

Pertinence de l'enrichissement de l'alimentation animale avec des acides gras oméga-3 afin d'améliorer pour l'homme la valeur nutritionnelle des produits dérivés

Jean-Marie BOURRE*

RÉSUMÉ

Pour ce qui concerne les acides gras oméga-3, l'alimentation française apporte environ 50% des apports nutritionnels conseillés en acide alpha-linolénique (ALA). Le problème est donc de connaître les aliments réellement naturellement riches en cet acide, et de préciser l'impact réel des formulations (enrichies en acides gras oméga-3; soit en ALA, soit en ALA et DHA) des rations utilisées dans les élevages sur la valeur nutritionnelle des produits dérivés (viandes, beurre, lait et laitages, fromages et œufs, etc.), et donc leur influence sur la santé du consommateur, évidemment dans un sens favorable. D'autant que les acides gras poly-insaturés oméga-3 (ω 3) bénéficient de 2 grands

axes de valorisations. Le premier réside dans leur importance quantitative et leurs rôles dans le cadre de la mise en place et du maintien de divers organes, le cerveau au premier chef. Le second se trouve dans la prévention de diverses pathologies, les maladies cardio-vasculaires occupant une place prépondérante, avec, depuis peu, certaines maladies psychiatriques.

Les conséquences (qualitatives et quantitatives) de l'amélioration de la composition de l'alimentation animale sur la valeur des produits dérivés consommés par l'homme sont plus importantes chez les mono-gastriques que chez les poly-gastriques. Car, par exemple, les bactéries intestinales hydrogénantes

* Membre de l'Académie de Médecine. INSERM Neuro-pharmaco-nutrition, Hôpital Fernand Widal, 200 rue du Faubourg Saint-Denis. 75745 Paris cedex 10, Mail : jean-marie.bourre@fwidal.inserm.fr, Téléphone : 01 40 05 43 39, Télécopie : 01 40 34 40 64

de ces derniers transforment en acides gras saturés une fraction notable des acides gras poly-insaturés présents dans leur alimentation, leur faisant par conséquent perdre une bonne partie de leur intérêt biologique. Ainsi, dans les meilleures conditions, en nourrissant par exemple les animaux avec des extraits de graines de lin ou de colza (ainsi que de leurs extraits et de leurs huiles), la teneur en ALA est multipliée par environ 2 dans la viande de bœuf, par 6 dans celle de porc, par 10 dans le poulet, par 40 dans les œufs. En nourrissant les animaux avec des extraits de poissons ou d'algues (huiles) la quantité de DHA (acide cervonique, 22 : 6 ω 3) est multipliée par 2 dans la viande de bœuf, par 7 dans le poulet, par 6 dans les œufs, par 20 dans le poisson (saumon). De tels résultats sont obtenus en respectant la physiologie des animaux.

Il convient de mettre l'accent sur les poissons, dont la valeur nutritionnelle pour l'homme en terme de lipides (déterminée par la quantité d'acides gras oméga-3) peut varier considérablement selon la nature des lipides avec lesquelles les animaux sont alimentés. L'objectif de prévention de certains aspects des maladies cardio-vasculaires (et

d'autres pathologies) peut être atteint ou au contraire contrarié selon la nature des acides gras présents dans la chair de poisson, conséquence directe de la nature des lipides avec lesquelles ils ont été nourris. Il en est de même pour les œufs, les œufs "oméga-3" ou "bénéfic" étant en fait voisins des œufs naturels ; point de valorisation considérable montrant leur intérêt : leurs homologues ont participé à la formulation de certains laits adaptés pour nourrissons, dont la composition était la plus proche de celle du lait de femme.

En pratique, l'apport d'acides gras oméga-3 dans l'alimentation des animaux induit des résultats considérables pour les poissons et les œufs, importants pour la volaille et le lapin, intéressants pour le porc, très modestes pour les bovins et les ovins, non valorisable pour le beurre et les produits laitiers. Le surcoût pour les consommateurs reste modeste par rapport au gain considérable de valeur nutritionnelle.

Méd. Nut., 2004, 40, 4 : 157-169

Mots clés : alimentation animale, acides gras oméga-3, valeur nutritionnelle, prix.

ABSTRACT

Pertinence of feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human - Concerning alpha-linolenic acid (ALA) among omega-3 fatty acids, French diet contains about 50 % of the recommended dietary allowances. The problem is to know which foods are naturally rich in this fatty acid, and to determine the true impact of the formulations (enriched in omega-3 fatty acids, either ALA or EPA and DHA) in chows used on farms and breeding centres on the nutritional value of the products (meat, butter, milk and dairy products, cheese, and eggs, etc), and thus their effect on the health of consumers. Omega-3 polyunsaturated fatty acids have two major virtues. The first lies in their quantitative abundance and their role in the development and maintenance of different organs, primarily the brain. The second is their role in the prevention of different pathologies, mainly the cardiovascular diseases, and more lately some psychiatric disorders, from stress to depression and dementia.

The consequences (qualitative and quantitative) of modifications in the composition of animal foods on the value of derived products consumed by humans are more marked when single-stomach animals are concerned than multi-stomach animals. Because, for example, hydrogenating intestinal bacteria of the latter group transform a large proportion of polyunsaturated fatty acids in their food into saturated fatty acids, thus depriving them of any biological interest. Under the best conditions, and feeding animals with extracts of linseed and rapeseed grains for example, the level of ALA acid is increased two-fold in beef and six-fold in pork, ten-fold in chicken, and forty-fold in eggs. By feeding animals with fish extracts or algae (oils) the level of DHA (cervonic acid, 22:6, n-3) is increased 2-fold in beef, 7-fold in chicken, 6-fold in eggs, and 20-fold in fish (salmon). To obtain such results, it is not sufficient to respect only the physiological needs of the animal, which was generally the case with traditional methods.

It is important to stress the role of fish, whose nutritional value for humans in terms of lipids (determined by omega-3 fatty acid levels) can vary considerably according to the type of fats the animals have been fed. The aim of preventing some aspects of cardiovascular disease (and other pathologies) can be achieved, or on the contrary frustrated, depending on the nature of fatty acids present in fish flesh, the direct consequence of the nature of fats with which they have been fed. It is the same for eggs, "omega-3 eggs" being in fact similar to natural eggs, which is a big point in their favour,

were used in the formulation of certain formula milks for infants, whose composition was closest to that of breast milk. What is the effect on the price paid by the consumer? In fact, the additional cost is modest compared to the considerable gain in nutritional value.

Méd. Nut., 2004, 40, 4 : 157-169

Key-words : *Animal feeding, omega-3 fatty acids, nutritional value, cost. Running head : Animal feeding, nutritional value, and derived products.*

INTRODUCTION

Les acides gras oméga-3 constituent une famille (Fig. 1) dont le premier élément est l'acide alpha-linolénique (ALA, 18:3(n-3), 18:3ω3, 18:3 oméga-3), acide gras indispensable ; les autres membres, dérivés de l'ALA, sont constitués de chaînes carbonées plus longues et plus insaturées, les principaux étant l'EPA (acide eicosapentaénoïque, dit timnodonique, 20:5(n-3), 20:5ω3, 20:5 oméga-3)

et le DHA (acide docosahéxanoïque, dit cervonique, 22:6(n-3), 22:6ω3, 22:6 oméga-3). L'objectif de cette revue est d'évaluer la pertinence d'améliorer le contenu en oméga-3 de produits d'origine animale en nourrissant les animaux avec des lipides adaptés à cet objectif ; sachant que l'ALA d'une part et d'autre part l'EPA et le DHA ont des propriétés différentes, et, de ce fait, doivent être pris en considération chacun pour leur propre compte.

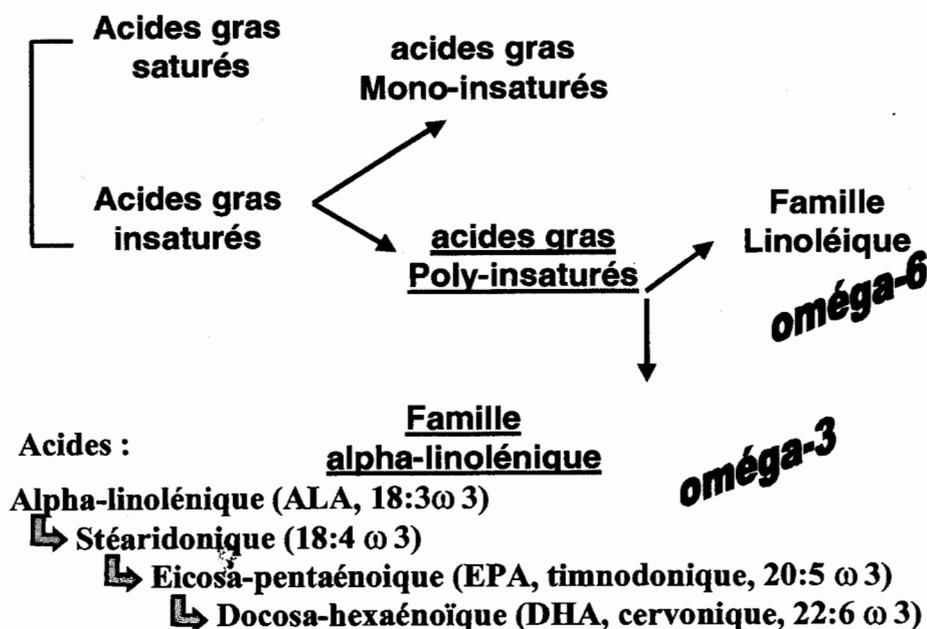


Figure 1 : Les familles d'acides gras

Sur le plan de la santé, tous les oméga-3 ont été mis en exergue dans le cadre de la prévention et du traitement des maladies cardio-vasculaires, notamment ischémiques obstructives. Concernant l'ALA, son intérêt est montré, par exemple, à travers sa richesse dans l'alimentation crétoise, favorable sur le plan cardio-vasculaire (51); le rôle spécifique de cet acide a été confirmé dans l'étude "de Lyon", en prévention secondaire, dans le cadre d'une alimentation rééquilibrée (28). Pour ce qui est du DHA et de l'EPA, l'huile de chair de poisson est un médicament dont l'indication principale est la réduction de l'hypertriglycéridémie. L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) a émis un avis quant aux allégations possibles, dans le domaine cardio-vasculaire exclusivement (3). D'autres domaines font l'objet d'investigations, telle l'inflammation, certaines pathologies rhumatologiques ou dermatologiques (le psoriasis), les cancers et récemment la psychiatrie.

Les oméga-3, et plus particulièrement le DHA, sont impliqués dans les structures du cerveau, et ses fonctions cognitives. En fait, l'ALA a constitué l'une des premières démonstrations expérimentales cohérentes de l'effet d'un macro-nutriment sur la structure et la fonction du cerveau, dont les rôles quantitativement les plus importants sont de participer aux structures membranaires. Il a d'abord été montré que la différenciation et la fonctionnalité de cultures cellulaires de cerveau dissocié nécessitent non seulement l'ALA, mais aussi le DHA et l'acide arachidonique (11). Il a ensuite été démontré que la carence en ALA altérerait le cours du développement cérébral, perturbait la composition des membranes des cellules cérébrales, neurones, oligodendrocytes et astrocytes, ainsi que de la myéline et des terminaisons nerveuses (12). Cette carence se traduit par des modifications de fluidité membranaires, induisant des perturbations biochimiques, physiologiques, génère des perturbations neuro-sensorielles et comportementales (13). En conséquence, la nature des acides gras poly-insaturés (en particulier oméga-3) trouvés dans les laits adaptés pour nourrissons (prématurés comme nés à terme) conditionne les capacités visuelles et cérébrales, y compris intellectuelles (15, 60). Les acides gras poly-insaturés seraient impliqués dans le vieillissement (leur déficit pourrait altérer le renouvellement des lipides des membranes) et certaines maladies psychiatriques (15). Les acides gras

oméga-3 occupent une place importante parmi les nutriments qui participent activement aux structures du cerveau, et donc à son fonctionnement (17), ces considérations ont fait l'objet de livres grand public (14), dont l'un est focalisé sur les oméga-3 (16).

DÉMONSTRATION DE L'INSUFFISANCE DES APPORTS EN FRANCE

Il ressort d'une étude réalisée récemment en Aquitaine que les femmes, en âge d'être enceintes ou qui le sont, absorbent dans leur alimentation seulement 40 % de l'ALA indiqué par les apports nutritionnels conseillés (26), les ANC (41). Des résultats analogues ont été trouvés en Bretagne sur un petit échantillon d'hommes et de femmes (63), mais aussi sur toute la France dans l'étude SUVIMAX tel que rapporté par l'AFSSA (3) (Tableau I) et dans d'autres pays.

La part des huiles végétales reste étonnamment modeste : elles ne fournissent que 9 % seulement de l'ALA consommé dans la région Aquitaine, l'ensemble des végétaux et produits dérivés y concourant pour 27 % (26). Schématiquement, les aliments qui sont les seuls efficaces pour contribuer aux ANC (45), c'est-à-dire susceptibles d'apporter des décigrammes d'ALA en France sont les huiles de colza, de soja et de noix d'une part et une variété d'œufs bien définie, les œufs "oméga-3" ou "bénéfic" (à l'exclusion de tout autre qualité d'œuf, y compris label ou bio) et les noix. Pour ce qui concerne l'ALA dans le règne animal, l'alimentation de la poule pondeuse est donc primordiale. Sachant que les ANC pour l'ALA sont de 2 g pour les hommes et de 1,6 g pour les femmes, 2 g quand elles sont enceintes, et 2,2 g quand elles allaitent. Le tableau II indique les principaux aliments apportant de l'ALA. En ce qui concerne les très longues chaînes carbonées oméga-3 (EPA et DHA), les estimations de consommations ne sont pas encore publiées pour tout le territoire de la France, exception faite de l'étude bretonne montrant dans cette région un apport de 110 mg de DHA + EPA, donc en deçà des recommandations, qui sont de 120 et 100 mg quotidiens pour les hommes et les femmes pour le seul DHA. Les poissons gras sauvages en sont généralement très riches, comme ceux d'élevage à condition expresse que leur

Oméga-3

	France entière SUVIMAX	Aquitaine	Bretagne	Recommandations ANC (g/jour)
ALA				
- Hommes (g/jour)	1	-		2
- Femmes (g/jour)	0,8	0,7		1,6
- Enceintes (g/jour)		0,8		
- Hommes + femmes			0,75	
Rapport linoléique/ALA				
- Hommes	11,1	-		5
- Femmes	10,8	15		5
- Hommes + femmes			14,9	

Tableau I : Consommation d'oméga-3 en France. D'après SUVIMAX, Rapport AFSSA 2003. ANC : apports nutritionnels conseillés de 2000. L'étude Aquitaine n'a examiné que les femmes (26). Dans l'étude Bretonne (63), les hommes et les femmes ne sont pas individualisés; leur consommation d'EPA + DHA est de 110 mg quotidiens. Les consommations d'EPA et de DHA séparés ne sont pas encore déterminées en France.

nourriture ait été satisfaisante, ainsi que les œufs "oméga-3" ou "bénéfic". L'objet de cette synthèse est précisément d'évaluer la contribution réelle, à la couverture des besoins, de la consommation par l'homme de produits animaux dont le

	ALA (g/100 g)	Linoléique/ALA
Lait maternel	0,6	10
Matières grasses		
- Saindoux	1	9
- Suif de bœuf	0,5	4
- Suif de mouton	0,2	0,7
- Beurre	0,5	1,5
- Margarine "oméga-3"	1,2	12
Huiles		
- Colza	10	1,9
- Soja	7	6,7
- Noix	12	4,4
- Olive	0,7	9
Viandes		
- Cheval	0,10 à 0,8	0,6
- Lapin	0,10 à 0,5	2 à 5
- Poulet	0,04 à 0,2	6,3
- Canard	0,04 à 0,2	9,8
Œuf "oméga-3"	0,4	3,4

Tableau II : Sources d'ALA pour l'homme. D'après (3, 16). Bien que contenant 54 g d'ALA pour 100 g, l'huile de lin est actuellement interdite pour la consommation humaine, en France, contrairement à d'autres pays. Les viandes de poly-gastriques (bovins, ovins ou caprins) ne sont pas référencées, car leurs contenus en ALA, EPA et DHA sont très faibles.

contenu en acides gras oméga-3 est amélioré par l'utilisation d'aliments destinés aux animaux, riches eux-mêmes en oméga-3, soit du fait de la présence d'ALA, soit du fait de l'EPA et du DHA. Les aliments enrichis par addition finale d'acides gras oméga-3 (par exemple le lait enrichi en huile de poisson par addition de micro-capsules, de pain enrichis en oméga-3 par le même procédé ou avec des graines de lin) ne sont pas inclus dans ce travail.

Il est intéressant de noter que les effets de l'alimentation animale sur la valeur nutritionnelle (pour l'homme) des produits dérivés destinés à être consommés par l'homme est en fait beaucoup plus importante que la méthode culturale chez les végétaux. En effet, la nature des sols, et surtout les cultivars et les espèces, induisent des particularités dans la composition des produits végétaux qui sont plus importantes que la méthode de culture elle-même. Par exemple, en termes de lipides, les variations de composition en acides gras poly-insaturés des huiles d'arachide d'origine africaine ou américaine sont notables. Il en est de même pour les huiles d'olives : une étude de diverses variétés d'oliviers cultivés en Tunisie (1) met en évidence des différences notables dans le contenu en acide oléique, linoléique et alpha-linolénique. Globalement, plus que le mode de culture, c'est le choix de l'espèce végétale qui conditionne une valeur nutritionnelle recherchée. Il n'en est pas du tout de même chez les animaux, dont les lipides de réserve peuvent être très sensibles à la nature

des acides gras qui leur sont fournis dans leur alimentation.

LES MODULATIONS DE LA COMPOSITION DES LIPIDES DES VIANDES DE MAMMIFÈRES

Très schématiquement, il convient de faire une distinction pratique, entre d'une part les lipides de structures (dans une bonne proportion génétiquement déterminés, principalement issus des membranes biologiques) et d'autre part ceux de réserves (modulables par la nature de l'alimentation animale). Parmi les lipides de structure des tissus et organes, il faut distinguer les lipides polaires (principalement les phospholipides), dont les variations quantitatives et qualitatives en raison de la nature de leurs acides gras constitutifs sont relativement peu dépendantes de l'alimentation. En effet, leur présence dans l'assemblage des membranes biologiques est globalement sous contrôle génétique, car chaque membrane bénéficie d'un profil particulier en acides gras (modulable cependant dans une certaine mesure par l'alimentation) en relation avec ses fonctions spécifiques.

En revanche, les lipides de réserve (lipides qualifiés de neutres, principalement les triglycérides), dont les quantités varient considérablement selon la situation anatomique et l'état d'engraissement de l'animal, présentent des profils en acides gras qui dépendent évidemment de l'espèce, voire de la race, mais aussi notablement de l'alimentation de l'animal.

Les mécanismes physiologiques et biochimiques de la digestion induisent des modifications (parfois radicales) des nutriments, à commencer par les lipides. C'est ainsi que, pour ce qui concerne les mammifères, les animaux mono-gastriques (cochon, cheval, lapin), doivent être considérés, dans une certaine mesure, différemment des poly-gastriques (bovins, ovins, caprins). Par exemple, chez ces derniers, les bactéries du rumen hydrogènent les acides gras poly-insaturés des végétaux; de ce fait la viande des poly-gastriques est beaucoup moins riche en ces acides gras (plus de 2 fois moins) que la viande des mono-gastriques. Une étude montre que le pouvoir hydrogénant du rumen du mouton est relativement important, il peut saturer les acides gras mono-insaturés et poly-insaturés; les très longues

chaînes poly-insaturées semblent toutefois beaucoup moins hydrogénées (6). En d'autres termes, la viande porcine est incontestablement plus riche en acides gras poly-insaturés que la viande bovine. Par conséquent les tentatives d'enrichissement en acides gras poly-insaturés, par exemple en ajoutant dans l'alimentation des graines de lin (63), ou bien des produits de la mer ou encore leurs succédanés, seront beaucoup plus efficaces avec le cochon ou le lapin qu'avec le bœuf ou l'agneau. Pour ce qui concerne le beurre, et dans une moindre mesure les fromages, la valorisation par la dénomination de "beurre oméga-3" constitue un argument nutritionnellement inacceptable, bien que l'enrichissement soit notable: en effet, les quantités d'acides gras oméga-3 restent très faibles par rapport aux besoins, et la quantité d'acides gras saturés trop importante, bien que légèrement diminuée. D'ailleurs, les différences de contenu en ALA du beurre selon les saisons sont elles-mêmes notables, respectivement de 0,35 g/100 g de beurre au printemps, de 0,43 en été et de 0,26 en hiver (40).

Bien évidemment, si les acides gras poly-insaturés sont protégés à l'encontre des mécanismes d'hydrogénation réalisés par les micro-organismes du rumen (à l'aide de micro-encapsulation, par exemple; ou bien par traitement chimique), ils sont alors partiellement retrouvés dans les tissus et le lait des ruminants, ce qui a été vérifié chez la chèvre (38).

Quelques exemples (Tableaux III, IV et V) illustrent les possibilités d'enrichissement en acides gras oméga-3 de diverses viandes bovines et de porc, consommées par l'homme, en modifiant la nourriture donnée aux animaux. Outre les graines de lin (63) et de colza, il s'est avéré (Tableau VI) qu'incorporer des huiles de poisson dans la nourriture des vaches constituait un moyen intéressant pour augmenter la teneur en EPA du lait (37).

LES POISSONS

Certes, le contenu en ALA des poissons représente moins de 0,5 % des acides gras (2); mais ils sont riches, pour ceux qui sont gras, en EPA et en DHA. D'une manière générale, il est connu depuis de nombreuses années que les poissons d'élevage présentent un rapport oméga-3/oméga-6 moins bon que celui trouvé chez les poissons

Oméga-3

	Contrôle	Porcs nourris avec des graines de lin
ALA (% des acides gras)	1,10	7,90
DHA (% des acides gras)	0,07	0,05

Tableau III : Viande de porc (*longissimus thoracis*, lipides neutres). En % des acides gras (58). 15% de graines de lin dans l'alimentation fournie pendant 42 jours aux animaux. Les données quantitatives (g/100 g de viande) ne sont pas calculées dans cette publication.

Viande d'agneau	Témoin	Poisson	Huile de poisson
ALA (g/100g de viande)	0,021	0,008	0,0120
DHA (g/100g de viande)	0	0,004	0,0017

Tableau V : Viande d'agneau (*longissimus thoracis*, triglycérides). En % des acides gras (49, 50). Les animaux ont été traités pendant 46 jours. Le régime "poisson" est à base de 9% de poisson. Le régime "huile de poisson" est à base de 1,5% d'huile de poisson.

	Contrôle	Vaches nourries avec des graines de lin	Vaches nourries avec de l'huile de poisson	Vaches nourries avec des graines de lin + de l'huile de poisson
ALA (% des acides gras)	0,40	0,60	0,40	0,40
ALA (g/100g muscle)	0,01	0,02	0,02	0,01

Tableau IV : Viande charolaise (*longissimus thoracis*, lipides neutres). En % des acides gras (54). Viande charolaise. Le DHA n'est pas déterminé dans cette étude au niveau des lipides polaires, il l'est à celui des phospholipides. Durée du traitement : 120 jours. Les animaux ont été nourris à l'ensilage d'herbe à 14 h, les concentrés ont été donnés à 9 h et à 16 h 30. Les graines de lin sont à raison de 213 g/Kg d'alimentation, l'huile de poisson à 54 g/kg. Dans le mélange graines de lin et d'huile de poisson, les quantités sont de 213 g de graines et 27 g d'huile.

sauvages : 2 contre 7 chez la truite, 2 contre 5 chez l'anguille, 6 contre 11 chez le saumon (62). Or selon la nature des lipides qui leurs sont données (46), la quantité d'acides gras oméga-3 peut varier considérablement dans les chairs des poissons, de plus de 1 à 20. La différence est d'autant plus spectaculaire qu'ils sont plus gras. Les lipides qui sont utilisés dans l'alimentation des poissons d'élevages peuvent être sélectionnés en fonction du cours monétaire mondial, plutôt que d'après leur valeur nutritionnelle pour ces animaux. Pour des raisons de besoins en protéines animales et donc de production de farines animales à partir des poissons, les huiles de poisson sont actuellement répandues, car peu onéreuses ; mais dans un passé récent, et peut-être dans un futur proche (notamment du fait de la contamination de ces huiles de poisson de certaines régions du globe par les dioxines et de l'interdiction Européenne de réaliser des mélanges d'huiles d'origines différentes), les lipides végétaux pourraient à nouveau être

g huile de poisson/vache/jour	0	150	300	450
ALA (g/100g de graisse)	0,30	0,33	0,37	0,32
EPA (g/100g de graisse)	0,07	0,10	0,15	0,53
DHA (g/100g de graisse)	0,05	0,06	0,12	0,17

Tableau VI : Composition du lait de vaches recevant de l'huile de poisson. Traitement de 6 semaines. (37).

utilisées ; en particulier les huiles de palme et le coprah, ce qui est à éviter dans la perspective de l'alimentation humaine, car trop riches en acides gras saturés.

Apporter dans l'alimentation des poissons des composants de type graines de lin ou de colza est efficace seulement chez les poissons végétariens

	Chair de truites nourries avec de l'huile de hareng	Chair de truites nourries avec de la graisse de porc
EPA (% des acides gras)	3,50	1,40
EPA (g/100g, recalculé)	0,17	0,06
DHA (% des acides gras)	11,50	4,30
DHA (g/100g, recalculé)	0,55	0,18

Tableau VII : Truites nourries avec des huiles de hareng ou de porc. D'après (9). Les régimes sont constitués de 8% d'huile de hareng ou de 8% de graisse de porc. Le régime à base d'huile de hareng contient 1,7% des acides gras sous forme de DHA, celui à base de graisse de porc : 0,5%, les valeurs sont respectivement de 2,2% et de 0,5% pour l'EPA ; l'ALA n'est pas détecté. Poids de départ des poissons : 30 g. Durée de l'expérience : 124 jours. La présence d'alpha-tocophérol améliore les quantités de DHA et d'EPA dans la chair de la truite, passant avec l'huile de hareng, de 8,9% des acides gras en son absence jusqu'à 11,3% (en présence de 1,5 g/kg.), les chiffres de ce tableau sont ceux obtenus avec 50 mg/kg. Les truites nourries avec de la graisse de porc ont une teneur en lipides de leur chair moins importante (4,2%) que celles nourries avec l'huile de hareng (4,8%) ; ces chiffres ont permis de recalculer les quantités d'EPA et de DHA en g/100g de chair de truite.

Oméga-3

	Cuisse de poulet nourri avec de l'huile de maïs	Cuisse de poulet nourri avec de l'huile de Lin	Cuisse de poulet nourri avec de l'huile de Menhaden
ALA (% des acides gras)	1,4	11,4	1,1
DHA (% des acides gras)	0,2	0,4	1,4

Tableau VIII : Cuisse de poulet (avec la peau). Régimes administrés à partir du premier jour de vie. 2,5% d'huile de maïs, de lin ou de menhaden dans l'alimentation, pendant 7 à 8 semaines. (22). Les données fournies dans la publication ne permettent pas de calculer les quantités en g/100g de viande.

(comme la carpe), qui possèdent les équipements enzymatiques assurant la transformation de l'ALA en EPA et DHA. En revanche, un tel régime s'avère peu efficace chez les poissons carnivores, dont les activités enzymatiques sont réduites, voire absentes (il en est de même pour les félinés, au rang des animaux terrestres). Or, environ 75 % des poissons consommés par l'homme sont carnivores obligatoires, presque incapables de transformer l'ALA en EPA et en DHA. De ce fait, la quantité de DHA dans la chair de truites (carnivores) est directement fonction de celle de cet acide trouvée dans ses aliments. Nourrir des truites avec de l'huile de hareng ou du lard (Tableau VII) induit des différences importantes au niveau des acides gras oméga-3 (9). En fait, une alimentation pour les truites contenant de l'ALA n'assure l'élaboration que de 5% du DHA, par rapport à une alimentation convenable (8).

Nourrir des saumons avec soit de l'huile de colza soit avec du lard de porc fournit des teneurs identiques en DHA et en EPA dans les tissus du poisson, alors que l'huile de hareng permet d'obtenir des teneurs beaucoup plus importantes (29). Avec le saumon comme avec la truite, utiliser de l'huile d'olive ou bien une variété d'huile de tournesol (dénommée Oléisol, car riche en acide oléique) n'est pas satisfaisant, ce choix ne permet pas d'atteindre les teneurs en acides gras oméga-3 obtenues en nourrissant les animaux avec de l'huile de hareng (57).

	1,0%	2,5%	5,0%
ALA (% des acides gras)	4,4	11,4	21,9
DHA (% des acides gras)	0,4	0,5	0,3

Tableau IX : Effet de quantités croissantes d'huile de lin sur la composition en acides gras de la cuisse de poulet (avec sa peau). En % des acides gras totaux (22). Mêmes remarques que pour la figure précédente.

En pratique, il pourrait s'agir de déterminer, avant l'abattage, la durée pendant laquelle les poissons carnivores pourraient recevoir des acides gras oméga-3 (EPA et DHA) afin de présenter au consommateur des produits de composition acceptable.

LES VOLAILLES

La physiologie digestive des oiseaux préserve relativement bien les acides gras poly-insaturés consommés par ces animaux, en particulier ceux issus des huiles de poisson (Tableau VIII). Un effet dose est observé dans les tissus de l'animal, notamment pour ce qui concerne des teneurs en ALA. Cet effet est moins net avec le DHA, car de fortes teneurs alimentaires en graines de lin diminuent légèrement cet acide, alors que le ALA est augmenté (Tableau IX). La volaille est donc considérée comme un excellent moyen de modifier favorablement le statut nutritionnel des américains en oméga-3 (61). Certains végétaux riches en acides gras oméga-3, notamment subtropicaux (chia) ont même été proposés pour alimenter les volailles (7).

LES ŒUFS SOURCES
D'ACIDE ALPHA-LINOLÉNIQUE
ET DE DHA POUR L'HOMME

Les œufs constituent en quelque sorte le modèle de valorisation alimentaire, car la nature des acides gras du jaune d'œuf est en relation notable avec la nature de lipides mangés par la poule. Contrairement au dogme qui a longtemps prévalu, la composition de l'œuf n'est pas constante, quelle que soit la nourriture donnée aux poules pondeuses, qui auraient été des "filtres

	Contrôle	Poules pondeuses nourries avec de l'huile de :			
		poisson	lin	soja	carthame
ALA % des acides gras	0,4	0,4	9,4	1,7	0,06
EPA % des acides gras	-	2,1	0,3	-	-
DHA % des acides gras	0,6	6,3	2,2	1,8	0,2
Total ω 3 % des acides gras	0,6	10,1	12,6	3,1	0,3
Total ω 6 + ω 3 % des acides gras	18,8	19,7	32,3	28,3	36,2
ω 6 / ω 3	17,8	1,0	1,6	8,1	120

Tableau X : Effets de diverses huiles données dans l'alimentation de poules pondeuses sur la composition des œufs qu'elles produisent. Poules pondeuses Leghorn blanches. Jaune d'œuf. En % des acides gras totaux (5). Les régimes sont à 10% d'huiles, soit de poisson, soit de lin, soit de carthame. Les témoins sont à 2,9% de lipides non spécifiées. Les données fournies dans la publication ne permettent pas de calculer les quantités en g/100g de jaune d'œuf. L'huile de poisson était le Maxepa.

régulateurs". Le rapport oméga-6/oméga-3 (de toutes longueurs de chaînes carbonées) des œufs grecs "sauvages" est de 1,3, alors qu'il est de 19,9 pour les œufs qualifiés d'"industriels". Les quantités d'ALA sont multipliées par 40, celles de DHA par 5 (55). Une explication en est la consommation par les poules pondeuses grecques de pourpier (une variété de salade), d'escargots et de limaces.

L'enrichissement est proportionnel à la quantité d'acides gras oméga-3 présents dans l'alimentation de la poule. Il est plus important avec des graines de lin qu'avec des graines de colza (24). La relation est réelle (Tableau X) entre le contenu en ALA dans les aliments (fourni par de l'huile de graine de lin ou de soja), et la teneur en cet acide dans le jaune de l'œuf (5).

Les effets des oméga-3 des œufs ont été évalués à travers des études de paramètres physiologiques chez l'animal, pour extrapolation à l'homme. Il s'est agi de déterminer les effets au niveau de paramètres physiologiques lipidiques (36, 35) ou bien au niveau de la construction et du fonctionnement des membranes biologiques, surtout cérébrales (18-21).

Ainsi, la consommation de ces œufs par l'homme induit des effets bénéfiques, en particulier au niveau des paramètres biologiques lipidiques (47, 48). Une alimentation (32) contenant 0%, 10% et 20% d'huile de graine de lin provoque une augmentation de l'ALA des œufs (28, 261 et 527 milligrammes par œuf) et du DHA (51, 81 et 87 milligrammes par œuf), tout en ne modifiant pas la concentration du cholestérol dans les œufs. L'essai a porté sur 28 hommes, man-

geant 4 œufs par jour (à titre expérimental, et non pas pour promouvoir une telle consommation, évidemment). Il n'a pas été observé de différence significative au niveau de leur cholestérol total, du cholestérol-HDL, ni de la teneur plasmatique en triglycérides. En revanche, les sujets consommant des œufs oméga-3 bénéficient d'une augmentation de l'ALA et du DHA, associée à une diminution du rapport oméga-6/oméga-3 dans les phospholipides des plaquettes. Cette étude conclut, pour répondre aux prescriptions gouvernementales (Canadiennes en l'occurrence) et promouvoir l'augmentation de la consommation d'acides gras oméga-3, que les œufs constituent un aliment très intéressant.

Les œufs enrichis en oméga-3 modulent le profil lipidique sanguin chez les patients hypercholestérolémiques, induisant une diminution des triglycérides sériques et une réduction de l'aggrégation des plaquettes; les acides gras oméga-3 pourraient provoquer un déplacement de la taille des LDL vers des particules moins athérogènes (43). Actuellement, des œufs multi-enrichis de manière naturelle sont mis sur le marché dans certains pays, en particulier au niveau des acides gras oméga-3, de la vitamine E et de caroténoïdes (lutéine et zéaxanthine). Ils s'avèrent efficaces pour améliorer un certain nombre de paramètres biologiques chez l'homme (59).

En alimentation infantile, des extraits de jaune d'œufs, le plus souvent des lécithines (issus de poules nourries avec des aliments judicieusement choisis) ont été ajoutés par quelques marques de laits adaptés pour nourrisson, et de ce fait, ce lait présentait l'avantage de fournir les mêmes quanti-

Oméga-3

	ALA		EPA + DHA	
	Contrôle	Lin	Contrôle	Lin
Lait % des acides gras	0,3	0,9	0,1	0,1
Œufs % des acides gras	0,6	6,6	0,8	1,6
Porc % des acides gras	1,1	2,9	0,2	0,2
Poulet % des acides gras	1,4	6,0	0,2	0,4
Absorption par les volontaires (g/jour)	0,75	1,65	0,11	0,25

Tableau XI : Teneur en acide ALA, EPA et DHA des aliments et effet sur les quantités absorbées par l'homme. D'après (63) La viande bovine n'a pas figuré dans l'essai. Les pièces de découpes (situations anatomiques) ne sont pas précisées.

tés d'acides gras à très longues chaînes – notamment les acides gras oméga-3 – que le lait de femme (4, 25, 27, 39, 56). Les acides gras du plasma sanguin et des globules rouges sont identiques chez les enfants nourris au sein et chez ceux recevant un lait adapté contenant des extraits de jaune d'œuf enrichi en acides gras oméga-3 (10). Parallèlement, le lait de femmes consommant des œufs enrichis en acides gras oméga-3 contient lui aussi de plus grandes quantités de ces acides (24).

RECONSTITUTION D'UNE ALIMENTATION HUMAINE BASÉE SUR DES PRODUITS D'ANIMAUX NOURRIS AVEC DES GRAINES DE LIN

Un groupe de volontaires (63) a reçu des aliments issus soit de l'agriculture classique, soit d'animaux (viande bovine, lait, beurre et fromage, viande porcine, volaille et œufs) nourris partiellement avec des graines de lin (lesquelles sont particulièrement riches en ALA). Le test a porté sur 32 hommes et 43 femmes, âgés de 25 à 45 ans, qui ont reçu pendant 35 jours soit des aliments enrichis, soit des aliments standards (interrompue d'une période intermédiaire de la même durée dite de "wash out").

L'effet des aliments enrichis est très intéressant au niveau de l'apport chez l'homme (Tableau XI) : il est doublé pour l'ALA (passant de 0,75 à 1,65 g/jour) permettant d'approcher les ANC ; d'autant que le total des oméga-3 passe de 0,86 à 1,91 g/jour. Le rapport linoléique/alpha-linolénique est divisé par environ 2 (passant de 14,9 à 6,8), atteignant presque les recommandations (le chiffre est de 5). Les effets sur les lipides

sanguins des consommateurs sont mesurables, avec un doublement de la teneur de l'ALA dans le sérum (de 0,44 à 0,93), le rapport oméga-6 totaux/oméga-3 totaux passant de 14,3 à 10,2, alors que le rapport acide linoléique / acide alpha-linolénique passe de 71 à 34. L'expérience est donc incontestablement efficace.

INCIDENCES SUR LE GOÛT DE L'ALIMENT FINAL ABSORBÉ PAR L'HOMME

Les lipides sont principalement concernés, car ils participent directement à la saveur des aliments. Ceux de la viande sont en relation linéaire avec sa qualité, parmi ceux-ci les phospholipides constituent les principaux générateurs de saveur (33). Outre la réaction de Maillard, la nature des acides gras poly-insaturés de la viande de bœuf a une incidence sur son goût, à travers l'élaboration de composés volatils lors de la cuisson, (30). Des substances particulières (2-alkyl-thiopyrans et 2-alkylthiophenes) ont été identifiées dans la viande cuite de bœuf et de mouton (31).

Une étude portant sur la viande de porc enrichie (2 % en huile de poisson et 1 % en huile de colza) montre que l'enrichissement en acides gras oméga-3 ne modifie ni la couleur ni le goût (42). Au contraire, de fortes quantités de graines de lin (15% de l'alimentation) pourraient dans certaines conditions modifier légèrement le goût de la viande : l'intensité est plus forte, associée à des défauts plus fréquents (52, 53). Concernant les volailles, l'utilisation de fortes quantités de graines de lin ou d'huile de poisson menhaden modifie le goût de leur viande (34). En ce qui concerne les

œufs, nourrir des poules pondeuses avec de l'huile de menhaden n'induit pas de modulations notables du goût (44).

**SURCÔÛ MODESTE
POUR LE CONSOMMATEUR,
AUGMENTATION CONSIDÉRABLE
DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE :
EXEMPLES CHIFFRÉS**

Il est donc manifestement possible d'améliorer considérablement la valeur nutritionnelle, en particulier au niveau de la qualité des acides gras des lipides, mais aussi de certains micro-nutriments indispensables ou non, en re-considérant la nourriture des animaux de boucherie ; pour la rapprocher d'une alimentation traditionnelle, sinon naturelle (14). Actuellement, des produits riches en acides gras oméga-3 sont commercialisés. Il est donc possible d'évaluer le coût de cette richesse (Tableau XII). Entre le label et le plein air d'une part et d'autre part les "œufs oméga-3", le surcoût de l'alimentation animale est de 5 % soit 1 % à la production, ce qui se traduit par une augmentation du prix de 4 % pour le consommateur. La valeur nutritionnelle est multipliée par 9, le prix de l'unité oméga-3 est par conséquent divisé par autant.

CONCLUSIONS

Encore faut-il que le consommateur choisisse les bons morceaux de découpe ou les filets de poisson, et sache les préparer avant de manger. Car chaque espèce recèle des morceaux maigres, et d'autre gras. Par exemple, deux recettes de pot-au-feu peuvent induire des teneurs en lipides très différentes, selon qu'il est confectionné avec du plat de côte (16 % de lipides) ou du jarret (4 % de lipides). Un minimum de plat de côte apporte onctuosité et goût, à défaut, le met devient trop "sec". La cuisson exerce une influence sur la teneur en lipides, mais moins qu'il n'est généralement affirmé. La grillade n'élimine pas tous les lipides ; de même que l'utilisation de matière grasse dans une préparation n'est pas toujours un facteur déterminant de la teneur en lipides. Par exemple, une part d'entrecôte grillée contient

encore 12 % de lipides, alors qu'une portion normale de bourguignon n'en recèle que 7 %.

De plus, l'influence des préparations est primordiale. Par exemple, pour ce qui est du carrelet, la teneur en lipides, qui n'est que de 2 % quand il est cuit à la vapeur, atteint 16 % dès qu'il est frit. Des écarts similaires se retrouvent avec la limande cuite nature ou panée. Quant au hareng, il contient autant de lipides qu'il soit cru ou frit, mais ce ne sont pas les mêmes. En effet, les lipides de ce poisson gras se dissolvent dans ceux du bain de friture non consommé, en revanche ce poisson s'imprègne des huiles du bain de friture, qui se substituent à celles qui étaient naturellement présentes. La valeur nutritionnelle du poisson pané ou frit dépend donc presque intégralement de la valeur nutritionnelle de l'huile utilisée pour sa cuisson. Selon sa sélection et sa préparation culinaire, le poisson prévient ou accélère les maladies cardiovasculaires, entre autres (16).

Il est plus que temps que les cahiers des charges, de la distribution et de la restauration collective au premier chef, ne se contentent plus d'exiger les teneurs minimales en toxiques, mais aussi définissent la valeur nutritionnelle réelle des aliments, qui doivent prioritairement nourrir, sans intoxiquer. Cela est obligatoire et urgent pour les poissons et les œufs, entre autres. Car l'apport d'acides gras oméga-3 dans l'alimentation des animaux induit des résultats considérables pour les poissons et les œufs, importants pour la volaille, intéressants pour le porc, très modestes pour les bovins et les ovins, non intéressant pour le beurre et les produits laitiers (16).

	Euros pour 1g d'acide alpha-linolénique (50% des ANC)
Colza	0,015
Soja	0,03
Noix	0,05
Œuf - "lin" standard	0,9
Œuf oméga-3 M...	1,3
Isio-4	0,12
Œuf standard	8
Œuf label ou plein air	12

Tableau XII : Coût de l'acide alpha-linolénique des œufs par rapport à celui des huiles végétales. Le coût quotidien de 50 % des ANC en DHA est d'environ 2 centimes d'euros, avec le maquereau et la sardine, ce qui représente moins de 10 grammes de chair. D'après (14, 16).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABAZA L. *et coll.* - Caractérisation des huiles de sept variétés d'oliviers tunisiens. *OCL*, 2002, **9**, 174-179.
2. ACKMAN R.G. - Nutritional composition of fats in seafoods. *Prog. Food Nutr. Sci.*, 1989, **13**, 161-289.
3. AFSSA - Acides gras de la famille oméga 3 et système cardiovasculaire : intérêt nutritionnel et allégations. *AFSSA*, 10 juillet 2003.
4. AGOSTONI C. *et coll.* - Prolonged breast-feeding (six months or more) and milk fat content at six months are associated with higher developmental scores at one year of age within a breast-fed population. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2001, **501**, 137-41.
5. ANDERSON G.J. *et coll.* - Rapid modulation of the n-3 docosahexaenoic acid levels in the brain and retina of the newly hatched chick. *J. Lipid Res.*, 1989, **30**, 433-441.
6. ASHES J. *et coll.* - Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil into tissue and serum lipid of ruminants. *Lipids*, 1992, **27**, 629-631.
7. AYERZA R. *et coll.* - Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as an omega-3 fatty acid source for broilers : influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meats, growth performance, and sensory characteristics. *Poult. Sci.*, 2002, **81**, 826-837.
8. BELL M.V., DICK J.R., PORTER A.E. - Biosynthesis and tissue deposition of docosahexaenoic acid (22:6n-3) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids*, 2001, **36**, 1153-1159.
9. BOGGIO S. *et coll.* - The influence of dietary lipid source and alpha-tocopheryl acetate level of product quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 1985, **51**, 13-24.
10. BONDIA-MARTINEZ E. *et coll.* - Fatty acid composition of plasma and erythrocytes in term infants fed human milk and formulae with and without docosahexaenoic and arachidonic acids from egg yolk lecithin. *Early Hum. Dev.*, 1998, **53**, S109-S119.
11. BOURRE J.M. *et coll.* - Effect of polyunsaturated fatty acids on fetal mouse brain cells in culture in a chemically defined medium. *J. Neurochem.*, 1983, **41**, 1234-1242.
12. BOURRE J.M. *et coll.* - Alterations in the fatty acid composition of rat brain cells (neurons, astrocytes and oligodendrocytes) and of subcellular fractions (myelin and synaptosomes) induced by a diet devoided of (n-3) fatty acids. *J. Neurochem.*, 1984, **43**, 342-348.
13. BOURRE J.M. *et coll.* - The effects of dietary alpha-linolenic acid on the composition of nerve membranes, enzymatic activity, amplitude of electrophysiological parameters, resistance to poisons and performance of learning task in rat. *J. Nutr.*, 1989, **119**, 1880-1892.
14. BOURRE J.M. - Diététique du cerveau : la nouvelle donne. *Éditions Odile Jacob*. 2003. Bourre J.M. : La diététique du cerveau de l'intelligence et du plaisir. *Éditions Odile Jacob*. 1990, (Paris) France. Bourre J.M. : De la inteligencia y el placer, la dietetica del cerebro, Biblioteca Mondadori, 1991 Espagne. Bourre J.M. : Intelligenz und Ernährung, Econ Verlag, 1992 Germany. Bourre J.M. : La dietetica del cervello, Sperling Kupfer, 1992, Italy. Bourre J.M. : Comida inteligente, a dietetica do cérebro, Gradiva, 1993 Portugal. Bourre J.M. : Brainfood, Little Brown, 1993, USA.
15. BOURRE J.M. - Effets des nutriments (des aliments) sur les structures et les fonctions du cerveau : le point sur la diététique du cerveau. *Rev. Neurol.*, 2004, **160**, 767-792.
16. BOURRE J.M. - La vérité sur les oméga-3. *Odile Jacob*. 2004.
17. BOURRE J.M. - Roles of unsaturated fatty acids (especially omega-3 fatty acids) in the brain at various ages and during ageing. *J. Nutr. Health and Aging*, 2004, **3**, 163-174.
18. CARRIE I. *et coll.* - Diets containing long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids affect behaviour differently during development than ageing in mice. *Br. J. Nutr.*, 2000, **83**, 439-447.
19. CARRIE I. *et coll.* - Phospholipid supplementation reverses behavioral and biochemical alterations induced by n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency in mice. *J. Lipid Res.*, 2000, **41**, 473-480.
20. CARRIE I. *et coll.* - Specific phospholipid fatty acid composition of brain regions in mice. Effects of n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency and phospholipid supplementation. *J. Lipid Res.*, 2000, **41**, 465-472.
21. CARRIE I. *et coll.* - Docosahexaenoic acid-rich phospholipid supplementation: effect on behavior, learning ability, and retinal function in control and n-3 polyunsaturated fatty acid deficient old mice. *Nutr. Neurosci.*, 2002, **5**, 43-52.
22. CHANMUGAM P. *et coll.* - Incorporation of different types of n-3 fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.*, 1992, **71**, 516-521.
23. CHERIAN G., SIM J.S. - Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. *Poultry Sci.*, 1991, **70**, 917-922.
24. CHERIAN G., SIM J.S. - Changes in the breast milk fatty acids and plasma lipids of nursing mothers following consumption of n-3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs. *Nutrition*, 1996, **12**, 8-12.
25. CHIROUZE V. *et coll.* - Red blood cell fatty acid composition in low-birth-weight infants fed either human milk or formula during the first months of life. *Acta Paediatr. Suppl.*, 1994, **405**, 70-77.
26. COMBE N., BOUE C. - Apports alimentaires en acides linoléique et alpha-linolénique d'une population d'Aquitaine. *OCL*, 2001, **8**, 118-121.
27. DECSI T., THIEL I., KOLETZKO B. - Essential fatty acids in full term infants fed breast milk or formula. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal.*, 1995, **72**, F23-F28.
28. DE LORGERIL M. *et coll.* - Mediterranean alpha-linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. *The Lancet*, 1994, **343**, 1454-1459.
29. DOSANJH B. *et coll.* - Efficacy of canola oil, pork lard and marine oil singly or in combination as supplemental dietary lipid sources for juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 1984, **36**, 333-345.
30. ELMORE J.S. *et coll.* - Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 1619-1625.
31. ELMORE J.S., MOTTRAM D.S. - Formation of 2-alkyl-(2H)-thiapyrans and 2-alkylthiophenes in cooked beef and lamb. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 2420-2424.
32. FERRIER L.K. *et coll.* - Alpha-Linolenic acid- and docosahexaenoic acid-enriched eggs from hens fed flaxseed : influence on blood lipids and platelet phospholipid fatty acids in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1995, **62**, 81-86.
33. GANDEMER G. - Lipides du muscle et qualité de la viande. Phospholipides et flaveur. *OCL*, 1997, **4**, 19-25.
34. GONZALEZ-ESQUERRA R., LEESON S. - Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *British Poultry Sci.*, 2000, **41**, 481-488.
35. IDE T., MURATA M. - Depressions by dietary phospholipids of soybean and egg yolk origins of hepatic

- triacylglycerol and fatty acid synthesis in fasted-refed rats. *Ann. Nutr. Metab.*, 1994, **38**, 340-348.
36. JIANG Z., SIM J.S. - Effects of dietary n-3 fatty acid-enriched chicken eggs on plasma and tissue cholesterol and fatty acid composition of rats. *Lipids*, 1992, **27**, 279-284.
 37. KEADY T.W., MAYNE C.S., FITZPATRICK D.A. - Effects of supplementation of dairy cattle with fish oil on silage intake, milk yield and milk composition. *J. Dairy Res.*, 2000, **67**, 137-153.
 38. KITESSA S. *et coll.* - Utilisation of fish oil in ruminants. II. Transfer of fish oil fatty acids into goat's milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2001, **89**, 201-208.
 39. KOHN G., SAWATZKI G., VAN BIERVLIET J.P. - Long-chain polyunsaturated fatty acids in infant nutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1994, **48**, S1-S7.
 40. LEDOUX M. *et coll.* - Variations saisonnières et régionales des taux d'acide linoléiques conjugués dans les beurres français. *Sci. Des Alim.*, 2003, **23**, 443-462.
 41. LEGRAND P. *et coll.* - Lipides. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Martin A éditeur. *Tec et doc Lavoisier*, 2000, 63-82.
 42. LESKANICH C.O. *et coll.* - The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical, and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *J. Anim. Sci.*, 1997, **75**, 673-683.
 43. LEWIS N.M., SCHALCH K., SCHEIDELER S.E. - Serum lipid response to n-3 fatty acid enriched eggs in persons with hypercholesterolemia. *J. Am. Diet. Assoc.*, 2000, **100**, 365-367.
 44. MARSHALL A., SAMS A., VAN ELSWYK M. - Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil. *J. Food Sci.*, 1994, **59**, 561-563.
 45. MARTIN A. - Apports nutritionnels conseillés pour la population française. *Téch. et Doc. Lavoisier*, 2000.
 46. MEDALE F., LEFEVRE F., CORRAZE G. - Qualité nutritionnelle et diététique des poissons : constituants de la chair et facteurs de variation. *Cah. Nutr. Diet.*, 2003, **1**, 37-44.
 47. O'BRIEN B.C., ANDREWS V.G. - Influence of dietary egg and soybean phospholipids and triacylglycerols on human serum lipoproteins. *Lipids*, 1993, **28**, 7-12.
 48. OH S.Y. *et coll.* - Eggs enriched in omega-3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1991, **54**, 689-695.
 49. PONNAMPALAM E.N. *et coll.* - Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets. *J. Anim. Sci.*, 2001, **79**, 698-706.
 50. PONNAMPALAM E.N. *et coll.* - Effects of dietary lipid type on muscle fatty acid composition, carcass leanness, and meat toughness in lambs. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 628-636.
 51. RENAUD S. *et coll.* - Cretan Mediterranean diet for prevention of coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1995, **61**, 1360-1367.
 52. ROMANS J.R. *et coll.* - Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: II. Duration of 15% dietary flaxseed. *J. Anim. Sci.*, 1995, **73**, 1987-1999.
 53. ROMANS J.R. *et coll.* - Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed. *J. Anim. Sci.*, 1995, **73**, 1982-1986.
 54. SCOLLAN N.D. *et coll.* - Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.*, 2001, **85**, 115-124.
 55. SIMOPOULOS A.P., SALEM N. - n-3 fatty acids in eggs from range-fed greek chickens. *The new England journal of medicine*, 1989, **16**, 1412.
 56. SIMOPOULOS A.P., SALEM N. - Egg yolk as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant feeding. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1992, **55**, 411-414.
 57. SKONBERG D., RASCO B., DONG F. - Fatty acid composition of salmonid muscles changes in response to high oleic acid diet. *J. Nutr.*, 1994, **124**, 1628-1638.
 58. SPECHT-OVERHOLT S. *et coll.* - Fatty acid composition of commercially manufactured omega-3 enriched pork products, haddock, and mackerel. *J. Anim. Sci.*, 1997, **75**, 2335-2343.
 59. SURAI P.F. *et coll.* - Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2000, **54**, 298-305.
 60. UAUY R. *et coll.* - Term infant studies of DHA and ARA supplementation on neurodevelopment: results of randomized controlled trials. *J. Pediatr.* 2003, **143**, S17-S25.
 61. VAN ELSWYK M.E. *et coll.* - Poultry-based alternatives for enhancing the omega 3 fatty acid content of American diets. *World Rev. Nutr. Diet.*, 1998, **83**, 102-115.
 62. VAN VLIET T., KATAN M. - Lower ration of n-3 to n-6 fatty acids in cultured than in wild fish. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1990, **51**, 1-2.
 63. WEILL P. *et coll.* - Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Ann. Nutr. Metab.*, 2002, **46**, 182-191.