



HAL
open science

Bases de la nutrition et formulation en aquaculture

Christine Burel

► **To cite this version:**

Christine Burel. Bases de la nutrition et formulation en aquaculture. Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture: réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux, UICN - Union Internationale pour la Conservation de la Nature; Comité Français de l'UICN, 296 p., 2017, 9782831718316. hal-01607152

HAL Id: hal-01607152

<https://hal.science/hal-01607152v1>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

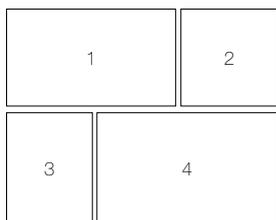
Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture:

Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques,
économiques, sociaux et environnementaux

Selected sections in English



GUIDE POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'AQUACULTURE



Photos de couverture :

- 1 Distribution d'aliments © J.-C. Raymond.
- 2 Évolution des prix des farines et huile de poisson (détail).
- 3 Granulés pour poissons © François Simard.
- 4 Truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus-mykiss*) © Skretting.

La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'UICN, du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, du SNIA et du SPPA sur le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN, du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, du SNIA et du SPPA.

Le présent ouvrage a pu être publié grâce au soutien financier du MEEM et grâce à la collaboration du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, de l'ITAVI, du SNIA et du SPPA.

Publié par :
UICN, Gland, Suisse et Comité français de l'UICN, Paris, France

Droits d'auteur :
© 2017, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources

La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée.

La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur.

Citation :

Le Gouvello, Raphaëla et François Simard (eds.) (2017). *Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture : Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux*. Gland, Suisse : UICN, et Paris, France : Comité français de l'UICN. 296 pp.

Édition :

François-Xavier Bouillon, F-06800
Cagnes-sur-Mer

Impression : Solprint, Mijas, Malaga, Espagne

Disponible auprès de :

Comité français de l'UICN
26, rue Geoffroy Saint Hilaire – 75005 Paris
Tél. : + 33 1 47 07 78 58
e-mail : uicn@uicn.fr

ou

UICN (Union internationale
pour la conservation de la nature)
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Suisse
Tel: +41 22 999 0000
marine@iucn.org
www.iucn.org/resources/publications

Cet ouvrage est imprimé sur papier recyclé.

ISBN : 978-2-8317-1831-6

DOI : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.02.fr>

Chapitre 1 : BASES DE LA NUTRITION ET FORMULATION EN AQUACULTURE

Par Christine Burel, INRA¹

1.1 Historique de l'alimentation des poissons d'élevage

Une approche scientifique de la nutrition des poissons s'est amorcée dès le milieu du 20^{ème} siècle. Ces travaux se sont bien inspirés des connaissances sur l'anatomie du tube digestif, quelques aspects de la physiologie digestive et de l'alimentation des poissons en milieu naturel. L'élevage de poissons était pratiqué en Asie ou en Moyen-Orient déjà au IV^{ème} millénaire av. J.C. En Europe, une aquaculture extensive existait au Moyen-Âge, fournissant un complément alimentaire important à la population locale. Mais dès la fin du XIX^{ème} siècle, la production piscicole s'est étendue à des poissons élevés en bassins. L'alimentation de ces poissons en élevage a reposé pendant longtemps sur des sous-produits divers incluant des sous-produits d'animaux (viscères, foie, graisses, etc.) non consommés par l'homme. Les premiers aliments composés élaborés à partir de matières premières diverses et couvrant, autant que faire se pouvait, les besoins des animaux, ont été les « granulés humides de l'Orégon » des années 1950. Les granulés secs sont apparus aux USA à la fin de la même décennie et au début des Sixties. Dès lors, l'étude des besoins nutritionnels des poissons s'imposait et elle a pris un essor considérable. Selon la FAO (2014), plus de 80 % de la production mondiale de poisson dépend de nos jours d'un apport d'aliment soit de façon exclusive soit comme complément à la nourriture issue du milieu.

Au niveau mondial, c'est l'élevage de carpes qui est le plus fort consommateur d'aliments composés (31 % des aliments produits), suivies de celui des crevettes (22 %). Les salmonidés (truites, saumons) n'arrivent qu'en 4^{ème} position (10 %) et les poissons marins (bar, daurade, turbot...) à la 6^{ème} (8 %). La farine de poisson a longtemps été utilisée comme ingrédient majoritaire des aliments aquacoles, notamment pour les espèces de haut niveau trophique (carnivores). Les plus gros consommateurs de farine de poisson en 2008 étaient les crevettes (34 % de la farine de poisson), suivies des salmonidés (20 %) et des poissons marins (19 %). Les carpes, de type omnivore, n'arrivent qu'en 4^{ème} position des consommateurs de farine de poisson (7 %) (FAO, 2014 ; Tacon et Metian, 2015).

1.2 Régimes alimentaires des poissons sauvages

La classe des poissons est immense, les espèces présentent un degré d'évolution très variable et sont adaptés à des milieux de vie très différents. Il en résulte une grande diversité entre les différentes espèces et une grande variabilité de besoins. Dans leur environnement naturel les poissons rencontrent des éléments alimen-

¹ UR1067 Nutrition Metabolism et Aquaculture, F-64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, France.

taires de nature très diverse. Certaines espèces se nourrissent d'animaux morts, d'autres d'animaux vivants, certains se nourrissent uniquement de micro-organismes, d'autres de plantes et d'animaux de plus grande taille, et enfin certaines espèces de poissons sont opportunistes, s'alimentant de tout ce qu'ils peuvent trouver dans leur milieu. L'alimentation des poissons sauvages comprend donc détritus, phytoplancton, zooplancton, micro- et macroalgues, plantes aquatiques, méiofaune, insectes, crustacés, mollusques, coquillages, poissons, graines et fruits et même des animaux incluant des mammifères (NRC, 2011). Une façon de classer les poissons est de se référer à l'ingrédient majeur de leur régime alimentaire naturel. Ils sont classiquement répartis en 4 grandes catégories (De Silva et Anderson, 1995) :

- les herbivores qui s'alimentent de végétaux (le chanos et quelques carpes...),
- les détritivores qui mangent des organismes en décomposition (le poisson chat, quelques carpes...),
- les omnivores qui ont une alimentation mixte, végétale et animale (la majorité des carpes et quelques tilapias, le mullet...),
- les carnivores qui s'alimentent à partir d'autres poissons et d'invertébrés (les salmonidés, les poissons marins tels que daurade, bar, poissons plats...). On parle aussi de poissons piscivores.

Mais cette division n'est pas stricte. La majorité des espèces ont une alimentation mixte et de plus, un régime alimentaire peut varier au cours de la vie. Par exemple, les larves de la carpe mangent du zooplancton, alors que les juvéniles et les adultes sont considérés comme herbivores. L'aquaculture traditionnelle, pratiquée dans des pays où le poisson est une source importante de protéines (Asie du Sud-Est), s'est orientée naturellement vers des espèces herbivores ou détritivores à un niveau trophique faible et de nos jours les cyprinidés représentent plus de 60 % du volume de la production mondiale. En revanche, l'aquaculture occidentale, plus récente et pratiquée dans des pays dans lesquels le poisson était surtout issu de la pêche maritime, s'oriente plutôt vers des espèces carnivores, plus appréciées par le consommateur dans les pays concernés : truite arc-en-ciel, saumon, bar, daurade, turbot, ombrine, etc (Cahu, 2004).

1.3 Les besoins nutritionnels des poissons d'élevage

La domestication des animaux et naturellement des poissons passe par la détermination de leurs besoins nutritionnels et la couverture de ces besoins avec des aliments élaborés contenant des ingrédients divers et ceci à un moindre coût. Cette alimentation doit aussi assurer la bonne croissance, la bonne santé, le bien-être physiologique, la qualité de la chair et de faibles impacts sur l'environnement. Par ses principes généraux, la nutrition des poissons ne diffère pas de celle des vertébrés terrestres, mais les poissons présentent cependant de nombreuses particularités nutritionnelles ou physiologiques (début de vie à l'état de larves qui sont très petites particulièrement chez les poissons marins), du caractère ectotherme (absence de thermorégulation) et ammoniotélique (excrétion des déchets azotés préférentiellement sous forme d'ammoniaque), des propriétés du milieu aquatique lui-même (flottaison, présence de minéraux dans l'eau), ainsi que de la nature des nutriments présents dans ce milieu (abondance des protéines, rareté des glucides).

1.3.1 Besoins en énergie

Les dépenses énergétiques du poisson sont de 5 à 20 fois plus faibles que celles des vertébrés supérieurs terrestres : au repos, la flottaison permet une quasi absence de travail musculaire et l'ectothermie amène à ne dépenser pour les fonctions vitales qu'un minimum d'énergie, surtout quand la température de l'eau est basse. Le besoin énergétique de croissance est par contre le même chez les poissons que chez les vertébrés terrestres croissant à la même vitesse. C'est la faible dépense d'entretien qui est à l'origine de l'excellente efficacité alimentaire observée chez les poissons (cf Encart Efficacité alimentaire de ce guide).

Les poissons, comme tous les animaux, tirent leur énergie de trois types de molécules : les glucides, les lipides et les protéines. La digestion est assurée par des enzymes extrêmement voisines de celles des mammifères ou des oiseaux et elle conduit aux mêmes molécules : sucres simples, acides gras et acides aminés. Toutefois, l'aptitude des poissons à digérer les macronutriments, bien que variable d'une espèce à l'autre, n'est pas la même que celle des vertébrés terrestres : les poissons digèrent très bien les protéines alimentaires, de façon plus variable les lipides (les lipides saturés solides à basse température étant mal digérés) et de façon médiocre, quoique très variable selon les espèces, certains glucides complexes comme l'amidon cru. Par conséquent, contrairement aux vertébrés terrestres, les nutriments utilisés de façon préférentielle pour la production d'énergie sont les acides aminés dont le catabolisme conduit à la production d'ammoniaque. Il est néanmoins possible, chez les salmonidés du moins, de substituer à ces nutriments des quantités importantes de lipides afin de limiter le catabolisme protéique. On peut obtenir aussi une épargne protéique par l'incorporation de glucides digestibles dans l'aliment (cf Encart Glucides de ce guide).

On peut exprimer l'énergie d'un aliment de plusieurs façons. L'énergie brute d'un aliment correspond à la quantité totale d'énergie qu'il renferme (Figure 2). Chaque macronutriment fournit l'énergie brute à des degrés divers: les glucides : 16,7 kJ/g, les matières azotées (Protéines) : 23,6 kJ/g et matières grasses (lipides) : 37,6 kJ/g. Mais lors de la digestion, comme la digestibilité des aliments et des macronutriments peuvent varier, la totalité de cette énergie ne pourra pas être extraite. Une partie se retrouvera dans les fèces du poisson. L'énergie digestible correspond à la différence entre l'énergie ingérée (énergie brute) et l'énergie qu'on retrouve dans les fèces. A partir de l'énergie digestible, on obtient l'énergie métabolisable, lorsque l'on soustrait l'énergie rejetée par le poisson sous forme d'excrétions branchiales et urinaires. L'énergie nette d'un aliment est l'énergie métabolisable moins l'énergie des dépenses liées à la consommation et à l'utilisation de l'aliment. Cette dernière notion, bien employée en production animale terrestre, est encore très peu utilisée en nutrition des poissons.

D'un point de vue pratique, c'est l'énergie digestible (ED) qui est le plus couramment employée chez les poissons. Plusieurs lois se dégagent : l'ED d'un aliment est étroitement liée à la nature des ingrédients présents dans l'aliment et dépend peu de la taille et de l'état physiologique du poisson. Les plus grandes variations sont rencontrées avec les glucides. La digestibilité d'un amidon peut en effet varier selon son origine botanique, son traitement technologique (les amidons cuits, extrudés,

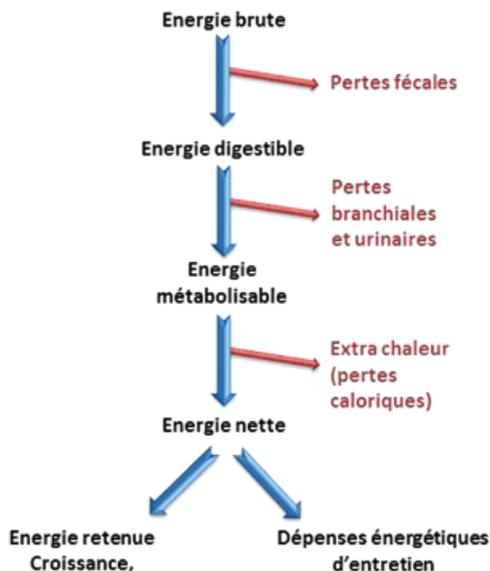


Figure 2.
Bilan d'utilisation de l'énergie alimentaire chez le poisson
(d'après Cho et Kaushik, 1985).

prégélatinisés, sont nettement plus digestibles que les amidons crus) mais aussi selon son niveau d'incorporation dans le régime et même de la température de l'eau. Les espèces réputées omnivores ou herbivores tirent une plus grande quantité d'énergie digestible à partir de l'amidon que les poissons carnivores.

1.3.2 Besoins en protéines / acides aminés indispensables

Chez les poissons situés en haut de la chaîne alimentaire (carnivores), ce sont principalement les protéines et les lipides alimentaires qui leur permettent de couvrir leurs besoins en énergie. Leur ration doit donc être riche en ces deux nutriments. En condition de production, les protéines doivent représenter 38 à 44 % de la ration pour les salmonidés durant la phase de croissance et 40 à 55 % pour les poissons marins, contre 28-38 % pour les poissons situés plus bas dans la chaîne alimentaire (omnivores et végétariens) comme la carpe et le tilapia qui sont plus efficaces pour produire de l'énergie à partir des glucides alimentaires (Tableau 1). Les très jeunes stades nécessitent des contenus protéiques très élevés (de 40 à 55 % quelle que soit l'espèce de poisson), puis les besoins diminuent au fur et à mesure que grandit le poisson (NRC, 2011).

Tableau 1.

Quantité (% de la ration) de protéines recommandées dans l'aliment de différentes espèces de poisson d'élevage en fonction de leur poids. Données NRC (2011).

Espèces	< 20g	20-200g	200-600g	600-1500g	> 1500g
Truite arc-en-ciel	48	40	38	38	36
Saumon atlantique	48	44	40	38	34
Bar	55	50	45	45	-
Daurade	50	45	40	40	-
Carpe	45	38	32	28	28
Tilapia	40	34	30	28	26

Le rôle principal des protéines alimentaires est d'assurer l'entretien et la synthèse des protéines corporelles et donc la croissance protéique, mais toutes les sources protéiques n'ont pas la même efficacité. Il faut d'abord bien entendu tenir compte de leur digestibilité, mais même à digestibilité égale, l'efficacité peut varier. C'est pour cette raison que l'on a introduit la notion de valeur biologique, aptitude d'une protéine alimentaire, une fois digérée, à permettre la synthèse de protéines corporelles plutôt qu'à servir simplement de source d'énergie. La valeur biologique d'une protéine est fonction de sa teneur en acides aminés indispensables (AAI). Il suffit que l'un d'eux soit en plus faible quantité que nécessaire (carence) pour que la valeur biologique soit réduite. C'est pourquoi les sources protéiques doivent apporter les 10 AAI aux poissons, qui sont pratiquement les mêmes que pour les autres animaux (Tableau 2). Il est préférable qu'elles apportent aussi certains acides aminés semi-indispensables, tels que la cystéine et la tyrosine qui ne peuvent être synthétisés qu'à partir d'AAI, ou comme la proline et la glutamine dont la synthèse est lente chez certaines espèces de poissons. L'ensemble des besoins en AAI n'a été déterminé que pour peu d'espèces de poisson (voir NRC, 2011 ; tableau 2). Des méthodes indirectes ont permis de proposer un profil de besoins en acides aminés pour les poissons marins par exemple (Kaushik, 1998), mais c'est loin d'être satisfaisant.

La rétention azotée (proportion relative des gains protéiques corporelles / protéines digestibles ingérées) est généralement optimale lorsque l'apport est réparti à parts égales (ratio de 46/54) entre AAI et Acides Aminés Non Indispensables (AANI) (Green *et al.*, 2002). L'ingrédient alimentaire dont le profil en acides aminés répond le mieux à ces besoins est la farine de poisson. Lorsque l'apport en acides aminés est optimal, les protéines sont retenues avec une plus grande efficacité chez les poissons que chez les mammifères (Mambrini et Guillaume, 1999).

1.3.3 Besoins en lipides / acides gras essentiels

L'apport de lipides dans l'alimentation des poissons, comme dans celle des mammifères, est indispensable pour satisfaire les besoins en acides gras (AG) essentiels (AGE), AG non synthétisés par l'organisme et nécessaire au métabolisme cellulaire ainsi qu'au maintien de l'intégrité des membranes cellulaires. Les lipides jouent

Tableau 2.

Besoin en acides aminés essentiels (% matière azotée totale) de différentes espèces de poisson d'élevage. Données NRC (2011).

AAI	Truite arc-en-ciel	Saumon atlantique	Bar	Daurade	Carpe	Tilapia
ARG	3.5-4.2	4.1-4.8	3.9	7.7-8.1	4.3	4.0-4.2
HIS	1.0-1.2	ND	ND	ND	2.1	1.7
ILE	1.5-2.8	ND	ND	ND	2.5	3.1
LEU	2.3-9.2*	ND	ND	ND	3.3	3.4
LYS	3.0-8.4*	4.0-5.0	4.4	8.6	5.7	5.1-5.7
MET	0.7-1.9	1.7	1.8-1.9	ND	2.0	2.1-2.8
PHE	2.0	ND	ND	ND	3.3	3.8
THR	2.6	2.6	2.3-2.6	ND	3.9	3.8
TRP	0.3-0.9	ND	ND	ND	0.8	1.0
VAL	1.7-3.4	ND	ND	ND	3.6	2.8

*Les valeurs les plus hautes correspondent aux besoins des alevins de truite.

aussi un rôle dans l'absorption de certains composés alimentaires (vitamines liposolubles, pigments caroténoïdes). Comme signalé plus haut, par unité de masse, les matières grasses apportent plus d'énergie dans les aliments que les protéines ou les glucides.

Les besoins en AGE diffèrent selon les espèces de poisson. Pour les poissons d'eau douce, le besoin en AGE serait de l'ordre de 1 % d'acide α -linoléique (ALA) ou de 0,5 % d'EPA (acide eicosapentanoïque) et DHA (acide docosahexanoïque), les acides gras longs polyinsaturés de la série oméga 3. Chez les poissons marins, l'ALA est considéré comme inefficace pour la couverture du besoin en AGE, d'où une nécessité absolue d'apporter ces AGE à un taux de 0,5 à 1 % d'EPA et DHA dans les aliments. Ces derniers acides gras ne sont abondants que dans les produits marins où ils sont, à l'origine, synthétisés par le plancton. Il est donc impossible de se passer de lipides d'origine marine pour l'alimentation des poissons marins.

D'une manière générale, les lipides sont bien ou très bien digérés s'ils sont apportés en quantité raisonnable, sauf s'ils sont sous forme solide à la température où vit le poisson. Les AG poly-insaturés sont particulièrement bien digérés (à 90-98 %) ; par contre, pour les AG saturés, l'utilisation digestive est plus faible et elle décroît avec la longueur de la chaîne carbonée, passant de 70 % pour le myristate (14:0) à 50 % pour le stéarate (18:0) chez le saumon.

Au cours des dernières décennies, l'évolution de la composition des aliments piscicoles, notamment des salmonidés, a été caractérisée par une diminution de la teneur en protéines (de 50 à moins de 40 %) associée à une augmentation de l'apport lipidique (de 12-15 % à plus de 30 % pour les salmonidés) dans le but de réduire les rejets azotés (épargne protéique) tout en améliorant les performances

de croissance. L'effet d'épargne des protéines par les lipides a été montré chez de nombreuses espèces de poissons d'élevage. Il existe cependant des différences entre les espèces dans leur capacité de digérer de grandes quantités de lipides. Ainsi, chez le turbot, la plie, le pagre, le tilapia, la carpe commune et la carpe chinoise, on observe une baisse de l'utilisation digestive des lipides au-delà de 10-15 % de lipides dans l'aliment. Actuellement, les aliments commerciaux contiennent des teneurs en lipides comprises entre 19 et 30 % pour les salmonidés en grossissement, 16 à 22 % pour les poissons marins comme le bar ou la daurade et 10 à 16 % pour les poissons d'étang. Il convient de retenir aussi que l'utilisation des aliments « haute énergie », riches en lipides, tend à favoriser l'engraissement des poissons, ce qui peut avoir des répercussions négative sur la qualité des produits (Corraze, 1999 ; Corraze et Kaushik, 2009).

1.3.4 Besoins en vitamines

Les premiers aliments semi-synthétiques développés par Halver (USA) avaient en effet pour objet de travailler sur les besoins en acides aminés puis en vitamines. Pour la petite histoire, lors des tout premiers essais réalisés, les chercheurs Américains avaient mis en évidence l'intérêt d'incorporation des sous-produits d'origine animale qui permettaient aux truites et saumons d'avoir une croissance convenable due à un facteur « H ». In fine, ceci correspondait à la vitamine B6 qui incorporé dans un aliment composé permettait d'avoir de très bons résultats. Il s'en est suivi de nombreux travaux qui ont permis de quantifier les besoins en différentes vitamines hydrosolubles (Halver, 1972). Ces premiers travaux ont permis d'élaborer les aliments composés avec un mélange vitaminique adéquat permettant de couvrir les besoins en toutes les vitamines. Une comparaison avec les connaissances disponibles pour d'autres animaux terrestres montrait de très grandes divergences qui ne pouvaient s'expliquer par les différences entre familles de vertébrés. Dans les années 1990, les travaux de Woodward (Canada) chez la truite arc-en-ciel (Woodward, 1994) ont permis de montrer une très grande similitude dans les besoins quantitatifs en vitamines hydrosolubles entre le poulet, le porc et la truite qui a conduit à modifier les recommandations de la NRC en 1993. Ces recommandations sont reprises encore dans sa dernière version (NRC, 2011) (Tableau 3). Ceci fut par ailleurs vérifié aussi chez le saumon et chez le bar (Kaushik *et al.*, 1998). NRC (2011) rapporte que les données les plus complètes ne sont disponibles que pour la truite arc-en-ciel. En l'absence de données précises pour les autres espèces en élevage, dans la pratique, c'est cette base qui sert pour élaborer les mélanges vitaminiques utilisés dans les aliments pour de nombreuses espèces de poissons.

1.3.5. Besoins en minéraux et oligo-éléments (macro et micro-minéraux)

Comme dans le cas des vitamines, les données sur les besoins quantitatifs en minéraux et oligo-éléments sont limitées (Tableau 4). Parmi les éléments minéraux, le phosphore est celui dont le besoin est le plus important. La minéralisation des structures osseuses (colonne vertébrale, opercules, écailles) est très dépendante de l'apport en phosphore. Une carence en phosphore peut se traduire par une diminution de la croissance squelettique et pondérale, la déminéralisation osseuse et des déformations squelettiques. Un excès de phosphore dans les aliments peut

Tableau 3.

Données sur les besoins quantitatifs en vitamines pour quelques espèces de poissons (d'après NRC, 2011)

Espèce	Saumon atlantique	Carpe commune	Truite arc-en-ciel	Bar
Vitamines liposolubles				
A (mg/kg)	NT	1,2	0,75	31
D (μ g/kg)	NT	NT	40	NT
E (mg/kg)	60	100	50	NT
K (mg/kg)	< 10	NT	R	NT
Vitamines hydrosolubles (mg/kg)				
Thiamine	NT	0,5	1	NT
Riboflavine	NT	7	4	NT
Vitamine B6	5	6	3	NT
Acide Pantothénique	NT	30	20	NT
Niacine	NT	28	10	NT
Biotine	NT	1	0,15	NT
Vitamine B12	NT	NR	R	NT
Acide Folique	NT	NR	1	NT
Choline	NT	1500	800	NT
Myoinositol	NT	440	300	NT
Vitamine C	20	45	20	20

R, Besoin reconnu mais pas quantifié ; NR, pas de besoin ; NT, pas testé.

aussi se traduire par un rejet important de P dans le milieu aquatique contribuant à l'eutrophisation. Ainsi, l'étude du besoin nutritionnel en P et sa disponibilité ont retenu l'attention des nutritionnistes. Des travaux de synthèse récents permettent d'avoir une idée assez précise du besoin en P et de son utilisation par les poissons (Kaushik, 2005 ; Prabhu *et al.*, 2013, 2014).

Bien que reconnaissant l'importance d'un apport adéquat en minéraux et en oligo-éléments, des travaux systématiques n'ont été réalisés que par quelques groupes de recherches. Les travaux dans ce domaine ont beaucoup été réalisés par des chercheurs japonais chez la truite et chez la carpe (le premier ayant proposé un mélange minéral, nommé Ogino salt mixture) mais également par les américains (poisson chat, saumon de pacifique), taiwanais (tilapia) et plus récemment les norvégiens

(saumon atlantique). Pour l'ensemble des minéraux et oligo-éléments, les données sur les besoins quantitatifs ne sont disponibles que pour quelques espèces : truite arc-en-ciel, carpe commune, poisson chat, tilapia, saumon du pacifique (NRC, 2011). Un travail important de méta-analyse / revue systématique des données disponibles pour l'ensemble des minéraux chez de nombreuses espèces de poissons vient d'être réalisé (Prabhu *et al.*, 2014).

Tableau 4 :

Données sur les besoins quantitatifs en minéraux pour quelques espèces de poissons (d'après NRC, 2011)

Espèce	Saumon atlantique	Carpe commune	Tilapia	Poisson chat	Truite arc-en-ciel	Saumon du Pacifique	Bar
Macrominéraux (%)							
Ca	NR	0,34	R/0,7*	R/0,45*	NR	NR	NT
Cl	NT	NT	0,15	0,17	NT	NT	NT
Mg	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	NT	NT
P	0,8	0,7	0,4	0,33	0,7	0,6	0,65
K	NT	NT	0,20-0,30	0,26	NT	0,8	NT
Na	NR	NT	0,15	0,06	NR	NT	NT
Microminéraux (mg/kg)							
Cu	5	3	5	5	3	NT	NT
I	R	NT	NT	1,1	1,1	1	NT
Fe	30-60	150	85	30	NT	NT	NT
Mn	10	12	7	2,4	12	NT	NT
Se	NT	NT	NT	0,25	0,15	R	NT
Zn	37	15	20	20	15	NT	NT

R, Besoin reconnu mais pas quantifié ; NR, pas de besoin ; NT, pas testé.

1.4 Evolution des aliments aquacoles vers une diminution de l'utilisation des farines et des huiles de poissons.

Bien que les premiers aliments pour salmonidés n'aient pas été à base de farines de poissons, avec le développement de l'industrie des farines et huiles de poissons, l'intérêt de l'emploi de tels ingrédients s'est imposé assez rapidement. En ce qui concerne la couverture des besoins en acides aminés indispensables, la farine de poisson correspond le mieux comme ingrédient de référence. En effet, des analyses avaient démontré depuis de longue date qu'il existe une corrélation très étroite entre le profil en acides aminés des poissons entiers et le profil des besoins en AAI. La majorité des farines de poisson sont produites à partir de poissons entiers, présentant, en principe, un faible intérêt pour le marché de consommation humaine (pêche minière : poissons de petite taille, présence d'arêtes). Les procédés industriels de

cuisson, de pressage, d'ajout de solubles et de séchage, permettent de préserver la valeur biologique de la farine de poisson pour l'alimentation animale, mais il faut quatre à cinq tonnes de poisson frais entier pour produire une tonne de farine de poisson. La qualité des farines de poissons peut varier de façon importante selon l'espèce, l'origine et les procédés mis en œuvre dans sa fabrication. Les meilleures farines de poisson contiennent de 66 à 72 % de protéines hautement digestibles. Elles peuvent aussi contenir jusqu'à 12 % d'huile riche en acides gras longs polyinsaturés (AGPI) de la série oméga 3, ainsi que des minéraux et oligo-éléments. Son contenu énergétique élevé (20-22 kJ/g MS) et l'absence de facteurs antinutritionnels sont d'autres atouts en faveur de cet ingrédient (NRC, 2011). De la même manière, il conviendra de retenir l'importance des huiles d'origine marine, seules contenant les AGE pour les poissons et surtout les poissons marins.

Mais les captures de la pêche dans son ensemble et la pêche minière en particulier restent stables depuis 30 ans (FAO, 2014) et par conséquent la disponibilité en farines et huiles de poissons provenant de ces sources est constante, alors que l'aquaculture se développe et avec elle, les besoins en matières azotées (acides aminés indispensables) et en matières grasses (acides gras essentiels). En outre, l'utilisation de farines et d'huiles de poisson provenant de poissons sauvages pour produire du poisson d'élevage fait débat depuis de nombreuses années. D'une manière un peu schématique, on peut dire qu'on produit des poissons avec des poissons, alors que même si les poissons sont de bons transformateurs des protéines ingérées, on conviendra aisément que l'objectif principal doit être la production de protéines animales de qualité pour la nutrition humaine à partir d'autres sources protéiques. Des scientifiques ont tenté de calculer la quantité de poissons sauvages qui serait nécessaire pour produire une tonne de saumon d'élevage (rapport FIFO pour Fish In/Fish Out²).

Tacon & Metian (2008) ont donné le rapport de 4,9:1 pour le saumon, ce qui signifie qu'il faut 4,9 tonnes de poisson sauvage pour produire 1 tonne de saumon, 3,4:1 pour la truite³, 2,2:1 pour les poissons marins, 0,4:1 pour le tilapia, 0,5:1 pour le poisson chat, 0,2:1 pour la carpe, etc. Bien que les chiffres cités peuvent varier beaucoup, les calculs en prenant en compte le progrès réalisé dans le domaine de la substitution des farines et d'huiles de poissons et dans l'amélioration de l'efficacité alimentaire montrent qu'en réalité, l'aquaculture produit plus de protéines d'origine aquatique qu'elle n'en consomme (Torstensen *et al.*, 2008).

2 Equation du rapport FIFO proposée par Kaushik et Troell (2010):

$$\text{FIFO} = \frac{\text{Teneur de l'aliment en farine de poisson (\%)}}{\text{Rendement des captures en farine de poisson (\%)}} + \frac{\text{Teneur de l'aliment en huile de poisson (\%)}}{\text{Rendement des captures en huile de poisson (\%)}} \times \text{IC}$$

IC = Indice de consommation (rapport aliment consommé (g)/gain de poids (g))

Le rendement des captures de pêche en farine de poisson varie de 20 à 25 % et le rendement en huile de poisson varie de 5 à 12 %.

3 Ce chiffre d'un FIFO de 3,4 pour la truite, proposé par Tacon & Metian (2008) est cependant remis en cause. Selon la FEAP en 2015, il est de 1,78 (FIFO brut), associé à 13 % d'incorporation de farine de poisson et 8 % d'huile de poisson. Dans Fish Farming International (2015), un FIFO en dessous de 1 est même annoncé pour le saumon.

Afin de préserver les ressources naturelles tout en permettant un développement durable de l'aquaculture, il a donc été impératif de diminuer le taux d'incorporation d'ingrédients d'origine marine, en ayant recours à d'autres types de matières premières. Les résultats de recherches dans ce domaine montrent qu'il est possible de s'affranchir de la farine de poissons ou du moins renverser les tendances de façon significative. L'application de ces résultats sur un plan industriel dépendra des contraintes d'ordre économiques.

Les produits végétaux constituent de bonnes alternatives. Ils sont disponibles en plus grande quantité et avec plus de régularité que les farines et huiles de poissons. En 2011, il ne restait plus que 20 à 25 % de farine de poisson dans les aliments des espèces dites carnivores, alors que les taux d'incorporation des ingrédients végétaux ont explosé : ils sont maintenant les composants majoritaires des aliments commerciaux aquacoles. Des huiles végétales sont également maintenant utilisées afin de réduire la quantité d'huile de poisson dans la formule. Les produits végétaux sont utilisés en combinaison afin de fournir les AAI et les AGE en quantité suffisante pour répondre aux besoins des poissons (Burel et Médale, 2015). Les sources protéiques d'origine végétale les plus utilisées en Europe sont des graines d'oléagineux (soja, colza, tournesol) sous forme de tourteaux ou de concentrés protéiques, des protéagineux (lupin, féverole, pois), des céréales (maïs, blé) ou des extraits de protéines obtenus à partir de céréales, comme par exemple les glutens. Le remplacement partiel de la farine de poisson par une combinaison de ces ingrédients végétaux donne d'excellents résultats, même s'il est souvent nécessaire de compléter les aliments avec des acides aminés de synthèse (lysine et méthionine principalement). Néanmoins, les études ayant porté sur des taux de substitution très élevés (peu ou pas de farine de poisson) ont mis en évidence des verrous physiologiques bien que les régimes aient contenu tous les nutriments nécessaires (apport d'acides aminés de synthèse inclus) : une baisse de la consommation alimentaire, de l'efficacité alimentaire et du taux de croissance des poissons, ainsi que des modifications métaboliques. Les travaux de recherche doivent être poursuivis afin d'améliorer l'efficacité nutritionnelle des produits végétaux via une réduction des facteurs antinutritionnels qu'ils contiennent (Burel et Médale, 2015).

Une autre stratégie est d'incorporer dans l'aliment des sources de protéines aujourd'hui sous-utilisées provenant des sous-produits d'animaux terrestres. Ces sous-produits animaux sont disponibles en grandes quantités en Union Européenne (UE) et d'un point de vue durabilité, ce sont des ingrédients précieux car ce sont les co-produits des productions animales destinées à l'alimentation de l'homme. En 2008, le plus grand producteur de farines de protéines animales était les États-Unis (USA) avec 4.1 Mt suivie par l'UE avec 3,9 Mt. La production mondiale de ces farines (13 Mt) est plus de deux fois celle rapportée pour la farine de poisson, pourtant, l'utilisation totale de ces farines représente moins de 1% des ingrédients entrant dans la production des aliments pour poisson, avec une grande variation entre les grands pays producteurs. La valeur biologique de ces farines d'origine animale terrestre a fait l'objet de nombreuses études chez différentes espèces de poissons et les résultats montrent que les ingrédients tels que la farine de sang et les farines de sous-produits de volailles sont tous efficaces dans les aliments d'un certain nombre d'espèces aquatiques. Dans les pays extra-européens, ces produits sont utilisés comme sources de protéines dans les aliments aquacoles, alors que ces farines d'origine animale terrestre ont été interdites dans l'UE depuis 2001 dans tous les

régimes des animaux d'élevage pour éradiquer les encéphalopathies spongiformes transmissibles. Néanmoins, après une évaluation intensive des risques, l'interdiction de l'utilisation dans les aliments aquacoles de protéines animales transformées (PAT) de non-ruminants a été levée récemment⁴. Les PAT ne sont pas des farines animales. Ce sont des sous-produits issus d'animaux sains, c'est-à-dire des animaux issus de la chaîne alimentaire conventionnelle, abattus à des fins d'alimentation humaine, mais dont certains morceaux ne sont pas consommés pour des raisons commerciales (morceaux non nobles, pieds de porc, aspects visuels, etc.). Alors que les farines animales sont issues de cadavres d'animaux impropres à la consommation alimentaire. Les PAT présentent de hautes teneurs en protéines avec de bons profils d'acides aminés et pas de facteurs antinutritionnels avérés et elles sont très digestibles chez les poissons et représentent un bon gisement potentiel pour l'alimentation aquacole, à condition que leur emploi soit strictement encadré (cf Guide C).

Concernant le remplacement de l'huile de poisson, les principales huiles végétales produites au niveau mondial sont les huiles de soja et de palme qui représentent plus de 55 % du marché, mais également les huiles de colza et de tournesol (respectivement 14 et 9 % des volumes produits en 2006). Cependant, la composition en AG des huiles végétales est très différente de celle des huiles de poisson. Elles sont dépourvues d'AGPI à longue chaîne oméga 3 et contiennent des proportions élevées d'AG des séries oméga 6 et oméga 9 (en particulier les acides linoléique et oléique), mais aussi d'AG saturés (acide palmitique, en particulier dans l'huile de palme). Certaines d'entre elles contiennent des proportions assez importantes d'ALA, comme dans l'huile de colza (8-10 %), mais surtout dans l'huile de lin (plus de 50 %). Compte tenu de ces différences de composition, l'incorporation d'huiles végétales peut donc avoir des répercussions sur la croissance et la qualité nutritionnelle des produits car la nature des lipides incorporés dans les aliments conditionne la composition en acides gras (AG) de la chair. Or, la préservation de la teneur en acides gras oméga 3 dans la chair des poissons reste l'objectif primordial, surtout pour l'alimentation de l'homme. La substitution de l'huile de poisson par des huiles végétales est donc beaucoup plus problématique que celle des farines de poisson.

Une alternative aux huiles végétales est constituée par les graisses d'origine animale, telle que la graisse de volaille. Comme dans le cas des PAT, seule les graisses de type C3, c'est-à-dire issues des animaux dont la viande est propre à la consommation humaine, sont autorisées. Toutes les graisses C3 de volaille et de porc sont autorisées en France, respectivement depuis 2003 et 2004. Par contre, certaines graisses C3 de ruminants demeurent interdites en alimentation des monogastriques (pour éviter des contaminations croisées des aliments pour ruminants) : certains suifs collectés après fente de carcasse, certaines graisses contenant ou préparées à partir de tissus osseux de ruminants, toutes graisses issues de la production de farine de viande et d'os de ruminant. Des plus, lorsqu'elles proviennent de ruminants, les graisses C3 doivent, pour pouvoir être valorisées en alimentation animale, être purifiées pour contenir moins de 0,15 % d'impuretés protéiques. Les

4 NDLR : pour plus de détails, consulter le chapitre PAT dans le Guide D.

graisses animales ne sont pas sources d'AGPI à longue chaîne oméga 3, mais ce sont des sources d'énergie et elles augmenteraient l'appétence des aliments en comparaison avec les huiles végétales.

Une des solutions trouvées à ce jour pour produire des poissons d'élevage ayant une chair riche en acides gras de type oméga 3, malgré une réduction de l'incorporation d'huile de poisson dans les aliments piscicoles, est de procéder à une période d'alimentation de finition de l'ordre de 12 semaines, en fin de cycle d'élevage, afin de maintenir la valeur nutritionnelle de la chair des poissons (Corraze et Kaushik, 2009). Cette solution pose néanmoins des problématiques de mise en œuvre au niveau des élevages, dans la mesure où les dates de sortie des lots ne sont pas définies très en avance.

1.5 Enjeux et perspectives

Les résultats de la recherche dans le domaine de la nutrition des poissons ont été utilisés par l'industrie pour faire évoluer la composition des aliments aquacoles. Les ingrédients végétaux sont maintenant devenus majoritaires dans les régimes de toutes les espèces aquacoles. Le choix des ingrédients et la formulation des aliments ont été affinés à partir des réponses des différentes espèces aux différents substituts végétaux et l'adaptation des procédés technologiques a permis d'améliorer les qualités nutritionnelles des composés végétaux. Toutefois, les taux de substitution très élevés restent critiques et il faut donc poursuivre l'effort de recherche concernant cette thématique. Des stratégies d'alimentation innovantes pouvant améliorer l'utilisation des régimes végétaux sont étudiées, incluant l'exposition précoce des alevins à des aliments végétaux ou à des nutriments particuliers (glucides par exemple, cf Encart Glucides). Par ailleurs, on observe au sein des lots de truites nourries avec ces aliments à base de végétaux une importante variabilité des performances individuelles, certains individus s'adaptant mieux que d'autres. D'où l'idée qu'il pourrait exister au sein des populations d'élevage une variabilité génétique à l'origine de ces écarts, variabilité susceptible d'être exploitée par sélection pour accélérer l'adaptation des cheptels à des environnements alimentaires contraignants.

Les protéines animales transformées (PAT) qui ont une très bonne valeur biologique et qui viennent d'être autorisées en alimentation aquacole commencent aussi à remplacer la farine de poisson, mais d'autres types d'ingrédients peuvent également être utilisés pour participer au remplacement de la farine et de l'huile de poisson, tels que des macro ou micro-algues, des farines d'insectes, des protéines unicellulaires, etc.

Références

- Burel, C. & F. Medale, 2014. Quid de l'utilisation des protéines d'origine végétales en aquaculture ? *OCL (Oilseeds & fats Crops and Lipids)*, 21(4), D406.
- Cahu, C., 2004. Domestication et fonction nutrition chez les poissons. *INRA Prod. Anim.*, 17 (3) : 205-210.
- Cho, C. Y. & S. J. Kaushik. 1985. Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. . In :Nutrition and Feeding of Fish,, C.B. Cowey, A.M. Mackie and J.G. Bell (Eds.), Academic Press, London. Pp 95-117.
- Corraze, G., 1999. Nutrition lipidique. In : Guillaume J., Kaushik S., Bergot P., Métailler R. (Eds), *Nutrition des poissons et des crustacés*, INRA, Paris, France : 147-170.
- Corraze, G. & S. J. Kaushik, 2009. Alimentation lipidique et remplacement des huiles de poisson par des huiles végétales en pisciculture. *Cah. Agric.*, 18 : 112-118.
- De Silva, S.S. & T.A. Anderson, 1995. *Fish Nutrition in aquaculture*, Chapman and Hall, London, UK, 319 p.
- FAO, 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and Challenges*. 223 pp. <http://www.fao.org/docrep/016/i2727f/i2727f00.htm>
- Green J.A. & R.W. Hardy, 2002. The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. *Fish. Physiol. Biochem.*, 27 : 97-108. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000021878.81647.6e>
- Guillaume J.C., 1999. Introduction. In : Guillaume J., Kaushik S., Bergot P., Métailler R. (Eds), *Nutrition des poissons et des crustacés*, INRA, Paris, France : 25-30.
- Halver, J.E. (Ed.). 1972. *Fish Nutrition*. New York, Academic Press.
- Kaushik, S.J., 1998. "Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles." *Aquatic Living Resources*, 11(5) : 355-358. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)80007-7](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)80007-7)
- Kaushik, S. J., 2005. Besoins et apport en phosphore chez les poissons. *INRA Prod. Anim.*, 18 (3), 203-208.
- Kaushik, S.J., Guouillou-Coustans, M.F. & C. Y. Cho. 1998. "Application of the recommendations on vitamin requirements of finfish by NRC (1993) to salmonids and sea bass using practical and purified diets." *Aquaculture*, 161 (1-4) : 463-474. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00293-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00293-7)
- Kaushik, S.J. & M. Mambrini, 1995. Nutrition azotée des poissons : remplacement partiel ou total de la farine de poissons. *La Pisc. Frçse.*, 118, 12-20.
- Kaushik, S. & M. Troell, 2010. Taking the fish-in fish-out ratio a step further. *Aquaculture Europe*, 35 (1) : 15-17.

- Mambrini, M. & J.C. Guillaume, 1999. Nutrition protéique. *In* : Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot P. & R. Métailler (Eds), *Nutrition des poissons et des crustacés*, INRA, Paris, France : 113-146.
- Médale, F. & S. Kaushik, 2009. Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage. *Cah. Agric.*, 18 : 103-111.
- Médale, F. & J.C. Guillaume, 1999. Nutrition énergétique. *In* : Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. (Eds), *Nutrition des poissons et des crustacés*, INRA, Paris, France : 87-111.
- NRC (National Research Council), 2011. *Nutrition Requirements of Fish*. Washington D.C., USA, National Academy Press.
- Prabhu Antony Jesu, P., Schrama, J. & S.J. Kaushik, 2013. Quantifying dietary phosphorus requirement of fish - A meta-analytic approach. *Aquaculture Nutr.*, 19 : 233-249.
- Prabhu Antony Jesu, P., Schrama, J.W. & S.J. Kaushik, 2014. Mineral requirements of fish: A systematic review. *Rev. Aquaculture*, 6 : 1-48. <https://doi.org/10.1111/anu.12042>
- Rumsey, G. L. 1994. "History of early diet development in fish culture, 1000 B.C. to A.D. 1955." *Progressive Fish-Culturist*, vol. 56, no. 1, pp. 1-6. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1994\)056<0001:HOEDDI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1994)056<0001:HOEDDI>2.3.CO;2)
- Tacon, A.G.J. & M. Metian, 2008. Global overview of the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and Future Prospects. *Aquaculture*, 285 : 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>
- Tacon, A. & M. Metian, 2015. "Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1): 1-10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Torstensen, B. E., M. Espe, M. Sanden, I. Stubhaug, R. Waagbo, G. I. Hemre, R. Fontanillas, U. Nordgarden, E. M. Hevroy, P. Olsvik & M. H. G. Berntssen, 2008. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture*, 285 (1-4) : 193-200). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.025>
- Wolf, L. E., 1951. "Diet experiments with trout." *Prog. Fish Cult.*, Jan 1951: 17-24. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1951\)13\[17:DEWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1951)13[17:DEWT]2.0.CO;2)
- Woodward, B., 1994. "Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids." *Aquaculture*, 124 (1-4): 133-168. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90375-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90375-1)