

# Alimentation humaine, ressources halieutiques et avenir de l'aquaculture

**Sadasivam Kaushik**

INRA-IFREMER, UMR Nutrition des poissons, 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, France  
[kaushik@st-pee.inra.fr](mailto:kaushik@st-pee.inra.fr)

L'importance des poissons pour assurer la sécurité alimentaire des populations dans le besoin a été annoncée dans la déclaration de Bangkok (Subasinghe *et al.*, 2000). Cette déclaration et, notamment, la partie consacrée à la nutrition, insiste en particulier sur les points suivants : meilleure connaissance des besoins nutritionnels des espèces en élevage et application de ces données sur le terrain ; meilleure compréhension des systèmes d'élevage (extensif, semi-intensif ou intensif, systèmes fermés ou ouverts) et diminution des rejets pour maximiser l'efficacité ; utilisation d'aliments contenant des ingrédients choisis parmi les ressources renouvelables et dont la production puisse permettre un développement du secteur ; meilleure compréhension de la valeur biologique des ingrédients et des interactions entre nutriments ; meilleure prise en compte des mécanismes du contrôle nutritionnel de la santé et de la résistance aux pathogènes ; développement des stratégies pour réduire la toxicité des aliments et d'autres composés d'origine d'alimentation ; développement d'aliments spécifiques aux larves et aux géniteurs permettant la domestication complète ; mise en place de bonnes pratiques en matière de fabrication d'aliments ; bonne gestion de l'alimentation des poissons ; prise en compte de la qualité et la sécurité des aliments et produits en termes de nutrition humaine.

Comme l'aquaculture est une activité de production animale efficace, mais ayant une forte dépendance vis-à-vis des ressources halieutiques (voir Pike et Barlow, cet ouvrage), en tout cas pour l'élevage de certaines espèces, les interrogations actuelles portent beaucoup sur l'assurance d'un développement durable de la filière tant sur le plan européen que sur le plan mondial.

## Les poissons et l'alimentation humaine

Du point de vue de la nutrition humaine, les poissons constituent une source de protéines à valeur biologique élevée, couvrant actuellement près de 20% de l'apport protéique. Les poissons sont aussi d'excellents vecteurs d'autres micronutriments (oligo-éléments, vitamines ou pro-vitamines). Les produits aquatiques, notamment les poissons, sont des sources riches en acides gras longs poly-insaturés (AGLPI) de la série  $\omega 3$ , comme l'acide eicosapentanoïque (20:5  $\omega 3$ , EPA) ou le docosahexanoïque (22 :6  $\omega 3$ , DHA).

L'effet bénéfique d'un apport régulier en AGLPI de la série  $\omega 3$  sur la santé humaine commence à être bien démontré (Gissi, 1999 ; Bucher *et al.*, 2002). Les AGLPI  $\omega 3$  comme l'EPA et le DHA sont impliqués dans diverses actions connues : amélioration de la fluidité membranaire, diminution de l'agrégation plaquettaire et, par conséquent, diminution des maladies cardiovasculaires, augmentation de la résistance immunitaire et à la cancérogenèse (Simopoulos, 2001). Ces acides gras sont importants aussi pour la vision et le développement cérébral, on considère même qu'ils ont joué un rôle dès l'origine de l'humanité (Broadhurst *et al.*, 1998 ; Crawford *et al.*, 1999 ).

Or, le statut nutritionnel de la population dans les pays les plus développés est inquiétant, au moins à en juger par le rapport  $\omega 6/\omega 3$  trop élevé, de l'ordre de 15, et pouvant avoir des conséquences sur la santé (Simopoulos, 2002). Diminuer ce rapport est donc considéré comme un enjeu majeur pour la

santé humaine et la consommation régulière de poissons revêt une signification particulière dans ce contexte. Bien que ne disposant pas de chiffres précis sur l'apport nutritionnel conseillé, les recommandations actuelles sont de l'ordre de 0,4 à 1 g d'AGLPI- $\omega$ 3 par jour, variable selon l'âge, le sexe ou l'état physiologique (Martin, 2001).

## Pêche et aquaculture

L'aquaculture connaît une croissance annuelle de près de 8 à 9%, ce qui est bien supérieur à la croissance de la production animale terrestre. Déjà, plus d'un tiers des produits aquatiques consommés par l'homme provient de l'aquaculture (fig. 1, ci-dessus). Selon l'analyse prospective de la FAO (2002a), d'ici 2030, l'aquaculture sera la principale source d'approvisionnement en poissons et plus de la moitié des produits aquatiques consommés par l'homme proviendront de l'aquaculture. Plus que l'importance économique de l'aquaculture, sa contribution à la nutrition humaine mérite d'être retenue.

La production aquatique (pêche et aquaculture) représente actuellement quelque 140 millions de tonnes (tab. I, ci-dessous). Selon les types de produits, il existe des différences entre le prélèvement en milieu naturel et la production par l'élevage. Un point à retenir est que lorsque le volume de la pêche minotière est déduit de celui des poissons pêchés, la quantité de poissons disponible pour l'alimentation de l'homme n'est plus que d'environ 30 millions de tonnes, à comparer aux 24 millions de tonnes provenant de l'aquaculture. Il convient aussi de signaler que la pisciculture est très largement (à 85%) dominée par la production des poissons d'eau douce.

Sur les quelque 48 millions de tonnes de produits issus de l'aquaculture, seule la partie correspondant à l'élevage de poissons et des crevettes dépendent d'un apport alimentaire exogène. Compte tenu des divers systèmes d'élevage à travers le monde, allant de l'extensif au semi-intensif et intensif, en fonction, d'une part, de la densité des élevages et, d'autre part, de l'apport des intrants. Il est difficile de donner des chiffres précis sur la quantité d'aliments complets utilisés en aquaculture. Cependant,

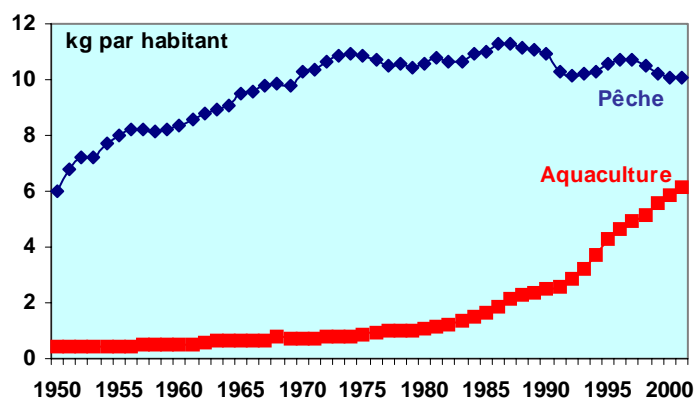


Figure 1. Contribution respective des produits de la pêche et de l'aquaculture dans l'alimentation de l'homme (source, FAOSTAT, 2002).

Tableau I. Production halieutique mondiale : pêche et aquaculture en 2001 (x 1000 tonnes ; Fishstat, 2002)

	Pêche	Culture
Poissons	77 749	24 433
<i>dont poissons d'eau douce</i>	7 391	21 129
<i>poissons d'eau saumâtre</i>	-	969
<i>poissons marins</i>	70 358	2 335
<i>dont pêche minotière estimée à</i>	39 000	-
Mollusques	7 579	11 267
Plantes aquatiques	1 296	10 562
Crustacés	6 451	1 986
Amphibiens, Reptiles	4	122
Invertébrés aquatiques	590	43
Mammifères	2	-
Total	93 671	48 414

des travaux récents (FAO, 2002b) montrent que, pour une part, l'augmentation du volume de l'aquaculture correspond à une augmentation de la quantité d'aliments composés utilisés. Dans un volume total d'environ 600 millions de tonnes d'aliments composés utilisés pour toute la production animale, seulement 3% (de l'ordre de 17 millions de tonnes) sont utilisés pour l'élevage de poissons et des crevettes.

## Aliments pour l'aquaculture

Si l'élevage de certaines espèces, comme les salmonidés, dépend entièrement d'un apport en aliments complets composés, une bonne partie de la production des cyprinidés est basée sur l'emploi d'aliments plus ou moins élaborés, à base d'ingrédients simples disponibles localement (son de céréales + tourteaux d'oléagineux) en complément de la productivité naturelle. Cependant, la tendance lourde de ces dernières années pour ces espèces est une intensification de plus en plus importante, compte tenu notamment de l'amélioration de la production et du gain de production obtenus par un apport supplémentaire en aliments plus complets couvrant les besoins nutritionnels. Dans le cas des crevettes, le rendement en conditions extensives est de l'ordre de 100 à 500 kg/ha, alors qu'avec des apports en aliments composés, il peut aller au-delà de 2 à 5 t/ha/an. Pour les poissons, la production peut aller de 2 à plus de 15 t/ha/an en fonction de la densité et d'un apport en aliments plus ou moins complets (Tripathi *et al.*, 2000). Une autre tendance est le passage d'une polyculture empirique traditionnelle à une monoculture d'espèces à valeur marchande plus importante. Ainsi, le déplacement de la production des cyprinidés vers l'élevage du tilapia est une donnée majeure dans l'aquaculture en Asie. L'augmentation de la production aquacole en Chine, au cours de ces dernières années, reflète bien ces tendances avec des besoins de plus en plus importants en aliments composés (Mai et Tan, 2002 ; Ye, 2002).

Tableau II. L'emploi d'aliments composés pour l'élevage de quelques espèces majeures (millions de tonnes)

	Production	Aliments
Carpes	18,0	8,0
Crevettes (marines, eau douce)	1,1	2,6
Salmonidés (truite, saumons)	1,7	2,3
Poissons marins	2,3	1,2
Tilapia	1,4	1,2
Poissons chat	0,5	0,6
Milkfish	0,5	0,4
Anguille	0,2	0,4
Total	26,4	16,7

Les données disponibles actuellement indiquent que, sur les 16,7 millions de tonnes d'aliments utilisés pour l'élevage de différentes espèces, les aliments pour cyprinidés, dont les carpes, en représentent plus de la moitié (tableau II, ci-dessus).

## Une trop grande dépendance de l'aquaculture vis-à-vis des ressources halieutiques ?

Les aliments utilisés en aquaculture sont plus riches en matières azotées totales (MAT > 35%) et en matières grasses (MG > 10%) que ceux destinés aux animaux terrestres d'élevage. Dans certains cas, ces taux peuvent aller jusqu'à 55% de MAT (poissons marins comme le turbot) et de 35% de MG (saumon atlantique). En élevage intensif de salmonidés ou de poissons marins, ces apports protéiques et lipidiques sont fournis essentiellement par les farines et les huiles de poissons. Le caractère excessif de la dépendance vis-à-vis de ces ingrédients, eux-mêmes provenant de la pêche minotière dédiée

(tab. I), est un sujet de controverse (Naylor *et al.*, 2000 ; Tidwell et Allen, 2001 ; Pauly *et al.*, 2002). En effet, sur les 80 millions de tonnes de poissons provenant de la pêche, près de la moitié (39 millions de tonnes) correspond à la pêche minotière, qui est dédiée à la transformation en farines (6 millions de tonnes) et huiles (environ 1 million) de poissons (IFFO, 2002 ; Pike et Barlow, ce dossier).

Aujourd'hui, sur l'ensemble de la production mondiale des 6 millions de tonnes de farines de poissons, seule une partie (environ 2,6 millions de tonnes, soit 43%) est utilisée pour les besoins de l'aquaculture. En ce qui concerne l'huile de poissons, la production et l'emploi dans les aliments pour aquaculture sont estimés à respectivement 1,1 et 0,6 millions de tonnes. Environ 54% de la production mondiale de l'huile de poissons répond donc aux besoins de l'aquaculture. Or, compte tenu du développement prévisible de l'aquaculture, les besoins en ces ingrédients risquent d'augmenter de façon notable, alors que la production ne pourra pas suivre la demande.

La lecture attentive des données rapportées dans le tableau III montre que la salmoniculture est la principale utilisatrice des huiles de poissons. Les cyprinidés, dont la production est quantitativement la plus importante, n'en consomment pas du tout. Il est cependant admis que l'apport en  $\omega 3$  conduit à des améliorations notables, y compris chez des espèces comme la carpe ou le tilapia. Si les tendances actuelles de l'emploi d'aliments complets se confirment, les besoins en huiles et farines de poissons pour l'aquaculture augmenteront. D'après les diverses estimations (FAO, IFFO), malgré cette stabilité de la production de la pêche, la disponibilité en farines de poissons, même à l'horizon de 2015, sera supérieure aux besoins de l'aquaculture. Par contre, il risque d'y avoir un réel déficit en huiles de poissons. En effet, pour couvrir les besoins en acides gras essentiels ( $\omega 3$ ) des poissons et pour assurer la qualité nutritionnelle des produits aquacoles, l'incorporation de l'huile de poissons reste actuellement la voie privilégiée.

## Substituts aux farines et aux huiles de poissons

### Sources protéiques de substitution

Les progrès réalisés dans le domaine de l'élevage des salmonidés au cours de ces dix dernières années sont en grande partie dus à l'optimisation du rapport protéine digestible/énergie digestible. Ainsi, nous avons assisté à une diminution sensible du taux protéique des aliments (de 50 à moins de 40). Les gains en termes de réduction des rejets azotés sont réels (Guillaume *et al.*, 1999) ; cependant, cette baisse du taux protéique s'est accompagnée d'une augmentation de l'apport énergétique sous forme de matières grasses (taux parfois supérieur à 35%).

Dès les années 1970, les travaux sur la diminution de l'apport protéique sous forme de farines de poissons avaient débuté (Rumsey, 1977 ; Luquet et Kaushik, 1978). Ils ont été poursuivis avec des résultats très variables mais permettent toutefois de remplacer au moins partiellement la farine de poissons par des sources protéiques d'origine végétale. Il y a lieu de signaler que, compte tenu des nombreux facteurs anti-nutritionnels présents dans les ingrédients d'origine végétale, la simple couverture des besoins en acides aminés indispensables n'est pas suffisante (Kaushik, 1995 ; Kaushik et Mambrini, 1995). Lorsque ces conditions sont satisfaites, on obtient des résultats très probants non seulement chez la truite (Kaushik *et al.*, 1995 ; Mambrini *et al.*, 1999 ; Watanabe *et al.*, 1997) mais

Tableau III. L'emploi de farines (FP) et huiles de poissons (HP) dans les différentes filières aquacoles en 2001 en % de la disponibilité mondiale ; FP =  $6,2 \cdot 10^6$  t ; HP =  $1,1 \cdot 10^6$  t

	FP	HP
Salmonidés	12,7	34,6
Poissons marins	9,7	10,9
Crevettes	8,3	3,8
Cyprinidés	6,6	0,0
Anguille	3,0	1,3
Tilapia	1,2	1,0
Milkfish	0,6	0,4
Poissons-chat	0,4	0,5

aussi chez d'autres espèces (Watanabe *et al.*, 1999 ; Allen *et al.*, 2000 ; Burel, 2000). Des travaux récents (Kaushik *et al.*, sous presse) ont montré que, même avec seulement 5% de farines de poissons, on obtient des performances comparables à celles d'un aliment à plus de 50% de farines de poissons chez un poisson marin. Cependant, des problèmes subsistent avec l'emploi de soja, particulièrement chez le Saumon atlantique (Refstie, 2000 ; Krogdahl et Bakke-McKellep, 2001). Il y a un regain d'intérêt pour d'autres sources comme des protéines unicellulaires, dont l'emploi avait été envisagé il y a déjà plus de 20 ans (Kaushik et Luquet, 1980), ou comme les protéines obtenues à partir du gaz naturel (Kleppe, 1998).

Comme cela a été signalé dès 1995, « l'application de ces résultats sur un plan industriel dépendra des contraintes d'ordre économique ». Or, le moment semble opportun pour diminuer la dépendance de la filière aquacole (intensive) vis-à-vis de certaines sources de protéines (farines de poissons, voire soja) et bien valoriser un ensemble de sources protéiques. Mais la variabilité de ces nouvelles matières premières en terme de qualité nutritionnelle est trop importante pour permettre leur emploi dans les aliments aquacoles de façon fiable. Un effort particulier mérite d'être fait pour développer des procédés technologiques spécifiques permettant leur emploi dans les aliments aquacoles.

### Remplacement de l'huile de poissons

L'emploi d'huile de poissons dans les aliments permet d'assurer un bon profil en AGLPI de la chair de poissons. Mais, par ailleurs, pour couvrir les besoins en acides gras essentiels (AGE) des poissons, un faible taux d'incorporation d'huile de poissons est suffisant (voir Guillaume *et al.*, 1999). L'emploi de grandes quantités d'huile de poissons uniquement à des fins énergétiques n'est donc pas nécessaire.

Ce n'est que très récemment que la nécessité d'un remplacement de l'huile de poissons par d'autres matières grasses s'est fait sérieusement sentir. On peut déceler au moins deux causes : le taux d'incorporation de plus en plus important de lipides dans les aliments pour salmonidés qui s'est d'ailleurs développé de façon très soutenue au cours des dix dernières années, et une diminution très sensible de sa disponibilité sur le plan mondial au cours du dernier « El Nino », en 1998.

Des travaux menés tant chez les salmonidés que chez les poissons marins (Régost, 2000) montrent que, dans la mesure où la couverture des besoins en AGE pour l'ensemble des fonctions physiologiques vitales est assurée, le remplacement des huiles de poissons par des huiles d'origine végétale n'affecte pas les performances zootechniques ou physiologiques. La composition de la chair en AG est cependant modifiée. Une période de finition avec des aliments contenant de l'huile de poissons permet de rétablir en grande partie le profil initial.

Enfin, il y a lieu de signaler quelques projets européens en cours consacrés au remplacement des farines et huiles de poisson par des sources protéiques et énergétiques d'origine végétale, tels que PEPPA (*Perspectives of Plant Protein Usage in Aquaculture*), RAFOA (*Research for Alternatives to Fish Oil in Aquaculture*) ou GUTINTEGRITY (*Gastrointestinal functions and food intake in salmonids : Impact of dietary veg oils*). Les résultats de ces projets devront contribuer à une utilisation optimale des ressources halieutiques, tout en permettant un développement durable de l'aquaculture ■

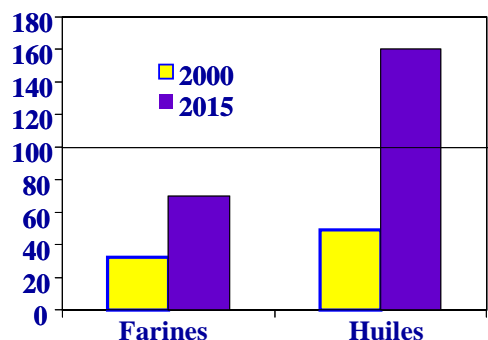


Figure 2. Couverture des besoins actuels et prévisionnels (2015) de l'aquaculture en farines (FP) et huiles (HP) de poissons exprimée en % de la production mondiale (selon FAO, 2002b).

## Références bibliographiques

- ALLEN G., STONE D., BOOTH M., ROWLAND S., 2000. No fishmeal needed for new high performance silver perch diets. *Fish. N. S. W.*, 3, 44-45.
- BROADHURST C.L., CUNNANE S.C., CRAWFORD M.A., 1998. Rift Valley lake fish and shellfish provided brain-specific nutrition for early Homo. *Br. J. Nutr.*, 79, 3-21.
- BUCHER H. C., HENGSTLER P., SCHINDLER C., MEIER G., 2002. N-3 polyunsaturated fatty acids in coronary heart disease: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Medicine*, 112, 298-304.
- BUREL C., 2000. *Utilisation de protéines d'origine végétale dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel (Oncorhynchus mykiss) et du turbot (Psetta maxima): valeur nutritionnelle et effets sur l'axe thyroïdien*. Thèse doctorat, univ. Rennes I, Rennes, 265 p.
- CRAWFORD M.A., BLOOM M., BROADHURST C.L., SCHMIDT W.F., CUNNANE S.C., GALLI C., GEHBREMESKEL K., LINSEISEN F., LLOYD-SMITH J., PARKINGTON J., 1999. Evidence for the unique function of docosahexaenoic acid during the evolution of the modern hominid brain. *Lipids*, 34 Suppl., S39-47.
- FAO, 2002a. *The state of world fisheries and aquaculture 2002*. FAO, Rome, Italy, 150 p.
- FAO, 2002b. Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: further thoughts on the fishmeal trap (M.B. New & U.N. Wijkström). *FAO Fisheries Circular*, 975, Rome, 61 p.
- FORSTER J., HARDY R.W., 2001. Measuring efficiency in aquaculture. *World Aquaculture*, 32, 41-45.
- GISSI, 1999. Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results of the GISSI-Prevenzione trial. *The Lancet*, 354 (9177), 447-455.
- GUILLAUME J., KAUSHIK S., BERGOT P., MÉTAILLER R. (dir.), 1999. *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*. INRA Éditions., 489 p.
- KAUSHIK S.J., 1990. Use of alternative protein sources for the intensive rearing of carnivorous fishes. In R. FLOS, L. TORT & P. TORRES : *Mediterranean Aquaculture*. Ellis Horwood, UK, 125-138.
- KAUSHIK S.J., LUQUET P., 1980. Influence of bacterial protein incorporation and of sulphur amino acid supplementation to such diets on growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri* R. *Aquaculture*, 19, 163-175.
- KAUSHIK S.J., MAMBRINI M., 1995. Nutrition azotée des poissons : remplacement partiel ou total de la farine de poissons. *La Pisc. Frçse*, 118, 12-20.
- KAUSHIK S.J., CRAVEDI J.P., LALLES J. P., SUMPTER J., FAUCONNEAU B., LAROCHE M., 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 133, 257-274.
- KLEPPE G., 1998. Bioprotein, a new high quality single cell protein based on natural gas. Report Aquavision '98. The second Nutreco Aquaculture Business Conference. *Stavanger Forum*, 13-15 mai 1998, Stavanger, Norvège.
- KROGDAL A., BAKKE-MCKELP A.M., 2001. Soybean meal in salmonid diets; antinutrients, pathologies, immune responses and possible solutions. *World Aquaculture 2001: Book of Abstracts*, p. 340.
- 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 poissons. *La Pisc. Frçse*, 53, 14-16.
- MAI K., TAN B., 2002. Present status and developmental trends of aquaculture nutrition and feed industry in China. *Aquachallenge workshop*, Pékin, 27-30 avril 2002.
- MARTIN A., 2001. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. Editions Tec & Doc, Paris, 650 p.
- NAYLOR R.L., GOLDBURG R.J., PRIMAVERA J.H., KAUTSKY N., BEVERIDGE M.C. M., CLAY J., FOLKE C., LUBCHENCO J., MOONEY H., TROELL M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405 (6790), 1017-1024.
- NETTLETON J.A., 1991.  $\omega$ -3 Fatty acids : comparison of plant and seafood sources in human nutrition. *J. Am. Diet. Assoc.*, 91, 331-337.
- PAULY P., CHRISTENSEN V., GUÉNETTE S., PITCHER T.J., RASHID SUMAILA U., WALTERS C.J., WATSON R., ZELLER D., 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418, 689-695.
- REFSTIE S., 2001. *Evaluating soybean meal as a fish meal substitute in feeds for Atlantic salmon and rainbow trout*. PhD thesis, Aalborg University, Denmark, 196 p.
- REGOST C., 2001. *Effets des lipides sur les qualités nutritionnelle, physique et organoleptique de la chair de la truite fario (Salmo trutta) et du turbot (Psetta maxima)*. Thèse, univ. Rennes I, Rennes, 193 p.
- SMITH R. R., 1977. Recent research involving full-fat soybean meal in salmonid diets. *Salmonid*, 1, 8-18.
- SARGENT J. R., 1997. Fish oils and human diet. *Br. J. Nutr.*, 78 Suppl. 1, S5-13.
- SIMOPOULOS A.P., 2001. Evolutionary aspects of diet and essential fatty acids. *World Review of Nutrition & Dietetics*, 88, 18-27.
- SIMOPOULOS A.P., 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.*, 56, 365-379.
- SUBASINGHE R.P., BUENO P., PHILLIPS M.J., HOUGH C., MCGLADDY S.E., ARTHUR J.E. (Eds.), 2000. *Aquaculture in the Third Millennium*. Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand. NACA, Bangkok and FAO, Rome, 471 p.
- TIDWELL J.H., ALLEN G.L., 2001. Fish as food : aquaculture's contribution. *EMBO reports*, 21, 958-963.
- TRIPATHI S.D., ARAVINDAKSHAN P.K., AYYAPPAN S., JENA J.K., MUDULI H.K., SURESH C., PANI K.C., CHANDRA S., 2000. New high in carp production in India through intensive polyculture. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 15, 119-128.
- WATANABE T., VERAKUNPIRIYA V., WATANABE K., VISWANATH K., SATOH S., 1997. Feeding of rainbow trout with non-fish meal diets. *Fisheries Science*, 63, 258-266.
- WATANABE T., AOKI H., SHIMAMOTO K., HADZUMA M., MAITA M., YAMAGATA Y., KIRON V., SATOH S., 1999. A trial to culture yellowtail with non-fishmeal diets. *Fisheries Science*, 64, 505-512.
- YE J., 2002. Carp polyculture system in China: Challenges and future trends. *Aquachallenge workshop*, Pékin, 27-30 avril 2002.