

# Minimisation des rejets biologiques issus d'élevages de poissons

**Jean-Paul Blancheton, Antoine Dosdat, Jean-Marc Deslous Paoli**

Station IFREMER de Palavas, Chemin de Maguelone, 34250 Palavas-les-Flots  
*jpb Blanch@ifremer.fr*

Le fonctionnement des systèmes de production aquacoles repose en grande partie sur l'utilisation de ressources naturelles (sites d'implantation, énergie, aliments...). Les interactions entre l'aquaculture et l'environnement sont donc nombreuses, tant au niveau local qu'à une échelle moyenne ou globale. La demande croissante pour qu'un contrôle environnemental s'applique à toute activité humaine concerne donc particulièrement l'aquaculture, qui est demandeuse d'espace et nécessite un environnement d'excellente qualité.

Pour être en mesure de contrôler l'impact induit par une production aquacole, il faut tout d'abord connaître : (1) les rejets directs, dont une grande partie est issue du fonctionnement métabolique des animaux, (2) les caractéristiques du système de production utilisé et (3) l'effet du système de production sur les rejets des animaux. Les moyens et méthodes pour minimiser les rejets biologiques issus d'élevages piscicoles dépendent donc, en premier lieu, des caractéristiques physiologiques des poissons et du système d'élevage choisi, et, en second lieu, des outils de traitement adaptés qui pourront être utilisés. Dans cet article, les méthodes de quantification des rejets ou de l'impact de ceux-ci sur l'environnement ne seront pas abordées.

## Les rejets directs des poissons

Les rejets directs des poissons sont constitués non seulement des rejets issus de l'activité métabolique mais également d'autres rejets, directement liés à l'activité d'élevage et beaucoup moins bien documentés.

### Les déchets métaboliques

Tous les animaux tirent leur énergie de la consommation de molécules complexes. Ces molécules sont métabolisées par l'animal qui assure ainsi ses fonctions physiologiques (croissance, reproduction...). Le rendement de ces réactions biologiques étant inférieur à 100%, des sous-produits du métabolisme sont rejetés par l'animal sous forme dissoute et particulaire. Les éléments de ces sous-produits (azote, phosphore, carbone, oligo-éléments et métaux traces, principalement) peuvent, selon leur flux et le milieu d'accueil, entraîner un accroissement de la production primaire ou des pollutions.

Les excréments représentent la fraction non digérée de l'aliment, sous forme de particules rejetées par le tube digestif. La composition chimique (carbone, azote, phosphore, éléments traces) et les caractéristiques physiques (taille, masse volumique, hydratation, résistance aux chocs, etc.) des fèces sont fonction, d'une part, de l'aliment et, d'autre part, du poisson (espèce, stade d'élevage, etc.). La composition des fèces est évaluée à partir de mesures normalisées de digestibilité (rapport entre la fraction digérée et la fraction ingérée) des matières premières entrant dans la composition de l'aliment ; la digestibilité globale étant la somme des digestibilités des différentes matières premières

qui le composent. Le tableau I, ci-contre, fournit des exemples de valeurs mesurées de la fraction non digestible des nutriments, dans certaines matières premières, pour des salmonidés. Cette fraction est extrêmement variable, puisque certaines matières fournissent des nutriments pratiquement totalement digestibles (certaines farines de poisson, amidon pré-gélatinisé...) alors que d'autres sont très difficilement utilisables par les poissons (amidon de pomme de terre, certaines farines de sang...).

Les farines de poisson, actuellement massivement utilisées en alimentation des poissons, sont une ressource limitée dont la durabilité est diversement appréciée. Ce constat se traduit par une utilisation croissante de farines végétales, dont les glucides sont généralement peu digestibles chez la plupart des espèces de poissons d'aquaculture (Kim *et al.*, 1998 ; Yamamoto *et al.*, 1998).

Les sous-produits dissous sont le résultat de l'excrétion, principalement par les branchies et le rein. Les principaux métabolites dissous sont le CO<sub>2</sub> pour le carbone, l'ammoniaque et l'urée (NH<sub>3</sub> et CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) pour l'azote et les orthophosphates (PO<sub>4</sub>) pour le phosphore. Le CO<sub>2</sub> rejeté représente environ 50% du carbone ingéré. L'ammoniaque est la principale forme d'excrétion de l'azote (80 à 90%) et chez la majorité des poissons, l'azote excrété représente 50 à 70% de l'azote ingéré. L'excrétion de phosphore ne représente en moyenne qu'environ 20% du phosphore ingéré. L'azote, excrété passivement à travers les branchies, et le phosphore, excrété par le rein (comme la plupart des ions divalents), sont rejetés à des taux qui varient essentiellement en fonction de la qualité de l'aliment, du stade d'élevage et de l'espèce de poisson (tab. II, ci-dessous).

Tableau I. Pourcentage de nutriment rejeté par des salmonidés  
Sources : Kaushik, 1998 ; Guillaume *et al.*, 1999.

Type de nutriment	Origine	Rejet (en % de l'ingéré)
Matière sèche	Farine de sang	10
	Farine de poisson	15
	Concentré de protéines soluble	10
	Tourteau de soja	25
Protéines	Farine de sang (séchage sur tambour)	68
	Tourteau de soja	15 - 25
	Levure de bière	15 - 18
	Farine de poisson	10 - 20
	Concentré de protéines soluble	< 7
Lipides	Farine de poisson	5 - 10
	Acides palmitique / stéarique	50
	Acide oléique	20
	Acides linoléique / linoléique	10
Hydrates de carbone	Pomme de terre	95
	Amylopectine de maïs	46
	Amidon pré-gélatinisé	4
Phosphore	Phytate de phosphore	80
	Farine de poisson	40
	Levure de bière	10
	Monophosphate de sodium	2

Tableau II. Excrétion de quelques poissons méditerranéens  
Sources : Company *et al.*, 1999 ; Dosdat, 1992a,b.

Caractéristique des poissons	Taux de protéines dans l'aliment (%)	N(NH <sub>3</sub> -4) excrété (mg/kg/jour de poisson)	N(CON <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) excrété (mg/kg/jour de poisson)	P(PO <sub>4</sub> ) excrété (mg/kg/jour de poisson)
Bar de 10 g	40	950		
Bar de 10 g	55	1300	80	
Bar de 100 g	50	400	30	20
Daurade de 100 g	50	600	25	10

## Les autres rejets

Les autres types de rejets sont principalement constitués des animaux élevés eux-mêmes, qui sont susceptibles de se disperser dans l'environnement, soit intentionnellement (lâchers de juvéniles dans le cas du repeuplement), soit involontairement (échappement accidentel des structures d'élevage).

En salmoniculture en cage, il est admis que 1 à 2% des animaux en élevage s'échappent, ce qui représente environ 10 000 t, à comparer aux 2 200 t de prises annuelles de saumon Atlantique sauvage. Dans certaines rivières de Norvège, le pourcentage d'animaux échappés a pu atteindre 40% de la population totale. Il semble plus faible en mer ouverte et a toute chance de l'être également dans le cas d'espèces dont le comportement de « homing » est moins marqué, comme le Bar ou la Daurade (Youngston *et al.*, 2001). L'utilisation prévisible, par les éleveurs, d'animaux génétiquement modifiés qui présentent le même type d'interactions potentielles, nécessitera des mesures de gestion adaptées et rigoureuses.

Dans le cas des poissons marins élevés en cage (par exemple, le bar), l'émission des gamètes par les animaux élevés est une source de contamination génétique difficilement contrôlable.

Quelles que soient les conditions d'élevage, les poissons produisent en permanence des écailles, du mucus dont la quantité émise est variable, et souvent liée à des états de stress, et des bactéries pathogènes ou non. Enfin, une source de rejets moins étudiée est représentée par les introductions d'espèces non indigènes lors du transport de poissons. Il peut s'agir de plantes, de bactéries ou de parasites généralement dans l'eau de transport. Le cas de *Gyrodactylus*, un ectoparasite des salmonidés est exemplaire de ce point de vue (Bakke et Harris, 1998).

## Les systèmes de production et leurs rejets

Le rejet direct des poissons peut être profondément modifié par le système de production utilisé. Celui-ci intègre de plus en plus souvent des compartiments destinés au traitement des rejets produits, qui contribuent à la réduction de l'impact de l'activité sur l'environnement. Dans ce chapitre, seuls les systèmes aquacoles couramment utilisés, pouvant produire des animaux de taille marchande (grossissement), seront pris en compte.

Le système de production (combinaison des ressources productives mises en œuvre) est l'interface entre le système de culture (système d'élevage) et la société (Badouin, 1987). Comme le montre la figure 1 (ci-après), cette dernière impose au promoteur du système de culture de prendre en compte toute une série de « rejets » additionnels qui ne sont pas directement issus des poissons, comme des rejets auditifs, olfactifs ou visuels, et qui n'ont pas d'impact direct sur l'élevage lui-même. Par contre, un système de production aquacole est caractérisé par un impact en retour fort et rapide des rejets émis dans le milieu aquatique sur les ressources biotiques et abiotiques nécessaires au bon fonctionnement de l'élevage.

## Typologie des principaux systèmes de culture

Le tableau III (ci-après) présente une typologie des principaux systèmes d'élevage de poissons vis-à-vis des possibilités de contrôle des variables de l'écosystème d'élevage. Trois catégories de variables ont été considérées : l'eau d'entrée dans le système et les facteurs abiotiques (température, salinité...), les rejets à proprement parler et les facteurs limitants, enfin les facteurs biotiques et l'aliment.

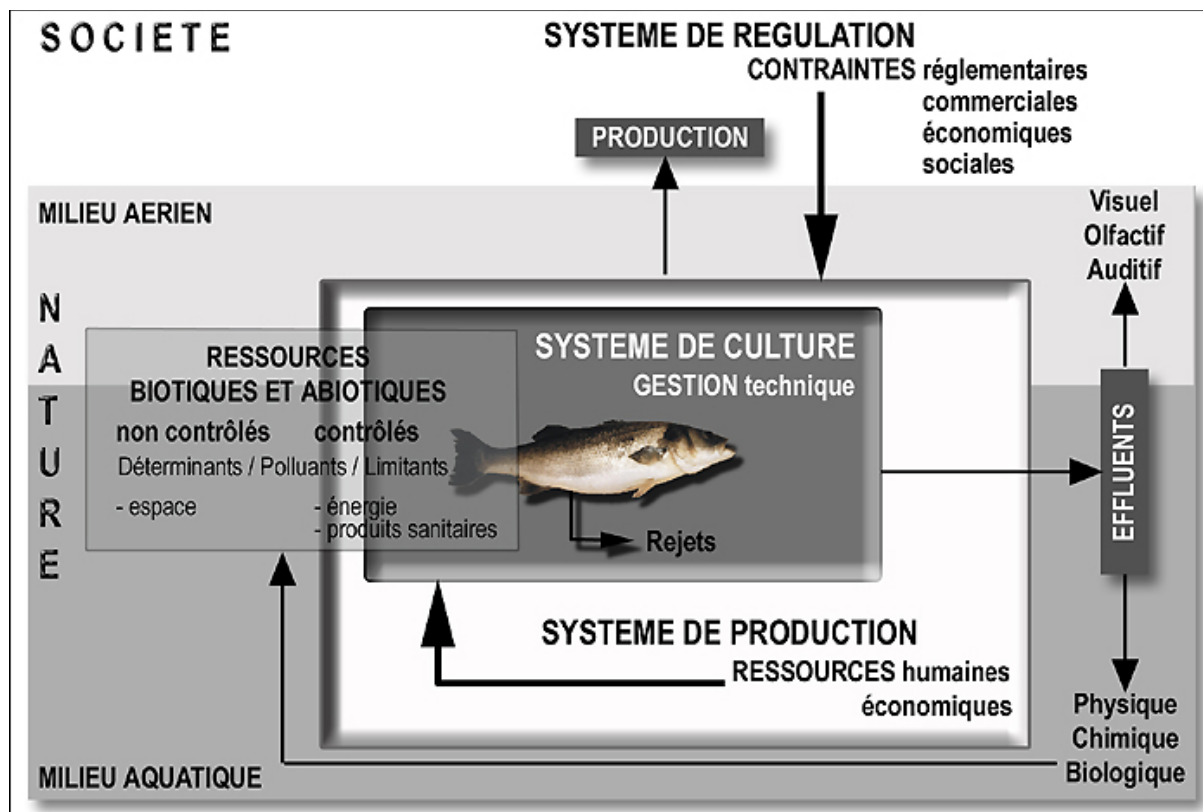


Figure 1. Schéma global, du rejet poisson au rejet du système incluant les autres types de rejets.

Tous les systèmes considérés sont ensemencés à partir d’alevins d’écloserie, donc de qualité contrôlée. À la lecture de ce tableau, il apparaît clairement que l’eau d’apport et les facteurs déterminants du milieu d’élevage (température, par exemple) ne sont techniquement et économiquement contrôlables qu’en système recyclé. Les systèmes d’élevage en bassins naturels, avec des densités d’élevage faibles ne sont pratiquement pas contrôlables.

Les bactéries, les parasites ainsi que les rejets dissous et particulaires ne sont réellement contrôlables qu’en système recyclé ou en circuit ouvert.

### Les rejets des systèmes de production et leur contrôle

Dans ce chapitre, les rejets des principaux systèmes de production sont identifiés et leur contrôle possible est évalué.

#### *Caractérisation des principaux rejets*

Les principaux rejets engendrés par une pisciculture varient selon la méthode de production utilisée et leurs caractéristiques sont présentées ci-dessous.

**Les rejets aériens.** Les rejets aériens sont principalement de type visuel, olfactif et auditif. On peut considérer qu’un élevage extensif, parfaitement intégré dans le paysage et ne requérant que très peu

Tableau III. Typologie des principaux systèmes de culture  
Source : Dosdat et Gaignon, 2002.

	Bassins de terre en circuit ouvert, extensif	Bassins de terre en circuit ouvert, semi-intensif	Cages en mer, semi-intensif traditionnelles	Bassins en circuit ouvert, intensif	Bassins en système recyclé, intensif
Qualité de l'eau d'apport	Non contrôlable	Non contrôlable	Non contrôlable	Non contrôlable	Contrôlable
Facteurs déterminants	Non contrôlable	Non contrôlable	Non contrôlable	Difficilement contrôlable	Contrôlable
Bactéries et parasites	Non contrôlable	Non contrôlable	Non contrôlable	Contrôlable	Contrôlable
Facteurs limitants et rejets dissous	Non contrôlable	Non contrôlable	Non contrôlable	Contrôlable	Contrôlable
Rejets particuliers	Non contrôlable	Non contrôlable	Difficilement contrôlable	Contrôlable	Contrôlable
Prédateurs	Non contrôlable	Difficilement contrôlable	Contrôlable	Contrôlable	Contrôlable
Aliment naturel	Non contrôlable	Difficilement contrôlable	Contrôlable	Contrôlable	Contrôlable
Alevins mis en élevage	Contrôlable	Contrôlable	Contrôlable	Contrôlable	Contrôlable

d'apports exogènes induit peu de pollution de ce type. Les élevages en circuit ouvert génèrent toujours des bruits de moteurs et de chutes d'eau, et parfois des odeurs. Certains élevages en cage ont été jugés responsables de pollutions visuelles (les cages elles-mêmes et l'écume générée au moment de l'alimentation des poissons) et olfactives. Les systèmes recyclés sont généralement plus compacts et l'essentiel de l'activité est à l'intérieur de bâtiments... qui doivent être conçus de manière à engendrer une pollution visuelle aussi limitée que possible.

**Les rejets dissous et particuliers.** Si on les compare à des rejets urbains, les rejets aquacoles sont caractérisés par une extrême dilution des polluants dissous et particuliers mais aussi par une concentration en oxygène dissous généralement proche de la saturation (Pagand, 1999). Beaucoup moins concentrés en matières en suspension (MES), leur demande en oxygène (demande chimique en oxygène - DCO - calculée à partir de la concentration en carbone organique total - COT) est de quelques dizaines de mg/l, donc 10 à 20 fois moins importante qu'un effluent urbain standard dont la DCO se situe entre 500 et 1 000 mg/l (El Hamoury *et al.*, 1995 ; Abissy et Mandi, 1999).

**Les rejets dissous.** La concentration en azote d'une eau d'élevage en système ouvert est de quelques mg/l sous forme essentiellement d'ammoniacale, les poissons les plus tolérants (anguille et catfish) ne supportant pas, sans baisse de croissance significative, plus de 6 à 8 mg/l d'azote ammoniacal total. Dans une eau recirculée, elle sera de plusieurs dizaines, voire centaines, de mg/l sous forme de nitrates, sans effet enregistré sur la croissance de la plupart des poissons (effet suspecté à partir de plusieurs centaines de mg/l). La concentration en substances dissoutes est fonction d'un *ratio* R, qui représente le degré d'ouverture du système et qui est exprimé en m<sup>3</sup> d'eau neuve introduite par kg d'aliment ingéré par le cheptel. Plus R est faible, plus la concentration en matières dissoutes est élevée. Dans le cas d'élevage de bars, par exemple, une valeur de 1 conduit à une concentration d'environ 50 mg/l d'azote dans l'eau de rejet, principalement sous forme de nitrate (Léonard, 2000a ; Léonard, 2000b). Le schéma est le même pour toutes les substances dissoutes (phosphore) qui restent en solution : à un R donné correspond une valeur de concentration pour chacune de ces substances.

Des pertes d'azote sous forme d'azote gazeux peuvent intervenir dans des systèmes moins contrôlés ou qui comportent des zones anaérobies (Lefebvre, 2000). Par ailleurs, un passage sous forme particulière (algues) est souvent observé dans des élevages peu renouvelés (semi-intensif ou extensif).

Tableau IV. Possibilités de contrôle des rejets issus des principaux systèmes de production  
La note va de 1 (bon contrôle possible) à 3 (pas de contrôle envisageable).

		Bassins de terre en circuit ouvert, extensif	Bassins de terre en circuit ouvert, semi- intensif	Cages en mer, semi-intensif	Bassins en circuit ouvert, intensif	Bassins en système recyclé, intensif
Rejets	Visuel	1	1	3	1	1
	Olfactif	0	0	3	2	1
	Auditif	0	2	1	2	1
Rejets dissous	Azote	0	3	3	3	1
	Phosphore	0	3	3	3	1
	Carbone	0	3	0	3	1
Rejets particuliers			3	3	2	1
Bactéries et pathogènes		3	3	3	3	1
Poissons et produits génitaux		3	3	3	3	1
Total		7	21	22	22	9

Le cas du CO<sub>2</sub> est particulier, car il a une grande facilité à passer de la phase liquide à la phase gazeuse. Dans les systèmes recyclés, un dégazage est systématiquement effectué pour limiter sa concentration dans l'eau d'élevage en dessous des niveaux limitants (20 à 30 mg/l de CO<sub>2</sub>, selon les espèces).

**Les rejets particuliers.** La taille des particules produites est le critère le plus important vis-à-vis de leur effet polluant dans le milieu d'élevage lui-même et dans l'environnement ensuite. Les grosses particules, de taille supérieure à 80-100 µm, peuvent être facilement retirées du milieu d'élevage et de l'effluent par filtration mécanique peu coûteuse ou par décantation (qui peut intervenir dans le bassin d'élevage lui-même en cas de faibles renouvellements d'eau comme dans le cas des élevages semi-intensifs). Actuellement, un filtre mécanique standard retient environ 50% des particules produites par un élevage de bars en système recyclé (Blancheton, 2000) et jusqu'à 90% de celles produites par des salmonidés en circuit ouvert (Bergheim et Brinker, 2001). Les petites particules restent dans le milieu d'élevage ou l'effluent et elles sont source de rejets difficilement contrôlables.

Par ailleurs, plus le temps de séjour des particules dans l'eau est long, plus la matière particulaire est remise en solution par lessivage direct et par dégradation bactérienne (élevages intensifs recyclés, par exemple). Les petites particules qui ne sont pas retenues par séparation physique se comportent comme de la matière dissoute et leur concentration dépend du *ratio* R au même titre que les matières dissoutes.

**Les autres rejets.** Certains systèmes ne permettent aucun rejet non contrôlé de poissons (grilles, tamis...). Les systèmes recyclés permettent, d'une part, un contrôle poussé de la qualité du milieu (contrôle des populations bactériennes) et, d'autre part, de limiter considérablement, voire d'éviter totalement, la production et les rejets de produits génitaux. Les élevages extensifs ne produisent *a priori* pas de flux importants de bactéries, mais les fuites d'animaux et les rejets d'animaux morts sont possibles (voire courants). Tous les autres systèmes sont susceptibles de rejeter des bactéries (pathogènes ou non) ou des poissons et des produits génitaux.

### *Possibilités de contrôle des principaux rejets*

Dans le tableau IV (ci-dessus), les possibilités de contrôle de ces rejets des différents systèmes ont été évaluées par les notes 1 (bon contrôle possible) à 3 (pas de contrôle envisageable). Les rejets inexistant ont été notés 0, ce qui fait que la note totale la plus basse est affectée au système le moins polluant, qu'il ne produise aucun rejet ou en raison d'un bon contrôle possible de ses rejets. À titre d'exemple, les rejets particuliers issus d'élevages semi-intensifs en bassins de terre en circuit ouvert ne sont pas contrôlables ; leur contrôle peut être envisagé, bien que cela soit peu réaliste d'un point de vue économique, pour des élevages intensifs en circuit ouvert. Ce contrôle est possible pour des élevages intensifs en système recyclé.

De l'analyse de ces tableaux, malgré le niveau de subjectivité inhérent à la méthode d'évaluation, il ressort que les élevages extensifs au sens strict n'engendrent pratiquement aucun rejet, si ce n'est potentiellement des poissons vivants ou morts issus d'alevins d'écloserie. Ce rejet est pratiquement incontrôlable. À l'opposé, les élevages en système recyclé produisent différents rejets qui sont pratiquement tous contrôlables, car concentrés dans un faible débit d'eau ou issus d'une activité sous bâtiment. Les élevages en circuit ouvert intensifs ou semi-intensifs, ainsi que les cages en mer sont responsables de pratiquement tous les types de rejets, ceux-ci étant généralement difficilement contrôlables car issus d'une activité en plein air et caractérisés par une très grande dilution.

## **Moyens et méthodes de limitation des rejets**

Dans ce chapitre, ne seront pas considérés les rejets « aériens », dont le traitement relève davantage d'un travail d'experts de type architecte ou paysagiste.

### **Les rejets directs des poissons**

La limitation des rejets d'élevage peut et doit être étudiée à deux niveaux : (1) à la source, il s'agit alors des rejets directs des poissons, et (2) au niveau du système d'élevage.

#### *Les rejets métaboliques*

**La matière organique des fèces.** La composition de l'aliment a un effet direct, d'une part, sur sa digestibilité et, d'autre part, sur les caractéristiques physiques des fèces émises. L'amélioration de la digestibilité est toujours recherchée, afin de diminuer quantitativement les pertes fécales. Cette diminution peut être obtenue grâce au choix de matières premières hautement digestibles (peu riches en amidon brut ou en fibres). Par ailleurs, l'augmentation de la densité énergétique des aliments (incorporation de lipides ou de glucides prétraités) entraîne une diminution de l'indice de conversion alimentaire et permet de réduire les pertes fécales (Cho et Bureau, 2001). Les caractéristiques physiques recherchées seront dépendantes du type de système de production utilisé. Pour des élevages intensifs à terre, l'objectif sera la production de fèces très cohérentes et denses, donc facilement retenues sur des filtres classiques. À l'opposé, des fèces friables qui se dispersent rapidement seront recherchées dans le cas d'élevages en cage.

**L'azote excrété et fécal.** La production d'azote fécal peut être réduite en utilisant des protéines très digestibles. La relation entre les acides aminés dont l'animal a besoin pour sa croissance (et qu'il retient) et ceux qui lui sont proposés dans l'aliment est le principal facteur qui joue sur l'excrétion de l'azote ammoniacal : si un excès de protéines est ingéré, cet excès sera métabolisé et servira à produire de l'énergie au lieu de produire des protéines. Par ailleurs, la proportion entre l'énergie et les protéines

contenues dans l'aliment orientera l'utilisation de celles-ci : en augmentant les proportions de nutriments énergétiques dans l'aliment, on peut obtenir un effet d'épargne protéique chez la plupart des poissons. Ces deux aspects sont susceptibles d'interagir (Cho et Bureau, 2001).

**Le phosphore excrété et fécal.** Les pertes en phosphore sous forme dissoute ne représentent que 15-20% du phosphore ingéré et il existe peu de moyens de les limiter. La réduction des rejets passe par une meilleure assimilation du phosphore alimentaire et, donc, une meilleure connaissance des besoins des animaux. D'une manière générale, les poissons avec estomac, comme la truite, assimilent mieux le phosphore que les poissons sans estomac, comme la carpe. Le taux de phosphore digestible nécessaire pour optimiser la croissance et la constitution du squelette de la truite a récemment été réévalué à la baisse, entre 0,4 et 0,5% dans l'aliment (Rodehutschord *et al.*, 2000).

#### *Les autres rejets*

L'aliment non consommé est globalement une source de moins en moins abondante de rejets, en raison de l'amélioration de la qualité des aliments proposés (les aliments extrudés produisent moins de poussières que les aliments pressés) et des systèmes de distribution actuels. Les systèmes de distribution en auto-alimentation (plutôt utilisés dans des installations à terre) ou avec dispositif permettant l'arrêt de la distribution dès que les premiers aliments non consommés sont détectés (plutôt utilisés pour des élevages en cages) permettent de diminuer significativement les pertes alimentaires.

#### **Les rejets des systèmes de production**

D'un point de vue très global, les matières particulaires (pourvu que leur taille soit suffisante) sont plus faciles à retirer d'un effluent que les matières dissoutes. Pour traiter les matières dissoutes, l'objectif est soit de les transformer en substances dissoutes moins toxiques (transformation de l'ammoniacale en nitrate dans un filtre biologique, par exemple), soit de les transformer en matières particulaires.

#### *Les rejets dissous*

En aquaculture, le lagunage algal et la culture de végétaux enracinés, dans une moindre mesure, sont les deux méthodes les plus pratiquées et les plus étudiées, et ont toujours été préférées à d'autres méthodes pratiquées en épuration urbaine, telles que le géo-assainissement qui nécessite des travaux de génie civil importants. L'épandage dans des roselières est généralement pratiqué par des entreprises bénéficiant de larges surfaces naturelles de marais et n'est pas contrôlé comme une culture. La nécessité de disposer de grandes étendues de terrain limite considérablement l'utilisation de cette technique.

La technique du lagunage à haut rendement algal permet de traiter les effluents de systèmes d'élevage en circuit ouvert (azote sous forme ammoniacal) ou en circuit recyclé (azote sous forme nitrate). Développée par Oswald (1953) pour traiter des effluents urbains, elle est caractérisée par un temps de séjour court (2 à 4 jours à comparer aux 30 à 45 jours de temps de séjour nécessaires dans le cas de lagunage statique), car la réaction algale est accélérée par une turbulence du milieu qui est constamment mis en mouvement et homogénéisé par une roue à aubes. La possibilité d'utiliser cette technique pour traiter des effluents aquacoles marins a été démontrée sur des élevages de daurades en circuit ouvert (Cohen et Néori, 1991). Globalement, les rendements d'épuration obtenus sont très dépendants de la saison (photopériode et température) et du flux apporté. Ils sont environ 20 fois plus élevés pour l'azote que pour le phosphore, ce qui reflète la composition moyenne des effluents. En moyenne annuelle, le rendement d'épuration de l'azote sous forme ammoniacal (environ  $0,8 \text{ g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ) est supérieur à celui de l'azote sous forme nitrate (environ  $0,4 \text{ g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ) (Pagand, 1999 ; Deviller *et al.*,

2002). Cette différence peut être compensée par la possibilité d'utiliser un flux d'alimentation en azote supérieur, en raison de la faible toxicité des nitrates. Le rendement d'épuration du phosphore est en moyenne de  $0,01 \text{ g.m}^{-2}$ . Ce type de traitement, compte tenu de la composition de l'effluent en nutriments et de sa salinité, produit essentiellement des macro-algues. Des essais ont été conduits avec un effluent enrichi en silice, de manière à produire des micro-algues (diatomées) pouvant servir à engraisser des huîtres. Les rendements d'épuration obtenus peuvent dans ce cas atteindre  $2 \text{ g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  pour l'azote et  $0,3 \text{ g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  pour le phosphore (Lefebvre, 2000). Ces deux types de traitement ouvrent la possibilité d'une meilleure utilisation des nutriments introduits dans le système d'élevage sous forme d'aliment, car les algues produites sont potentiellement valorisables. L'utilisation par des huîtres des micro-algues produites permet de valoriser environ 70% de l'azote introduit sous forme d'aliment, à comparer avec 20 à 30% pour un élevage de poisson marin comme le bar ou la daurade (Lefebvre, 2000). Les effluents d'un élevage expérimental de bar en système recyclé, traités par lagunage à haut rendement algal produisant des ulves, ont pu être réutilisés dans la boucle de recyclage sans que la croissance des animaux en soit affectée pendant un cycle annuel (Deviller, 2002). Les systèmes d'élevage maîtrisés, et présentant des résultats économiques satisfaisants, pourront dans l'avenir accroître leurs performances économiques et environnementales en intégrant progressivement d'autres maillons de traitement et valorisation (Blancheton, 2001).

### *Les rejets particuliers*

La minimisation des rejets particuliers issus du système d'élevage est plus compliquée et aujourd'hui moins étudiée que celle des rejets liquides. La raison principale en est que les normes sur les rejets de MES dans l'environnement ne contraignaient pas, jusqu'à présent, les éleveurs pratiquant leur élevage en circuit ouvert à atteindre un haut degré d'élimination des MES dans l'effluent. Les efforts ont principalement porté sur la minimisation des rejets directs des poissons et sur les méthodes de concentration de ces rejets par décantation ou par filtration mécanique afin d'en limiter le volume final. Des études sont actuellement en cours pour mieux comprendre comment les matières particulières produites par les poissons sont modifiées par les différents composants d'une boucle de traitement d'un système de recyclage (Franco-Nava, 2002), afin de définir des méthodes permettant de réduire leur production et d'éviter leur fragmentation. Nombre de producteurs s'équipent aujourd'hui de filtres mécaniques du type « drum » ou « disc » en sortie de piscicultures en circuit ouvert. De même que, dans les élevages en système recyclé, l'effluent qui sort du filtre mécanique est quelques centaines de fois plus concentré en matières particulières que l'eau avant traitement, ce facteur dépendant du type de système d'élevage et de la taille de la maille utilisée. Pour pouvoir être utilisé en épandage ou stocké et stabilisé, il doit être à nouveau concentré souvent par un second étage de filtration et par décantation (pour atteindre quelques dizaines de grammes par litre de MES) (Cripps et Bergheim, 2000 ; Bergheim et Brinker, 2001). La floculation peut aussi être utilisée pour faciliter la filtration secondaire sur un filtre à bande (Kamstra *et al.*, 2000). Les matières en suspension retirées de l'effluent peuvent, dans certains cas, être partiellement utilisées comme source de carbone dans un réacteur dénitrifiant (Eding *et al.*, 2001). Les procédés de stabilisation, généralement de la chaux à environ  $100 \text{ g.kg}^{-1}$  de matière sèche ce qui permet de faire monter le pH autour de 12, permettent à la fois d'éviter la décomposition de la matière et la survie des éventuels pathogènes rejetés par les poissons dans les fèces et autres rejets particuliers (Bergheim *et al.*, 1998).

### **Autres méthodes pour minimiser les rejets**

Les performances métaboliques intrinsèques des poissons, ainsi que leur tolérance aux différents polluants qu'ils produisent et qui se concentrent dans le milieu d'élevage, sont très différentes selon les espèces. Avec un même niveau d'adaptation de l'aliment à l'espèce et des tolérances vis-à-vis des

Tableau V. Qualité d'eau requise pour l'élevage et rejets de quelques poissons d'aquaculture

Poissons de 200 – 300g	Saumon	Bar	Turbot	Catfish africain
Température °c	10-18	22-26	14-18	24-30
Oxygène dissous % de saturation	>90	>90	>90	>90
N(NH <sub>3</sub> ) mg/l	<0,02	<0,15	<0,15	<0,6
CO <sub>2</sub> mg/l	<25	<30	<30	
Indice de conversion (kg/kg)	1,2	1,5	1	0,85
Consommation d'oxygène mg/kg(pf)/h	300-600	200-250	100-150	50-75
Excrétion d'azote mg/kg(pf)/h		250-300	70-120	
Excrétion de phosphore mg/kg(pf)/h		20-25	8-15	

principaux facteurs limitant comparables, un poisson actif comme le bar aura toujours un taux de conversion de l'aliment plus élevé que le turbot, ainsi qu'une respiration et une excrétion supérieures (tab. V, ci-dessus).

Pour une même espèce, en dehors de manipulations génétiques à proprement parler, qui ne sont pas autorisées aujourd'hui en France, la sélection des animaux les plus performants pour en faire des géniteurs (sélection massale) peut également contribuer à la diminution des rejets.

## En conclusion

Pour une espèce de poissons donnée et en dehors d'actions de sélection (peu documenté hors croissance) ou de manipulations génétiques (interdites en France, actuellement), la première source de minimisation des rejets sera le résultat d'une meilleure maîtrise de la formulation des aliments (rejets métaboliques) et des méthodes d'alimentation (aliment non ingéré). Les espèces de poissons qui ont naturellement un métabolisme efficace seront à privilégier pour développer une aquaculture propre et durable.

Traiter les rejets dans des conditions économiques supportables par une entreprise aquacole nécessite soit de les concentrer, soit de disposer de surfaces de lagunes importantes.

Les seuls systèmes permettant de les concentrer sont les systèmes recirculés. Plus le temps de séjour de l'eau dans le système d'élevage est grand (donc plus le taux de renouvellement de cette eau est faible), plus la concentration en polluants est grande et le débit de rejet faible.

Les systèmes intégrés permettent de mieux valoriser les nutriments par des productions annexes d'algues et mollusques, et donc de minimiser les rejets du système de production « primaire ». Plusieurs associations de cultures dans divers contextes géographiques sont actuellement en cours d'étude, dans le cadre de projets cofinancés par l'Union européenne. Ces projets devraient contribuer à définir les conditions d'une bonne efficacité économique de tels dispositifs.

L'impact des élevages aquacoles sur l'environnement, bien que très faible par rapport à celui lié aux autres activités humaines, a été démontré (Merceron, 2002). Dans tous les pays développés, l'aquaculture est amenée à se développer dans des espaces aujourd'hui peu convoités, c'est-à-dire en dehors de la bande côtière, ce qui conduit à sélectionner deux techniques de productions très différentes et complémentaires :

- les cages au large, qui seront utilisées pour produire des poissons de taille commercialisable à partir d'alevins pré-grossis et pour lesquelles les déchets émis sont simplement libérés dans le milieu marin, sans réel souci de les minimiser compte tenu du taux de dilution naturel ;

- les élevages en milieu recyclé, développés principalement pour les phases d'élevage allant du géniteur à l'alevin pré-grossi ou pour des productions à terre de poissons de taille commerciale localisées hors de la bande côtière (partie marine ou terrestre). Ce type d'élevage devient de moins en moins dépendant d'une source d'approvisionnement en eau de bonne qualité et permet un contrôle poussé de tout le processus de production. Dans le même temps, les performances métaboliques des animaux, qui sont maintenus dans un milieu d'élevage confortable, sont optimisées. La concentration de plus en plus poussée des rejets produits permet d'envisager une internalisation progressive de leur traitement et de leur valorisation afin de limiter l'impact du système de production sur l'environnement.

Quel que soit le degré d'épuration obtenu, une quantification précise du rejet final sera nécessaire pour évaluer son l'impact sur le milieu récepteur ■

## Références bibliographiques

- ABISSY M., MANDI L., 1999. Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du Roseau. *Rev. Sci. Eau*, 12, 285-316.
- BADOUIN R., 1987. L'analyse économique du système productif en agriculture. *Cath. Sci. Hum.* 23, 357-375.
- BAKKE T.A., HARRIS P.D., 1998. Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 247-266.
- BERGHEIM A., CRIPPS S.J., LILTVED H., 1998. A system for the treatment of sludge from land-based fish farms. *Aquat. Living Resour.*, 11, 279-287.
- BERGHEIM A., BRINKER A., 2001. Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Proceedings from the Aquacultural Engineering Society's Second Issues Forum*, Shepherdstown, West Virginia, 11-14 novembre, 9-31.
- BLANCHETON J.P., 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquac. eng.*, 22, 17-31.
- BLANCHETON J.P., GAUMET F., GASSET E., CONTE M., 2001. Recirculation systems for seabass farming from laboratory to industrial pilot scale: biologic - economic results. *Aquaculture Europe 2001, Aqua Nor, new species, new technologies, workshop on better use of water, nutrients and space, handbook and extended abstracts*, 7 août 2001, Trondheim, Norvège. European aquaculture society, Oostende, 9.
- CHO C.Y., BUREAU D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research*, 32, 349-360.
- COHEN L., NÉORI A., 1991. *Ulva lactuca* for marine fishpond effluents. I. Ammonia uptake kinetics and nitrogen content. *Bot. Mar.*, 34, 475-482.
- COMPANY R., CALDUCH-GINER J.A., PEREZ-SANCHEZ J., KAUSHIK S.J., 1999. Protein sparing effect of lipids in common dentex (*Dentex Dentex*): A comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus Labrax*). *Aquat. Living Resour.*, 12, 23-30.
- CRIPPS S.J., BERGHEIM A., 2000. Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, 22, 33-56.
- DEVILLER G., BLANCHETON J.P., FRANCO NAVA M.A., CASELLAS C., 2002. High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system. *Abstract of a presentation in the World Aquaculture 2002 international conference*, Pékin, Chine, 23-27 avril, 180.
- DOSDAT A., 1992a. L'excrétion chez les poissons téléostéens. I. L'azote. *La Pisciculture Française*, 108, 25-40.
- DOSDAT A., 1992b. L'excrétion chez les poissons téléostéens. II. Le Phosphore. *La Pisciculture Française*, 109, 18-29.
- DOSDAT A., GAIGNON J.L., 2002. Analyse de l'exploitation des ressources animales marines. Approche des systèmes de production sous l'angle des ressources naturelles exploitées. *Nature, Science et Société*, Soumis.
- EDING E.H., WOOLDERINK R., VERRETH J.A., KLAPWIJK A., 2001. Comparison of waste discharge between two recirculating aquaculture systems, compiled by Rosa Flos and Leroy Crosswell. *Abstract of contributions presented at the International Conference AQUA 2000*, Nice, France, 2-6 mai 2001.
- EL HAMOURY B., JELLAL J., OUTABIHT H., NEBRI B., KHALLAYOUNE K., BENKERROUM A., HATLI A., FIRADI R., 1995. The performance of a high rate algal pond in the marrocan climate. *Wat. Sci. Tech.*, 31, 67-74.
- FRANCO-NAVA M.A., BLANCHETON J.P., DEVILLER G., ROTUREAU A., 2002. Organic carbon management and biofiltration in a marine fish Recirculating Aquaculture System. Poster presented at the *World Aquaculture 2002 international conference*, Pékin, Chine, 23-27 avril, 223.
- GUILLAUME J., KAUSKIK S., BERGOT P., METAILLER R. (dir.), 1999. *Nutrition et Alimentation des Poissons et Crustacés*. INRA Éditions, Paris.

- KAMSTRA A., KLOET P., RAND A., AARNINK B., HELDERMAN H., MORTENSEN J., VAN DE VEN J., VAN COOTEN T., 2000. *Development of a blue label for fish farms; performance of existing Hesy systems*. Poster presented at Aqua 2000, Nice, France, 2-6 mai 2000.
- KAUSHIK S.J., 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non salmonids. *Aquat. Living Resour.*, 11, 221-217.
- KIM J.D., BREQUE J., KAUSHIK S.J., 1998. Apparent digestibility of feed composition from fish meal and plant protein based diets in common carp as affected by water temperature. *Aquat. Living Resour.*, 11, 269-272.
- LEFEBVRE S., 2000. *Les cycles de l'azote et du phosphore dans un système aquacole intégré poisson-phytoplancton-bivalve : Etudes expérimentales et modélisations*. Thèse de doctorat de l'université de Nantes, Nantes, France, 223 p.
- LÉONARD N., BLANCHETON J.P., GUIRAUD J.P., 2000. Populations of heterotrophic bacteria in an experimental recirculating aquaculture system. *Aquac. eng.*, 22, 109-120.
- LÉONARD N., 2000. *Recherche et élimination des facteurs inhibiteurs de croissance dans les élevages piscicoles en circuit fermé*. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 2. Montpellier, France, 165 p.
- MERCERON M., 2002. Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site: I. Current and water quality. *J. Appl. Ichthyol.*, 18, 40-50.
- OSWALD W. J., GOOTAS H.B., LUDWIG H.F., LYNCH V., 1953. Algae symbiosis in oxidation ponds. II. Growth characteristics of *Chlorella pyrenoidosa* cultured in sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 25, 26-37.
- PAGAND, 1999. *Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage à haut rendement algal*. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 1. Montpellier, France, 220 p.
- RODEHUTSCORD M., GREGUS Z., PFEFFER E., 2000. Effect of phosphorus uptake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture*, 188, 383-398.
- YAMAMOTO T., UNUMA T., AKIYAMA T., 1998. Apparent availability of amino acids from several protein sources for fingerling Japanese flounder. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult. Japan*, 27, 27-35.
- YOUNGSTON A.F., DOSDAT A., SAROGLIA M., JORDAN W.C., 2001. Genetic interactions between marine finfish species in European aquaculture and wild conspecifics. *J. Appl. Ichthyol.*, 17, 153-162.

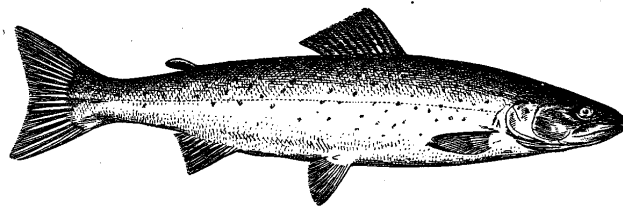


FIG. 1682. — Saumon commun.