

ESSAI DE PRODUCTIONS AQUICOLES INTEGREES : UTILISATION DES EAUX DE REJETS D'UN CIRCUIT FERME EXPERIMENTAL DE PISCICULTURE POUR LA CULTURE DE CRESSON

R. LESEL et Catherine IFERGAN
LABORATOIRE DES MICROORGANISMES
I. N. R. A. - B. P. 79
64200 BIARRITZ

avec la collaboration technique de **Denise BLANC**

1 — INTRODUCTION

Le pisciculteur est grand consommateur d'une eau de qualité ; simultanément, il rejette dans le milieu naturel une eau polluée chargée de substances eutrophisantes. A ce titre, la législation française (J.O., 1969) classe les piscicultures dans la nomenclature des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. En tant que consommateur, les besoins en eau du pisciculteur vont en croissant et la raréfaction des possibilités d'alimentation correcte laissent prévoir le développement de circuits d'élevage en eau recyclée. Cependant ce type de pisciculture n'élimine pas la source de pollution que constitue l'élevage d'animaux. Les substances eutrophisantes rejetées comprennent deux parties : des éléments figurés (boues, fèces, refus, corps bactériens...) et des éléments en solution (matières organiques et minérales...).

Nous nous sommes proposés d'étudier les possibilités de récupération d'une partie des éléments en solution pour le développement d'une production végétale. Ces éléments en solution ont alors valeur de substrat nutritif pour cette production végétale.

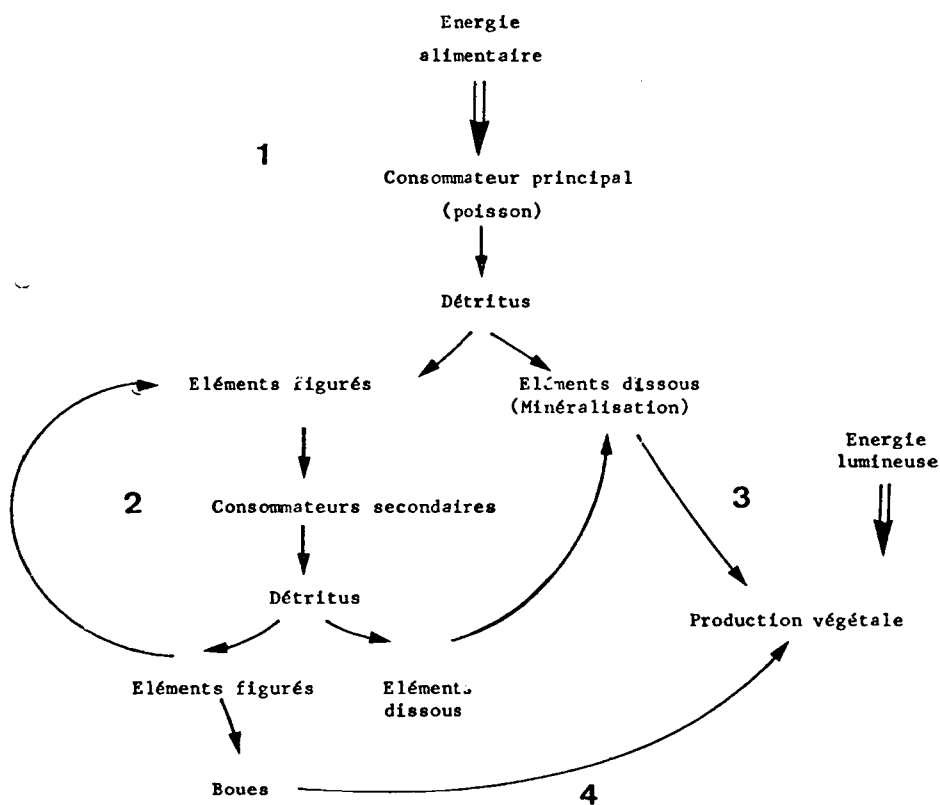
Nous étudierons plus particulièrement le problème de la récupération de l'azote dans les eaux de rejets d'un circuit de pisciculture en eau recyclée.

2 — METHODE

2.1 — Principe de circuit de productions associées

L'association de productions animales et végétales est pratiquée depuis fort longtemps. Ainsi la rizipisciculture est d'usage courant en Extrême-Orient depuis des siècles (HUET, 1970) et a atteint un haut degré de perfectionnement technique. Plus récemment, un intérêt croissant s'est manifesté pour la conception de systèmes permettant la combinaison d'une production d'algues avec une aquaculture en eau de mer (RYTHER *et al.*, 1972 ; HUGUENIN, 1975).

Le principe dominant consiste à organiser une chaîne trophique artificielle où les consommateurs à divers niveaux récupèrent et transforment toute l'énergie apportée au système essentiellement sous forme d'aliments. Un tel système a été proposé par CLARK (1972). Le schéma général peut varier considérablement selon les conditions du milieu. Dans le cadre de productions aquicoles nous avons adopté le modèle suivant :



Notre étude a porté sur l'étape 3 de cette chaîne trophique artificielle. Il s'agissait de jumeler la production de deux groupes biologiques, un animal et un végétal, ayant des caractéristiques de développement, a priori, compatibles (IFERGAN, 1974). Ayant un élevage de truites arc-en-ciel, *Salmo gairdneri* RICHARDSON, dans un circuit de pisciculture expérimental en eau recyclée, nous avons choisi une culture de cresson, *Nasturtium officinale*,

dont la température optimale de végétation (18° C) est voisine du *preferendum* thermique (17° C) de la truite et dont la croissance nécessite une eau de qualité comparable. Le protocole de travail a comporté :

- l'utilisation de l'eau de rejet du circuit en eau recyclée comme eau d'arrosage ;
- l'étude du rendement de production de ce cresson comparé à deux cultures témoins, sur l'action nutritive complète (Coïc, 1972) et sur eau de distribution urbaine ;
- l'appréciation du taux de purification par la végétation de l'eau de rejet sur l'azote minéral en solution.

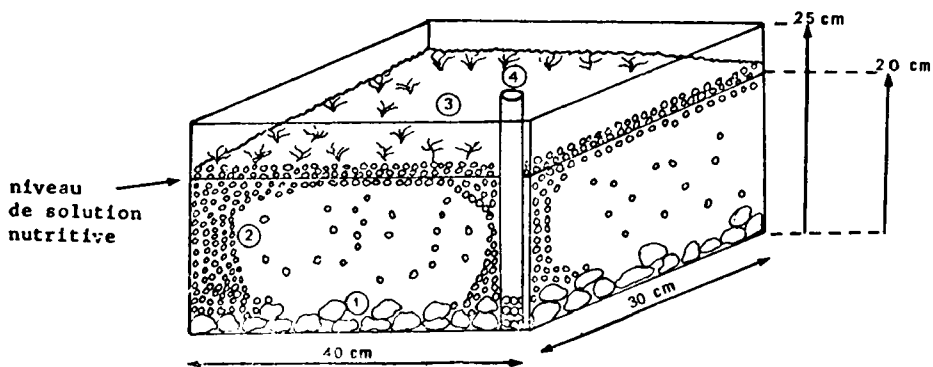
2.2 — Matériel et techniques

2.2.1 — Le circuit en eau recyclée

Il s'agit d'une unité expérimentale de petite taille destinée à recevoir une dizaine de sujets de 20 à 25 cm de long correspondant à une biomasse de 2 kg environ. L'eau de renouvellement constitue le 1/10^e du volume circulant. Au sortir du bac d'élevage, l'eau est filtrée sur une nappe en laine de verre, puis passe sur des lits bactériens minéralisant les matières organiques en solution. Au moment de l'expérimentation, le circuit n'était pas parfaitement en équilibre et si les caractéristiques chimiques ont été stables pendant la phase de végétation importante, les concentrations en N(NH₃) et N(NO₂) ont été un peu élevées par rapport à celles observées dans un circuit stabilisé.

2.2.2 — Les bacs de végétation

Nous avons utilisé une culture classique sur solution non coulante, installation voisine de celle préconisée par Coïc (1972). Les bacs en verre (40 x 30 x 25) étaient remplis de sable marin, lavé et calibré, de granulométrie voisine de 4 mm. Dans le fond de chaque bac a été introduite une couche de gros graviers destinée à faciliter la vidange du bac par siphonage (fig. 1). Nous avons utilisé trois séries de 3 bacs.



- (1) gros gravier
- (2) gravier \varnothing 4 mm
- (3) Plantules
- (4) siphon

Fig. 1 — Constitution des bacs à plante

L'éclairage des bacs était assuré par des tubes fluorescents Sylvania type « GROLUX » ayant un spectre lumineux voisin de celui de la lumière naturelle, en particulier dans les zones du rouge ($6\ 600\ \text{Å}$) et du bleu ($4\ 500\ \text{Å}$). Pendant toute la durée de l'expérience, le rythme nyctéméral a été de 16 heures d'éclairément et 8 heures d'obscurité (fig. 2).

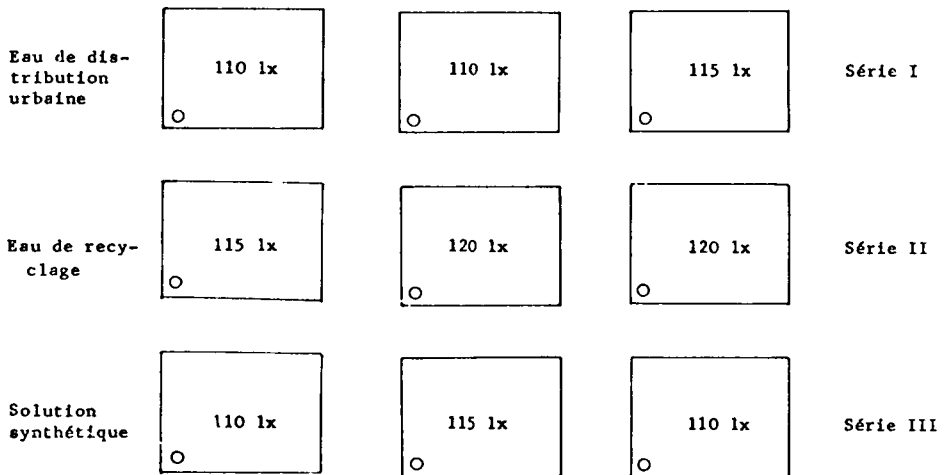


Fig. 2 — Répartition de l'éclairément au niveau des bacs

Les graines de cresson ont été semées à raison de 4 g/m^2 (Coïc, 1972) soit 14 000 graines environ par mètre carré. Le semis trop dense a été éclairci et 85 p. 100 des plantules au stade 2 feuilles ont été enlevées ; chaque bac contenait alors 150 plants. Trois coupes ont été faites pendant la durée de l'expérimentation (fig. 3). La germination et le développement des plantules jusqu'à la première coupe ont été réalisés dans tous les bacs avec la même solution nutritive afin d'éviter toute hétérogénéité dans cette phase initiale.

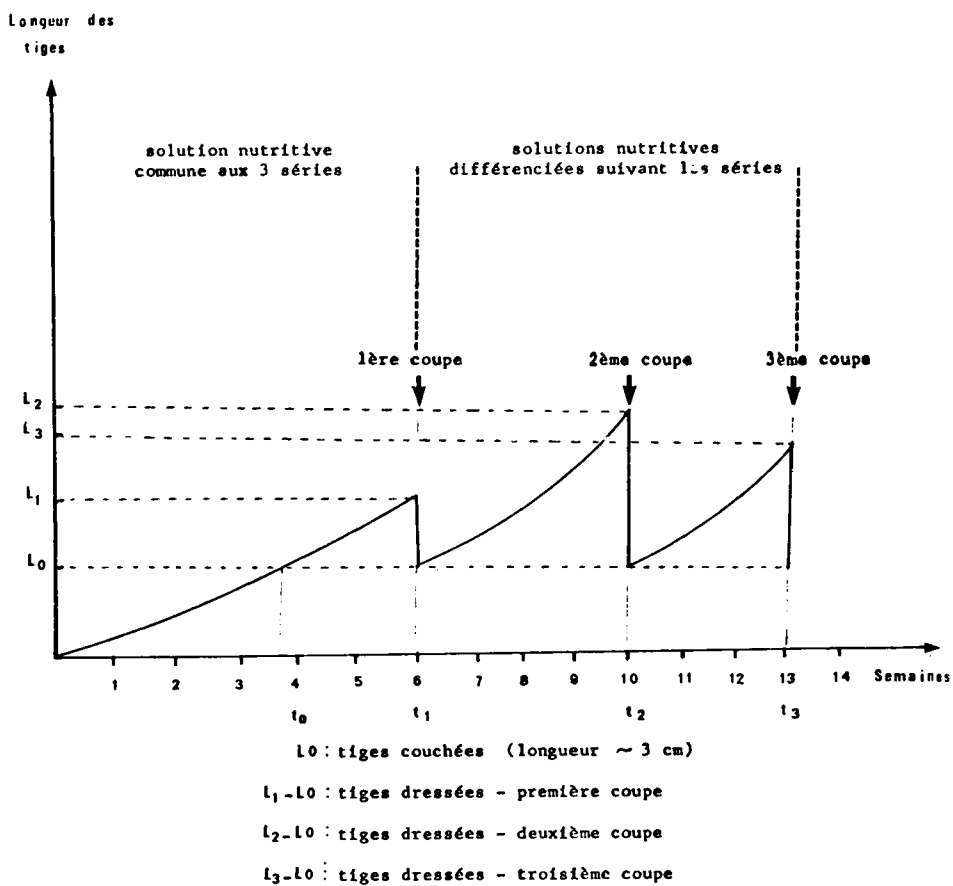


Fig. 3 — Protocole des coupes

Après la première coupe, les 3 séries de bacs ont reçu des solutions nutritives différentes (tableau 1) :

TABLEAU I

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau
dans les 3 séries de bacs

	Eau de distribution urbaine	Eau recyclée	Solution synthétique
Température :			
— après 16 h d'éclairement	20° C	20° C	20° C
— après 8 h d'obscurité	19° C	19° C	19° C
Oxygène dissous (mg/l)			
— solution fraîche	8	7,5	7,5
— après 24 h dans les bacs	6,5	6	6,5
pH	7,5	7,6	6,8
Résistivité Ω	2 000	1 500	300
Dureté calcique (mg/l Ca CO ₃)	100	140	400
Sulfates (SO ₄ ⁻) mg/l	48	35	300
N (NH ₄ ⁺) mg/l	0,01	0,10 - 0,20	9,5
N (NO ₂ ⁻) mg/l	0,015	0,07 - 0,10	0,015
N (NO ₃ ⁻) mg/l	0,8	5 - 6,50	150

- Série I, eau de distribution urbaine sans apport d'aucun nutriment ;
- Série II, eau provenant du circuit d'élevage en eau recyclée ;
- Série III, solution nutritive synthétique complète préconisée par Coïc (Communication personnelle) ayant la composition suivante :
1,30 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,2 g de KNO_3 ; 0,15 g de MgSO_4 ; 0,5 g de KH_2PO_4 ; 0,3 g de KHSO_4 ; 0,15 g de NH_4NO_3 .

Le renouvellement de la solution nutritive de chaque aquarium a été effectué de façon discontinue par un siphonage, 2 fois par jour au moment de la germination, puis simplement une fois par jour, quand les plantules eurent atteint une longueur de 3 à 4 cm ; ainsi se trouvait donc assurée une bonne aération des racines. Occasionnellement, la solution n'a été renouvelée qu'après 48 heures.

La technique de coupe de plantules a été adaptée au mode de développement de celles-ci. Nous avons observé qu'après la germination, il se développe une tige couchée sur le gravier. C'est de cette tige horizontale que partent des tiges verticales dressées. Les différentes coupes ont donc consisté à sectionner à la base toutes les tiges dressées. Au moment de la première coupe, les tiges couchées avaient une longueur de 3 cm environ et les tiges dressées une longueur de 6 à 8 centimètres.

2.2.3 — Les analyses

Nous avons suivi l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des solutions nutritives après 24 et 48 h de séjour dans les bacs à cresson. La concentration en oxygène a été prise avec un oxymètre à électrodes polarographiques type OXI 54 WTW. Les indications de cet appareil ont été périodiquement contrôlées par la méthode de WINKLER. Les pH ont été pris à l'aide d'un pHmètre TACUSSEL et la résistivité à l'aide d'un résistivimètre NOXA. La concentration en ammoniacque a été dosée par une méthode au bleu d'indophénol modifiée par BLANC.

Les récoltes provenant des 3 séries de bacs ont été pesées : à l'état frais, à sec après passage à l'étuve à 70° pendant 24 heures. L'azote total des divers échantillons séchés et broyés a été dosé par la méthode du microkjeldahl (CHARLOT, 1966). Chaque résultat concerne l'ensemble des 3 bacs d'une série et est la moyenne des résultats de trois analyses.

Au moment de la première coupe, nous avons groupé les récoltes des 3 séries. Les résultats d'analyse obtenus ont donc une valeur globale pour l'ensemble de ces séries.

3 — RESULTATS

TABLEAU 2

Caractéristiques du cresson dans les 3 séries

	Série I : Eau de distribu- tion urbaine	Série II : Eau de recyclage	Série III : Solution nutri- tive synthétique
Aspect du substrat	Surface de gravier propre	Présence d'algues vertes	Pellicules d'algues sur le gravier
Aspect du cresson	Jaunâtre, peu vigoureux	Vert, vigoureux, feuilles larges	Très vert, vigoureux, feuilles larges
hauteur en cm	1 ^{re} coupe 5 - 7 2 ^e coupe 6 - 7 3 ^e coupe —	5 - 6 12 - 15 —	5 - 6 14 - 15 —
Poids frais en g	1 ^{re} coupe 22 2 ^e coupe 37,80 3 ^e coupe 20,20	22 126,70 40,62	22 155,90 34,96
Poids sec en g	1 ^{re} coupe 3 2 ^e coupe 8,14 3 ^e coupe 6,15	3 13,25 7,03	3 13,20 6,65
Humidité en % de matière fraîche	1 ^{re} coupe 87,5 2 ^e coupe 79 3 ^e coupe 70	87,5 89 89	87,5 93 82
Azote total par g de matière sèche	1 ^{re} coupe 14 mg 2 ^e coupe 5,5 mg 3 ^e coupe —	14 mg 9 mg —	14 mg 11 mg —

3.1 — Végétation du cresson (tableau 2)

Lors de la première coupe, la végétation était un peu grêle dans tous les bacs. Ce fait était probablement attribuable à un éclairage insuffisant. Cela nous a conduit à augmenter la puissance d'éclairage au niveau donné (2.2.2).

Au moment de la deuxième coupe, le cresson était très vigoureux et très haut (15 cm) sur solution synthétique. Sur eau de pisciculture, après un léger jaunissement, dû sans doute à une concentration un peu élevée en nitrites dans l'eau, le cresson est devenu tout aussi élevé (12 à 15 cm) et montrait une grande vigueur. Sur eau de ville, le cresson a peu poussé (5 - 6 cm) et est resté grêle et jaunâtre.

Au moment de la troisième coupe, comparée à la période précédente, la végétation sur eau de ville paraît assez belle alors que celle du cresson sur eau de recyclage et aussi sur solution synthétique est moins abondante que lors de la deuxième coupe. L'examen des plantules montre en fait que :

- la croissance du cresson de la série I n'est due qu'à l'élongation des entre-nœuds des plantes : les plantules ont conservé l'aspect racorni observé au moment de la deuxième coupe ;
- les plantules de la série II et surtout de la série III ont un aspect juvénile et présentent un aspect très voisin de celui observé 8 à 10 jours avant la deuxième coupe. Depuis 2 jours, la croissance paraissait devenue très intense après un temps de latence destiné à la reconstitution des tigelles.

On peut donc attribuer à une coupe trop précoce la faiblesse relative de la biomasse récoltée sur les séries II et III lors de la troisième coupe.

La surface du gravier, propre dans la série I, présente dans les deux autres séries un important développement d'algues vertes ; les genres sont voisins dans les deux séries : ulothricales (*Chlorhormidium*) et conjugales (*Mougeotia*) constituant la plus grande part de la biomasse de cette flore saprophyte, et chlorococcales (*Scenedesmus*). On trouve aussi une microfaune constituée de rotifères et protozoaires ciliés.

3.2 — Caractéristiques du cresson dans les 3 séries

En comparant les séries entre elles, on observe que les taux de matière sèche diffèrent. Un poids en matière sèche élevé caractérise le cresson de la série I et explique son aspect racorni et sa dureté. Entre les séries II et III les différences entre les poids en matière sèche sont notables, mais ces résultats réduits à un essai ne peuvent encore être interprétés sur un plan général.

Entre la première et la deuxième coupe et cela dans les 3 séries, on observe une nette diminution de la quantité d'azote total. Il s'agit d'une caractéristique propre à toute végétation juvénile.

Dès la deuxième coupe, le cresson arrive à maturité :

- augmentation du poids en matière sèche ;
- diminution de la quantité d'azote total par rapport aux formes juvéniles.

La quantité d'azote total varie suivant la solution nutritive. Il apparaît notamment une différence entre les cressons provenant des séries II et III qui est peut-être attribuable à l'apport azoté considérable dans la solution synthétique. En tout état de cause et dans les conditions de notre expérimentation, il ne semble pas que l'azote en solution ait manqué dans l'eau provenant du circuit de pisciculture.

3.3 — Effet de la végétation sur la composition chimique des eaux

On peut observer en comparant les caractéristiques (tabl. 1) physico-chimiques des eaux des 3 séries que :

- le pH, voisin dans l'eau de distribution urbaine et l'eau de circuit d'élevage piscicole, est nettement inférieur dans la solution synthétique ;
- la résistivité est nettement plus faible dans la solution synthétique et que, corrélativement, la dureté calcique est très élevée ainsi que la concentration en sulfates ;

- la capacité nutritive de la solution synthétique est beaucoup plus forte que dans les 2 autres solutions. La légère quantité d'azote nitreux qui s'y trouve est apportée par l'eau de distribution urbaine (qui sert à la dilution de la solution-mère). La quantité élevée en azote nitrique ne peut être précisément dosée à la trousse HACH mais simplement évaluée.

En moyenne (tabl. 3), en période de végétation active (mesures faites avant la deuxième coupe) la culture consomme journalièrement 2,5 mg d'azote nitrique et 0,05 mg d'azote ammoniacal par litre d'eau d'arrosage provenant du circuit de pisciculture (Série II).

Dans la série III, l'absorption de nitrates n'est pas mesurable à la trousse HACH mais est sans doute importante. On observe aussi que dans les 3 séries les nitrites ne sont pas absorbés.

L'absorption journalière des sulfates paraît très faible. Après la deuxième coupe, la consommation en azote nitrique et azote ammoniacal paraît augmenter légèrement.

On peut faire deux remarques à propos de ces résultats :

- l'apport d'éléments nutritifs par l'eau de pisciculture apparaît suffisant ; même lorsqu'on diminue le rythme de renouvellement de l'eau dans les bacs (périodes de 48 h au lieu de 24 h), la concentration en nitrates de l'eau assure un apport suffisant pour la végétation ;
- l'apport d'éléments nutritifs par la solution synthétique paraît excédentaire dans le cadre de notre expérimentation où le substrat est limité par les parois du bac.

4 — CONCLUSIONS

A l'issue de cette expérimentation on remarque que les trois aspects définis dans le protocole de travail ont trouvé un début de vérification :

- l'eau de rejet du circuit d'élevage de truites en eau recyclée peut être utilisée pour une production végétale ;
- dans les conditions de l'expérimentation, les résultats de la production végétale sont très satisfaisants et voisins de ceux obtenus avec des solutions synthétiques nutritives ;
- la végétation utilise l'azote en solution et permet une régénération partielle de la qualité initiale de l'eau.

Divers auteurs ont montré le rôle fondamental de l'azote dans les phénomènes d'eutrophisation (THOMAS, 1966 ; BROWN *et al.*, 1969 ; RYTHER and DUNSTAN, 1971 ; GOLDMAN *et al.*, 1973). Les eaux de rejets d'un circuit de production piscicole en eau recyclée présentent aussi une charge élevée en phosphates. On peut penser que la qualité de la végétation sur ces eaux résiduaires dépend beaucoup de cette concentration élevée en phosphate. Il conviendra donc ultérieurement de différencier les actions respectives de ces deux éléments nutritifs.

Dans une vision plus générale, l'étape étudiée du modèle de chaîne trophique adopté ne concerne que les substances minéralisées et dissoutes. Dans

une pisciculture utilisant un recyclage même partiel des eaux, les boues provenant des rejets divers de la population animale revêtent une grande importance. Des essais (TENORE *et al.*, 1973 ; TENORE *et al.*, 1974) ont montré la possibilité de tirer parti de ces déchets par des groupes zoologiques détritiphages.

L'ensemble de ces solutions, constituant un système complexe de productions aquicoles intégrées, conduit à une meilleure utilisation du flux énergétique distribué sous forme d'aliments au consommateur principal, le poisson.

5 — BIBLIOGRAPHIE

- BROWN R.L., BAIN R.C., TUNZI M.G., 1969. The effects of nitrogen removed on the algal growth potential of San Joaquin Valley agricultural tile drainage effluents. In « Collected papers regarding nitrates in agricultural waste water ». *Wat. Pollut. Control Res. Ser.*, 13030. ELY 1269 U.S. Environmental Protection Agency.
- CHARLOT G., 1966. *Les méthodes de la chimie analytique : analyse quantitative minérale*, 1 vol., 1024 p., MASSON, PARIS.
- CLARKE R., 1972. Pour un progrès en douceur. *Sci. Av.*, 308, 870-877.
- COÏC Y., 1972. Essais préliminaires concernant la culture du cresson (*Nasturtium officinale*) en utilisant très peu d'eau. *C.R. Acad. Agri. Fr.*, 58, 1, 101-106.
- GOLDMAN J.C., TENORE K.R., STANLEY H.I., 1974. Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment-marine aquaculture system — II. Algal bioassays. *Wat. Res.*, 8, 55-59.
- HUET M., 1970. *Traité de Pisciculture*, 4^e éd., 1 vol., 718 p., Editions Ch. de WYNGAERT, Bruxelles.
- HUGUENIN J.E., 1975. Development of a marine aquaculture research complex. *Aquaculture*, 5, 2, 135-150.
- IFERGAN C., 1974. *Essai de productions aquicoles intégrées*. Dipl. Et. app., 39 p. ronéotypées, Centre Recherches Hydrobiologiques, Biarritz.
- RYTHER J.H., 1971. Recycling human wastes to enhance food production from the sea. *Environ. Letters*, 1, 79-87.
- RYTHER J.H., DUNSTAN W.M., 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171, 1008-1013.
- RYTHER J.H., DUNSTAN W.M., TENORE K.R., HUGUENIN J.E., 1972. Controlled eutrophication - increasing food production from the sea by recycling human wastes. *Bioscience*, 22, 144-152.
- TENORE K.R., GOLDMAN J.S., CLARNER J.P., 1973. The food chain dynamics of the oyster, clam, and mussel in an aquaculture food chain. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 12, 157-165.
- TENORE K.R., MASON G.B., CHESNAY E.J., Jr., 1974. Polyspecies aquaculture systems : the detrital trophic level. *J. mar. res.*, 32, 3, 425-432.
- THOMAS W.H., 1966. Surface nitrogenous nutrients and phytoplankton in the North-eastern tropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 3, 393-400.

