

AQUACULTURE EN SYSTEME CLOS : ESTIMATION DES COÛTS DE PRODUCTION POUR L'ELEVAGE DU BAR ET DU TURBOT

Communication au séminaire SELAM
sur les aspects économiques de l'aquaculture en Méditerranée
CIHEAM / IFREMER Montpellier 17-19 mai 1995

Marc LAVENANT*, Charles de LA POMELIE**, Philippe PAQUOTTE***

* COFREPECHE - B.P. 70 - 29280 PLOUZANE - France.

** IFREMER/Gie.RA - Chemin de Maguelone - 34250 PALAVAS-les-FLOTS - France.

*** IFREMER - Service Economie Maritime - 155, rue J.J. Rousseau - 92138 ISSY-les-MOULINEAUX - France

RESUME

Deux contraintes majeures au développement de l'aquaculture sont apparues dans la plupart des pays : la très faible disponibilité en sites propices à l'installation d'entreprises à cause de la forte compétition pour l'usage du littoral, et la mise en place progressive de réglementations pour limiter l'impact des élevages sur le milieu naturel. La technique d'aquaculture en système clos ou circuit fermé, par ailleurs largement utilisée en écloserie-nurserie, a été mise au point d'une part, pour répondre à ces contraintes et d'autre part, pour s'affranchir des variations naturelles des conditions du milieu extérieur et tenter d'uniformiser les paramètres et donc les résultats d'élevage. Les installations expérimentales de grossissement ont maintenant montré des performances suffisantes pour que l'on puisse aborder la conception de projets de ferme en circuit fermé pour le turbot et pour le bar. En première approche, les coûts de production de ces systèmes restent comparables à ceux obtenus avec les techniques classiques, mais les gains de productivité que l'on peut attendre par l'accroissement des performances zootechniques en milieu contrôlé et par des améliorations technologiques en cours de mise au point sont bien supérieurs à ceux du circuit ouvert. La possibilité de maîtriser les paramètres du milieu d'élevage permet d'envisager l'application de cette technique à d'autres espèces à croissance plus rapide. Ces systèmes ont aussi l'avantage d'être moins polluants à la fois intrinsèquement du fait du traitement permanent de l'eau dans le circuit et de l'élimination presque totale des matières azotées dissoutes, et potentiellement car ils permettent une épuration des effluents plus aisée. Le traitement de rejets plus concentrés devient alors plus abordable techniquement et financièrement. L'ensemble de ces résultats et des perspectives qu'ils ouvrent fait de cette technologie assurément une solution d'avenir en aquaculture intensive de poissons marins.

Mots-clés : Circuit fermé, système clos, aquaculture marine, turbot, bar, coût de production, aspects économiques.

SUMMARY

Two major constraints to aquaculture have raised in most countries : the little availability of convenient sites because of the competition for the use of the coastline and the progressive implementation of regulations to reduce the impact of the farms on the environment. The technique of recirculation, widely used for hatcheries, has been developed to answer these constraints and to get free of the natural variations in order to regulate the results. The on-growing experimental facilities have proved good enough results to make it possible to conceive industrial projects for sea-bass and turbot. In first approach, the production costs of these systems are similar to traditional techniques but expected productivity gains due to an increase of zootechnical results in controlled environment and to technological improvements are important. The possibility to control all the parameters makes it possible to rear other faster-growing species. These systems have the advantage to be less polluting because of the continuous internal treatment of the water and of the elimination of most dissolved nitrogen. Concentrated wastes treatment becomes more affordable both technically and financially. All these results and perspectives will certainly give a bright future to this technique for intensive fish farming.

Key words : Closed system, recirculation, marine aquaculture, turbot, sea bass, production costs, economical aspects.

PRINCIPE DU SYSTEME CLOS ET SOLUTIONS TECHNIQUES RETENUES

Les principes du système clos et ses avantages

La filière classique d'élevage en bassins à terre nécessite des renouvellements d'eau très importants et donc des installations de pompage présentant à la fois les inconvénients d'un investissement élevé, d'un encombrement du littoral très visible, de la nécessité de se situer immédiatement en bord de mer et d'organiser le rejet des eaux d'élevage en mer.

Le circuit fermé, en régénérant les eaux d'élevage à plus de 95 %, permet de diviser par 20, voire 30, la capacité de pompage et le débit du rejet, et ainsi, en concentrant les effluents d'en réaliser l'épuration à coût acceptable. Les techniques de traitement de ces rejets d'eau salée sont en cours de mise au point et demanderont encore des efforts de recherche notamment dans la valorisation ou le traitement des résidus de l'épuration. On a cependant déjà noté un meilleur rendement de l'aliment distribué et une nette amélioration de plusieurs paramètres de qualité de l'eau de rejet, si on les quantifie par exemple en fonction du stock moyen d'animaux en élevage ou de la quantité de poisson produit.

Les sites d'implantation peuvent dès lors être recherchés à une certaine distance de la mer et les projets ne sont donc plus en conflit d'usage avec le tourisme et les autres activités liées à l'utilisation de la frange littorale.

Les eaux, recirculées en permanence dans l'élevage, peuvent être traitées sur de nombreux paramètres et en particulier sur la température, qui est l'un des facteurs de croissance les plus importants et qui naturellement ne correspond que pendant une courte partie de l'année à l'optimum. Le réchauffement de l'eau d'élevage est dans ce cas tout à fait profitable sur le plan économique moyennant isolation des bâtiments.

Gestion de l'eau

Le circuit fermé est dimensionné pour permettre un renouvellement d'eau permanent de 100 % à 200 % par heure dans l'ensemble des bassins simultanément. L'apport en eau neuve, qui permet de maintenir la qualité marine de l'eau d'élevage et de compenser l'évaporation, les fuites, les vidanges à la pêche et les chasses destinées au nettoyage des conduites, est par expérience estimé à 5 % par heure du volume total de l'élevage. Cette proportion d'eau neuve est empirique et la tendance sera bien sûr à la minimiser pour économiser en énergie de pompage et de chauffage.

L'eau neuve est préfiltrée sur un tamis de 30 à 50 microns avant d'être introduite dans la boucle du circuit fermé au niveau du bac tampon, après chauffage éventuel. En cas de besoin, une filtration biologique et une stérilisation peuvent être envisagées.

L'eau d'élevage est collectée à la sortie des bassins, filtrée physiquement par un tamis pour l'élimination des déchets grossiers (restes d'aliment, fèces), stérilisée ou non aux U.V., traitée biologiquement par filtre bactérien, mélangée à l'eau neuve de mer ou de forage, puis d'une part en partie dégazée sur colonne à anneaux pour élimination du CO₂ et de l'azote et resaturation en O₂ et, d'autre part en partie suroxygénée, et enfin redistribuée dans les bassins.

Nature des rejets et traitement de l'effluent

Un programme de mesure des rejets a été mis en oeuvre sur le site de France Turbot, et réalisé par l'équipe de Nata, sur les installations en circuit ouvert de la ferme de production (250 tonnes/an en routine actuellement) d'une part, et sur le pilote de 5 tonnes de turbot en circuit fermé d'autre part. L'intérêt de ce site est évident puisqu'il permet de comparer des résultats acquis sur les deux filières d'élevage pendant la même période, avec en outre la possibilité de mesurer l'effet épurateur de la lagune de stockage (bassin à marée) où se fait le rejet des deux installations.

Une première réponse va être apportée en ce qui concerne la quantification des rejets en circuit ouvert, la quantification comparative des rejets en circuit fermé et les moyens à envisager pour la traitement des effluents à l'échelle industrielle.

Les flux sortant des piscicultures marines dépendent essentiellement de l'espèce choisie, de la technique d'élevage appliquée et de la qualité de l'aliment utilisé.

L'activité métabolique des poissons, la respiration et l'excrétion soluble et solide, ainsi que les déchets d'aliment non ingéré sont à l'origine des effluents produits par l'élevage.

Le flux de matières produites par l'élevage est caractérisé par la différence entre le flux entrant et le flux sortant. Ces flux, pour être comparables, sont ramenés d'une concentration mesurée dans un débit d'eau donné à un bilan global de matière, journalier par exemple.

Bien que l'on ne puisse pas à ce jour donner de ratios précis, les résultats des premières campagnes de mesures laissent à penser que le système clos, tel qu'il est décrit ci-après, est comparativement au circuit ouvert largement moins producteur de déchets polluants, avec des ordres de grandeur de 2 à 5 fois moins de flux suivant la nature du paramètre considéré. Ces indications sont tout à fait encourageantes pour les aspects environnement de cette filière intensive.

Les solutions techniques retenues dans le cas du turbot et du bar

Les points communs

Les élevages aquacoles du turbot et du bar ont bien entendu certains points communs. Ce sont en particulier les conditions générales extérieures et les besoins logistiques (infrastructures, énergie, etc.), les conditions d'ambiance intérieure des bâtiments d'élevage et les nécessités techniques (atmosphère très humide, isolation thermique, etc.) et le traitement de l'eau qui en permet la réinjection dans le circuit d'élevage.

(i) L'eau neuve

L'eau neuve provient soit d'un forage (cas de Nata Noirmoutier), soit d'un captage en mer. Elle est préfiltrée (toile ou lit de sable) et stérilisée aux ultraviolets avant introduction dans le système clos.

(ii) Le traitement de l'eau

Quel que soit l'élevage réalisé en système clos, le premier facteur limitant est la production de déchets azotés dont la concentration dans le circuit doit être maîtrisée. Le traitement recherché des effluents est avant tout la dégradation de l'ammoniaque, en nitrites puis nitrates. Il est réalisé dans des réacteurs biologiques par écoulement de l'eau d'élevage au travers d'un média sur lequel se développe une « zooglye » ou lit bactérien. Une faune variée de bactéries s'installe en s'adaptant aux caractéristiques et proportions des éléments nutritifs pénétrant dans le réacteur. La nitrification est la réaction combinée de transformation de l'ammoniaque $N-NH_4$ en nitrites (très toxiques mais peu stables) -la nitratation- puis des nitrites en nitrates, (toxiques mais on n'en connaît pas exactement la limite de tolérance) -la nitratation- qui se fait en milieu oxygéné grâce à des bactéries hétérotrophes. La dénitrification est la réaction biologique qui permet la transformation en milieu anaérobie des nitrates en azote gazeux grâce à l'action de bactéries autotrophes. En injectant dans les réacteurs la quantité adéquate de méthanol qui consomme la totalité de l'oxygène dissous, on crée le milieu anoxique souhaité pour favoriser le développement du lit bactérien dénitrifiant. Il est clair que d'autres réactions que la nitrification et dénitrification ont lieu dans ces enceintes. La matière organique particulaire ou dissoute non retenue dans les filtres à tamis est en effet elle aussi en partie dégradée, mais par des bactéries autotrophes. Cette réaction, non recherchée, n'est pas quantifiée, puisque les réacteurs sont dimensionnés avant tout pour la nitrification de l'azote ammoniacal. Un dégazage de l'eau d'élevage recyclée est indispensable pour la débarrasser notamment du CO_2 et de l'azote dont les taux de concentration sont élevés en sortie de filtre biologique et sont toxiques pour les poissons. Chaque travée de bassins est donc équipée « en tête » de canalet ou de bassin d'une colonne de désaturation des gaz dissous. L'utilisation d'oxygène pur en saturation dans l'eau d'élevage est impérative aux charges de poisson présentes dans les bassins. L'injection d'oxygène sera réglée de manière à maintenir un taux de saturation de 100 % dans l'eau de sortie des bassins.

(iii) Les bâtiments

La solution techniquement la plus adaptée à notre utilisation est le bâtiment agricole du type porcherie, car c'est l'activité qui sur le plan de l'ambiance intérieure présente le plus de similitude avec l'aquaculture intensive (atmosphère très humide et corrosive). Les matériaux employés sont particulièrement étudiés dans une optique de résistance à la corrosion et de durabilité. Elle est en même temps une solution économique si l'on considère qu'elle propose un bâtiment bien isolé thermiquement.

La structure serre avec double paroi polyéthylène gonflée présente l'avantage primordial d'être très bon marché, et même si la durée de vie des bâches n'est que de 4 ans en moyenne, leur renouvellement est très économique. La lame d'air circulant entre les deux peaux confère d'une part une bien meilleure résistance à l'usure par frottement que la serre simple peau et une isolation thermique non négligeable par rapport à la simple peau ($k = 7 \text{ W/}^\circ\text{C.m}^2$ au lieu de 9).

Le choix entre ces 2 formules dépendra des conditions climatiques de la zone et de la température d'élevage choisie et de l'écart entre ces conditions, et du gain calorique et des coûts énergétiques induits rapporté à l'investissement que l'on pourra attendre de l'une et l'autre.

Cas du turbot

(i) Les bassins

Dans les élevages de poissons plats, les poissons vivant sur le fond, c'est surtout la surface de bassin qui caractérise la capacité de production d'une installation.

Les bassins d'élevage aujourd'hui en service sur les fermes de turbots sont généralement circulaires ou sub-carrés. Les bassins sub-carrés réalisés sur plusieurs installations en France donnent satisfaction sur le plan technique. Le choix d'enceintes d'élevage en béton répond à plusieurs préoccupations. Il permet de réaliser des installations compactes et donc économiques au niveau des réseaux de fluides et de la réalisation des bâtiments et d'une grande durée de vie.

Deux dimensions standardisées sur les trames des serres agricoles sont mises en oeuvre :

$$\begin{aligned} &6.25 \text{ m} \times 6.25 \text{ m} \text{ soit } 37 \text{ m}^2 \\ &9.25 \text{ m} \times 9.25 \text{ m} \text{ soit } 80 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Il semble que les bassins de 80 m^2 soient la taille maximale, tant du point de vue du suivi visuel des poissons que du nombre, et de la biomasse de poissons à gérer dans un même bassin, tant que le tri du turbot ne sera automatisé. La dimension proche de l'idéal pour l'observation et la gestion au quotidien de l'exploitation serait plutôt le bassin de 40 m^2 .

(ii) Le module de production

Les bassins sont regroupés par travées desservies par des unités de traitement d'eau indépendantes. La zone de traitement de l'eau est physiquement séparée de la zone d'élevage pour le confort des exploitants (bruit, hygrométrie) et des poissons (vibrations, bruit, éclairage).

Les travées de bassins sont elles mêmes regroupées par 4 en modules de production totalement indépendants. Ces modules sont les unités de base des futures fermes industrielles, leur dimension étant définie pour constituer alors l'unité de travail d'un éleveur.

(iii) Le traitement de l'eau

Le traitement biologique de l'eau du circuit fermé turbot est basé essentiellement sur un process associant une préfiltration mécanique sur toile et un lit bactérien noyé à substrat non colmatant.

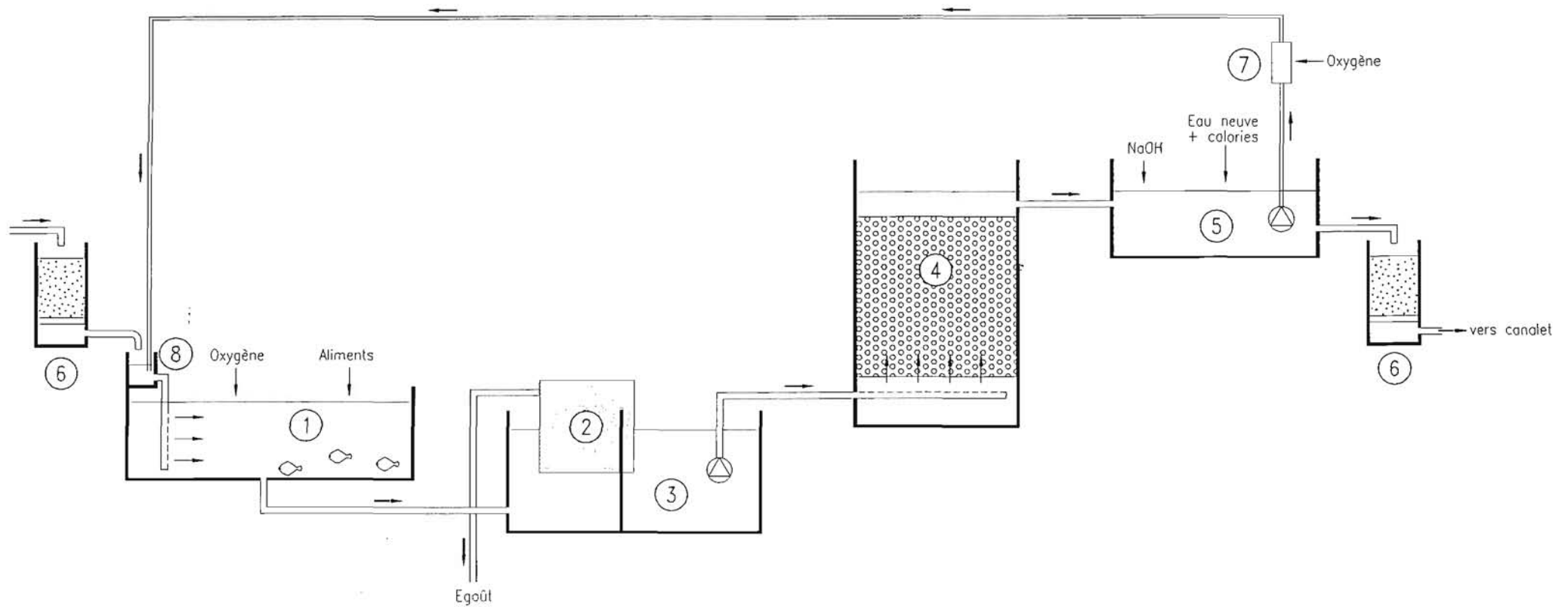
Le substrat utilisé dit « biosphère » possède par sa forme et sa structure la caractéristique de produire simultanément les deux réactions de nitrification (aérobie) et de dénitrification (anaérobie). Les volumes de substrat sont calculés pour permettre, aux charges d'élevage maximales de 60 kg/m², de maintenir suffisamment basse la concentration en azote ammoniacal, nitrites et nitrates dans le circuit fermé pour ne pas affecter la santé et la croissance des poissons.

Du fait de la capacité du média utilisé à laisser passer une eau même chargée sans colmater, il est possible de faire fonctionner ces filtres à courant ascendant, l'évacuation se faisant par accélération du courant d'eau et du bullage à l'air ; ceci présentant l'avantage de faire l'économie d'un pompage de reprise. L'eau est donc stockée après traitement dans une réserve haute qui met en charge le réseau de distribution vers les bassins. Les colonnes sont dimensionnées pour un temps de séjour de l'eau non inférieur à 5 minutes.

Le système d'oxygénation retenu consiste à injecter l'oxygène gazeux dans une enceinte dans laquelle circule sous haute pression une petite fraction du débit total (environ 5 % du débit circulant dans un circuit). L'eau suroxygénée est distribuée par tuyaux et injectée dans les bassins directement sous la surface afin d'en limiter les pertes par contact à l'air.

Le schéma de principe du système est présenté page suivante (figure 1).

Schéma de principe d'un système de production de turbot en circuit fermé



- ① Bassin d'élevage
- ② Filtre mécanique
- ③ Bassin de pompage
- ④ Filtre biologique de nitrification/dénitrification

- ⑤ Cuve de mélange - mise en charge
- ⑥ Colonne de dégazage du CO₂
- ⑦ Système d'oxygénation
- ⑧ Canalet de distribution

Cas du bar (Ifremer Palavas)

(i) Les bassins

Les bassins d'élevage aujourd'hui en service sur les fermes de bar sont généralement soit des raceways, soit des bacs circulaires ou sub-carrés. Les bassins sub-carrés en polyester utilisés sur l'installation du pilote 1 Tonne de IFREMER Palavas en France donnent satisfaction sur le plan technique, mais devront être adaptés lors du passage à l'échelle industrielle. Les enceintes d'élevage en béton de forme circulaire ou sub-carrée répondront mieux au principe du circuit fermé que des bassins en long pour des raisons de fonctionnement hydraulique (rotation de la masse d'eau et élimination par le centre du bassin des déchets solides).

Le volume des bassins est établi en fonction des charges maximales autorisées et de la biomasse souhaitée en fin d'élevage dans chaque unité de production. Les dimensions doivent respecter des proportions (hauteur/diamètre) permettant une bonne hydraulique des bassins. Le volume complet du bassin est utilisé par les poissons quelle que soit la hauteur d'eau, au contraire du turbot qui en colonise avant tout le fond. Les volumes seront compris entre 50 et 300 m³.

(ii) Le module de production

Chaque unité de production est constituée de 3 zones : une zone d'accueil, une zone de grossissement et une zone de précommercialisation. Chacune de ces unités possède son propre système de traitement d'eau. Les zones de traitement de l'eau sont physiquement séparées des zones d'élevage pour le confort des exploitants (bruit, hygrométrie) et des poissons (vibrations, bruit, éclairage, passage).

(iii) Le traitement de l'eau

Le traitement biologique de l'eau du circuit fermé « bar » est basé sur un processus associant une préfiltration mécanique sur toile et deux traitements séparés de l'ammoniaque et des nitrates (nitrification-dénitrification). Cette méthode de traitements distincts permet de mieux contrôler chacune des réactions. Les réacteurs de nitrification sont dimensionnés pour une concentration maximale en azote ammoniacal total de 1 mg/l en sortie de biofiltre. Le débit circulant est de 200 % du volume total. L'apport journalier d'eau neuve est de 100 % du volume total. Le substrat utilisé est une argile expansée de 2 cm de diamètre moyen. Les biofiltres fonctionnent gravitairement en courant descendant et sont décolmatés et lavés à contre courant ascendant.

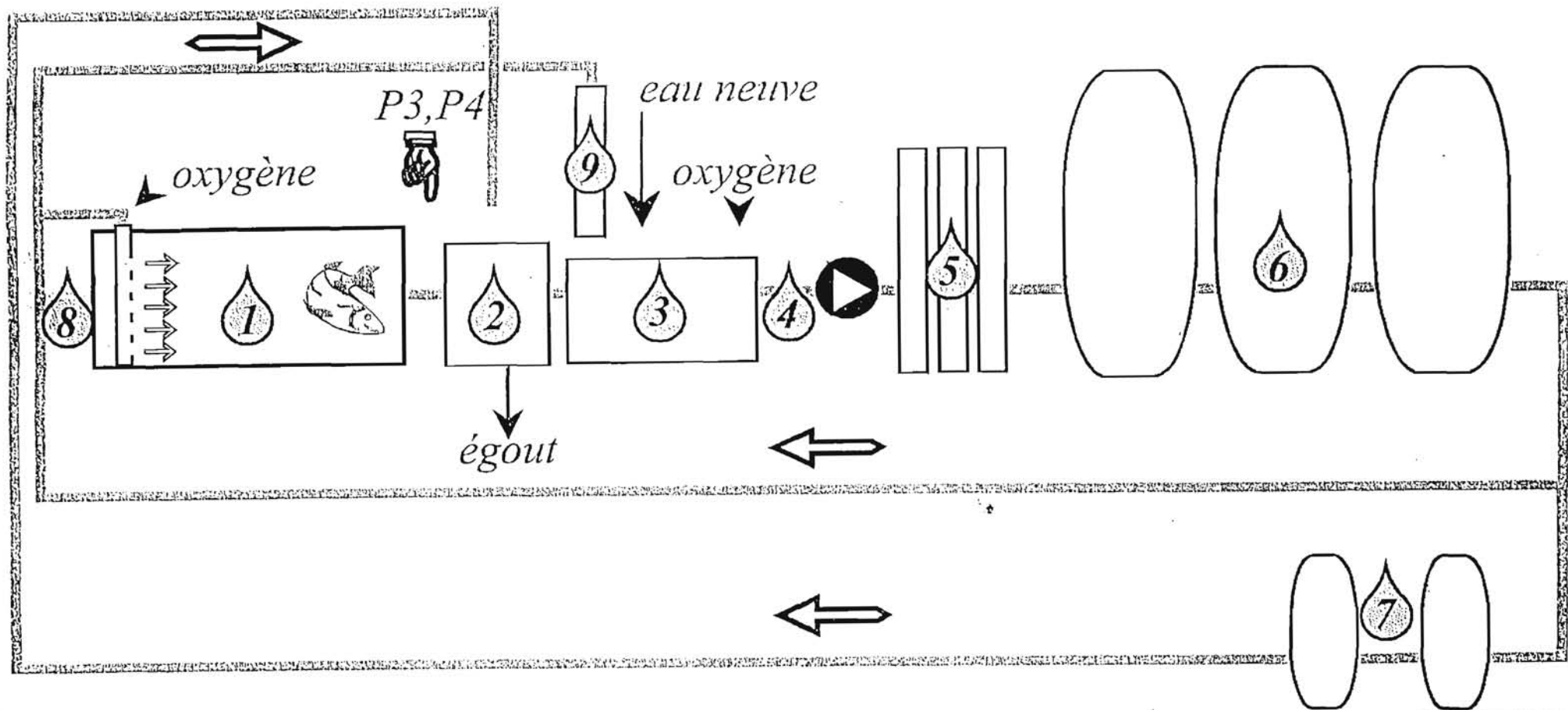
La dénitrification est réalisée sur le même substrat, en enceintes fermées sous pression, car elle nécessite des volumes beaucoup plus faibles que la nitrification et peut donc faire l'objet d'un pompage particulier. Une faible partie du débit est traitée avant d'être mélangée au volume global. Le dégazage se fait ici à l'arrivée dans le bac de mélange eau neuve-eau recyclée. Le système d'oxygénation retenu consiste à injecter l'oxygène gazeux dans la totalité du débit à l'entrée du filtre nitrifiant et de chacun des bassins sous la surface afin d'en limiter les pertes par contact à l'air.

Le schéma de principe du système est présenté page suivante (figure 2).

LES NORMES ZOOTECHNIQUES RETENUES ET LE DIMENSIONNEMENT DES OUTILS EXPERIMENTAUX ACTUELS (TABLES 1 ET 2)

Table 1 - Normes zootechniques des élevages de turbot.

TURBOT		
CRITERE DE COMPARAISON	CIRCUIT OUVERT	CIRCUIT FERME
Itinéraire technique d'élevage		
Poids initial des alevins	20-100 g (poids moyen 50 g)	20 g (6 à 8 mois)
Premières ventes	450 à 500 g (29 à 30 mois)	700 g (21 mois)
Poids moyen à la vente	900 à 1100 g (26 mois d'élevage)	1500 g (1800 g en fin de cycle)
Densité finale d'élevage	65 à 70 kg/m ³	70 kg/m ³
Taux de mortalité	10 à 15 % sur durée totale	8 à 9 % sur durée totale
Conditions physiques de l'élevage		
Température de l'eau d'élevage	6 à 24°C	15 +/-3°C
Débit circulant	20 % par heure en hiver 50 % par heure en été	100 % par heure
Renouvellement total journalier	500 à 1200 % du volume bassins	100 % du volume circuit
Oxygène	1 litre O ₂ par kg produit	1 litre O ₂ par kg produit
Alimentation		
Taux de conversion de l'aliment	1,3 (moyen)	1,3 (hypothèse étude écon.) 1,0 à 1,1 (obtenu sur pilote)
Système d'alimentation	Manuel	Manuel
Type d'aliment	Extrudé haute énergie	Extrudé haute énergie



1. Bassin d'élevage
2. Filtre mécanique
3. Bassin de pompage
4. Pompes
5. Réacteurs ultra-violet

6. Filtres biologiques nitrifiants
7. Filtres biologiques dénitrifiants
8. Système d'oxygénation
9. Colonne d'élimination du CO₂

Fig. 2 - Cas du bar : organisation générale du module d'élevage fonctionnant en circuit fermé.

Table 2 - Normes zootechniques des élevages de bar.

BAR		
CRITERE DE COMPARAISON	CIRCUIT OUVERT	CIRCUIT FERME
Itinéraire technique d'élevage		
Poids initial des alevins	2 g	2 g (3 mois après éclosion)
Premières ventes	350 g (16 mois) au plus tôt	350 g (12-13 mois) au plus tôt
Poids moyen à la vente	350 g (24 mois) au plus tard	380 g (16 mois) au plus tard
Densité finale d'élevage	30 KG/m ³ en cages 50 kg/m ³ en bassins à terre	60 kg/m ³
Taux de mortalité	20 % sur durée totale	5 % sur durée totale
Conditions physiques de l'élevage		
Température de l'eau d'élevage	12 à 25°C	23°C +/-3°C
Débit circulant	100 à 150 % par heure du volume	200 % par heure
Renouvellement total journalier	24 à 36 fois le volume total par jour	1 fois le volume total par jour
Oxygène		2,25 litre/kg de poisson produit
Alimentation		
Taux de conversion de l'aliment	2,1	2
Système d'alimentation	Manuel ou mécanisé	auto-alimentation programmée
Type d'aliment	Standard ou extrudé	extrudé haute énergie

Les normes zootechniques indiquées dans ces tables ont été établies à partir de l'expérience concrète de l'exploitation de 2 unités pilote, conduites l'une à Noirmoutier dans les installations de recherche et développement du Groupe Adrien N.A.T.A., sur le turbot, l'autre à Palavas à la Station I.F.R.E.M.E.R. sur le bar.

Le pilote NATA met en jeu une travée de 4 bassins de 20 m², dans lesquels l'expérimentation est menée sur un stock de 5 tonnes de turbot, depuis plus de 2 ans.

Le pilote « bar » de Palavas est mené sur 2 bassins de 10 m³ et stocke environ 1 tonne de bar.

Bien que travaillant à une échelle qui permet de valider la technique d'élevage, ces deux installations n'ont pas réellement pris la mesure de toutes les contraintes technologiques et d'exploitation posées par une ferme de dimension industrielle, du type de celles décrites dans ce document. Une phase d'acquisition de cette technologie sera donc impérative et devra se faire à l'échelle d'un module de production approchant la définition qui en est proposée dans cette étude.

PRESENTATION DES PROJETS ET DES RESULTATS TECHNICO-ECONOMIQUES

La comparaison technico-économique des deux filières d'élevage en circuit fermé est basée sur des études menées en parallèle d'un côté par Cofrépêche/Nata/Aquaconseil sur le turbot, de l'autre par IFREMER sur le bar.

Il s'agit dans le cas du turbot d'une ferme de production industrielle qui serait située en Bretagne, comportant 6 modules de 70 tonnes/an, soit une capacité totale de 420 tonnes par an. Le projet se compose de 144 bassins de 37 m³ (hauteur 1 m) avec une boucle de traitement de l'eau par unité de 12 bassins. Une partie de la production est commercialisée en frais (140 tonnes) et une partie sous forme de pavé de turbot surgelé (54 tonnes). L'investissement total est estimé à 36 millions de francs.

Dans le cas du bar, il s'agit d'un projet de 300 tonnes par an, qui serait situé en Languedoc, également constitué de 6 modules de grossissement de 50 tonnes avec des installations communes au niveau de l'administration, du prégrossissement et de la commercialisation. Toute la production est vendue en frais. L'investissement total est estimé à 37 millions de francs.

Ces estimations ont été établies base début 1995 en Francs Français à partir de devis d'entreprise et de certains éléments de coût de construction estimés et fournis par Cofrépêche. Les hypothèses de prix d'achat des matières premières sont les suivantes :

	turbot	bar
aliment	6 F/kg	4,5 F/kg
alevins	8,20 F pièce	1,65 F pièce
oxygène	0,93 F/litre	0,93 F/litre
personnel	18 emplois production	16 emplois
expédition	1,2 F/kg	3 F/kg
traitement des rejets	1,5 F/kg	1,5 F/kg

Les coûts de production sont calculés en intégrant les charges d'amortissement, mais hors frais financiers, et sont présentés dans les tables 3 et 4 pour le turbot et pour le bar respectivement.

Table 3 - Décomposition des charges d'exploitation dans le cas du turbot.

Nature des charges	Coût total (F)	Coût par kg produit	% Charges totales
Alevins	3.430.000	8,16	19
Aliments	3.300.000	7,86	18
Charges sanitaires	170.000	0,40	1
Personnel	2.340.000	5,57	13
Energie	1.200.000	2,86	7
Oxygène	390.000	0,93	2
Commercialisation	690.000	1,64	4
Traitement des rejets	630.000	1,5	3
Divers	2.480.000	5,9	14
Amortissements	3.690.000	8,79	20
TOTAL	18.320.000	43,61	100

Coût de production hors amortissement et hors frais financiers : 34.82 F/kg

Coût de production hors frais financiers : 43.61 F/kg

Table 4 - Décomposition des charges d'exploitation dans le cas du bar.

Nature des charges	Coût total (F)	Coût par kg produit	% Charges totales
Alevins	1.440.000	4,80	10
Aliments	2.640.000	8,80	18
Charges sanitaires	190.000	0,63	1
Personnel	2.560.000	8,53	17
Energie	440.000	1,47	3
Oxygène	390.000	1,30	3
Commercialisation	1.230.000	4,10	8
Traitement des rejets	440.000	1,47	3
Divers	2.290.000	7,63	16
Amortissements	3.310.000	10,43	21
TOTAL	14.750.000	49,17	100

Coût de production hors amortissements et hors frais financiers : 38.74 F/kg

Coût de production hors frais financiers : 49.17 F/kg

ANTICIPATION DE GAINS TECHNIQUES DUS A LA TECHNIQUE DU CIRCUIT FERME

Le turbot

Nous présentons ci-après certains des progrès de rentabilité que l'on peut raisonnablement attendre des améliorations que vont prochainement entraîner, d'une part les recherches aujourd'hui en cours, d'autre part les adaptations progressives des équipements et des procédures résultant d'une expérience pratique sans cesse accrue, en distinguant les progrès attendus de la génétique, les progrès par des actions sur les facteurs externes de la croissance et les progrès de productivité proprement dite.

Les progrès attendus de la génétique

Le programme génétique mis en oeuvre sur le turbot par NATA comporte pour l'essentiel deux volets :

(i) d'une part, une sélection « massale » des reproducteurs selon une méthodologie ayant pour objet d'améliorer la croissance du cheptel issu de cette sélection. Cette amélioration est certaine à chaque nouvelle génération, soit pour le turbot tous les 4 ans. A titre d'exemple, le résultat obtenu sur la truite est de l'ordre de 10 % par génération ;

(ii) d'autre part et surtout, mais cumulativement, la fabrication d'alevins triploïdes gynogénétiques (soit en langage vulgaire d'alevins stériles femelles). Cette production a pour objet, par la stérilité, d'empêcher la maturation des animaux qui, immanquablement sans cela se produit chez les mâles au 2ème été d'élevage, chez les femelles au 3ème, anéantissant toute croissance pendant plus de 4 mois. L'attribution de caractères sexuels « femelle » permet de bénéficier d'une croissance beaucoup plus rapide que celle des mâles, à partir d'environ 800 g.

Ces résultats, s'ils sont atteints, auront les conséquences suivantes :

1ère hypothèse : on garde le même poids moyen de commercialisation, soit 1500 g ; en cumulant les effets de la première sélection massale et de la triploïdie gynogénétique, la durée d'élevage pourra être réduite d'environ 6 mois (sur 32 mois), soit environ 20 % de la durée actuelle du cycle de production ;

2ème hypothèse : on garde la même durée d'élevage. Le poids moyen de commercialisation des poissons augmente de 20 à 30 %. Surtout, un plus grand nombre de poissons dépasse les 2 kilos avec un double effet : diminution relative du coût de l'alevin et augmentation du prix de vente (+ 10 F.) au kilo de poisson.

Actions sur les facteurs externes de la croissance

Par facteurs externes de la croissance, nous entendons le facteur « aliment » et surtout les facteurs d'environnement.

Sur l'aliment proprement dit, il n'y a pas d'importante diminution de coût à attendre, si l'on veut garder, et même améliorer, un aliment haut de gamme à forte digestibilité. Par contre, l'optimisation est encore loin d'être atteinte, notamment par une adaptation de la composition à la taille du poisson et aux variations de température de l'eau. Les modes et fréquences de distribution sont aussi à optimiser. On peut escompter ramener ainsi le taux de conversion moyen de 1,3 à 1,1 voire jusqu'à 1,0.

Il est clair cependant que les progrès les plus importants restent à obtenir d'une meilleure utilisation des facteurs d'environnement. Il s'agit d'abord, bien sûr, de la température de l'eau. Aucun élevage commercial n'a été effectué jusqu'ici, tout au long du cycle, à la température optimum (16-17°C). Celui-ci pourrait être raccourci d'environ 2 mois par rapport à un élevage à 14° (hypothèse présente), et de plus de 6 mois par rapport à un cycle en conditions du milieu naturel en France.

Il faut bien constater aussi qu'aucune expérimentation comparative rigoureuse n'a encore été faite pour cette espèce sur les enceintes ou bassins, qu'il s'agisse de leur forme, de leur organisation (élevages en étapes ?) et des dimensions optima selon la taille du poisson et les densités admissibles.

Il semble bien, notamment, d'après des observations ponctuelles, que les densités utilisées dans cette étude pour l'hypothèse haute, ne sont pas des charges limites et qu'elles pourront être dépassées, sous certaines conditions à mieux préciser.

Les progrès de productivité proprement dite

La productivité « *stricto sensu* » se définit par l'inverse du rapport des coûts de main-d'oeuvre au coût de production total, ou plus simplement, en aquaculture, le tonnage produit par unité de main-d'oeuvre. A l'heure actuelle, la productivité des élevages de turbot est la plus basse de toutes les filières aquacoles. Si l'on considère le seul personnel de production, le ratio est actuellement de 3 personnes pour 50 tonnes/an, soit 16,7 tonnes/personne alors qu'il atteint jusqu'à 100 tonnes/personne dans les élevages de truites et 30 tonnes/personne, dans les élevages de bars et de daurades (soit 6,30 F pour 1 kilo de turbot contre 1,20 F pour la truite et 3,40 F pour le bar). Cela n'est pas moins vrai si l'on intègre la transformation puisqu'à l'heure actuelle, tout le travail se fait « à la main » dans les ateliers de conditionnement. De très grands progrès de productivité peuvent et doivent être réalisés, en mécanisant la plupart des opérations consommatrices de main-d'oeuvre, c'est à dire la distribution de l'aliment, le nettoyage des bassins, les tris, pesées et transferts de poissons de bac à bac etc., ainsi qu' les différentes phases de la transformation et du conditionnement. Mais la mise au point de matériels adaptés à ce type de poisson demandera encore quelque temps.

Pour une ferme ayant une production annuelle de 420 tonnes (hypothèse haute de l'étude), il ne paraît pas inabordable, lorsque les équipements adéquats seront au point, de diviser environ par 2 les dépenses de main-d'oeuvre de production telles qu'elles sont calculées dans l'étude, c'est à dire d'en ramener le coût autour de 3,15 F par kilo de poisson. En supposant que les équipements additionnels n'ajoutent qu'1 F d'amortissement supplémentaire par kilo (coût d'achat de matériels de 2,35 MF amortis sur 5 ans), c'est $420 \times 2,15 = 903$ KF d'économie annuelle qui serait réalisée.

Synthèse de la marge de rentabilité existante

L'analyse ci-dessus a permis d'indiquer les principales « niches » de rentabilité qui restent à exploiter, sans prétention d'ailleurs à les avoir identifiées toutes. Mais ce qu'il faut souligner, en abordant cette synthèse, c'est le caractère d'interdépendance le plus souvent additionnel et cumulatif de tous les progrès possibles recensés dans les trois rubriques précédentes.

A titre d'exemple, une durée raccourcie du cycle d'élevage, pour un même poids moyen de commercialisation et la même production annuelle, entraîne une diminution du nombre de bacs nécessaires, donc de l'investissement, donc de l'amortissement, mais aussi du stock en place et donc du fonds de roulement, et donc de l'assurance !

Tous les frais de consommables autres que l'aliment, les frais d'entretien, et plus généralement tous les frais liés à la taille des installations sont réduits dans la même proportion. Est également réduite la mortalité globale par lot (dépendante de la durée du cycle) et, du fait de la gynogénèse, la dispersion en tailles des gros poissons.

Pour donner un ordre de grandeur de la marge de rentabilité existante, essayons de chiffrer, en les rapportant au kilo de poisson commercialisé, les composantes d'un coût qui les intégrerait. Nous nous placerons pour cela dans l'hypothèse où, par rapport à la présente étude, (420 tonnes) l'on maintient à la fois le poids moyen de vente et la production annuelle. Regroupons d'abord toutes les implications d'une diminution de la durée du cycle. Celle-ci, en additionnant les progrès génétiques et notamment l'effet « température », peut avoisiner 25 %. Diminuer de 25 % infrastructure et équipements réduit d'autant l'amortissement qui passe de 9,70 F par kilo à 7,30 F (+ 1 F de mécanisation, soit 8,30 F). Les dépenses de consommables, d'énergie, d'entretien liées au cycle ainsi que celle d'assurance (liée au stock) diminuent dans la même proportion. Celles-ci représentent dans notre étude un montant de 9,10 F par kilo de poisson. Elles passeront à 6,80 F remonté à 7,30 F pour tenir compte de l'élévation de température de 14 à 17° (soit une augmentation de la dépense de chauffage de 210 KF par an). La dépense d'aliment peut raisonnablement passer de 7,70 F par kilo à 6,60 F (taux de conversion ramené de 1,3 à 1,1). Les progrès de productivité évalués ci-dessus ramènent le coût de la main-d'oeuvre de 7,40 F à 4,20 F par kilo (en contrepartie, l'amortissement est augmenté de 1 F par kilo).

L'ensemble de ces économies cumulées permettra rapidement d'abaisser d'environ 7 à 8 F le coût de production du kilo de turbot. Il est raisonnable de penser qu'un coût de 35 F le kilo, hors frais financiers, sera atteint dans les prochaines fermes mettant en oeuvre des circuits fermés.

Le bar

Gains technologiques

Le choix d'un projet constitué de modules de 50 tonnes juxtaposés a été dicté par le fait que les travaux expérimentaux en cours portent sur des unités de petite dimension et que les solutions techniques permettant d'adapter les équipements actuels à des volumes d'eau beaucoup plus importants ne sont pas encore toutes disponibles immédiatement. Cependant, les résultats de l'analyse de projet mettent en avant une très faible productivité du travail, de l'ordre de 20 tonnes par unité de travail, alors que dans les trutticultures les plus performantes la productivité d'un homme peut dépasser 100 tonnes par an. La technique en système clos, en s'affranchissant de la dépendance vis-à-vis du milieu naturel, permet d'envisager d'automatiser un certain nombre de tâches (alimentation, contrôle des paramètres du milieu,...) et de gagner en productivité du travail.

En particulier, des gains substantiels pourraient être obtenus en réduisant le nombre de boucles de recirculation de l'eau et en augmentant le volume unitaire de chacune d'entre elles. Les progrès actuels portant sur la maîtrise du fonctionnement des équipements de recirculation et de traitement de l'eau devraient permettre d'aboutir à un projet d'entreprise de capacité de production 300 tonnes par an en un seul module. Ce module pourrait être constitué de douze bassins de grossissement de 300 m³ avec une boucle de traitement unique, plus un bassin d'accueil de 90 m³ et deux bassins de pré-commercialisation avec chacun leur boucle de traitement. Le nombre d'emplois pourrait être réduit à 8, soit une productivité du travail de près de 40 tonnes par employé. Avec ces hypothèses, les coûts de production seraient les suivants en conservant les mêmes normes zootechniques que précédemment (table 5).

Table 5 - Décomposition des charges d'exploitation d'un projet bar avec un module 300 tonnes.

Nature des charges	Coût total (F)	Coût par kg produit	% Charges totales
Alevins	1.440.000	4,80	11
Aliments	2.640.000	8,80	21
Charges sanitaires	190.000	0,63	1
Personnel	1.350.000	4,50	11
Energie	660.000	2,20	5
Oxygène	390.000	1,30	3
Commercialisation	1.230.000	4,10	10
Traitement des rejets	440.000	1,47	3
Divers	1.910.000	6,37	15
Amortissements	2.450.000	8,17	19
TOTAL	12.700.000	42,33	100

Coût de revient hors amortissement et hors frais financiers : 34.16 F/kg

Coût de revient hors frais financiers : 42.33 F/kg

Le coût de production d'une telle entreprise se rapproche de ceux observés dans les entreprises industrielles utilisant des cages en mer, ce qui doit orienter les efforts de recherche vers ce type de structure plutôt que vers des projets constitués de petits modules juxtaposés.

Gains zootechniques

Ceux-ci sont envisageables d'une part à court terme c'est à dire basés sur des résultats d'expérimentation en cours de confirmation, et d'autre part à moyen terme.

a) Gains zootechniques à court terme

- Indice de conversion alimentaire : il a été retenu dans cette étude un indice de conversion de 2. Si les premiers résultats acquis sont reproductibles, on peut escompter de ramener celui-ci à 1,5 soit, en conservant le prix de 4,50 F le kg d'aliment, une économie de 2,25 F par kg de poisson produit.
- Vitesse de croissance : les premières expériences font apparaître dans la première partie de l'élevage (de 2 à 200 g) un taux de croissance nettement supérieur à ce qu'indique le modèle retenu ici. Si cet effet bénéfique du circuit fermé devait être confirmé, le cycle de production serait nettement raccourci, ce qui permettrait de réduire l'investissement sur la zone d'accueil, ainsi que les charges de fonctionnement. L'économie réalisée serait ainsi de 0,80 F/kg produit.

Les gains zootechniques à court terme permettent d'envisager un coût de revient hors frais financiers de 31,11 F/kg.

b) Gains zootechniques à moyen terme

Comme pour le turbot, l'élevage en grossissement d'alevins gynogénétiques triploïdes permet d'obtenir des gains très importants de croissance. L'obtention de ces alevins fait partie des programmes de recherche de la Station IFREMER de Palavas. Les conséquences sont :

- soit de conserver le même poids de commercialisation et de réduire la durée de l'élevage d'environ 20 % ;
- soit de conserver la même durée d'élevage, mais de vendre des animaux d'un poids supérieur de 20 % ce qui améliore sensiblement le prix de vente.

CONCLUSION

Avec les hypothèses zootechniques retenues dans cette analyse, les résultats économiques ne sont pas suffisamment supérieurs à ceux du système ouvert pour affirmer que dans l'état actuel du développement de cette filière, l'aquaculture en système clos procure un avantage compétitif incontestable sur le plan des coûts de production.

Si les conditions de rentabilité prévisionnelle de ces projets ne sont pas très élevées, il faut néanmoins observer que le marché de ces deux espèces a déjà subi en partie le contre coup des apports de la production aquacole et notamment la baisse générale des cours des espèces nobles liée à la baisse des prix du saumon, et que l'incertitude sur l'évolution des prix de vente ne doit pas constituer un frein majeur au développement de l'aquaculture en système clos.

En effet, les gains zootechniques que peuvent induire les circuits fermés, en particulier la baisse du taux de conversion, l'accroissement des densités d'élevage, le raccourcissement de la durée du cycle d'élevage par la maîtrise de la température permettent d'envisager rapidement de réelles améliorations des coûts de production par rapport aux installations traditionnelles. Les progrès de la génétique et notamment la mise au point de souches hybrides permettent en outre d'espérer une baisse du prix de revient par tous les producteurs.

On doit également observer que le produit d'aquaculture, qui a longtemps subi l'effet d'une image de moindre qualité vis-à-vis du produit de la pêche, tend aujourd'hui à refaire ce handicap par ses atouts indiscutables de fraîcheur inégalable et de qualité gustative.

Il faut également souligner que les progrès attendus en matière d'environnement du fait de la possibilité de traitement des effluents de fermes en système clos procureront à l'avenir un avantage incontestable à cette filière sur les élevages traditionnels.