

J. PETIT

INRA Laboratoire de Physiologie
et Écologie des Poissons
Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cedex

L'aquaculture : un problème pour l'environnement ?

L'augmentation rapide de la production aquacole, et donc de son impact polluant, a nécessité la mise en place d'une législation concernant les rejets des piscicultures. L'estimation de l'impact polluant est complexe du fait des volumes d'eau mis en jeu et de la difficulté de quantifier les stocks de poissons dont dépendent les quantités d'aliment déversé.

L'aquaculture, par nature, est utilisatrice d'eau. Cette eau a une fonction d'usage : sustentation de l'animal, apport thermique, apport d'oxygène, évacuation des déchets. Elle est donc entièrement restituée au milieu naturel. Au contraire, l'irrigation, principal compétiteur de l'aquaculture dans l'utilisation des eaux de surface, consomme l'eau par évaporation : un champ de maïs à la floraison mâle évapore de 30 à 50 m³/ha/j pour une production de 100 à 200 kg de matière sèche.

Les besoins en eau pour le maintien d'un stock de poissons sont relativement importants : 15 à 50 m³/h/t en stock, selon la tempé-

rature et les équipements d'oxygénation mis en jeu, mais restent globalement modestes (figure 1) compte tenu de la production réalisée (30 000 tonnes par an pour les salmonicultures françaises). Ces besoins ont en commun avec les autres secteurs agricoles d'être importants en période estivale. Une caractéristique propre à l'aquaculture, la poikilothermie des animaux, aggrave ce phénomène : l'élévation de la température entraîne l'augmentation rapide des besoins nutritionnels et respiratoires, accroissant ainsi les débits d'eau nécessaires à la production.

Comme pour les autres activités utilisatrices d'eau, le passage de celle-ci dans l'exploitation aquacole modifie ses caractéristiques physico-chimiques. La qualification de « pollution » est engendrée par les conflits d'usages de l'eau : l'industriel, le plaisancier, le pêcheur ou l'ostréiculteur pourront avoir des conceptions différentes de ce qui est ou n'est pas pollution. Ce problème général de l'évaluation de ce qui est ou n'est pas nuisance est particulièrement ambigu en aquaculture : un élevage de poissons, par sa dépendance vis-à-vis de la qualité de l'eau, peut être un facteur de protection du milieu. Un élevage de saumons en cage peut être bénéfique par ses apports en nutriments dans un écosystème pauvre en phyto et zooplancton, ou au contraire entraîner, par son intensification excessive, une eutrophisation du milieu et donc s'avérer polluant (figure 2). Le cas de la conchyliculture est encore plus difficile à cerner : l'activité de filtration des mollusques joue un rôle d'épuration du milieu, mais la concentration des parcs à huîtres ou à moules peut entraîner des épizooties préjudiciables pour la faune sauvage elle-même.

C'est pourquoi l'analyse de l'impact sur l'environnement d'un élevage aquacole comporte

Résumé

L'aquaculture intensive est considérée comme une source de pollution. Les interactions étroites entre le milieu d'élevage et l'écosystème où est implanté l'élevage confèrent des caractères particuliers à cette pollution.

Les formes de pollution par l'aquaculture sont variées : pollutions organique, chimique, bactériologique, génétique etc. Les flux polluants peuvent être importants localement et géographiquement. On estime que la production d'une tonne de saumons implique 1 km² marin, et que les élevages norvégiens contribuent pour 8 % et 14 % de l'azote et du phosphore respectivement en mer du Nord.

La législation n'est pas adaptée aux problèmes tels qu'ils se posent en pisciculture. Une législation européenne plutôt axée sur le contrôle des intrants dans l'aliment semble se profiler avec l'exemple danois.

Le moyen le plus rapide de réduire la pollution générée par l'aquaculture semble être, pour l'instant, d'abaisser la quantité d'aliments déversés par augmentation de la valeur énergétique de ceux-ci (ce qui diminuera la quantité de matières en suspension), et de remplacer une partie des protéines par des lipides. La mise en oeuvre de ce type d'aliment demande toutefois une technicité élevée.

L'avenir des traitements en aval semble limité par le caractère très dilué des polluants et les grands volumes d'eau à traiter.

L'aquaculture en tant que production dépendante de l'Environnement peut être un lien privilégié pour des études sur le coût de l'Environnement.

Figure 1. Les usages de l'eau en France. Adapté d'après Brodhag 1990. (Source : Etat de l'Environnement 1988).

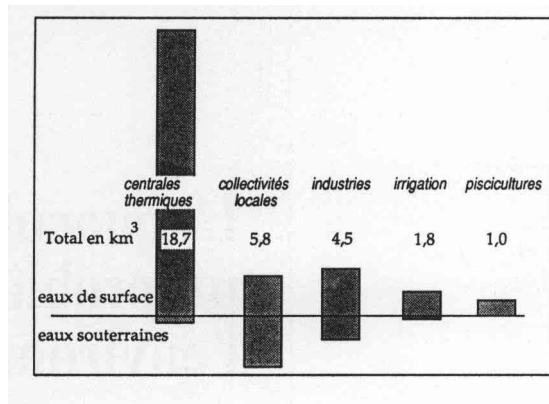
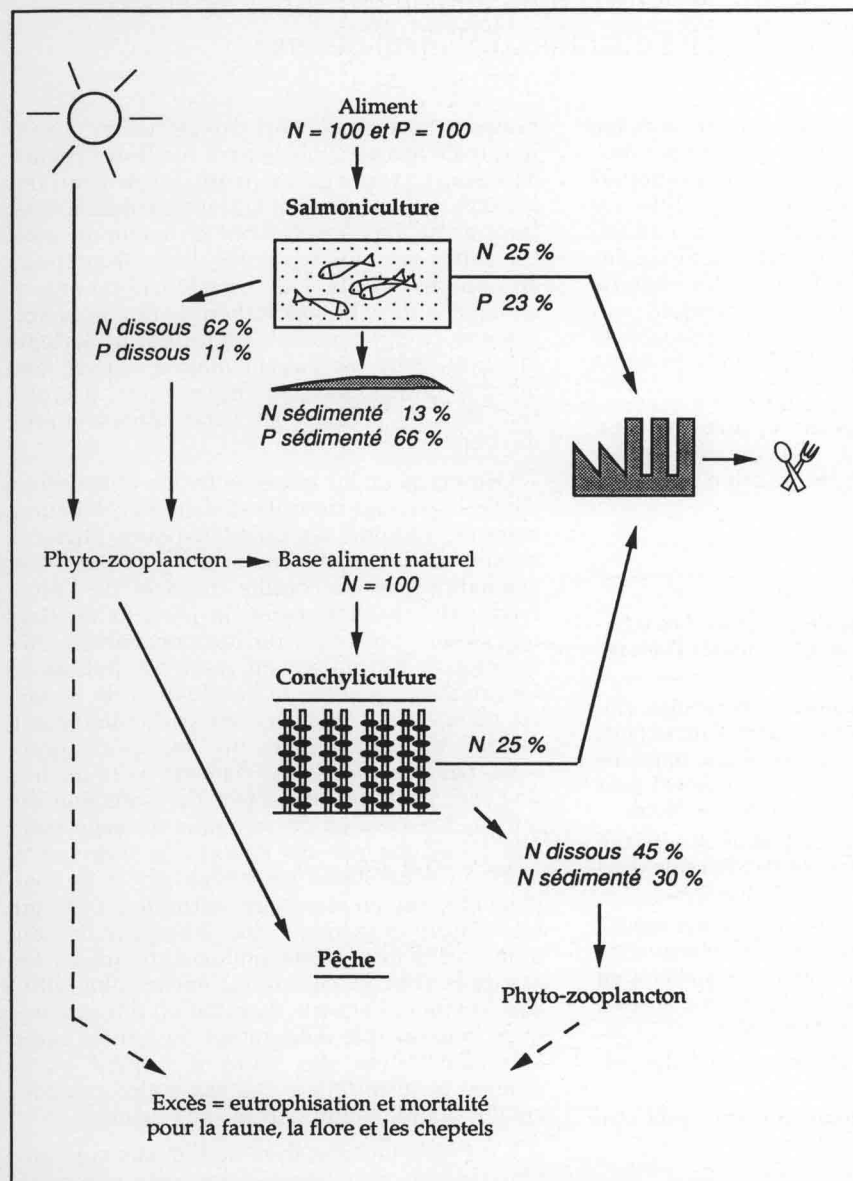


Figure 2. Rôle de l'aquaculture dans l'écosystème côtier.

L'aquaculture a des impacts très différents sur le milieu naturel suivant le mode d'alimentation des animaux. Dans tous les cas on a rejet d'azote et de phosphore pouvant entraîner une eutrophisation. Le risque est moindre pour la conchyliculture : les mollusques consomment le plancton. Schéma adapté de Folke 1988.



1 / L'aquaculture source de pollution ? ... ou l'histoire du pollueur pollué

Il était une fois, voilà une dizaine d'années, une rivière bretonne, le Leguer, sur laquelle on dénombrait onze éleveurs de truites installés les uns derrière les autres, et qui encombraient le Tribunal Administratif de plaintes concernant le voisin situé en amont. Celui-ci polluit l'eau paraît-il... Ceci éveilla l'attention de l'Administration, ce qui donna lieu en 1981, aux premières « Prescriptions Générales » définissant ce qui serait désormais considéré comme une pollution dans un rejet de pisciculture.

Le rapport de Juin 1989 de la NORSK-HYDRO, l'une des plus importantes compagnies norvégiennes d'aquaculture, fait état de la pollution, par l'industrie norvégienne, de ses zones d'élevages, et cherche à s'assurer contre ce risque auprès de la LLOYDS Register. Le rapport d'octobre 1990 de la même société fait état d'un programme destiné à protéger... l'environnement menacé par les rejets de la ferme « Golden Sea Produce » que la NORSK-HYDRO a installée en Ecosse.

Ces deux exemples montrent que, si le caractère polluant d'un élevage aquacole intensif n'est pas contestable, il se différencie des autres élevages hors-sol par son étroite dépendance de l'écosystème où il s'est implanté. Le tableau 1 récapitule les différences entre élevage classique en milieu aérien et élevage en milieu aquatique.

Les formes de pollution dont relève l'aquaculture sont également très variées. Outre les déchets du métabolisme et les résidus des produits de traitements (antibiotiques, sulfate de cuivre, etc), que l'on trouve dans les autres rejets d'élevage industriel, la particularité des sites destinés à l'aquaculture (eaux calmes et propres, habitat naturel de variétés sauvages de

Tableau 1. Contraintes et avantages liés à la nature du milieu d'élevage (adapté de Boeuf 1988).

	EAU (pisciculture)	AIR (porcherie, poulailler)
Densité	Economie de sustentation (densité 800 fois celle de l'air)	Energie de maintien importante
Ventilation de l'enceinte d'élevage	Coût élevé : renouvellement du bassin	Energie de ventilation coût faible
Oxygène	Faiblement disponible	Non limitant (30 à 40 fois plus que dans l'eau)
Conductivité thermique	Importante : perte de chaleur pour les animaux	Faible : conservation de la chaleur
Interface avec l'être vivant	Eau - eau (branchies) perte de sels	Eau - air (poumons) pas de perte de sels

l'espèce élevée) conduit à prendre en compte des pollutions génétiques, bactériologiques et esthétiques.

Ainsi le Nature Conservancy Council (G.B.) veut déplacer les élevages en cage implantés dans le Loch Sween (Ecosse) alors que les études d'impact ont mis en évidence l'innocuité de ces élevages vis-à-vis de l'écosystème : il s'agit simplement de les mettre « hors vue » !

Souhaitant devancer les problèmes, la NORSK-HYDRO précédemment citée a repeint équipements et bâtiments d'exploitation, étudié des formes de cages profilées, espérant ainsi rendre l'élevage particulièrement discret dans des sites, certes propices à l'aquaculture industrielle, mais qui n'ont rien d'une zone industrielle.

Traitement des effluents, recyclage des déchets d'usine, stérilisation U.V. avant décharge, lutte passive contre les prédateurs (et non plus destructive) sont des conséquences de la pression écologique que subissent les aquaculteurs.

Ces actions de dépollution ont le plus souvent un double effet : sur l'environnement d'une part, sur les pratiques d'exploitation d'autre part. Le coût de la dépollution pourra éventuellement être compensé par un gain d'exploitation : l'eau épurée peut ainsi être recyclée pour un meilleur confort du cheptel. L'éradication de germes pathogènes tel que le « pou du Saumon » ou la furunculose a diminué les risques d'épizooties au niveau des élevages de saumons norvégiens.

2 / Le mode d'action, les effets des pollutions aquacoles

2.1 / Nature des flux polluants

L'encadré ci-contre présente les coefficients spécifiques de pollution aquacole retenus par l'Agence de bassin Loire-Bretagne suite à l'étude menée par Faure en 1979-1980 dans le cadre de l'opération « Salmoniculture et Environnement » confiée au CEMAGREF.

Evaluation des flux polluants en salmoniculture

La quantification des rejets de pisciculture s'appuie sur les données collectées en pisciculture, tant aux USA qu'en France, qui établissent une relation stricte entre alimentation et pollution, pour l'ammoniac et les matières en suspension (MES). Les valeurs ainsi obtenues sont à considérer comme des moyennes journalières pouvant fluctuer largement en valeurs instantanées. Les évaluations prises en compte par les services administratifs français se font de la manière suivante : A étant le poids d'aliments, les valeurs des coefficients à appliquer en salmoniculture (nourrissage à l'aliment sec 45 % de protéines) sont (Crouzet 1983, Faure 1983) :

Ammoniac $(NH_3 + NH_4) = 0,03 A \times K_s$

K_s est une valeur comprise entre 1 et 2 lorsque l'on dépasse 1 mg/l d'ammoniac dans l'eau. K_s est un facteur prenant en compte le fait que la présence d'ammoniac au-dessus de 1mg/l entraîne une augmentation de la production d'ammoniac par kg de truites.

Calcul de K_s ou coefficient de stress : ce coefficient est calculé à partir du nombre N de réutilisations de l'eau après désoxygénation : $K_s = 0,875 + 0,125 N$

Azote Kjeldahl (azote total) $NTK = A (0,012 + 0,03 K_s)$

Matières en suspension (bassins sans décantation)

$MES = A \times (32 \times IC - 20) / 100$

La quantité de matières solides émises varie fortement avec l'indice de conversion (IC) de l'aliment.

Matière organique $DBO_5 = 0,15 A$ $DCO = 3,7 DBO_5$
 DBO_5 = Demande biochimique en oxygène après 5 jours. Mesure la quantité de matières organiques biodégradables.
 DCO = Demande chimique en oxygène. Mesure la quantité totale de matières organiques.

Pour l'évaluation des redevances à la pollution, le calcul est fait à raison de :

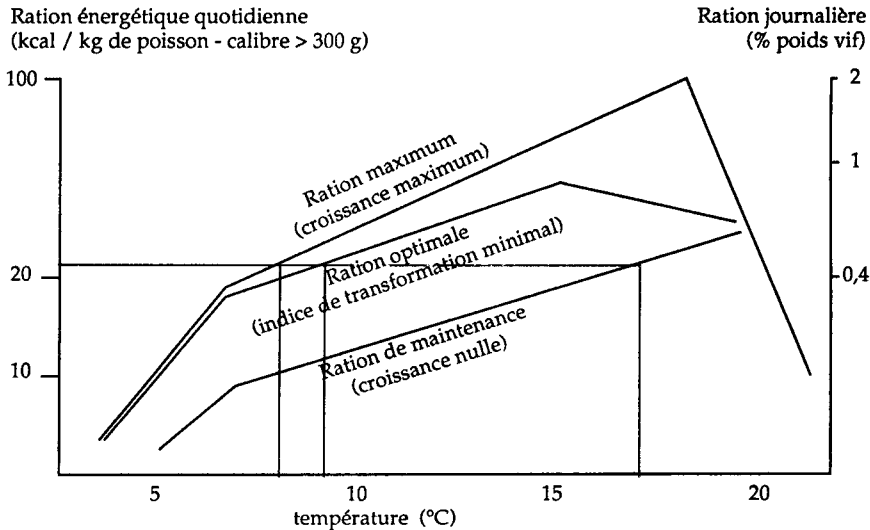
$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 5$

(Le secteur agricole ne paie pas de redevance)

Phosphates $PO_4 = 0,014 A$ PT (phosphate total) = $0,025 A$

Extrait de Petit J., 1985 : L'Approvisionnement en eau, le traitement de l'eau et le recyclage en Aquaculture, in «L'Aquaculture», éditions Lavoisier - Paris.

Figure 3. Gestion de l'aliment en fonction de la température en aquaculture : ration maximale, optimum et d'entretien (d'après Brett et al 1969). Pour une même ration énergétique on peut se trouver en situation de croissance minimale ou maximale. Lorsque la température s'élève, les besoins énergétiques augmentent rapidement. (Les valeurs sont indicatives : la valeur énergétique varie suivant les aliments).



Ces coefficients permettent l'évaluation des flux polluants engendrés par le métabolisme des poissons à partir de corrélations établies entre ces flux et des facteurs techniques, c'est-à-dire essentiellement la quantité d'aliment distribué, et la qualité du milieu d'élevage intégrée sous forme de « coefficient de stress ».

Parmi les pollutions liées à l'usage de produits de traitement sanitaire, le chloramphénicol, le sulfate de cuivre (qui s'accumule dans les boues), le vert malachite (considéré comme dangereux pour l'homme en Allemagne) sont des produits cités comme indésirables dans les directives européennes.

La pollution bactérienne, en dehors de la pathologie associée à l'élevage intensif, peut prendre des proportions inquiétantes pour le produit aquacole : l'accumulation de coliformes et des streptocoques dans les élevages de « catfish » américains (Bennett 1982) ou les élevages de truites finlandais (Niemi 1985) conduit à modifier les pratiques d'élevage. Ainsi, contrairement à ce qu'on aurait pu imaginer, c'est lorsque le taux de nourrissage est faible que la pollution bactérienne est la plus forte : la vitesse du transit intestinal, l'activité des animaux (qui évite les dépôts) sont stimulés par des apports alimentaires et les risques de prolifération bactérienne sont ainsi limités.

2.2 / Profil journalier et saisonnier de la pollution aquacole. Prédiction de la concentration au rejet

Les flux polluants étant essentiellement corrélés à l'alimentation, elle-même corrélée aux stocks de poissons en place, les pollutions au rejet vont s'accroître avec le rapport stock-débit.

Des régions comme la Bretagne voient ainsi les niveaux de pollution augmentés fortement au printemps du fait de la montée des flux polluants liés à l'augmentation de température : l'éleveur, pour maintenir un indice de transformation optimum, doit constamment augmenter la ration (figure 3). Le grossissement du stock et la baisse de débit des rivières accentuent le phénomène de concentrations des polluants dans l'eau du rejet (figure 4).

Toutes les techniques visant à atténuer les fluctuations des stocks : étalement des pontes par photopériode, alevinage décalé par thermorégulation (figure 5), diminueront les pics de pollution (Petit 1989).

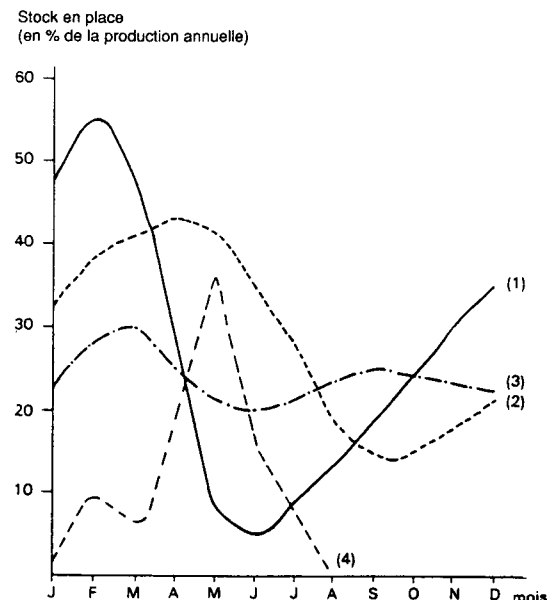
L'augmentation du rejet azoté en fonction de la température a fait l'objet de nombreux travaux qui donnent les taux d'excrétion applicables à la truite (Kaushik 1980), à la carpe (Kaushik 1980 et 1990), à l'anguille (Degani et Levanon 1988, Durillon 1988), à la daurade (Porter et al 1987), au turbot (Poxton et Allouse 1987) ou encore aux crevettes péneïdes (Dall et Smith 1986).

Malgré ces nombreux travaux, la prévision du rejet azoté en vue de respecter une norme exprimée en concentration d'ammoniac à ne pas dépasser reste extrêmement complexe.

Ceci tient aux nombreux facteurs mis en jeu : si l'incidence de la température et de la composition de l'aliment (notamment en protéines) est relativement bien cernée, l'effet du stress (lié à un milieu d'élevage dégradé par exemple) qui augmenterait la production d'azote excrété, les effets de certains paramètres de l'eau : oxygène, gaz carbonique, titre alcalimétrique ; le

Figure 4. L'importance de l'impact polluant des truiticultures est en relation avec la fluctuation des stocks mensuels moyens (Crouzet 1983).

- (1) Exemple de croissance rapide 13-14 mois en Bretagne
- (2) Exemple de croissance lente 17-19 mois dans les Pyrénées
- (3) Exemple de production étalée en zone côtière landaise
- (4) Courbe moyenne des ventes en pourcentage de la production dans une pisciculture bretonne.



lébit disponible (difficile à prévoir, et souvent pris en compte sur la base de moyennes), viennent rendre la modélisation du phénomène inextricable. De plus certains mécanismes sont encore mal expliqués : balance urée - ammoniac, sodium - ammoniac, etc (Fromm 1963, Randall et Wright 1987).

Autant les modèles destinés à prévoir les flux polluants en moyenne journalière peuvent donc être considérés comme satisfaisants (production de matières en suspension, d'azote, etc, en kg/jour) autant la prévision des concentrations instantanées au rejet reste difficile à établir. Les fluctuations des paramètres physiologiques avec la température, la complexité des échanges au niveau de la branchie, le caractère probabiliste des températures et débits pris en compte, ne permettent pas de savoir si un élevage donné sera ou ne sera pas en dessous d'un seuil de pollution pour lequel il aura été autorisé à produire (ex : 0,5 mg/l d'azote ammoniacal).

2.3 / Les nuisances provoquées

La notion de nuisances reste relative à la fonction d'usage ou à des objectifs de société (zone protégée, parc naturel, etc).

Ainsi dans le Sud-Est asiatique on utilise des pesticides dans les étangs d'aquaculture. Certains, tels que le Gusathion (organophosphate), visent à éliminer les escargots. Dans les étangs à crevettes ce sont des biocides destinés à tuer les tilapias, gobis, etc, qui sont utilisés (Apud 1985).

Ces produits, dont certains sont biodégradables (nicotine, saponine), sont largement utilisés sans étude d'impact sur la flore et la faune. L'absence de compétition pour l'eau dans les zones occupées par l'aquaculteur, et le caractère relativement secondaire de la protection de la nature par rapport à des besoins plus immédiats, expliquent cette situation.

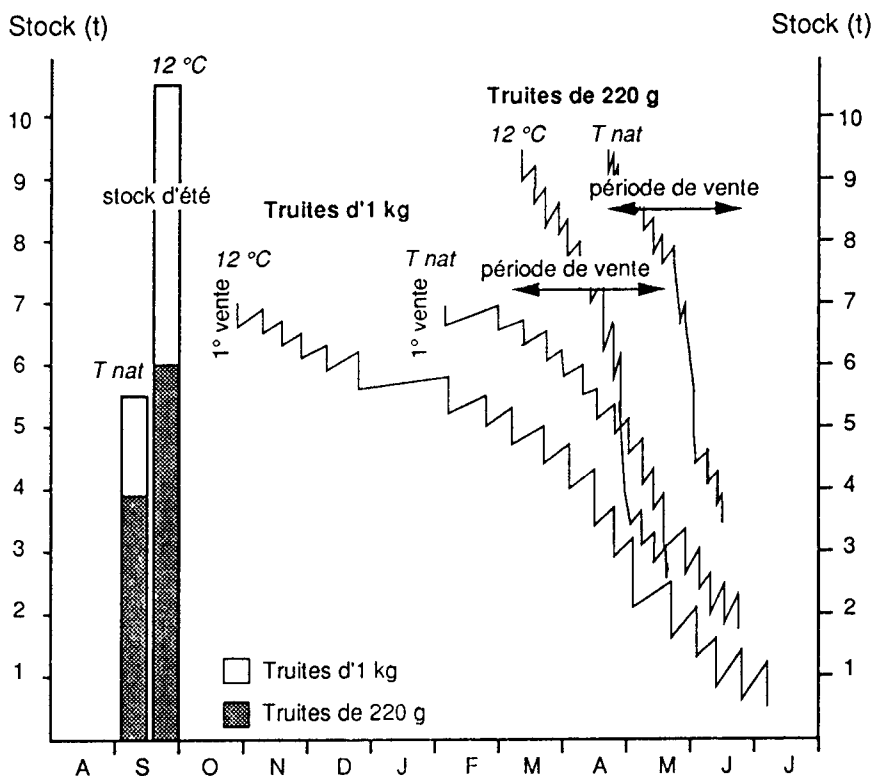
En Malaisie, l'élimination de la mangrove pour l'implantation d'étangs destinés à l'aquaculture a entraîné une acidification des sols avec une succession de nuisances en chaîne : mort des poissons, eau non potable, etc (Poernomo et Singh 1982, Simpson *et al* 1983). D'une manière plus directe, les quelques 5 330 ha de fermes aquacoles (crevettes) de Sutat Thani (Thaïlande) entraînent, par leurs rejets organiques, la disparition des ostréiculteurs installés dans la baie de Ban Don qui reçoit ces eaux (Chua et Paw 1987).

La conchyliculture, malgré son action de filtration du milieu et des risques moindres d'eutrophisation par surcharge organique, puisque le plancton est consommé, entraîne d'importants dépôts organiques par la réduction des mouvements de l'eau dans les parcs. En Suède, ce dépôt a été évalué à 7 kg de matière sèche par m² de ferme et par cycle d'élevage (1,5 - 2 ans) ou encore à 10 t pour 1 500 m² de parc.

Les risques associés à la charge organique sont relativement modérés en pisciculture d'eau douce courante : c'est surtout la localisation de celle-ci sur des cours d'eau de bonne qualité (catégorie 1B, 1A) qui entraîne la prise

Figure 5. Alevinage chauffé et commercialisation (Petit 1989).

Le maintien en eau chauffée à 12°C des juvéniles de truites accélère de manière significative leur croissance. La vente des animaux de 220 g se trouve avancée de 1,5 mois et celle d'animaux de 1 kg de 3 mois. D'autre part la période de vente se trouve allongée, ce qui est favorable pour le producteur (meilleure tenue des prix) et permet de diminuer le rapport stock-production par un décalage judicieux des bandes.



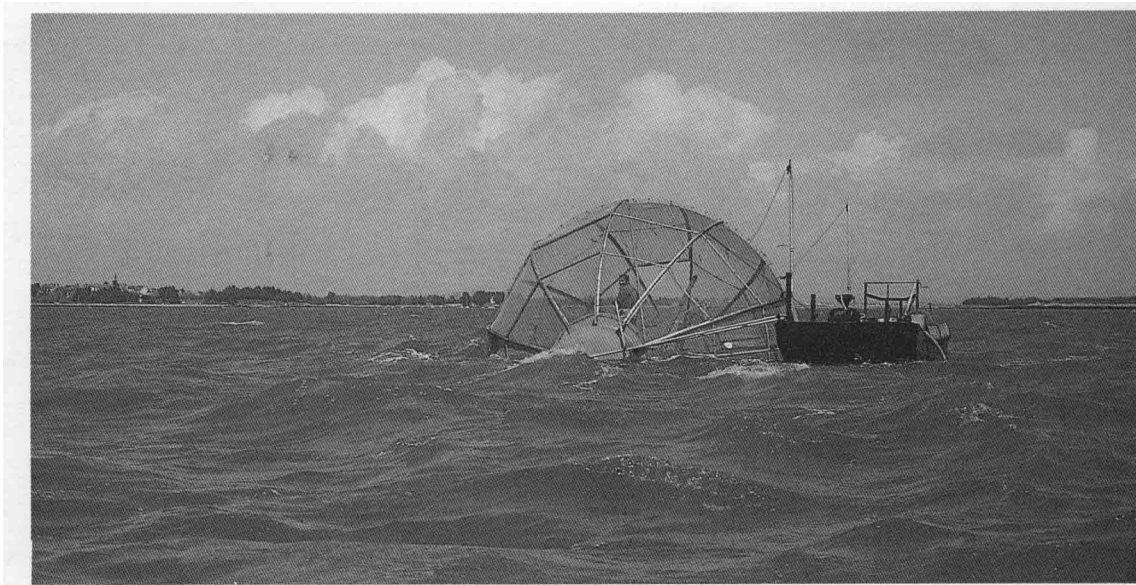
en compte de cette nuisance (dépôts en aval de la pisciculture, développement d'algues et champignons filamenteux inesthétiques, etc). La qualité d'eau minimum nécessaire à la survie de l'élevage lui-même ne permet pas d'atteindre des niveaux de concentrations des polluants comparables aux autres élevages. Si l'on s'en tient au flux polluant on arrive à des équivalences vite impressionnantes : 1 tonne de truites en stock équivaut à 40 à 50 équivalent habitant⁽¹⁾, c'est-à-dire, pour un élevage moyen, 2 000 à 2 500 équivalent habitant. La tonne de truites reçoit un débit d'eau journalier de l'ordre de 1000 à 1200 m³ contre 6 à 25 m³ pour son équivalent-habitant : le caractère dilué de la pollution piscicole lui confère un tout autre impact sur l'environnement.

Signalons toutefois que les piscicultures situées en haut de bassin versant, à cause des phosphates qu'elles émettent, perturbent le fonctionnement des stations de traitement pour la production d'eau potable, qui se trouvent fréquemment dans la même zone.

En mer, la pollution organique entraîne des risques d'eutrophisation et de dépôts sur le

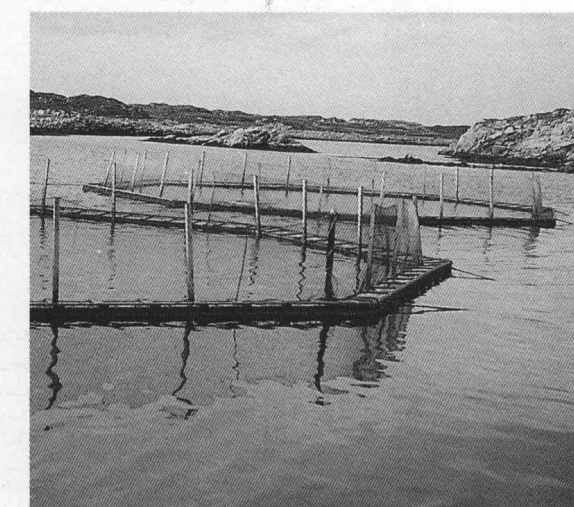
(1) L'équivalent-habitant exprime le volume de pollution rejeté, par jour, par habitant « moyen », c'est-à-dire 90 g de matières en suspension (après dégrillage et désablage) et 57 g de matières organiques.

Les environnements concernés par l'aquaculture vont de la mer ouverte (photo 1) ou fermée (photo 2) aux plans d'eau continentaux (photo 3) et aux rivières (photo 4).



Cages à Salmonidés

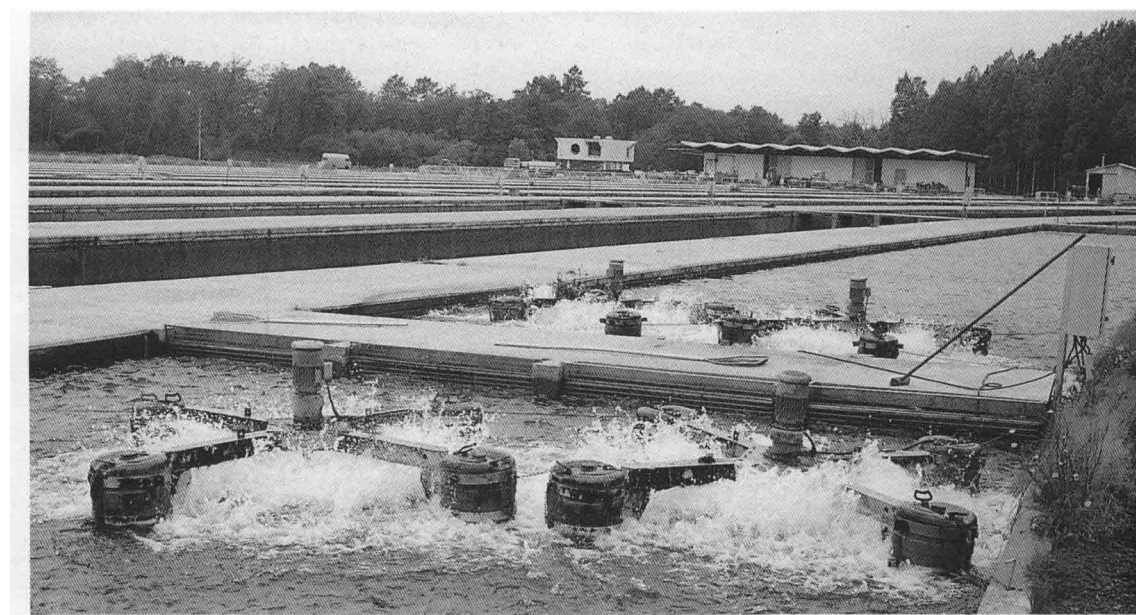
dans le golfe du Morbihan



dans un fjord norvégien



dans un lac de barrage espagnol



Bassins « couloirs » de 300 m de long alimentés par un captage d'eau de rivière de 2 à 3 m³/s (Salmonidés d'Aquitaine). Noter le turbinage nécessaire à la fourniture d'oxygène : les 500 tonnes de poissons en stock consomment environ 300 g d'oxygène dissous par kg d'aliment ingéré.

fond avec fermentation anaérobie (Takayanagi 1990). Par nécessité les élevages aquacoles recherchent des eaux calmes : baies, étangs marins plus ou moins ouverts sur la mer. Dans ces conditions, les études menées par les océanographes ont montré que le renouvellement du milieu était un leurre : même dans les mers à marée, et avec des courants violents, la durée d'un renouvellement complet est au minimum de 12 h.

Folke (1988) estime ainsi que l'épuration des effluents d'une ferme norvégienne à Saumon en cages, nécessite 1 km² de l'écosystème marin (énergie solaire et phytoplancton) par tonne de saumons produits. Il calcule également que l'énergie ainsi puisée dans l'écosystème est six fois celle que l'on a investi pour produire ! Globalement l'aquaculture norvégienne rejette 14 % du phosphore et 8 % de l'azote que reçoit la mer du Nord (Bergheim *et al* 1990). Les dépôts sur le fond sont propres aux élevages en cages flottantes fixes. D'autres systèmes de contention (Barges à saumons SALMOR, en Bretagne) plus mobiles évitent les problèmes liés à ces accumulations de déchets qui relarguent phosphates et nitrates (Kaspar 1988) voir de l'H₂S et du CH₄ si aucune action n'est entreprise (irrigation, curage, oxygénation, etc).

En dehors des pollutions d'ordre organique, chimique, l'aquaculture engendre, comme les autres activités, des perturbations pour la faune sauvage par les aménagements qu'elle nécessite (obstacles aux migrateurs notamment, au niveau des prises d'eau).

Pour terminer cette revue des nuisances liées à l'aquaculture, signalons les pollutions liées aux industries associées : transformation, abattoirs, etc (Jacobsen *et al* 1989), pollutions organiques bien sûr, mais aussi sources de dissémination d'agents pathogènes.

3 / Contrôle et maîtrise de la pollution aquacole

L'aquaculture représente environ 10 % des ressources aquatiques mondiales (8.10⁶ tonnes). Les élevages intensifs de poissons, utilisant des aliments en granulés ou en pâte, se situent dans les pays industriels. C'est donc dans ces pays, notamment en Europe, que l'on va trouver une législation contraignante concernant les rejets, et une recherche, à laquelle participe l'INRA, concernant les procédés par lesquels la pollution peut être réduite.

3.1 / La législation

a / L'arsenal juridique actuel

Les établissements de pisciculture en eaux continentales sont soumis à l'ensemble de la juridiction concernant l'eau, juridiction complexe dont l'application est du ressort de différentes administrations. Depuis 1978, les piscicultures étaient considérées comme Etablissements Classés (polluants) soumis à déclaration : l'utilisation systématique d'aliment sec

avait fait perdre son caractère de nuisances aiguës (odeur) à la pisciculture.

En 1982, sur intervention du Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, la pisciculture a été rattachée au régime de l'autorisation en ce qui concerne les Etablissements Classés. L'autorisation, pour être délivrée, nécessite l'avis de la Mission Déléguée de Bassin, du Conseil d'Hygiène Public de France, du Conseil Supérieur des Etablissements Classés. Dans les cas simples (niveau de pollution très faible), le Préfet peut délivrer directement l'autorisation.

L'une des pièces essentielles du dossier est l'Etude d'Impact dont le contenu est défini à l'article 3, 4^e du décret 77-1133 du 21.09.77. Cette étude comporte l'évaluation des flux polluants et les solutions techniques proposées pour respecter les objectifs de qualité des eaux du cours d'eau sur lequel le pisciculteur sera ou est (régularisation de situation) installé. Ces objectifs sont référencés à des ensembles de seuils polluants à ne pas dépasser pour respecter certains usages (eau potable, industries...).

Le durcissement de l'attitude des pouvoirs publics à l'égard des pisciculteurs à partir de 1982 a deux origines : l'augmentation rapide de la production, et en conséquence l'aggravation de son impact polluant (figure 6), et le constat de l'application très laxiste des procédures applicables à ce secteur, au titre de la protection de l'Environnement. Cet apparent laxisme s'expliquait aisément par la perplexité des agents de l'Etat devant appliquer une juridiction plus adaptée aux porcheries qu'à la pisciculture : évaluer un stock, identifier son rejet, sont choses relativement faciles dans un élevage aérien, mais beaucoup plus floues en pisciculture. En effet, il faut savoir que des éleveurs très performants font encore des erreurs

Figure 6. Evolution de la production de truite d'eau douce en France et événements principaux.

L'aliment complet granulés permet le développement de la pisciculture à l'intérieur des terres. La sécheresse de 1976 accélère la prise en compte des pollutions d'une activité devenue conséquente en tonnage. En 1982 la pisciculture est soumise au régime des Etablissements Classés soumis à autorisation.

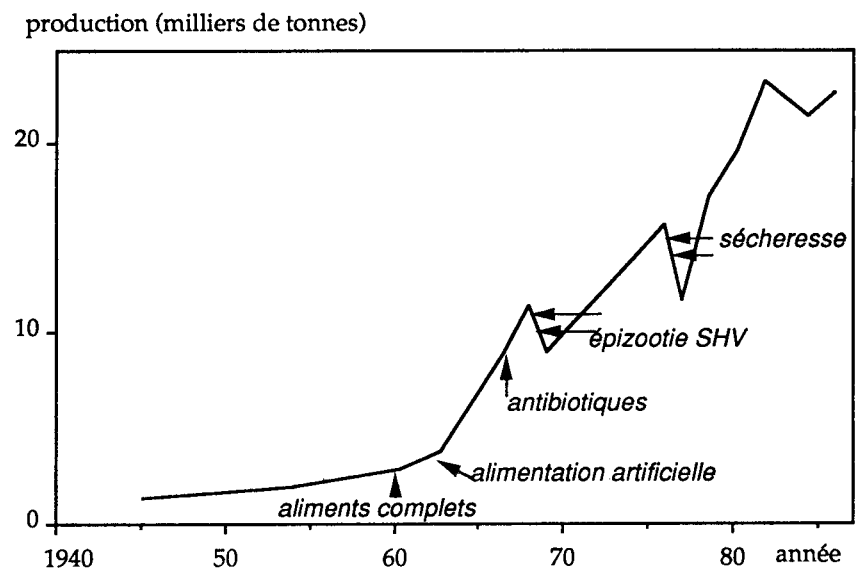


Tableau 2. Législation danoise sur l'utilisation des aliments piscicoles (d'après Jensen et Alsted 1990).

Date de mise en vigueur	01/08/89	01/01/90	01/01/92
Indice de transformation maximum	1,2	1,1	1,0
Energie Brute minimum (Mcal/kg MS)	5,6	5,7	6,0
Digestibilité minimum	70 %	74 %	78 %
Azote max. en % MS	9 %	9 %	8 %
Protéine Max/aliment	50 %	50 %	45 %
Phosphore Max. en % MS	1,1 %	1,1 %	1,0 %
Phosphore Max./aliment	1,0 %	1,0 %	0,9 %

Tableau 3. Résultats techniques et économiques attendus pour 100 t « d'aliment écologique » consommées par an (d'après Jensen et Alsted 1990).

Type d'aliment	Standard	« Anti-pollution » actuel	« Ecologique » ⁽¹⁾
Indice de transformation	1,3	1,0	0,8
Production (tonnes)	77	100	125
Chiffre d'affaire	1 000	1 300	1 625
Profit (kF)	570	870	1 120
Azote (kg)	5 428	4 800	4 198
Azote abattement réalisé par rapport à l'aliment standard	0	11,6 %	24,1 %
Phosphore (kg)	650	550	438
Phosphore abattement réalisé par rapport à l'aliment standard	0	15,9	33,1

(1) 47 % de protéines, 7,5 % d'Azote, 1 % de Phosphore, au prix d'environ 4,40 F le kg, et un prix de vente du poisson de l'ordre de 13 F/kg.

de 10 à 20 % sur leurs stocks en place : comptage automatique, pesée en continu sont encore des techniques très peu usitées du fait de leur complexité et de leur coût.

Ce sont les actions des Fédérations Départementales des Associations de Pêche et de Pisciculture, et plus généralement les Associations de Protection de la Nature, qui ont incité l'Administration à revenir au régime de « l'autorisation » : non que le caractère polluant de la pisciculture se soit aggravé particulièrement en 1982, mais cette procédure a « obligé », en quelque sorte, les diverses Administrations à traiter les dossiers de piscicultures, le postulant étant là, dans ce cas, pour faire pression en vue de l'obtention de son autorisation.

Un autre intérêt de cette procédure est d'avoir incité à la mise au point de prescriptions techniques particulières à la pisciculture, sur la base d'études menées par le CEMAGREF.

b / Les obstacles à l'application de la législation

En dehors de la lourdeur administrative accrue, trois facteurs défavorables sont apparus depuis 1982 qui font qu'aujourd'hui l'objectif de « régularisation » administrative de la pollution piscicole est loin d'être réalisé.

- La pisciculture étant une activité de fait, l'application sereine de la procédure d'agrément s'est trouvée perturbée : il est relativement facile d'interdire une création, il est plus difficile de demander à un producteur de diviser sa

production par 2 ou par 3, voire de l'arrêter... Il ne s'agit pas d'un cas d'école : en Bretagne certains projets d'arrêtés limitent la production à 50 t pour des établissements réalisant 150 t annuelles, en Normandie sur des rivières classées 1B, voire 1A (0,1 mg/l d'azote ammoniacal) le pisciculteur devrait éliminer la totalité de la pollution qu'il produit, la rivière en amont étant déjà au niveau maximum de pollution.

- D'autre part, les études menées pour évaluer le coût du traitement d'eau de rejet ont montré qu'il était incompatible avec la rentabilité des exploitations. La charge polluante, bien que significative, est trop diluée. Quels que soient les paramètres de pollution pris en compte, les rendements d'épuration restent faibles et il faut augmenter la taille ou la sophistication du dispositif pour atteindre une dépollution satisfaisante.

- Enfin, liées toujours à la dilution du flux polluant, les prescriptions techniques subordonnant les autorisations d'exploitation, en ce qui concerne la pollution, font état de seuil à ne pas dépasser au demi-ppm près. Ce qui nécessiterait, au niveau de l'étude d'impact prévisionnelle, des données d'ordre zootechnique et des précisions sur les conditions climatiques futures dont on ne dispose pas.

Pour terminer ce volet concernant la législation sur les pollutions applicables à la pisciculture, signalons que depuis le 29 juin 1984, les Associations de Protection de la Nature ont la capacité juridique de se porter partie civile ou de transiger, dans le cadre de la loi-pêche et son article 406 (ex 434-1) qui permet de sanctionner les pollueurs (ces actions étaient antérieurement le monopole des fédérations de pêcheurs).

Plusieurs actions sont en cours à l'encontre de pisciculteurs, et la jurisprudence qui suivra permettra peut être de lever le flou artistique (et technique !) de la législation actuelle. Regrettons ici que de nombreux articles de lois, n'ayant jamais fait l'objet de décrets ou d'arrêtés, ne soient pas applicables (ceci est valable pour la loi-pêche de 1984 et la loi sur l'Eau de 1964).

c / La législation européenne, les tendances évolutives de la loi : l'exemple danois

Le géant norvégien de l'aquaculture NORSK-HYDRO, déjà cité pour sa politique d'avant-garde en ce qui concerne la recherche d'une intégration de son outil de production à l'écosystème qui l'entoure, vient de pénétrer en France, par le biais du rachat d'AQUALIM, jusqu'alors principale firme française d'aliment poisson, par DANSK ORREFORDER (membre de K.F.K., groupe danois contrôlé par la N.H.)

Depuis 1987, la DANSK commercialise et exporte (45 % de la production) une gamme d'aliments dits « écologiques », baptisée Ecoline. Cette percée commerciale est peut être significative : les qualités « anti pollution » de l'aliment vont devenir un atout important pour s'imposer sur le marché de l'aquaculture.

En accordant à la législation danoise, sinon une avance, du moins une spécificité plus grande dans la prise en compte des nuisances

d'origine piscicole (Quincy 1990), on peut s'attendre à ce qu'elle serve de modèle pour une législation cette fois européenne.

Les tableaux 2 et 3, présentés par Jensen et Alsted (Société DANSK) au colloque international sur l'aquaculture de Vancouver (1990) résument bien les deux axes de l'argumentation qui se dessinent :

- Démontrer aux pisciculteurs qu'il est possible d'être moins polluant tout en étant rentables
- Imposer par la loi, non seulement des objectifs de qualité d'eau, mais aussi des seuils techniques dans l'exploitation, tel que l'indice de transformation des aliments.

A noter que, contrairement à ce qui se passe en France, les normes au rejet sont considérées uniquement en terme de différentiel de concentrations entrée-sortie de l'exploitation et non pas à respecter en valeur absolue à la sortie comme c'est le cas en France. Cette situation a le mérite de faciliter considérablement l'obtention de l'adhésion de l'exploitant : on ne lui demande pas de rendre l'eau plus propre à la sortie qu'à l'entrée.

3.2 / Le traitement de la pollution organique par la maîtrise des intrants

En analysant la pollution résultant du métabolisme des animaux en stock dans un élevage aquacole, on constate que les problèmes tournent d'une part autour de deux éléments indésirables, l'azote et le phosphore, qui se présentent sous des formes diverses, et d'autre part sur l'émission de résidus solides (Kaushik 1990).

Ce résultat n'est pas propre à la pisciculture, ce qui lui est propre, c'est que les concentra-



Distribution mécanisée d'aliment sur une salmoniculture. Les quantités d'aliment distribué, la fréquence des repas, la durée des repas (liée à la vitesse de passage de l'engin) doivent être programmés quotidiennement en fonction des conditions climatiques.

tions d'azote et de phosphore sont très faibles (quelques ppm) même si les flux polluants (kg-j) sont importants et que les matières solides sont très hydratées (donc peu ou pas décantables, et difficilement valorisables lorsqu'elles sont captées).

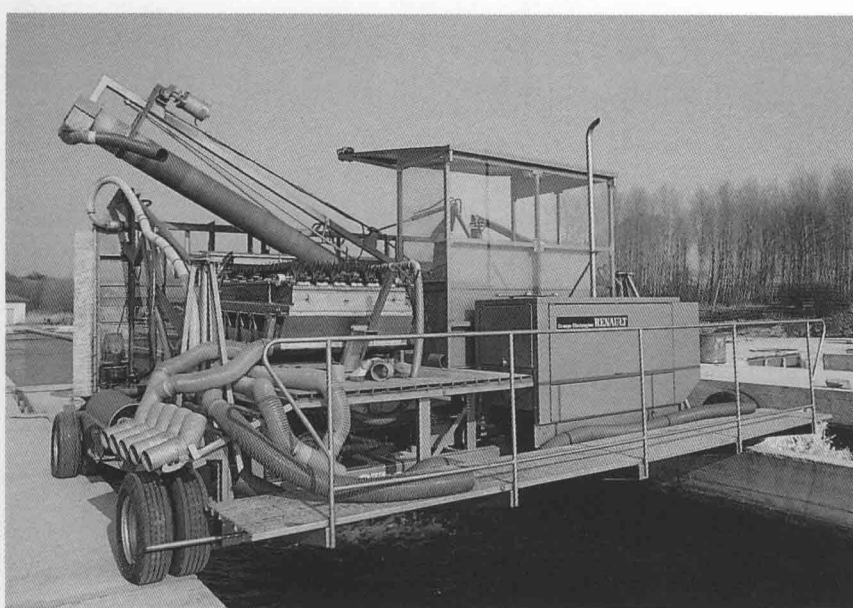
L'ensemble des agents économiques (producteurs, fabricants d'aliments, administrateurs) en sont arrivés à la conclusion qu'il y avait plus à gagner à tenter de limiter la quantité d'azote et phosphore au niveau de l'aliment et à essayer de réduire la quantité d'aliment déversé en augmentant sa valeur énergétique, qu'à tenter de dépolluer au rejet.

Les principes de l'analyse énergétique appliquée à la pisciculture (Alavoine 1981) ont permis, avec les recherches sur les bilans azotés et phosphorés, d'avoir une idée précise sur le devenir de l'azote et du phosphore ingérés par le poisson.

L'INRA a contribué largement à l'acquisition des données en ce qui concerne les salmonidés (Kaushik 1985, Cho et Kaushik 1990), l'esturgeon (Kaushik et Luquet 1989), le tilapia (Luquet 1989).

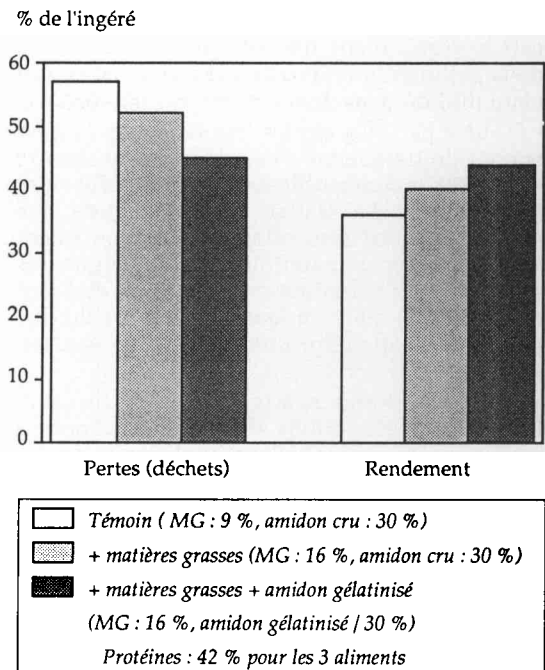
La plupart des espèces intéressant l'aquaculture ont été étudiées : le clarias (Madu et Ajibola 1989), le silure (Hilge et Gropp 1985), la carpe (Watanabe *et al* 1987, Gongnet *et al* 1987, Cui et Liv 1990), les crevettes (Cuzon 1978), les huîtres (Filia Médoni 1983). En pisciculture marine, le mullet et la daurade (Krom *et al* 1985) ont également été soumis à ce type de bilan.

En terme de lutte contre la pollution, l'idée directrice retenue est la relativité des besoins en protéines, même pour les espèces considérées comme carnivores : une part non négligeable des protéines distribuées (qui représentaient jusqu'à 50 % et plus de la ration) servaient en fait à fournir de l'énergie.



Engin automoteur et pêche, tri et calibrage des poissons. Une ration alimentaire précise suppose un contrôle mécanisé des stocks, très coûteux (valeur de l'engin ci-dessus : 1 MF).

Figure 7. Effets d'augmentation de l'énergie digestible sur les déchets piscicoles (féces et ammoniacque) et sur la rétention chez la truite (Kaushik 1989).



Une approche prometteuse de ce problème consiste à remplacer cette fraction « énergétique » des protéines par d'autres substances n'entraînant pas d'émission d'azote et de phosphore lors de leur dégradation. Les chercheurs se sont donc efforcés de remplacer une partie des protéines (provenant essentiellement de farine de poisson) par des lipides ou des glucides.

Les glucides (notamment l'amidon des céréales) se sont avérés être d'une très mauvaise utilisation digestive. Cette digestibilité peut être améliorée par la cuisson ou l'incorporation d'enzymes (Kaushik et Luquet 1989, Bouchez et Navarre 1990, Carter et Houlihan 1990). Mais les lipides peuvent être utilisés jusqu'à des taux de 30 % dans l'alimentation des poissons, la difficulté se situant au niveau de la fabrication de l'aliment : le passage à l'extrusion est considéré aujourd'hui comme obligatoire, avec des coûts d'investissement très importants pour les fabricants d'aliments (Kaushik 1990) (figure 7).

Malgré les avantages, tant sur le plan de l'environnement que de l'exploitation (gain d'indice de transformation), ces aliments, disponibles sur le marché, ont du mal à s'implanter, tout du moins en France. Deux écueils entraînent leur généralisation (Le Gouvello 1990, Kaushik 1990) :

- Ils sont plus chers que l'aliment « standard ».
- Ils impliquent un ajustement très précis de la ration : un excès de 4 % du régime peut entraîner une diminution de la croissance. Cet ajustement précis de la ration implique au moins trois autres conséquences lourdes, du point de vue technique et financier, pour le pisciculteur :

- une connaissance parfaite de ses stocks nécessitant des trieurs équipés de compteurs à poisons. Ces équipements sont chers (100 kF et plus) et délicats d'utilisation. Les tris fréquents, outre qu'ils aggravent les charges de travail, stressent les poissons (risques de retard de croissance)
- des équipements d'oxygénation assurant une disponibilité sans faille d'oxygène au poisson qui reçoit un aliment hyperénergétique
- des équipements de distribution automatique de l'aliment, la fréquence et la durée des repas n'étant pas sans influence sur l'efficacité alimentaire (Luquet *et al* 1981, Faure 1983, Choubert *et al* 1984, Fauconneau 1984, Hudon et de La Noue 1984, Cochran et Knutsen 1988, Kausvik 1988,).

La non prise en compte de cet ensemble de conditions pour l'utilisation des aliments dits « non polluants » conduit à un surcroît de pollution (on peut voir des dépôts graisseux et organiques en surface de l'eau, à la sortie du bassin et sur les parois). Au niveau des animaux, on observe, en cas de ration mal calculée, des arrêts de croissance, une surcharge des graisses viscérales sous cutanées (profil « carpe »), des dégénérescences hépatiques, etc (Le Gouvello 1990).

Ces problèmes n'enlèvent rien à l'intérêt de ce type d'aliment, lorsqu'il est utilisé correctement. S'il se révèle être le passage obligé pour la mise en conformité avec la législation sur l'environnement, les conséquences socio-économiques seront lourdes : les investissements et la technicité associés à leur mise en oeuvre risquent de sonner le glas pour un bon nombre d'exploitants déjà confrontés à un marché où les prix baissent en francs constants : les rachats et concentrations d'entreprises pourraient s'en trouver accélérés.

3.3 / Le traitement de la pollution organique au niveau du rejet

Nous avons déjà fait allusion aux difficultés engendrées par un effluent très dilué : l'efficacité des décanteurs reste faible (Faure 1983), de plus ils ne font que déplacer le problème, le devenir des boues très hydratées n'étant pas résolu (Arroyo 1983).

D'autres voies de traitement des MES sont actuellement en cours d'essais : le tamisage avec « essorage » des boues, le lagunage (qui requiert de la surface - Bailly *et al* 1989) et la flottation (captage des matières en suspension par microbullage).

L'élimination de l'azote pose des problèmes du même ordre : la nitrification biologique reste d'un coût très élevé, bien que ce soit le procédé le moins cher. L'inconvénient majeur de cette technique réside dans le fait que l'azote n'est pas éliminé, le produit final étant les nitrates qui sont eux aussi facteur de pollution.

Les limites technico-économiques d'un contrôle complet du milieu ont été cernées à travers les études sur les circuits fermés (Maurel 1983, Petit et Maurel 1983, Van De Wijdeven 1989).

Différentes techniques d'épuration, du décanteur aux échangeurs d'ions (zéolithes) en passant par les boues activées et les lits bactériens, ont été étudiées en vue du recyclage de l'eau et de son contrôle thermique pour l'accélération de la croissance dans les éclosiers de saumons, carpes, poissons marins, mais aussi pour des cycles d'élevage complets tel qu'en anguilliculture (Petit *et al* 1989). Les tentatives d'application de ces techniques au rejet n'ont pas donné lieu à développement : le coût de l'épuration, acceptable dans un élevage en circuit « fermé » (gain de calories, gain en rotation de stock) ne l'est plus en circuit « ouvert » (débit d'eau important, peu ou pas de gains d'exploitation associés à l'épuration de l'eau).

Ces études ont également démontré que la transposition des techniques d'analyse de l'élevage hors sol classique, à la pisciculture était limitée. L'usage de l'eau implique une interaction déterminante économiquement entre milieu d'élevage et environnement.

Les problèmes d'environnement posés par la pisciculture intensive amènent à envisager des formes différentes de piscicultures. Citons les essais menés par de Courson en Champagne-Ardenne (avec le concours de l'ITAVI et du SRAE) pour réaliser un élevage en eaux closes produisant 3 t/ha, donc sans rejets polluants (Marcel 1990).

Si l'on veut que le traitement des eaux en pisciculture vienne compléter les mesures prises par l'exploitant pour diminuer sa pollution, il faudra probablement adapter la réglementation au cas spécifique de la pisciculture d'eau douce. N'oublions pas que les objectifs de Qualité des Eaux, issus de la loi du 16.12.64, fixent une obligation de résultats souhaitables, mais ne prévoient pas de sanctions pour non respect de dépollution : ce sont les arrêtés d'autorisation de déversement qui fixent des limites de rejets assortis de sanctions. (Il s'agit donc d'un acte administratif pouvant donner lieu à recours).



Décanteur lamellaire équipant la sortie d'eau d'une salmoniculture bretonne (vue à sec). Les ouvrages permettant d'atteindre une dépollution, même limitée en taux (20 à 40 % d'abattement), sont souvent volumineux, complexes et coûteux.

Ainsi les normes concernant l'ammoniac pourrait en être assouplies en fonction de sa toxicité réelle qui varie considérablement (de 1 à 10) en fonction des facteurs du milieu tel que le pH, l'oxygène, la salinité, etc (Lloyd et Herbert 1960, Alabaster *et al* 1979, Baird *et al* 1979, Erikson 1985, Meade 1985). La présence d'ammoniac n'aurait d'ailleurs pas que des effets négatifs, comme le montrent les travaux réalisés à l'INRA : la résistance à la SHV (maladie virale de la truite) est meilleure chez les poissons « pollués » que chez les autres ! (Boutry 1984).

Conclusion

L'aquaculture, un lieu de rencontre entre la Biosphère et la Technosphère ?

C'est dans les pays développés que l'on trouve une aquaculture intensive qui utilise, sous forme de farine de poisson, 3 à 5 kg de poissons pêchés pour produire 1 kg de poisson d'élevage avec une proportion importante d'azote rejeté dans le milieu. Si l'aquaculture doit compenser la baisse des ressources halieutiques et se développer, il faudra faire aboutir et passer dans la pratique les recherches sur les protéines végétales de substitution (Luquet et Kaushik 1978). D'autre part il faudra revoir tous les intrants dans l'exploitation piscicole, en vue du respect de l'environnement (programme AGROTECH « AGIR » de l'INRA).

En ce qui concerne l'intégration de l'aquaculture en tant qu'activité humaine à l'écosystème, on se trouve dans une situation particulière puisque la frontière entre milieu d'élevage et milieu naturel n'existe pratiquement pas pour la majorité des pratiques aquacoles. L'aquaculteur a autant à redouter la pollution que l'écologiste dans bien des cas. L'aquaculture même dite « industrielle », est peut-être le lieu d'étude idéal pour analyser les conditions d'un équilibre entre ce qu'on appelle parfois la Technosphère et la Biosphère.

Le coût de l'environnement a d'abord été évalué par comparaisons (équivalent surface, énergie etc... voir paragraphe « nuisances provoquées »). C'était ce qu'on appelait les « comptes satellites » de la Nation, ou comptes socio-démographiques. Cette méthode reste parlante mais non péremptoire.

En aquaculture l'interaction d'intérêts entre la production et le respect de l'environnement, même dans ses aspects les plus « affectifs » comme la conservation d'espèces, paraît plus facile à appréhender que pour d'autres productions. La pluralité d'espèces dans un écosystème marin côtier, par exemple, accroît son pouvoir « tampon » vis-à-vis de la perturbation liée à l'implantation d'un élevage aquacole. Le producteur y trouve son compte par un milieu d'élevage moins sujet au déséquilibre, et la ressource naturelle est alors préservée au profit de la qualité de la vie de tous.

Les conflits entre producteurs et tenants de l'écologie, tendent à assimiler production et

pollution. Il est certain que des pénalités peu dissuasives incitent certains écologistes à faire de la surenchère pour obtenir des sanctions proportionnées à l'infraction. Nous avons tenté de montrer que si l'on prend le problème dans sa globalité : « comment trouver un équilibre dans un écosystème où l'entreprise humaine aurait sa place ? », la compréhension des interactions est complexe (chasse et équilibre prédateurs-proies, nutriments organiques issus de l'activité humaine et chaîne trophique, etc). L'aquaculture paraît être un modèle où la rapidité des effets liés aux interactions production - écosystème naturel permet de faire progresser rapidement les connaissances. L'étroite dépendance de la production au milieu, permet en outre de relativiser le débat d'un classement visant à désigner qui est pollueur, qui est pollué.

Références bibliographiques

- ALABASTER J.S., SHURBEN D.G., KNOWLES G., 1979. The effect of dissolved oxygen and salinity on the toxicity of ammonia to smolts of Salmon, *Salmo Salar*. L. J. Fish Biol. 15, 705-712.
- ALAVOINE F., 1981. Analyse énergétique et salmoniculture intensive. Mémoire d'études. ENSSAA. Chaire de Zootechnie - 26 Bd du Dr Petitjean - 21016 DIJON Cédex. 92 pages.
- APUD F.D., 1985. Extensive and semi-intensive culture of prawn and shrimp in the Philippines. Proceedings of the First International Conference of the Culture of Penacid Prawns/Shrimps - 105-113. Aquaculture Department. Southeast Asian Fisheries Development Center - Iloilo - Philippines.
- ARROYO G., 1983. Comment valoriser les baies de décantation. La Pisciculture Française. N° 72 - p.41-42.
- BAILLY F., COPIN Y., FRANCOIS C., ROLS S., 1989. Lagunage et aquaculture. Aqua Revue N° 26 - p. 25-30.
- BAIRD R., BOTTOMLEY J., TAITZ H., 1979. Ammonia toxicity and pH control in fish toxicity broassays of treated wastewaters. Water Research. 13 (2), p. 181-184.
- BENNETT D.W., 1982. Sanitary significance of increases in fecal coliform counts across a catfish aquaculture system. Proc. 37 th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. p. 39-45.
- BERGHEIM A., AABEL J.P., SEYMOUR E.A., 1990. Past and present approaches to aquaculture waste management in Norwegian net pen culture operations. International Symposium. University of Guelph. Canada
- BOEUF G., 1988. Le facteur température et la physiologie des poissons. La Pisciculture Française N° 91 - p. 15-30.
- BOUCHEZ P., NAVARRE O., 1990. Biotechnology : use of hydrolytic enzymes in pre-processing of feedstuffs. Feeding Fish in our water. International Symposium. University of Guelph. Canada.
- BOUTRY E., 1984. Influence de doses sublétales d'ammoniac sur l'injection de la truite arc-en-ciel par le virus d'EGTVED. Mémoire de DEA. Univ. des Sciences et Techniques de Lille.
- BRETT J.R., SHELBOURN J.E., SHOOP C.T., 1969. Growth rate and body composition of Fingerling Sockage Salmon, *Concorhynchus nerka*, in relation to temperature and ration sire. J. Fish. Res. Board of Canada, 26 (9), 2363-2393.
- BRODHAG C., 1990. Objectif terre. 325 pages. Edition du Félin - Paris.
- CARTER C.G., HOULIHAN D.F., 1990. Supplementary enzymes in Salmonid feeds and their influence on nitrogen balance. Feeding Fish in our water. International Symposium. University of Guelph. Canada.
- CHO C.Y., KAUSHIK S.J., 1990. Nutritional Energetics in Fish : Energy and protein utilization in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). World Review of Nutrition and Diagnostics. Vol. 61. pp. 132-172.

- CHOUBERT G., BLANC J.M., LUQUET P., 1984. Influence de la modification de la fréquence de distribution des repas sur la digestibilité du régime alimentaire chez la truite arc-en-ciel. *Ann. Zootech.* 33 (2), 225-262.
- CHUA T.E., PAW J.N., 1987. Aquaculture development and coastal zone management in Southeast Asia : conflicts and complementarity. *Proceedings of the 5th Symposium on Coastal and Ocean management.* Seattle-USA.
- COCHRAN P.A., KNUTSEN K.J., 1988. Error in estimation of feedings ratio from changes in Mean Body Mass. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* - Vol. 45.
- CROUZET P., 1983. Pollution produite par les salmonicultures intensives : Evaluation de la pollution rejetée. *La Pisciculture Française* N° 73 - p. 5-17.
- CUI Y., LIU J., 1990. Comparison of energy budget among six teleosts - IV. Individual differences in growth and energy budget. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 97 A N° 4, pp. 551-554.
- CUZON G., 1978. Results of experiments on shrimp rearing in tropical countries from 1973 - 1976. Growth tests of shrimps on compound diet in France *Oceanis* 4 (1), 63-71.
- DALL W., SMITH D.M., 1986. Oxygen consumption and ammonia - N. Excretion in Fed and starved tiger Prawns, *Penaeus esculentus*, Haswell. *Aquaculture*, 55, p. 23-33.
- DEGANI G., LEVANON D., 1988. The relationship between ammonia production and oxygen concentration in water and the biomass of eals and level of protein in the diet of *Anguilla anguilla* L. *Aquacultural Engineering* 7, 235-244.
- DURILLON M., 1988. Pilote expérimental d'anguilles de Nogent sur Seine : bilan *Aqua Revue* N° 20, p. 26-29.
- ERICKSON R.J., 1985. An evaluation of mathematical models for the effects of pH and temperature on ammonia toxicity to aquatic organisms. *Water Res.* V. 19, N° 8, p. 1047-1058.
- FAUCONNEAU B., LUQUET P., 1984. Influence de la fréquence de distribution des protéines sur la croissance et l'efficacité alimentaire chez la truite arc-en-ciel (*Salmo Gairdneri* R.). *Ann. Zootech.* 33 (2), p. 245-254.
- FAURE A., 1983. L'épuration est-elle la solution miracle. *La Pisciculture Française* N° 72, p. 9-13.
- FAURE A., 1983. L'épuration en Salmoniculture : Problèmes et perspectives. *La Pisciculture Française* N° 73, p. 18-23.
- FAURE A., ANGELI D., GABIGNON Y., 1983. Intérêt et pratique de l'alimentation libre-service en salmoniculture intensive.
- FILIA MEDONI, 1983. Trophic relations of oyster with environment influence of the concentration and the size of particles. *BBA - Actes Colloque IFREMER* N° 1, p. 63-74.
- FROMM P.O., 1963. Studies on renal and extra renal excretion in a freshwater teleost, *Salmo Gairdneri*. *Comp. Biochem. Physiol.* V 10, pp. 121-128.
- GONGNET G.P., MEYER-BURGDORFF K.H., BECKER K., GUENTHER K.D., 1987. Zum Einfluss eines unterschiedlichen Protein Energie. Verhältnisse und steigender fütterungsintensität auf die stickstoff-ausscheidung des wachsenden spiegelkarpfens (*Cyprinus Carpio*). *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd.* Vol. 58, N° 4, p. 173-188.
- HILGE V., GROPP H.J., 1985. Protein and fat requirements of European catfish (*Silurus glanis*). *Inf. Fischwirtsch.* vol. 32, N° 2, p. 74-77.
- HUDON B., de la NOUE J., 1984. Influence de la fréquence des repas sur la digestibilité apparente des nutriments chez la Truite arc-en-ciel. *Salmo Gairdneri*. *Bull. Fr. Piscic.* 293-294, p. 49-51.
- JACOBSEN P., LILTVED H., EFRAIMSEN H., 1989. Disinfection of effluent from Fish Slaughteries. *Aquacultural engineering*, Vol. 18 - N° 3, p. 209-216.
- JENSEN P., ALSTED N., 1990. Communication au Colloque International d'Aquaculture, Vancouver 04/07-09-90 AGB-HEIGWAY éd.
- KASPAR H.F., GRAHAME H.H., HOLLAND J., 1988. Effects of sea-cage salmon farming on sediment nitrification and dissimilatory nitrate reductions. *Aquaculture*, 70, 333-344.
- KAUSHIK S.J., 1980. Influence of a rise in temperature on the nitrogen excretion of rainbow trout (*Salmo Gairdneri*) Symposium on new developments in the utilization of heated effluents and of recirculation systems for intensive aquaculture. Stavanger-EIFAC FAO éd.
- KAUSHIK S.J., 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture* - Vol. 50, N° 1-2, pp. 89-101.
- KAUSHIK S.J., 1988. Effect of frequency of feeding on nitrogen and energy balance in rainbow trout under maintenance conditions. *Aquaculture* 73, p. 207-216.
- KAUSHIK S.J., CHEVASSUS B., 1989. Aquaculture continentale : état de nos connaissances et perspectives. *Aqua Revue* N° 20, p.
- KAUSHIK S.J., LUQUET P., 1989. Studies on the nutrition of siberian sturgeon *Acipenser baeri* - 1 - Utilization of digestible carbohydrates by sturgeon. *Aquaculture* Vol. 76 N° 1-2, p. 97-107.
- KAUSHIK S.J., 1990. Importances des lipides dans l'alimentation des poissons. *Aqua Revue* N° 29, p. 9-16.
- KAUSHIK S.J., 1990. Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles. *La Pisciculture Française* N° 101, p. 14-23.
- KROM M.D., PORTER C., GORDIN H., 1985. Nutrient budget of a marine fish pond in Eilat, Israël. *Aquaculture* 51, p. 65-80.
- LE GOUVELLO R., 1990. Aliments et pollution. *Aqua Revue* N° 31, p. 33 - 34.
- LLOYD R., HERBERT D.W.N., 1960. The influence of carbon dioxide on the toxicity of unionized ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Ann. appl. Biol.* 48 (2), 399-404.
- LUQUET P., KAUSHIK S.J., 1978. Progrès récents dans le domaine de l'alimentation protéique des Salmonidés, épargne des protéines et matières premières de substitution à la farine de poisson. *La Pisciculture Française* 53-54, 14-16.
- LUQUET P., RENO P., KAUSHIK S.J., 1981. Influence du nombre de repas journaliers et du jeûne hebdomadaire sur la croissance chez la truite arc-en-ciel. *Ann. Zootech.* 30, p. 411-424.
- LUQUET P., 1989. Practical considerations on the protein nutrition and feeding of tilapia. *Aquat. Living Ressour.* Vol. 2 N° 2, p. 99-104.
- MADU C.T., AJIBOLA R.F., 1989. Dietary protein requirements of mudfish (*Clarias anguillaris*) fingerlings. *Annu. Rep. Natl. Inst. Freshwat. Fish. Res. (Nigeria)*, p. 110-116.
- MARCEL J., 1990. L'aquaculture en eau douce stagnante. *Aqua Revue* N° 31, p. 35-37.
- MAUREL P., 1983. Les circuits fermés en aquaculture. Technologie et domaines d'applications. *La Pisciculture Française* N° 71, p. 5-17.
- MEADE J.W., 1985. Allowable ammonia for fish culture. *The Progressive Fish Culturist* (1985). vol. 47, N° 3, 135-145.
- NIEMI M., 1985. Fecal indicator bacteria of fishwater Rainbow trout (*Salmo gairdneri*) farms. *Publications of the Water Research Institute. Vesinallitus, National Board of Waters, Finland - Helsinki* - 49 pages.
- PETIT J., MAUREL P., 1983. L'épuration des eaux en pisciculture d'eau douce : ses méthodes à travers le monde. *Pisciculture Française* N° 72, p. 21-31.
- PETIT J., DURET J., VAN de WIJDEVEN F., 1989. Document de synthèse sur l'élevage intensif de l'anguille en France. Ministère de l'Agriculture. Mission aquaculture de la DIAME. 27 pages.
- PETIT J., 1989. Stock management and sale's target : optimization of production planning in fish farming. p. 1183-1195. *Aquaculture. A biotechnology in progress.* EAS, Bredene, Belgique.
- POERNOMO A., SINGH V.P., 1982. The problems field identification and practical solutions of acid sulfate soils for brackishwater fishponds. In Report of Consultation / Seminar on Coastal Fishpond Engineering 4-12 August 1982, Surabaya, Indonesia, p. 49-61.
- PORTER C.B., KROMM M.D., ROBBINS M.G., BRICKELL L., DAVIDSON A., 1987. Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus auratus*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66, p. 287-297.

POXTON M.G., ALLOUSE S.B., 1987. Cyclidal fluctuations in ammonia and nitrite nitrogen resulting from the feeding of turbot, *Scophthalmus maximus*, in recirculating systems. *Aquacultural Engineering* 6, 301-322.

QUINCY D., 1990. Règlements et pollution piscicole. Le vent du Nord ? *Aqua Revue* N° 32, p. 7-9.

RANDALL D.J., WRIGHT P.A., 1987. Ammonia distribution and excretion in fish. *Fish Physiology and Biochemistry* vol. 3, N° 3, p. 107-120.

TAKAYANAGI K., 1990. L'aquaculture peut-elle être une source de pollution ? L'expérience japonaise. *Equinoxe* N° 31, p. 39-43.

VAN de WIJDEVEN F., 1989. Thèse. L'anguilliculture intensive en France. Etats et Perspectives. ENSA de Rennes. Chaire d'Halieutique. 172 pages.

WATANABE T., TAKEUCHI T., SATOH S., IDA T., YAGUCHI M., 1987. Development of low protein high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. *Nippon Suisan Gakkaishi. Bull. jap. Soc. Sci. Fish.* Vol. 53 N° 8, p. 1413-1423.

Summary

Aquaculture - a problem for the environment ?

Aquaculture is often considered as a source of pollution. The pollution associated with aquaculture has special features due to the fact that the fish-farming environment and the surrounding ecosystem are inextricably linked.

There are a variety of forms of pollution connected with aquaculture : organic pollution, chemical pollution, bacteriological pollution, genetic pollution etc...

The amount of pollutants may be high in the near vicinity of the fish farm and also relatively high, in proportion to the total pollution, further afield. It is estimated that the production of a metric ton of salmon involves a sea area of 1 sq km and that Norwegian fish farms contribute 8 % of nitrogenous and 14 % of phosphates discharged into the North Sea.

The law is not adapted to such problems as those encountered in fish-farming. European

regulations, inspired by Danish legislation, primarily seeking to control the composition of foodstuffs seem to be in preparation.

The quickest way to reduce pollution produced by aquaculture seems for the moment to be by reducing the quantity of food used, by increasing its calorific value (thereby reducing the quantity of suspended solids) and by replacing a part of the proteins with lipids. The introduction of this type of food stuff however demands a high degree of technical know-how.

The future of downstream water treatment seems to be limited by the difficulty of treating the low levels of pollutants and the large volumes involved.

Environment sensitive aquaculture can serve as a model for studies on environmental cost.

PETIT J., 1991. Aquaculture : un problème pour l'environnement ? *INRA Prod. Anim.*, 4 (1), 67-80.