

Domestication et fonction nutrition chez les poissons

Considérant la fonction nutrition, les poissons possèdent apparemment peu d'atouts pour la domestication. En effet, par rapport à la plupart des espèces terrestres, en particulier aux espèces domestiquées et élevées pour leur production de chair, comme les volailles, les ruminants ou même les porcs, les poissons montrent des besoins élevés en protéines. Ils sont plus proches de certaines espèces domestiquées en temps qu'animaux de compagnie comme les chats. De plus, l'alimentation d'un animal aquatique est souvent moins facile pour l'éleveur que celle d'un animal terrestre, l'aliment devant présenter une certaine stabilité dans l'eau. Enfin, la petite taille des poissons à l'éclosion rend difficile leur alimentation à ce stade. Cependant, certaines espèces sont élevées depuis longtemps et différents types d'aliments ont pu être mis au point.

Nous essaierons de montrer dans ce texte quels grands groupes de poissons peuvent être identifiés en fonction de leur alimentation et quelles possibilités et contraintes en découlent pour la domestication dans ces groupes. Nous analyserons également les conséquences possibles de la domestication sur la fonction nutrition chez les poissons.

Résumé

L'objectif de cet article est d'évaluer dans quelle mesure l'étude du régime alimentaire des poissons peut indiquer les possibilités et les contraintes liées à leur domestication. Bien que le régime naturel des poissons semble désavantageux pour la domestication, puisque leur besoin en protéines est élevé, différentes espèces peuvent être considérées comme domestiquées. Ces espèces peuvent être aussi bien herbivores, détritivores et omnivores que carnivores. De la même façon, l'étude des caractéristiques anatomiques digestives - présence ou non d'un estomac, longueur de l'intestin - montre de grandes différences entre espèces, mais ne permet pas d'identifier un groupe d'espèces qui serait plus apte à la domestication.

L'étude des besoins nutritionnels montre que quelques espèces peuvent utiliser les protéines d'origine végétale en remplacement de la farine de poisson, mais il s'est avéré que même l'espèce la plus carnivore peut être alimentée en grande partie avec un mélange de protéines végétales. Plusieurs espèces peuvent tolérer des teneurs élevées en lipides alimentaires, d'autres peuvent utiliser des glucides en substitution des protéines. Ces caractéristiques physiologiques doivent être prises en compte dans le processus de domestication qui aura, en retour, des conséquences sur le métabolisme alimentaire et donc sur la composition du poisson domestiqué.

1 / Caractéristiques écologiques de l'alimentation des poissons

Les poissons peuvent être classés en différents groupes suivant leur régime alimentaire. Ils sont répartis classiquement en 4 grandes catégories suivant une classification « écologique » (De Silva et Anderson 1995) :

- les herbivores, comme la carpe chinoise (*Ctenopharyngodon idella*), s'alimentant de végétaux ;
- les détritivores, mangeant les organismes en décomposition, comme la carpe africaine (*Labeo lineatus*) ;
- les omnivores, comme la carpe commune (*Cyprinus carpio*) ou le milkfish (*Chanos chanos*), qui ont une alimentation mixte, végétale et animale ;
- les carnivores, s'alimentant à partir d'autres poissons et d'invertébrés, comme le bar (*Dicentrarchus labrax*).

Mais cette division n'est pas stricte. La majorité des espèces présente une alimentation mixte et, de plus, le régime alimentaire peut varier au cours de la vie. Les larves de la carpe *Cirrhinus cirrhosus* mangent du zooplancton, alors que les juvéniles et les adultes ont un régime herbivore.

Considérant ces données sur le régime alimentaire naturel des espèces, on peut penser que les espèces herbivores seraient préférentiellement choisies pour l'élevage et la domestication. C'est effectivement le cas des carpes qui représentent plus de 50 % du tonnage de l'aquaculture mondiale. L'aquaculture traditionnelle, pratiquée dans des pays pour lesquels le poisson apparaît comme une source importante de protéine (Europe centrale, Asie du Sud-est), s'est donc orientée naturellement vers des espèces herbivores ou détritivores. L'aquaculture dite nouvelle, ou occidentale, pratiquée dans des sociétés chez lesquelles le poisson était surtout issu de la pêche maritime ou/et de la pêche sportive, s'oriente beaucoup plus vers des espèces « de luxe », carnivores, plus appréciées par le consommateur. Il s'agit de la truite (*Oncorhynchus mykiss*), du saumon (*Salmo*

salar), du bar, de la dorade (*Sparus aurata*), du turbot (*Scophthalmus maximus*), de l'ombrine (*Scianops ocellatus*) ...

L'étude des régimes alimentaires naturels des différents groupes de poissons ne permet pas de discriminer des groupes d'espèces pouvant être ou non candidats à la domestication.

2 / Caractéristiques anatomiques

2.1 / Longueur du tube digestif

Des études réalisées sur des centaines d'espèces ont montré qu'il existe des adaptations fonctionnelles du tractus digestif au régime alimentaire (Kapoor *et al* 1975, Kramer et Bryant 1995). L'intestin intervient dans la phase finale de la digestion et assure aussi l'absorption des nutriments. Globalement, il apparaît que plus l'espèce est carnivore, plus l'intestin est court. Le milkfish *Chanos chanos*, espèce microphage et planctonivore compte parmi les espèces ayant le plus long intestin par rapport à sa taille. En effet, le rapport « longueur de l'intestin/longueur de l'animal (RGL) » est un indicateur du régime alimentaire des poissons. On considère que ce rapport est d'autant plus élevé que les poissons mangent des algues et des détritiques contenant une certaine proportion de matériel indigestible comme le sable et les fibres végétales. Cependant, ce RGL ne constitue pas un caractère discriminant pour sélectionner des candidats pour la domestication. Ainsi le RGL peut varier de 1,3 à 2,5 entre différentes espèces de carpes qui sont largement produites dans le monde, comme la carpe argentée ou la carpe commune.

Bien que ce RGL soit lié à l'espèce, il est cependant très modulable par l'alimentation. En effet, De Silva *et al* (1984) ont montré qu'un perciforme d'Asie, *Etroplus suratensis*, présente un RGL de 2,5 pour les individus pêchés dans la lagune de Koggala, où leur alimentation est à base de mollusques, et un RGL de 3,5 chez les individus vivant dans un réservoir, où leur alimentation est constituée d'algues macrophytes. De la même façon, une alimentation riche en glucides induit chez la carpe une augmentation de sa longueur intestinale. La tendance actuelle étant de remplacer les protéines par les glucides dans l'alimentation des espèces qui le tolèrent, on peut penser que les espèces domestiquées auront un tube digestif plus long.

La digestion de l'aliment et l'absorption des nutriments se fait tout au long de l'intestin. La surface de contact entre l'aliment et les entérocytes qui tapissent l'intestin est augmentée par les replis du tube digestif, et surtout par la présence de villosités, qui multiplient par 30 la surface d'absorption, et de microvillosités sur la partie apicale des entérocytes qui augmentent encore cette surface. Différents auteurs ont essayé de relier les caractéristiques de l'ultrastructure intestinale aux différents types d'alimentation. Kuperman et

Kuz'mina (1994) ont comparé un brochet (*Esox lucius*) qui est un prédateur typique se nourrissant de poissons, une lotte (*Lota lota*) qui est un prédateur-benthophage facultatif et une brème (*Abramis brama*) benthophage se nourrissant d'oligochètes, de larves d'insectes, de mollusques, d'algues macrophytes, de phytoplancton et de détritiques. Ils n'ont pas réellement mis en évidence des différences liées au régime dans l'ultrastructure des microvillosités. Il apparaît par contre qu'un événement ponctuel, comme la privation de nourriture en hiver, conduit à une diminution de la hauteur des microvillosités. On peut donc penser que la domestication pourra conduire à une augmentation de la taille des microvillosités, donc à une meilleure absorption, chez des animaux disposant d'aliment *ad libitum* toute l'année et élevés à des températures optimales pour la croissance.

2.2 / Présence ou absence d'un estomac

De nombreuses espèces de poissons ne possèdent pas d'estomac. On compte dans ce groupe les cyprinidés et les poissons d'ornement. D'autres poissons, comme les poissons carnivores en général, salmonidés, bars, turbots, mais aussi poissons-chats et tilapias possèdent un estomac. Des espèces dans l'un et l'autre groupe ont été retenues pour des processus de domestication. Il est à noter que, très souvent, l'estomac, chez les espèces en étant pourvues, n'apparaît qu'au bout de quelques semaines de développement.

2.3 / Taille à l'éclosion

Parmi les caractéristiques des organes impliqués dans la fonction nutrition chez les poissons qui posent quelques contraintes dans la domestication, il faut également citer la très petite taille des poissons à l'éclosion, notamment chez les espèces marines. Le bar européen (*Dicentrarchus labrax*), la dorade (*Sparus aurata*), le turbot (*Scophthalmus maximus*) ou la morue (*Gadus morhua*) ne mesurent que quelques millimètres à l'éclosion et leur bouche présente un diamètre de moins d'un millimètre (Fernandez-Diaz *et al* 1994). Néanmoins, ces espèces sont déjà carnivores à ces stades de développement. Il a donc fallu, pour envisager d'élever ces espèces, trouver des proies de taille compatible avec la bouche de la larve, comme des copépodes, qui constituent leur alimentation naturelle, mais qui ne sont pas disponibles de façon fiable pour les grandes éclosions. D'autres proies telles que les rotifères et les *Artemia* sont donc utilisées, et peuvent couvrir les besoins nutritionnels des larves après enrichissement en acides gras polyinsaturés. Mais, afin de franchir une étape supplémentaire dans la domestication de ces espèces, il était nécessaire de disposer d'un micro-aliment composé, de qualité fiable et pouvant remplacer les *Artemia* dont les stocks sont limités. Les poissons marins, à l'éclosion et même quelques jours après l'ouverture de la bouche, ont un tube digestif très rudimentaire. L'intestin n'est qu'un tube linéaire et les microvillosités des entérocytes sont très peu

développées. Les mécanismes de digestion sont donc assez différents de ceux du juvénile et la composition des aliments destinés aux juvéniles ne convient pas aux larves. Récemment, des micro-aliments spécialement adaptés aux spécificités des besoins nutritionnels et de la digestion chez les larves ont été mis au point (Cahu et Zambonino Infante 2001, Cahu *et al* 2003).

La domestication des espèces dont l'alimentation à l'état larvaire semblait difficile, voire impossible, peut donc être envisagée. La taille des larves à l'éclosion n'est plus, en ce qui concerne la fonction nutrition, une limite pour la domestication d'espèces de poissons. Les larves des poissons d'eau douce comme les truites qui ont déjà un système digestif bien développé à l'éclosion, étaient des candidats évidents pour la domestication. Ce point de blocage pour la domestication des espèces marines disparaît.

3 / Caractéristiques physiologiques

La domestication des espèces passe par la détermination de leurs besoins nutritionnels afin de nourrir les animaux de la meilleure façon : moindre coût, bonne croissance, bonne santé du poisson, bien-être et qualité de la chair pour les espèces élevées pour leur chair, et limitation des effets de cet élevage sur l'environnement. On peut penser que les groupes de poissons les moins demandeurs en matières premières disponibles en quantité limitée ou onéreuses seront des meilleurs candidats à la domestication.

3.1 / Besoins en protéines et utilisation de sources végétales

Nous avons déjà indiqué que les poissons sont des gros consommateurs de protéines. Le tableau 1 donne la teneur optimale de l'aliment en protéine, présentée dans un ordre croissant, pour différentes espèces de poissons domestiqués ou en cours de domestication. L'aquaculture s'est développée avec des espèces ayant des besoins modérés en protéine, mais également avec les espèces présentant les plus forts besoins comme le turbot.

En ce qui concerne l'élevage extensif traditionnel, de carpe par exemple, les poissons trouvent leurs protéines alimentaires dans le

milieu naturel, sous forme de petits poissons, d'invertébrés ou de végétaux. En aquaculture plus intensive, la première source de protéine (quantitativement et chronologiquement) est la farine de poisson. La quantité de farine de poisson, 30 millions de tonnes produites dans le monde par an, ne va pas augmenter dans le futur ; de plus, les poissons sont en compétition avec les autres animaux d'élevage, porcs et poulets (sauf en Europe où l'incorporation de farine de poisson est actuellement interdite dans l'alimentation des animaux terrestres). Ceci pourrait constituer un frein à la domestication des espèces les plus demandeuses en protéines.

L'utilisation de protéines de substitution est donc étudiée. Les protéines d'origine animale terrestre sont exclues des possibilités par l'Union Européenne. Les protéines de sources végétales sont de plus en plus utilisées. En effet, les protéines, qu'elles soient animales ou végétales, sont constituées des mêmes 20 acides aminés, dont 10 essentiels, en proportion différente. On peut penser que les espèces les plus susceptibles d'être domestiquées sont celles qui pourront le mieux utiliser les farines végétales (ou tout au moins leur extrait protéique), telles que celles de soja, de blé, de lupin, de colza ou de maïs. En effet, toutes les espèces ne montrent pas la même capacité à utiliser des protéines végétales. On peut remplacer jusqu'à 100 % de la farine de poisson par de la farine végétale (soja) chez la truite arc-en-ciel (Kaushik *et al* 1995), mais un remplacement de plus de 20 % de la farine de poisson par une farine végétale (maïs) induit une baisse de la croissance chez le turbot (Regost *et al* 1999). Cependant, des études récentes montrent que, grâce à des combinaisons de protéines de différentes sources végétales et par l'ajout dans la formulation des acides aminés limitants, on peut augmenter la part de farine végétale dans l'alimentation des espèces les plus exigeantes. Il faudra cependant veiller à éliminer le plus possible les facteurs antinutritionnels présents dans les végétaux, comme les inhibiteurs tryptiques, les tanins, les lectines ou les glucosinolates (Burel *et al* 1998). Les poissons sont en effet plus sensibles que les ruminants à ces facteurs, surtout lors des jeunes stades (Escaffre *et al* 1997). Lorsque ces deux conditions sont remplies, équilibre des acides aminés dans la formule alimentaire et élimination des facteurs antinutritionnels, le besoin en protéine n'est pas un facteur discriminant pour la domestication des espèces.

3.2 / Besoin et tolérance en lipides

Les lipides doivent être présents dans l'alimentation des poissons pour couvrir leurs besoins pour la croissance et comme substrat énergétique. Chez les espèces que l'on peut considérer comme domestiquées, comme le saumon, le taux de lipide dans l'aliment utilisé en élevage est passé de 10 % à 30 % au cours des 20 dernières années. Le besoin en lipide n'a bien sûr pas augmenté chez ces espèces, mais, du fait que les lipides ont une haute valeur énergétique, leur part croissante dans l'aliment présente certains avantages pour l'éleveur :

Tableau 1. Besoins en protéines (% de la matière sèche de l'aliment) de différentes espèces de poissons (d'après Guillaume *et al* 2001).

| Espèce | Protéines (%) |
|---------------|---------------|
| Carpe commune | 31-38 |
| Tilapia | 35 |
| Truite | 40 |
| Saumon | 45 |
| Bar | 45-50 |
| Turbot | 55 |

- réduction de l'ingestion et augmentation de l'efficacité alimentaire (gain de poids du poisson/poids d'aliment ingéré). L'animal, pour un même gain de poids, aura consommé moins d'aliment, la régulation de l'ingéré se faisant en grande partie sur l'énergie. Cela est apparu très nettement sur certaines espèces comme le bar (Coves *et al* 2000) ;
- diminution de la teneur en protéine de l'aliment donc du coût de l'aliment, les lipides étant alors utilisés préférentiellement comme source d'énergie dans le métabolisme du poisson, permettant une épargne des protéines ;
- diminution des rejets polluants, qui sont essentiellement les molécules contenant de l'azote et du phosphore, issues du métabolisme des protéines.

Mais toutes les espèces n'ont pas la même capacité à utiliser les lipides et épargner les protéines. En effet, le turbot nourri avec un aliment trop riche en lipide montrera un déficit très net de croissance (Regost *et al* 2001). Un aliment destiné au turbot ne doit pas contenir plus de 11 % de lipides, sinon la croissance sera négativement affectée. Cette espèce, dont la chair est très pauvre en lipide, métabolise mal les lipides et l'épargne protéique ne se fait pas. Il apparaît donc que la stratégie de domestication, en ce qui concerne la nutrition, se fera différemment pour les espèces ayant une faible capacité d'utiliser les lipides et pour un autre groupe d'espèces, comprenant le bar, la truite et le saumon qui peut tolérer une alimentation très riche en lipides.

Cependant des taux élevés de lipides alimentaires conduisent à un engraissement de l'animal. Le taux de lipide dans le filet de bar peut ainsi passer de 7,1 % de la matière fraîche à 9,2 % lorsque le taux de lipide dans l'aliment passe de 13 à 29 % (tableau 2). De la même façon, il y aura un engraissement péri-viscéral, un engraissement du foie, et une modification des membranes intestinales conduisant à des perturbations métaboliques (Cahu *et al* 2000). Sous cet aspect, la domestication peut conduire à une évolution négative des caractéristiques de l'animal qui peut se traduire, pour le consommateur, par l'apparition de produits de moins bonne qualité (surcharge grasseuse) et, pour le poisson, par une diminution du bien-être.

Tableau 2. Efficacité protéique de l'aliment (quantité de protéine ingérée pour obtenir 100 g de poisson) et taux de lipide du muscle chez le bar selon le taux de lipide de l'aliment. Les lettres différentes dans une même colonne indiquent des valeurs significativement différentes ($P < 0,05$) (d'après Cahu *et al*, non publié).

| Lipide dans l'aliment (%) | Efficacité protéique (%) | Lipide dans le muscle (%) |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 13 | 95 ^a | 7,1 ^c |
| 17 | 90 ^b | 8,5 ^b |
| 24 | 82 ^c | 9,2 ^a |
| 29 | 75 ^d | 9,2 ^a |

3.3 / Capacité à allonger et à désaturer les acides gras

Pour se développer, les poissons ont besoin d'acides gras polyinsaturés, qui constituent notamment les membranes cellulaires. La plupart des espèces montrent une faible capacité à allonger et désaturer les chaînes d'acides gras à partir de l'acide linoléique. Il faut donc que l'aliment distribué au poisson contienne ces acides gras à longue chaîne, mais leur source essentielle est l'huile de poisson, dont la ressource mondiale est encore plus limitée que la farine de poisson.

Cependant certaines espèces de poisson ont une meilleure capacité à désaturer les acides gras que d'autres, le gène de la delta-6-désaturase étant plus exprimé. Les poissons d'eau douce appartiennent à cette catégorie. Le tableau 3 montre que, chez le saumon, la carpe et la truite, les acides gras essentiels, c'est-à-dire devant absolument être apportés par l'aliment, sont des acides gras en C18, pouvant être apportés par des huiles végétales, alors que chez la daurade japonaise, le turbot et le bar, les acides gras essentiels sont l'EPA (C20: 5n-3) et le DHA (C22: 6n-3), apportés par les huiles de poisson.

On peut donc penser que la domestication pourrait plutôt concerner des espèces qui ont le moins besoin d'EPA et DHA, dont l'approvisionnement est limitant. Mais les quantités d'EPA et DHA requises pour couvrir les besoins nutritionnels et assurer le métabolisme du poisson sont assez faibles, moins de 2 % de la ration alimentaire. Le reste des lipides apporté par l'aliment, jusqu'à 30 % de la ration alimentaire, est utilisé comme substrat énergétique et stocké en dépôts graisseux. Il pourrait être constitué d'acides gras en C18. Dans ce cas, les besoins en EPA et DHA des espèces ne seraient pas un facteur discriminant pour choisir les candidats à la domestication.

Cependant, le consommateur attend du poisson qu'il ait des qualités organoleptiques et nutritionnelles de poisson. Une des caractéristiques nutritionnelles du poisson est sa teneur en acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série n-3, principalement l'EPA et

Tableau 3. Besoins en acides gras essentiels de quelques poissons (d'après Guillaume *et al* 2001).

| Espèce | Acides gras essentiels | Besoin (% de la ration) |
|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Truite | 18: 3n-3 | 0,8-1,7 |
| Saumon | 18: 2n-6 | 1,0 |
| | 18: 3n-3 | 1,0-2,5 |
| Carpe | 18: 2n-6 | 1 |
| | 18: 3n-3 | 1 |
| Tilapia | 18: 2n-6 | 1 |
| Daurade japonaise | 20: 5n-3 | 0,4 |
| | +22 :6n-3 | |
| Turbot | 20: 5n-3 | 0,8 |
| | +22 :6n-3 | |
| Bar | 20: 5n-3 | 1,7 |
| | +22 :6n-3 | |

le DHA, qui jouent un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Il conviendra donc de donner au poisson plus d'EPA et de DHA qu'il n'en a besoin pour couvrir ses besoins nutritionnels et ces poissons pourraient être élevés « sur mesure » pour fournir un taux garanti d'EPA et DHA (Cahu *et al* 2004). La domestication pourrait aussi s'orienter vers la sélection de souches capables de produire de grandes quantités d'EPA et DHA à partir du C18.

3.4 / Capacité à utiliser les glucides

Contrairement aux protéines et aux lipides, il n'y a pas de besoin en glucides chez les poissons. Mais les glucides peuvent être utilisés comme substrat énergétique pour épargner les protéines chez les animaux supportant mal un taux élevé de lipides dans l'aliment, comme c'est le cas du turbot.

Devant l'enjeu que représente l'utilisation des glucides par les poissons, de nombreuses études ont été menées et ont montré qu'il existait des différences très nettes dans les possibilités d'utiliser les glucides alimentaires suivant les espèces. La capacité d'utilisation des glucides est ainsi très élevée chez la carpe commune alors qu'elle est très faible chez d'autres espèces comme la truite arc-en-ciel (Wilson 1994). Dans ce dernier groupe, les poissons montrent une réponse hormonale (rapport insuline/glucagon) « anormale » à l'apport de glucides, une résistance des tissus à l'insuline et une mauvaise régulation hépatique de la gluconéogenèse (Panserat *et al* 2000).

De plus, il semble que la faible capacité des poissons carnivores à utiliser les glucides existe dès la première étape de la digestion. Alors que les espèces omnivores sont capables d'adapter l'activité de leurs disaccharidases (enzymes intestinales hydrolysant

les glucides), il semble que les poissons carnivores n'aient jamais développé ou aient perdu leur capacité de moduler l'activité de leurs enzymes pour s'adapter à un régime contenant des glucides (Buddington *et al* 1997). Ces derniers auteurs considèrent que cette caractéristique limite définitivement la possibilité d'utiliser les glucides chez les espèces de poissons carnivores.

Pour ces espèces, la domestication devra reposer sur une alimentation qui restera composée principalement de protéines chez le turbot, de protéines et de lipides chez la truite. A moins que l'on ne parvienne, par un régime adapté, à continuer de faire exprimer chez les juvéniles les enzymes intervenant dans la digestion des glucides, comme l'amylase et les disaccharidases, qui sont très exprimées aux stades larvaires chez plusieurs espèces carnivores (Buddington 1985, Cahu et Zambonino Infante 1995).

Conclusion

L'étude du régime alimentaire naturel des poissons ne permet pas d'identifier *a priori* des groupes plus aptes que d'autres à être domestiqués. Plusieurs espèces, qu'elles soient herbivores ou carnivores, ont commencé à subir le processus de domestication. L'étude anatomique du tube digestif montre qu'il existe une très grande diversité suivant les espèces, mais ne permet pas non plus d'identifier des groupes qui seront domestiqués. Enfin, l'étude de la physiologie nutritionnelle des différentes espèces de poisson montre que différentes stratégies sont à envisager pour la nutrition des espèces que l'on souhaite domestiquer, selon que l'on veut baisser les coûts de production, avoir une croissance rapide, obtenir un produit d'une qualité donnée ... Il est évident que ces choix auront des conséquences sur la physiologie de l'animal domestiqué.

Références

- Buddington R.K., 1985. Digestive secretions of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* during early development. *J. Fish Biol.*, 26, 715-723.
- Buddington R.K., Krogdahl A., Bakke-Mckellep A.M., 1997. The intestine of carnivorous fish: structure and functions and the relations with diet. *Acta Physiol. Scand.*, 161, 67-80.
- Burel C., Boujard T., Corraze G., Kaushik S., Boeuf G., Mol K.A., Van der Geyten S., Kühn E., 1998. Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effect on thyroid status. *Aquaculture*, 163, 325-345.
- Cahu C., Zambonino Infante J.L., 1995. Maturation of the pancreatic and intestinal functions in sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effect of weaning with different protein sources. *Fish. Physiol. Biochem.*, 14, 431-437.
- Cahu C., Zambonino Infante J.L., 2001. Substitution of live food by formulated diet in marine fish larvae. *Aquaculture*, 200, 161-180.
- Cahu C., Zambonino Infante J.L., Corraze G., Coves D., 2000. Dietary lipid level affects fatty acid composition and hydrolase activities of intestinal brush border membranes in sea bass. *Fish Physiol. Biochem.*, 23, 165-172.
- Cahu C., Zambonino Infante J.L., Barbosa V., 2003. Effect of dietary phospholipid level and phospholipid: neutral lipid value on the development of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae fed a compound diet. *Br. J. Nutr.*, 90, 21-28.
- Cahu C., Salen P., de Lorgeril M., 2004. Farmed fish and wild fish for the prevention of cardiovascular diseases: assessing possible differences in lipid nutritional value. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 14, 34-41.
- Coves D., Rosenlund G., Dutto G., Arzel J., Cahu C., 2000. Influence of dietary lipid content on voluntary feed intake and growth in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fed on demand at 17°C. COST 827, 3rd workshop on Voluntary Food Uptake in fish, 8-10 June 2000, Potenza, Italia.
- De Silva S.S., Anderson T.A., 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman and Hall, London, UK, 319 p.
- De Silva S.S., Maiti P., Cumarantunga P.R.T., 1984. Aspects of the biology of the euryhaline Asian cichlid, *Etroplus suratensis*. *Env. Biol. Fish.*, 10, 77-82.
- Escaffre A.M., Zambonino Infante J.L., Cahu C., Mambrini M., Bergot P., Kaushik S.J., 1997. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of the common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities. *Aquaculture*, 153, 63-80.

- Fernandez-Diaz C., Pascual E., Yufera M., 1994. Feeding behaviour and prey selection of gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae fed on inert and live food. *Mar. Biol.*, 118, 323-328.
- Guillaume J.C., Kaushik S., Bergot P., Métailler R., 2001. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Coédition Inra-Ifremer, Springer-Praxis books in Aquaculture and fisheries, 408 p.
- Kapoor B.G., Smit H., Verighina I.A., 1975. The alimentary canal and digestion in fish. In: C.M. Young and F.S. Russel (eds), *Advances in Marine Biology*, vol 13, 109-213. Academic Press, New York.
- 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.
- Kramer D.L., Bryant M.J., 1995. Intestine length in the fishes of a tropical stream: relationship to diet-the long and short of a convoluted issue. *Env. Biol. Fish.*, 42, 129-141.
- Kuperman B.I., Kuz'mina V.V., 1994. The ultrastructure of the intestinal epithelium in fishes with different types of feeding. *J. Fish Biol.*, 44, 181-193.
- Panserat S., Médale F., Brèque J., Plagnes-Juan E., Kaushik S., 2000. Lack of significant long-term effect of dietary carbohydrates on hepatic glucose-6-phosphatase expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Nutr. Biochem.*, 11, 22-29.
- Regost C., Arzel J., Kaushik S.J., 1999. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diets for turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 180, 99-117.
- Regost C., Arzel J., Cardinal M., Robin J., Laroche M., Kaushik S.J., 2001. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 193, 291-309.
- Wilson R.P., 1994. Utilisation of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, 124, 67-80.

Abstract

Domestication and nutrition in fish.

The aim of this paper is to evaluate to what extent, the study of feeding regimes of fish could be valuable to indicate the possibilities and the constraints of their domestication. Though the natural feeding regime of fish seems to be disadvantageous for their domestication, as protein requirement is high, different species could be considered as domesticated. These species are herbivorous, detritivorous, omnivorous as well as carnivorous. In the same way, there are large differences in gut anatomy, but domestication concerns species with or without stomach, and species with short or very long intestine. Nutritional requirements do not allow predicting species that could be domesticated. Some

species seem to be able to use vegetable protein in substitution to fish meal, and it appears that even the most carnivorous species can be fed in large part with a mixture of vegetable protein. Some species can tolerate high dietary lipid levels, others can utilize carbohydrates. These physiological trends must be taken into consideration in their domestication process. But domestication would certainly affect nutritional metabolism and consequently fish biochemical composition as well.

CAHU C., 2004. Domestication et fonction nutrition chez les poissons. *INRA Prod. Anim.*, 17, 205-210.