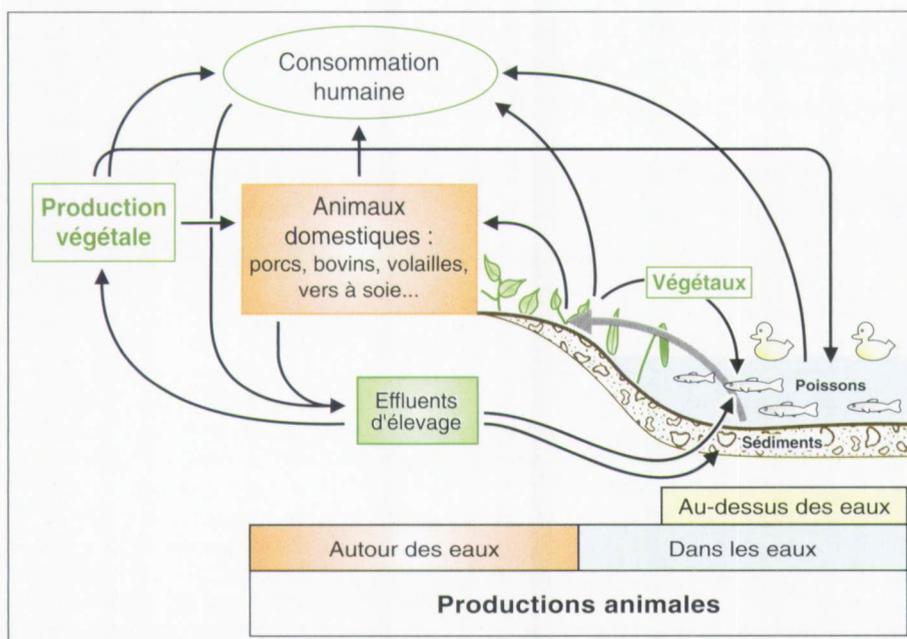


Figure 7. Pisciculture intégrée à l'agriculture en Chine. Les effluents d'élevage de diverses espèces implantées en bordure d'étang sont distribués comme fertilisants à forte dose (jusqu'à 100 kg MS/j/ha) dans les étangs piscicoles et stimulent l'ensemble du réseau trophique dont les différents niveaux sont exploités par diverses espèces de poissons : phytoplanctonophages, benthophages ou herbivores. Les sédiments du fond des étangs, fortement enrichis en matières organiques, sont périodiquement rejetés sur les berges où sont cultivés des végétaux servant à alimenter certains animaux, dont les carpes herbivores. Les poissons reçoivent aussi des produits végétaux (céréales, soja...). À noter, dans l'organisation des productions agricoles, que les animaux dans l'est de la Chine sont concentrés autour des eaux, au-dessus des eaux et dans les eaux.

Figure 7. Integration of aquaculture in Chinese agriculture. High doses (up to 100 kg DM/ha/day) of waste from various farm species are distributed in ponds as nutrient, stimulating growth of the whole food web, used at different levels by various species: phytoplanktonophagous, benthophagous or herbivorous. Pond bottom sediment, highly enriched in organic matter, is regularly removed to the banks where plant species are grown and used to feed certain animals such as herbivorous carp. The fish are also given plant products (cereals, soy, etc.). In eastern Chinese agriculture, animals are concentrated in, above and around water.

buent à la fertilisation de l'étang. Il est évident que des problèmes de santé publique peuvent se poser dans le système chinois, où des effluents d'élevages ou domestiques sont déversés dans les étangs, parfois même sans fermentation préalable. Sur le plan hygiénique [11], il y a d'abord des risques pathologiques pour les travailleurs des piscicultures, exposés à des maladies comme la leptospirose, la bilharziose et la malaria. Il y a ensuite des risques pour le consommateur de poissons produits dans ces systèmes, les problèmes les plus sérieux étant liés aux parasites qui infestent les poissons et qui peuvent être transmis à l'homme en cas de consommation à l'état cru ou si la cuisson est insuffisante. En Asie, des parasites intestinaux affectant l'homme peuvent être transmis par la consommation de poissons élevés dans des étangs recevant une fertilisation incluant des effluents humains. Bien

qu'aucune contamination bactérienne ou virale de l'homme par des poissons en provenance d'étangs recevant des fumures organiques ne soit signalée dans les textes publiés, les systèmes intégrés associant volailles, porcs et poissons ont été suspectés de constituer un milieu favorable au développement de nouvelles souches d'influenza. Un autre risque parfois rapporté concerne la présence du botulisme dans les étangs et leurs sédiments, dû à des contaminations extérieures comme des mammifères porteurs venus aussi mourir dans l'étang. Il peut en résulter des mortalités *via* des canards élevés sur l'étang mais, en général, pas pour les poissons qui peuvent cependant être porteurs sains et poser des problèmes s'ils sont consommés crus ou insuffisamment cuits. L'ensemble de ce secteur reste mal exploré et tous les auteurs s'accordent sur la nécessité de l'étudier sérieusement.

On peut s'étonner que des systèmes d'élevage très performants et peu coûteux (du fait de la fertilisation organique apportée ou endogène et de la polyculture associant plusieurs espèces de poissons) ne se soient pas répandus dans le monde et, en particulier, dans les pays en développement. L'intérêt du système chinois a cependant été perçu par les Soviétiques dans les années 50 et des importations d'espèces de poissons comme la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) et la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) ont eu lieu en URSS et, de là, dans d'autres pays d'Europe de l'Est comme la Roumanie, la Hongrie, la Yougoslavie. Il faut noter que les performances rapportées n'ont pas égalé celles obtenues en Chine, en particulier du fait d'une maîtrise insuffisante de la fumure organique due à la grande taille des étangs (les étangs chinois inférieurs à 1 ha et disposant de système d'aération sont plus faciles à maîtriser que les étangs européens de plus grande taille, souvent supérieurs à 10 ha, et dépourvus d'aération). Il peut aussi y avoir des raisons sociales et culturelles ; la technique chinoise est surtout basée sur un savoir empirique transmis oralement et ne s'exporte pas aisément. Jusqu'à un passé récent, il n'y avait pas de support écrit, à l'exception d'un ouvrage souvent cité par les Chinois : Fan Li, VI^e siècle avant J.-C. ! Dans le cas de ces systèmes très élaborés, le simple transfert d'espèces ne suffit pas. Les Israéliens ont, de leur côté, fait des efforts dans les années 70 pour intégrer le système chinois, mais, faute de marché pour les carpes chinoises (moins appréciées que les tilapias), il ne s'est pas développé.

• Cages en milieu eutrophe

Les milieux ouverts fortement eutrophisés (comme des lacs, des portions ou des bras morts de rivières) peuvent alimenter des biomasses importantes de poissons, mais du fait des risques d'anoxie et des difficultés de capture, le pacage n'y est guère pratiqué. En revanche, il existe des exemples, en Chine en particulier, où des poissons sont mis à grossir dans des cages avec, pour seule alimentation, le plancton apporté par le courant qui passe au travers des filets, avec cependant apport artificiel d'oxygène par aération. Les productions ramenées à la surface du lac seraient de l'ordre de 1 t/ha/an [12].

Tableau 6

Flux d'azote et de phosphore dans un élevage en cage de salmonidés (d'après Phillips [34])

	Azote (%)	Phosphore (%)
Apporté par aliment	100	100
Exporté par le poisson	21-28	15-30
Rejet sous forme particulaire	16-30	54-59
Rejet sous forme dissoute	49-56	16-26

Nitrogen and phosphorus flux in salmonid cage-rearing system

L'aliment est entièrement apporté sous forme de granulés

Ce système peut être qualifié de « hors sol », par analogie à celui dénommé ainsi pour les élevages de vertébrés supérieurs. C'est le système le plus communément rencontré dans les pays développés pour les salmonidés, la sériole, le poisson-chat américain et, traditionnellement, pour la carpe au Japon. La truite en eau douce est en général produite en *raceways* dans lesquels circule un courant d'eau. L'eau est réutilisée, en passant dans plusieurs bassins successifs, puis se trouve finalement rejetée dans la rivière, entraînant avec elle les excréments, ce qui pose des problèmes pour l'environnement. Ce système est très commun en Europe (photo 10), en Amérique du Nord et au Japon, avec une production mondiale de truite arc-en-ciel de l'ordre de 280 000 tonnes en 1991.

Les saumons, qu'ils soient de l'Atlantique et du Pacifique, sont principalement produits en cage, (en mer, en zone côtière) et ce système s'est considérablement développé au cours des dernières années, en particulier en Norvège (production de près de 200 000 t/an), en Écosse et au Chili (photo 11). L'élevage de la sériole se pratique aussi en cage au Japon (photo 12). Dans tous les cas, les excréments et les produits du métabolisme (tableau 6) sont rejetés dans le milieu naturel, ce qui altère l'environnement et génère des inconvénients pour les poissons eux-mêmes lorsque la concentration est élevée ou dans des zones où les courants sont faibles, d'où l'idée de reporter les élevages plus au large (photo 13). Des élevages en cages se sont aussi multipliés dans des lagunes et des lacs au Japon, aux Philippines, en Côte d'Ivoire... (photo 14) ou même dans des rivières (Europe centrale), conduisant, là aussi, à

des phénomènes d'eutrophisation et d'altération de la qualité de l'eau.

La production de crevettes, que ce soit en eau douce ou en mer, s'est développée presque exclusivement selon ce procédé de production intensive avec apports d'aliments artificiels et rejet de l'eau des élevages dans le milieu naturel avec, dans certains pays, des altérations notables de l'environnement (par exemple destruction de mangroves) et, subséquemment, de la production elle-même [13] (photo 15).

La production du poisson-chat américain [14] s'est mise en place récemment sur des terres agricoles abandonnées par l'agriculture et converties en étangs (photo 16). L'aliment est entièrement apporté sous forme de granulés et l'eau est en général pompée à partir de la nappe phréatique puis rejetée dans les rivières. Pour économiser l'eau et réduire

l'impact sur l'environnement, il y a une tendance à ne vidanger les bassins que tous les cinq ou six ans. Des systèmes analogues existent en Israël, avec utilisation de l'eau en provenance de la pisciculture pour l'irrigation (figure 8), ce qui permet de réutiliser les matières fertilisantes sans rejet direct dans le réseau hydrographique.

Élevages captifs hors milieu naturel

Pour répondre aux exigences environnementales qui se manifestent dans de nombreux pays, en particulier en Europe, des systèmes d'élevage captif sont en cours d'élaboration sur base d'un recyclage intégral de l'eau. Ceci évite tout rejet dans l'environnement d'eau usée, de produits médicamenteux, d'agents pathogènes ou d'animaux échappés des élevages et parfois étrangers à la faune locale. Ces systèmes seront appelés à se développer à l'avenir, compte tenu de la forte pression d'une partie du public pour une « aquaculture propre ». Ils sont déjà appliqués en écloséries pour la production de larves et de juvéniles (dont la valeur marchande est élevée) mais ne sont pas toujours possibles pour le grossissement en raison de contraintes économiques. Il y a cependant des exemples opérationnels, comme celui du poisson-

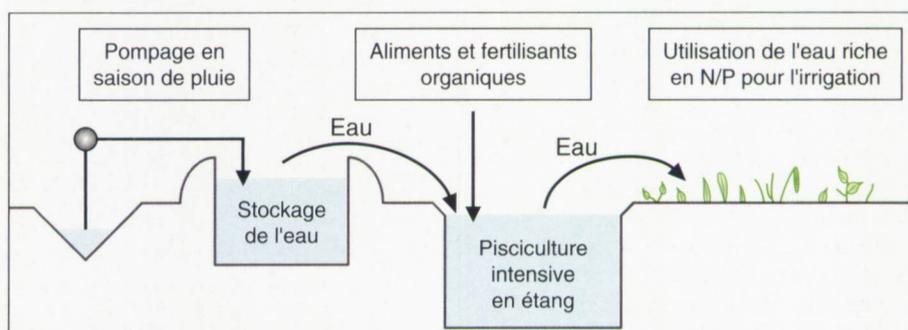


Figure 8. Pisciculture intégrée à l'agriculture en Israël. La pisciculture y est intensive et très associée à l'agriculture, via l'utilisation de céréales comme aliments, l'emploi de divers effluents d'élevage comme fertilisants et les systèmes d'irrigation établis à partir des eaux issues des piscicultures. Les eaux sont stockées dans des réservoirs durant la saison des pluies. Avant d'être orientées vers les terres agricoles, elles transitent dans des étangs, servent de support à l'élevage des poissons et se trouvent fortement enrichies en divers éléments qui bénéficient aux cultures.

Figure 8. Integration of aquaculture in Israeli agriculture. Pisciculture is intensive and associated with agriculture through the combined use of cereals as food, various waste products as nutrient, and aquaculture water for irrigation. Water is stored in reservoirs during the rainy season. Since it is first used in ponds for fish rearing, its increased nutrient level benefits the crops it later irrigates.

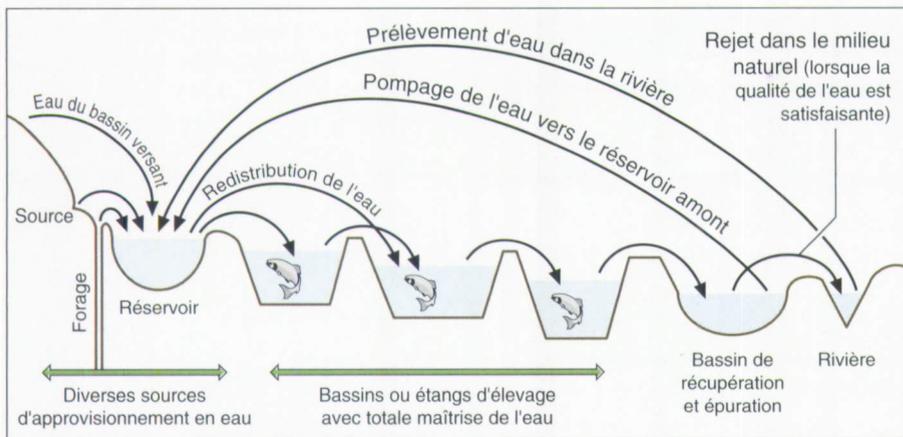


Figure 9. Schéma d'un système de production de type « hors sol » de carpes en bassins avec maîtrise de l'eau (extrapolation d'après le pilote de Courson de 4 ha, Champagne-Ardenne, France). Les besoins en eau sont de 12 000 m³/ha de bassin au remplissage + 20 à 30 % pour compenser l'évaporation et l'infiltration.

Figure 9. Diagram of an "off ground" tank type carp production system with controlled water flow (extrapolated figures based on a 4-ha pilot plot; owner: Mr de Courson, Champagne-Ardenne, France). Water requirements are 12,000 m³/ha of pond on filling, plus 20 to 30% to compensate for evaporation and infiltration.

chat africain (*Clarias gariepinus*) aux Pays-Bas. Le schéma de la figure 9 présente un scénario, proposé en Champagne-Ardenne par un pisciculteur d'étang (R. de Courson), dans lequel l'eau est réutilisée après épuration par passage dans un étang collecteur à l'aval. Cette eau épurée peut être rejetée dans la rivière avec, cependant, le risque d'introduction d'une eau plus chaude modifiant la biocénose. Dans une exploitation mise en place en Bresse par P. Dannancier, l'eau est intégralement réutilisée sans rejet à l'extérieur (photo 17). Un système dit « Dekel » [15, 16], associant des modes extensif et intensif de production, a été mis en place en Israël à titre expérimental pour la carpe et le tilapia et est actuellement repris en France pour l'élevage du silure en Sologne. On construit des bassins d'élevage très intensif de quelques centaines de mètres cubes à proximité immédiate d'un grand étang traditionnel de plusieurs hectares dans lequel l'eau est prélevée, rejetée, afin d'y être épurée avant d'être reprise (figure 10). Le système peut être considéré comme hors milieu naturel, à condition que l'étang ne soit pas traversé par une rivière et qu'il ne déborde pas. Un tel étang d'épuration demande à être convenablement géré afin que les effluents soient recyclés sans accumulation de matière organique. À cet effet, il faut implanter un système de « polyculture », comprenant des poissons fouisseurs pour aérer les sédiments et ce qu'il faut de poissons

zooplanctonophages pour limiter le développement du zooplancton et épargner ainsi les micro-algues qui contribuent efficacement à l'élimination de l'azote ammoniacal, sans toutefois qu'elles soient en excès et se décomposent. Il peut être utile de faire appel à un compartimentage de l'étang (figure 10) afin de réaliser

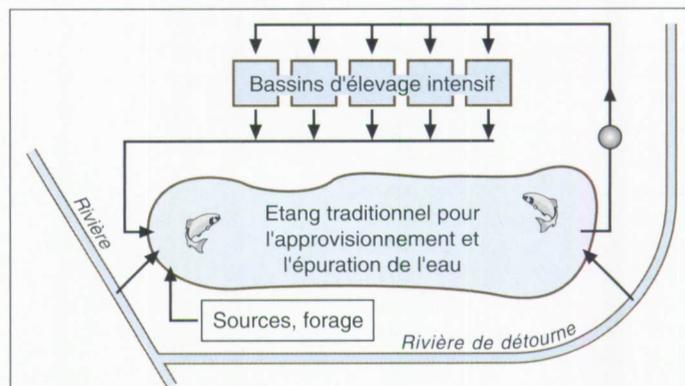


Figure 10. Système d'élevage « hors sol » et « hors milieu naturel » comportant une batterie de bassins de production très intensive (mise en charge de 15-20 kg/m³) dont l'eau est pompée et rejetée dans un étang traditionnel où se fait l'épuration. Une rivière de détournement empêche l'eau du bassin versant de transiter dans cet étang afin d'éviter des débordements et des passages d'eau et de poissons dans le milieu naturel. Les pertes d'eau sont compensées par des apports de la rivière principale, de la rivière de détournement ou de source, forage, etc.

Figure 10. A rearing system both "off ground" and removed from the natural environment, including a battery of highly intensive production tanks (15-20 kg fish/m³). The water is pumped into a traditional pond for purification. A ditch prevents water from the watershed entering the pond. Water losses are compensated by input from streams, springs or pumped underground water.

périodiquement un assèchement sanitaire aidant, par ailleurs, à la minéralisation de la matière organique pouvant s'accumuler dans les sédiments. Des façons culturales et des productions de céréales peuvent aussi être mises en place à l'occasion de l'assèchement, comme c'est traditionnellement le cas dans les Dombes (photo 8).

Combinaison de différents systèmes de production

Les systèmes de production sont parfois combinés et ces associations judicieuses pourraient se développer à l'avenir, en particulier pour limiter les impacts négatifs que l'aquaculture peut avoir sur l'environnement [17]. Ces systèmes combinés sont particulièrement bien développés en Asie. En Chine, par exemple, peuvent se trouver associés sur un même lac, le pacage lacustre (figure 5), des élevages en cage, intensifs ou extensifs, et des activités de ramassage portant sur des végétaux et des mollusques redistribués aux poissons dans le même lac ou à terre (figure 11). Yang et al. [18] identifient six principaux systèmes intégrés de produc-

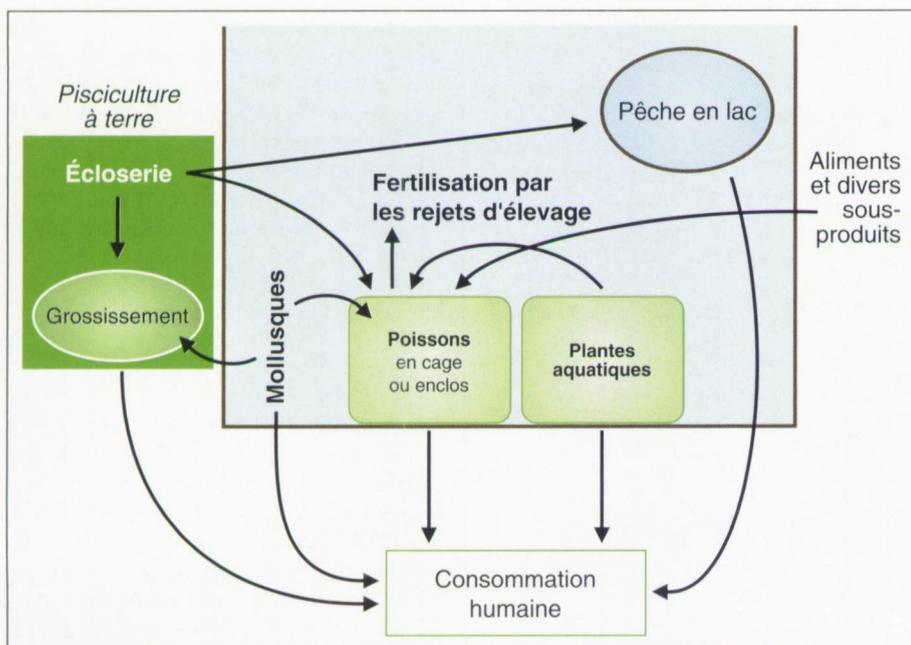


Figure 11. Relations complexes entre les activités d'élevage et de pêche dans les eaux en Chine. Des juvéniles de poissons produits dans des écloseries à terre sont soit introduits dans des lacs en vue de soutenir les stocks exploités par pêche (photo 5), soit placés dans des bassins à terre, des enclos ou des cages dans le lac, où ils grossissent jusqu'à la taille commerciale. Les poissons en enclos, en cages ou en bassins de terre, sont alimentés par des végétaux (eux-mêmes produits en enclos ou récoltés dans le lac), par des mollusques pêchés dans le milieu naturel, par des granulés ou par divers sous-produits agricoles.

Figure 11. The complex relations between cultivation and gathering in Chinese waters. Juvenile fish produced in inland hatcheries are put into lakes to maintain fishing stocks (photo 5), in land tanks, or pens or cages in the lake where they grow until reaching the market size. The fish in pens, cages or inland tanks are fed on plant matter (itself grown in pens or harvested from the lake), mollusks harvested from the natural environment, pellets, or various agricultural by-products.

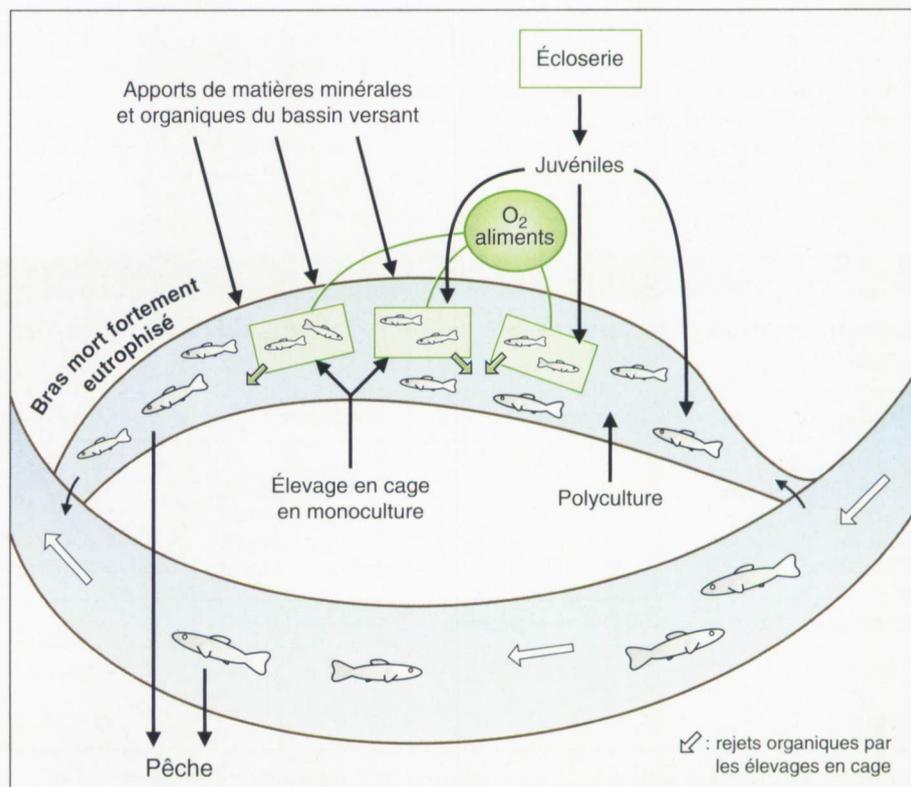
tions aquacoles dont certains peuvent être combinés. En Hongrie, on observe, dans des bras morts de rivières, des élevages intensifs en cages avec forte concentration de poissons et apport alimentaire

exogène ; les refus et les fèces contribuent à fertiliser le milieu qui est alors exploité en polyculture par diverses espèces de poissons (figure 12). La rizipisciculture [19], associant la production de riz et de

poissons, entre aussi dans cette catégorie, de même que la culture juxtaposée de jacinthes d'eau et de poissons en association avec un élevage de porcs (figure 13) [20].

Figure 12. Élevages en cages et autour des cages dans des bras morts de fleuves de Hongrie. Ces milieux sont fortement eutrophisés par des apports de fertilisants en provenance du bassin versant et des cages d'élevage intensif et sont valorisés par polyculture (association d'espèces de poissons s'alimentant à différents étages du réseau trophique, phytoplancton, zooplancton, benthos, végétaux supérieurs). Les poissons libres dans les bras morts sont capturés par pêche. Il existe, en outre, un certain degré d'intégration avec l'exploitation des poissons du cours principal du fleuve, également pêchés, et qui font l'objet de soutien de stock par apport de juvéniles de l'écloserie.

Figure 12. Fish breeding in and around cages in oxbow lakes in Hungary. Due to the input of nutrients from the watershed and intensive rearing cages, these highly eutrophic waters are used for polyculture (associations of various fish species feeding at different levels of the food web: plankton, benthon, and plants). Free-living fish in the lakes are stocked and captured by fishermen.



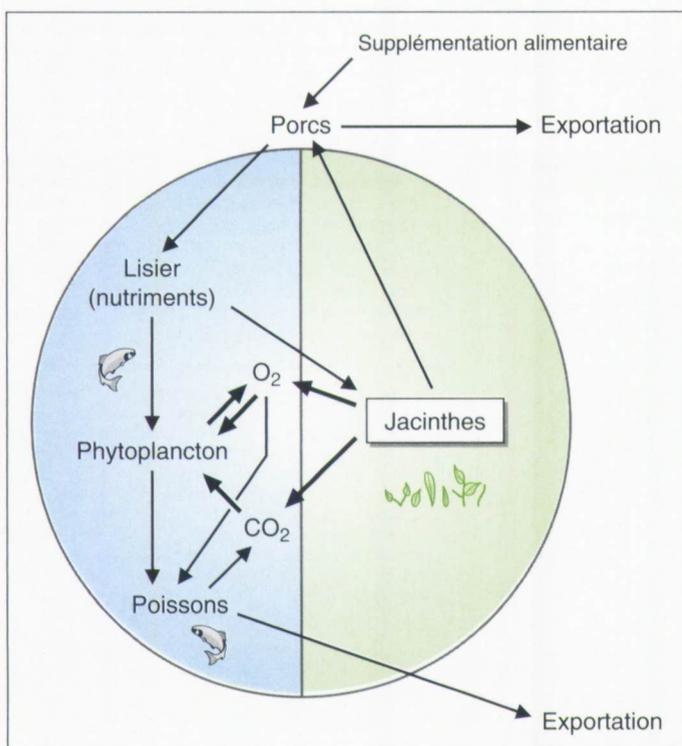


Figure 13. Représentation schématique d'un scénario de culture juxtaposée de jacinthes d'eau, algues, poissons, associée à un élevage de poissons [20].

Figure 13. Diagrammatic representation of a juxtaposed culture situation involving water hyacinth, algae and fish.

d'élevage, surexploitation de plancton, aliment pour les huîtres, stocks de poissons ou de juvéniles prélevés par le pêcheur ou l'aquaculteur). Ces externalités, lorsqu'elles sont négatives, se traduisent par une altération des résultats économiques et se manifestent en dehors des règles qui servent habituellement à fixer le prix des produits sur le marché (concurrence pour les débouchés, équilibre entre l'offre et la demande) [21].

L'eau

Du point de vue quantitatif, l'aquaculture consomme des volumes d'eau variables selon les systèmes et les espèces. Pour produire une tonne de poids vif, il faut 252 000 m³ d'eau dans le cas de la salmoniculture à terre en bassins, et de 50 à 200 m³ dans le cas du poisson-chat africain en étang (tableau 7). Dans le cas des salmonidés, l'eau est détournée et rejetée en rivière après usage, tandis que, dans le cas des élevages en étang, une partie s'évapore (30 à 40 cm/an, surtout en été et en Europe). L'élevage en cage dans le milieu naturel n'est pas consommateur d'eau, mais peut en altérer plus ou moins la qualité selon les systèmes de production, le degré d'intensification, la qualité de l'aliment, la température. Lorsque les effluents sont rejetés directement dans le milieu naturel, sans traitement, les effets vont dépendre du taux de dilution, c'est-à-dire du débit de la rivière ou des courants dans le cas d'élevage en cages en mer. Dans ce dernier cas, l'impact des rejets est nul en surface, du fait des courants, mais peut être important sur la vie benthique [22]. Les

Les diverses contraintes de l'aquaculture dans les « pays riches »

Dans la plupart des systèmes d'exploitations des ressources vivantes aquatiques, l'eau, en tant que support physique et contenant biologique, représente une ressource renouvelable à caractère collectif,

dont l'homme est tenu de faire une exploitation pérenne. L'exploitation n'entraîne pas la destruction physique de l'eau, mais bien sa dégradation avec, dans certains cas, destruction d'écosystèmes et disparition d'espèces, au moins localement. L'exploitation induit des externalités négatives, c'est-à-dire des effets indirects que l'activité d'un producteur inflige à un autre producteur ou utilisateur par l'intermédiaire d'un bien collectif non produit par l'homme (par exemple dégradation de l'eau support

Tableau 7

Consommation d'eau par divers systèmes de production aquacoles et agricoles (en m³/t de produit récolté)

Production aquacole « hors sol »	Système	Consommation	Devenir de l'eau
Salmonidés	Intensif	252 000	Restituée
Poisson-chat américain	Extensif étang	6 470	Évaporée
Carpe	Extensif étang	1 700	Évaporée
Clarias	Extensif étang	1 000	Évaporée
Crevettes	Extensif étang	11 000 à 55 000	Restituée

Exemples d'autres productions agricoles

Coton	90 à 450
Porc	54
Bœuf	42

Water consumption by various aquacultural and agricultural systems, in m³/t of harvested product

systèmes en étang sont peu polluants et peuvent même, dans certains cas, améliorer la qualité de l'eau (figure 14). Dans la mesure où l'eau n'est pas rejetée dans le milieu naturel, les étangs de production intensive ont globalement un impact positif en recyclant des effluents d'autres élevages, en particulier lorsque les terres sont occupées par des cultures [23]. Le système chinois de recyclage des effluents de porcherie dans des milieux aquatiques (photo 9) a fait l'objet d'adaptation en Italie [17] et en France [24] (photo 18), pour traiter directement des lisiers selon une technique de compartimentation utilisée en lagunage.

Ainsi, l'eau est soit un simple support physique pour l'animal aquatique (apportant l'oxygène et éliminant les déchets des élevages « hors sol »), soit un milieu biologique comme l'est une terre agricole, assurant la production alimentaire primaire ou secondaire (exemple des étangs). La tendance de se placer « hors milieu naturel » enlève à l'eau le caractère d'externalité qu'elle a en système ouvert : elle devient dès lors appropriée, comme l'est le site.

Les organismes

Les contraintes (constituant des externalités) liées aux organismes vivants présents dans l'eau portent, d'une part, sur les proies consommées par les animaux d'élevage comme les mollusques et, d'autre part, sur les stocks naturels de juvéniles de certaines espèces prélevés dans le milieu naturel et mis en grossissement. Certaines contraintes sont aussi liées aux animaux d'élevage eux-mêmes. De par leurs exigences physiologiques (besoin en oxygène, tolérance à la température ou au pH, régime alimentaire, résistance aux maladies ou aux prédateurs...), les organismes élevés vont déterminer les besoins qualitatifs et quantitatifs en eau, les systèmes d'élevage ainsi que leur répartition géographique. Le nombre d'espèces domestiquées ou facilement adaptables étant limité, on a assisté à de nombreuses introductions dans l'histoire de l'aquaculture. Les huîtres ont fait l'objet d'échanges intercontinentaux considérables au cours des siècles derniers ; la truite arc-en-ciel a été transplantée dans 82 pays, la carpe commune dans 59 et les carpes dites chinoises dans 113. Les risques liés à l'introduction d'espèces étrangères sont de nature pathologique (introduction d'agents pathogènes), écologique (risque

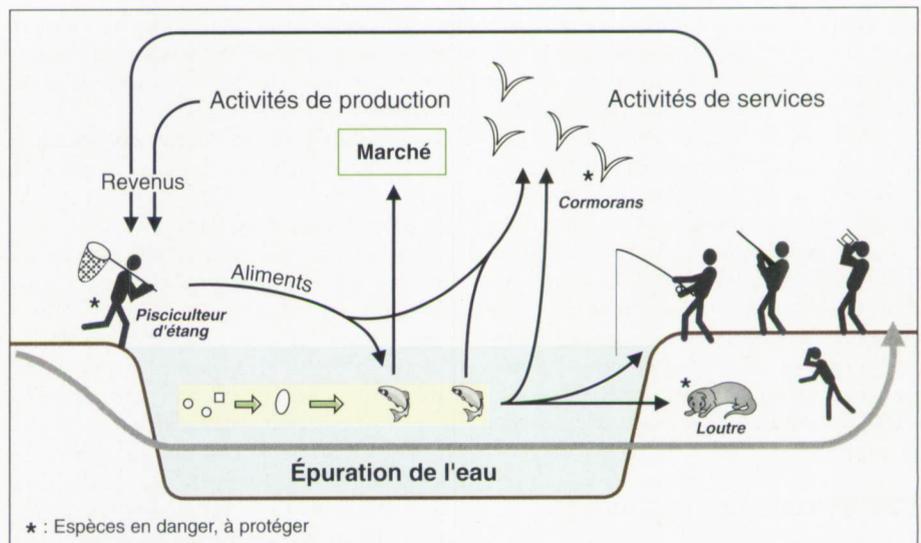


Figure 14. Schéma du multi-usage des étangs en Haute-Silésie (Pologne). L'eau du bassin versant de la Vistule transite dans des étangs via des systèmes datant du Moyen Âge qui, actuellement, aboutissent dans des retenues d'eau potable. Non seulement les étangs doivent rejeter une eau de bonne qualité mais on attend d'eux une rétention des nitrates et des phosphates issus du bassin versant, ainsi que diverses fonctions de service.

Figure 14. Diagram of multiple use of ponds in Upper Silesia (Poland). Since the Middle Ages, water from the Vistula has been diverted to fish ponds. Nowadays, the water below the ponds is used as drinking water. The ponds must not only deliver good quality water but also retain the nitrates and phosphates from the watershed and act as leisure areas (angling, bird-watching, etc.).

d'échappée et d'explosion démographique d'espèces indésirables dans le milieu naturel) et génétique (contamination des populations locales sauvages par des espèces domestiquées) [25]. Compte tenu de ces risques et bien qu'il soit possible de les limiter, il faut s'attendre à des réglementations de plus en plus strictes sur l'introduction d'espèces étrangères, se traduisant par une quasi-interdiction d'entrée à l'état vivant, en particulier dans les eaux continentales. Il est vraisemblable que, à l'avenir, la diversification se fera principalement à partir d'espèces autochtones.

Les rejets

Les eaux provenant d'installations aquacoles ne peuvent pas être rejetées à l'extérieur sans que l'on ait, au préalable, réduit les produits du métabolisme et les fèces et/ou réalisé une épuration. Dans le cas des systèmes « hors sol », la réduction des rejets fait appel à des aliments à haute digestibilité, ce qui suppose de disposer de farines de poissons qui deviennent rares et coûteuses. Concernant les salmonidés, de nombreux travaux ont montré l'effet d'épargne protéique des lipides, se traduisant par une diminution

des rejets d'azote. Cette voie est testée sur d'autres espèces de poissons. D'autres approches portent sur la mise en correspondance entre le rythme alimentaire et le rythme biologique, ainsi que sur l'amélioration de la valeur biologique des protéines ; des aliments pauvres en phosphore sont également en cours de développement, pour les différentes filières. Le traitement des effluents, qui n'est cependant pas universel, ne peut pas s'appliquer aux élevages en cages. Le système de base en la matière consiste en une filtration mécanique qui retient les matières en suspension (MES). Pour éliminer les matières dissoutes (MD), comme les rejets azotés, il faut avoir recours à une filtration biologique sur substrat bactérien. En salmoniculture, en bassins, la filtration élimine une grande partie des MES ; des essais sont actuellement en cours pour supprimer totalement les rejets par l'optimisation de ces deux procédés d'élimination des MES et des MD, en réalisant un recyclage quasi intégral de l'eau et en apportant de l'oxygène par diffusion d'oxygène liquide. Pour les élevages en cages en mer, il est important de choisir des sites où les courants peuvent assurer une dilution importante des rejets.

La qualité de l'eau dans les milieux ouverts est susceptible d'être altérée par des activités aquacoles, mais elle est en même temps garantie par ces dernières. En effet, les élevages constituent d'excellents indicateurs de la qualité biologique des eaux : toute altération est perceptible et requiert des mesures d'amélioration. Les actions de protection prises à la suite d'impacts négatifs sur les élevages d'huîtres dans le bassin d'Arcachon (suppression des peintures toxiques antialgues à base de tributyl-étain pour bateau) ou dans l'étang de Thau (prévention des crises dystrophiques) en sont d'excellents exemples.

Les structures d'élevage

Les structures d'élevage, en particulier les installations ostréicoles, les cages à poissons, les barges et autres structures flottantes, ou les enclos, génèrent des conflits sérieux avec les autres usagers, surtout en zones côtières. Ces installations d'élevage constituent une gêne pour la navigation et sont considérées par les riverains comme des altérations des paysages [26].

Le problème des réglementations

De nombreuses réglementations limitent l'extension et l'implantation de piscicultures et les prises et rejets d'eau y sont soumis à des règles strictes. Il semble aussi que des activités de production faisant appel à des technologies douces, susceptibles de maintenir des activités en milieu rural, ne puissent se développer, voire même se maintenir, du fait de l'addition continue de réglementations dont les fondements ne sont pas toujours clairement perceptibles, tant du point de vue technique que du point de vue juridique, voire même du point de vue du fonctionnement écologique global et durable. C'est le cas, par exemple, des Znieff (zones naturelles d'intérêt écologique, floristique et faunistique) des Zico (zones d'intérêt pour la connaissance des oiseaux), des listes d'espèces protégées, qui ne sont pas toujours bien connues des exploitants, et dont le non-respect conduit parfois des pisciculteurs/agriculteurs devant les tribunaux. Ces différentes contraintes liées à l'environnement rendent très vulnérables les petites entreprises familiales et risquent de fragiliser un milieu socioprofessionnel qu'il faut aussi protéger, car faisant partie intégran-

te du développement durable lequel devant concilier les aspects économiques, la protection des actifs naturels et la cohésion sociale.

La pisciculture en étang est souvent implantée dans des zones humides et crée en soi des conditions favorables à la concentration d'oiseaux ; elle se trouve ainsi exposée aux actions des défenseurs de ces milieux et de ces espèces. Parmi celles-ci, le grand cormoran *Phalacrocorax sinensis*, qui consomme individuellement 400 à 500 grammes de poissons par jour, a vu ses effectifs considérablement augmenter en Europe du Nord, passant de 1 500 couples au début du siècle à 100 000 en 1992 [27]. Cet accroissement s'est traduit par des prélèvements de poissons dans les étangs sans que les pisciculteurs puissent s'en défendre, l'espèce ayant été protégée jusqu'à une date récente. Cela n'est pas sans rappeler une situation similaire transcrite dans un conte breton par un bref dialogue entre un seigneur et une paysanne : « *Que votre mil est beau ! – Il le serait plus encore, seigneur, s'il n'y avait point vos pigeons.* » Serions-nous revenus au Moyen Âge ?

Le problème de la qualité des produits aquacoles

La qualité de la chair des poissons d'élevage commence à être étudiée. Les paramètres pris en compte sont de nature physique (texture, structure) et sensorielle (tests organoleptiques). S'y ajoutent des tests biochimiques, par exemple la dégradation *post mortem* de composés lipidiques et, plus récemment, les teneurs en composés à plusieurs atomes de carbone qui seraient responsables de la saveur spécifique du poisson frais [28]. Il est certain que la qualité des produits des élevages d'animaux aquatiques est variable et des efforts sont faits actuellement pour bien identifier ces facteurs de variation aux différents niveaux de la filière (qualité de l'eau, alimentation, transport, sacrifice...). La composante alimentaire paraît importante : il semblerait que des composés de nature bromophénolique, présents dans des microalgues et des crustacés, se retrouvent dans la chair des poissons sauvages *via* le réseau trophique en leur conférant leur saveur marine iodée [29]. D'où l'idée d'introduire ces composés dans l'alimentation. L'examen sensoriel commence à être aussi appliqué à diverses espèces de poissons sauvages prélevés dans les rivières et

les lacs. En République tchèque, il a été possible, par ces tests, d'identifier des différences d'un site à l'autre et d'y reconnaître divers polluants [30], ce qui montre combien le poisson est un produit sensible à une altération du milieu dans lequel il vit.

Les problèmes posés par l'aquaculture de type industriel dans les pays en développement

Les systèmes de production aquacole sont insérés dans divers systèmes économiques et sociaux. Dans les pays en développement, en particulier en Asie où l'aquaculture est une activité traditionnelle très élaborée, sa base sociale est très forte. De plus, une grande partie de la production est destinée à l'alimentation de la population locale qui, de surcroît, trouve des emplois dans une activité où la demande en main-d'œuvre est forte. Les techniques mises en œuvre ne produisent pas d'altérations irréversibles du milieu aquatique et la gestion des systèmes aquacoles intégrés aux autres systèmes de production se traduit par une relative bonne stabilité de l'ensemble des écosystèmes productifs dont la pérennité doit être assurée. Il y a donc conservation d'un environnement dans ses composantes sociales et naturelles.

L'environnement socio-économique détermine souvent le système de production. Morrisen (cité dans [7]) montre que, en Côte d'Ivoire, les systèmes associant production et vente de poulets et de poissons étaient les plus performants en termes de production et de revenus, mais étaient inaccessibles aux petits agropisciculteurs en raison des investissements nécessaires. Le système retenu par ces derniers se base sur l'usage de son de riz comme aliment pour les poissons ; dans ce système, l'investissement est surtout représenté par le travail demandé pour la construction de l'étang, le transport et la distribution du son de riz, seul investissement que les paysans sont en mesure de fournir.

Dans les pays riches, l'aquaculture est basée sur la technologie avec des innovations techniques dérivant d'activités de recherches importantes. L'objectif est de

réduire au maximum les coûts de production et de maximiser le profit, ce qui se traduit, entre autres, par une diminution de la main-d'œuvre, d'où un impact social limité de l'aquaculture (comme pour d'autres activités de production de matières premières). Du fait de son caractère récent, le développement de l'aquaculture dans les pays riches s'est fait, à quelques exceptions près (carpe ou truite), indépendamment de toute tradition et de tout savoir-faire (ce sont les chercheurs qui ont domestiqué les espèces marines comme le bar, le turbot et les crevettes). Ce modèle a été d'abord exporté vers des pays en développement n'ayant pas de traditions aquacoles (comme les crevettes en Équateur), se traduisant rapidement par des altérations majeures du milieu naturel. Le mouvement mondial de délocalisation des activités de production et de transformation l'a exporté vers les pays traditionnellement aquacoles d'Asie (Thaïlande, Taiwan) où il se montre particulièrement déstructurant, à la fois pour le milieu naturel et pour le milieu social. Dans un contexte de développement durable, la préservation des systèmes sociaux s'impose au même titre que celle des eaux et milieu aquatiques, et l'ignorer risque de conduire à des crises écologiques majeures.

Les perspectives de l'aquaculture

Les divers systèmes de production aquacoles reflètent les différentes situations locales, géographiques, climatiques, économiques et sociales. Ils ont surtout revêtu jusqu'à présent un caractère « court », avec circuits locaux, commercialisation à l'état entier, parfois même à l'état vivant, la production étant assurée par de petites entreprises le plus souvent à caractère familial. Mais le secteur aquacole n'échappe pas à la mondialisation des marchés, avec mise en place au cours des dernières années de filières puissantes (saumons, truite, crevettes) et production étroitement liée à la transformation et la commercialisation. Avec la demande croissante de produits que l'aquaculture aura en grande partie à couvrir, cette tendance ira probablement en s'accroissant, en particulier pour l'approvisionnement des pays développés. Dans les pays en développement, les circuits courts conti-

nueront probablement d'exister, mais il faut s'attendre à l'extension d'une aquaculture à caractère déstructurant exportatrice de matière première, voire même de produits élaborés.

Un effort de recherche sera nécessaire, aussi bien pour les filières « riches » afin d'apporter des innovations technologiques de production et de transformation [3], que dans les systèmes « étang » afin de mieux maîtriser l'écosystème aquatique. Ce dernier permet en effet des productions spectaculaires, en particulier en Asie, mais reste mal connu et maîtrisé ailleurs, et il serait nécessaire de le réhabiliter en Europe et de le développer dans les pays d'Afrique. Les recherches devraient aussi contribuer à réduire l'impact de l'aquaculture sur l'environnement : aliments moins polluants, procédés d'épuration, définition de la qualité optimale de l'eau compatible avec la production d'un produit de qualité, capacité de régénération de cette eau par des systèmes de lagunage (*photo 18*), réduction de la consommation d'eau par apport d'oxygène liquide. Il est vraisemblable que les recherches vont surtout se développer sur le petit nombre d'espèces entrant dans des filières, avec un effort sur la transformation et la qualité de produit [31, 32].

Comme toute autre production agricole, l'aquaculture doit devenir « plus propre » et sera appelée à offrir, au moins pour les pays développés, deux grands types de produits. D'une part, des produits de qualité standard à faible coût et fournis très régulièrement pour répondre à une demande de masse portant sur un petit nombre d'espèces dont l'élevage est bien maîtrisé. D'autre part, des produits du terroir « haut de gamme », portant sur une large variété d'espèces ayant une « bonne image » (*photo 19*), chacune produisant de petites quantités en mode extensif. S'y ajoutent des productions « non alimentaires » pour la pêche récréative, la conservation d'espèces menacées, l'ornement (*photo 20*) et divers services (*figure 14*). Ces catégories de production s'insèrent dans l'espace rural et contribuent à y maintenir des activités tout en structurant des paysages originaux. C'est dans des conditions d'indépendance vis-à-vis des réseaux aquatiques naturels et d'organisation des productions que les produits aquacoles qui paraissent actuellement les plus demandés parmi les produits alimentaires pourront se développer et prendre place sur un marché fortement compétitif.

Les différents modes d'exploitation des ressources vivantes aquatiques continueront vraisemblablement de coexister et d'interagir à l'avenir. Les activités de pêche commerciale devraient se maintenir et bénéficieront encore, au moins pour certaines espèces, d'actions de forçage du recrutement, aussi bien en mer que dans les eaux continentales. Ce forçage pourrait contribuer à la sauvegarde d'espèces en déclin (comme ce fut le cas pour le saumon) ou menacées (esturgeons). Bien qu'étant une activité à haut risque, les élevages en milieux ouverts devraient se maintenir et être encouragés, parce que leur caractère extensif n'altère pas la qualité de l'eau mais, au contraire, en garantit le maintien. Quant aux élevages en milieu confiné, ils seront appelés à se développer encore. Avec ce développement de l'aquaculture, engagé depuis quelques années, on se trouve à un tournant de l'exploitation des ressources vivantes aquatiques qui passe de la pêche à l'élevage ■

Références

1. FAO. *Aquaculture production 1985-1991*. FAO Fish Circ n° 815 Rev 5, 1993 ; 5 : 213 p.
2. Mathiesen CK. Too many aquaculture enterprises still go wrong. Why is that ? (A simple question with a complex answer.) In : Kestemont P, Muir J, Sevilla F, Williot P, eds. *Measures for Success*. Paris : Cemagref, 1994 : 27-30.
3. Billard R. Quelques scénarios d'insertion de l'aquaculture dans les autres activités rurales. *CR Acad Agr Fr* 1989 ; 75 : 41-50.
4. Wohlfarth GN, Hulata G. Selective breeding of cultivated fish. In : Shilo M, Sarig S, eds. *Fish culture in warm water systems : problems and trends*. Boca Raton, Florida : CRC Press, 1989 : 21-63.
5. Billard R. L'aquaculture extensive en eaux douces. In : Troadek JP, éd. *L'homme et les ressources halieutiques*. Paris : Ifremer, 1989 : 1-30.
6. Philippart JC. Recreational and professional fisheries related to freshwater aquaculture. In : de Pauw N, Billard R, eds. *Aquaculture Europe' 89*. Gent : EAS Sp Publ, 1990 : 217-41.
7. Billard R, Dabbadie L. Production systems in aquaculture. *Proc 4th Nat Symp Oceanogr Fisheries Rhodes*. Grèce, 1993 : 405-17.
8. Bry C, Souchon Y, Neveu G, Trébaol L. Production de brochetons en petits étangs par reproduction naturelle aménagée : bilan de trois années d'exploitation et comparaison avec la méthode d'alevinage. In : *Le Brochet*. Paris : Inra, 1983 : 63-73.
9. Lannan JE, Smitherman RO, Tchobanoglous G, eds. *Principles and practices of pond aquaculture*. Corvallis, Oregon : Oregon State University Press, 1986 ; 252 p.
10. Michael RG, ed. *Managed aquatic ecosystems. Ecosystems of the World 29*. Amsterdam : Elsevier, 1987 ; 166 p.

11. Brook JA. Pond production systems : diseases, competitors pests, predators and public health considerations. In : Lannan JE, Smitherman RO, Tchobanoglous G, eds. *Principles and practices of pond aquaculture*. Corvallis, Oregon : Oregon State University Press, 1986 : 169-89.
12. Hai LY, Zweig D. Cage culture in Kummung : an effective means of resource recovery. *Aquaculture Magazine* 1987 ; sept./oct. : 28-31.
13. Pullin RSV, Rosenthal H, Maclean JL. *Environment and aquaculture in developing countries*. Metro Manila Philippines : Iclarm, 1993 ; 359 p.
14. Tave D, Tucker CS, eds. *Recent developments in catfish aquaculture*. Binghamton, NY : Haworth Press, 1993 ; 352 p.
15. Mires D, Amit Y. Water quality in a recycled intensive fish culture system under field conditions. *The Israeli J Aquaculture Bamidgheh* 1990 ; 42 : 110-21.
16. Mires D, Amit Y. Intensive culture of tilapia in quasi-closed water-cycled flow-through ponds ; the dekel aquaculture system. *The Israeli J Aquaculture Bamidgheh* 1992 ; 44 : 82-6.
17. Billard R, De Pauw N, Micha JC, Salomoni C, Werreth J. The impact of aquaculture in rural management. In : de Pauw N, Billard R, eds. *Aquaculture Europe' 89*. Gent : EAS Sp Publ, 1989 : 57-91.
18. Yang H, Fang Y, Chen Z. Integrated fish farming systems in China and the allocation of resources. *World Aquaculture* 1992 ; 23 : 61-8.
19. Cruz (de la) CR, Costa-Pierce BA, Carangal VR, Bimbao MP eds. *Rice-fish research and development in Asia*. Metro Manila Philippines : Iclarm, 1992 ; 458 p.
20. Lohaka D. *Culture juxtaposée de jacinthes et de microalgues ; utilisation en pisciculture*. Thèse doctorat MNHN, 1994 ; 214 p.
21. Paquette P. Impact de l'aquaculture sur l'environnement, aspects juridiques et économiques. *CR Acad Agr Fr* 1994 ; 80 : 73-82.
22. Aure J, Stigebrandt A. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture* 1990 ; 90 : 135-56.
23. Billard R, Sevrin-Reyssac J. Les impacts négatifs et positifs de la pisciculture d'étang sur l'environnement. In : Barnabé G, Kestemont P, eds. *Production, environment and quality. Bordeaux aquaculture' 92*. Gent : EAS Sp Publ n° 18, 1993 : 17-29.
24. Sevrin-Reyssac J, Combres C, Laux S, Texier C. Applications des techniques du lagunage au recyclage du lisier de porc. *Journées Recherche Porcine en France* 1994 ; 26 : 123-34.
25. Ruzzante DE. Domestication effects on aggressive and schooling behavior in fish. *Aquaculture* 1994 ; 120 : 1-20.
26. Devoe MR, Pomeroy R. Use conflicts in aquaculture, a world perspective on issue and solutions. *World Aquaculture* 1992 ; 23 : 13-35.
27. Staub E, Ball R. *Effects of cormorant predation of fish populations of inland waters*. Rome : FAO, EIFAC/XVIII/Inf. 8 Rev. 1994 ; 43 p.
28. Lindsay RC. Fish flavors. *Food Review International* 1990 ; 6 : 437-55.
29. Boyle JL, Lindsay RC, Stuibert DA. Occurrence of properties of flavor-related bromophenols found in the marine environment : a review. *J Aquat Food Prod Technol* 1993 ; 2 : 74-134.
30. Zvobodova Z, Vykusova B, Piacka J, et al. Flesh sensoric properties of fish from Labe and Jisera rivers. *Bull VURH Vodnany Czech Rep* 1994 ; 30 : 13-20.
31. Billard R. Les systèmes de production aquacole et leur dépendance vis-à-vis du milieu naturel. *CR Acad Agric Fr* 1994 ; 80 : 61-72.
32. Huisman EA, Bom AF, Verdegem MCJ. Tropical aquaculture : its constraints, opportunities and development. In : Barnabé G, Kestemont P, eds. *Production environment and quality*. Gent : EAS Sp Publ, 1993 ; 386-406.
33. Billard R. Divers aspects de l'aquaculture dans le monde. *Pisc Fr* 1991 ; 103 : 25-40.
34. Phillips MJ, Beveridge MCM. Impact of aquaculture on water resources. In : Brune DE, Tomasso JR, eds. *Advances in world aquaculture*. Baton Rouge : World Aquacult Society 1991 ; vol III : 568-91.
35. Gervais H, Boulart R. *Les poissons d'eau douce*. Paris : Rothschild, 1897 ; 232 p.

Résumé

Il existe de par le monde une grande diversité de modes de production aquacole insérés dans divers systèmes économiques et sociaux et plus ou moins dépendants des écosystèmes aquatiques et des agrosystèmes. Ces systèmes aquacoles sont très liés au milieu naturel dans lequel on prélève des géniteurs et des juvéniles en vue de grossissement en captivité, ce qui est le cas d'un grand nombre d'espèces non encore domestiquées. L'eau présente un milieu original pour l'élevage : fluide, collectif et d'une qualité susceptible d'altérer les organismes et les produits, mais aussi d'être altérée par ces derniers. Les systèmes de production sont organisés selon un continuum allant de l'élevage et du lâcher de juvéniles en mer, lac ou rivière (suivi de recapture par des pêcheurs professionnels ou amateurs : le pacage), jusqu'aux élevages plus ou moins ouverts sur le milieu naturel. Les systèmes en milieux ouverts sont soumis à une double contrainte vis-à-vis de l'environnement : d'une part, une disponibilité en eau variable en qualité et quantité et des risques de prédation aviaire, d'autre part, des limitations dans les rejets d'eau et d'effluents dans le réseau hydrographique. De ce fait, les systèmes très intensifs du type « hors sol » tendent maintenant à s'isoler du milieu naturel, sans rejet d'eau à l'extérieur, ce qui revient à s'approprier le milieu de production (et l'eau en particulier) et à rapprocher l'aquaculture de l'agriculture. Il existe des perspectives de développement, d'une part pour des productions en masse organisées en filière, dans le cas de quelques espèces domestiquées, et d'autre part pour des systèmes plus ou moins ouverts avec des productions limitées en mode extensif pour un grand nombre d'espèces. Ces différents systèmes, qui sont le plus souvent basés sur des savoir-faire élaborés ayant généré des sociétés et des cultures très structurées, contribuent en outre à une occupation de l'espace rural et à une structuration de paysages originaux.