

OU TROUVER LES ACIDES GRAS OMÉGA-2 ET COMMENT ENRICHIR L'ALIMENTATION ANIMALE AVEC DES ACIDES GRAS OMÉGA-3 AFIN D'AMÉLIORER POUR L'HOMME LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES PRODUITS DÉRIVÉS : QUELLE UTILITÉ ET QUELLE EFFICACITÉ ?

**Where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals
with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase
nutritional value of derived products for human :
what is actually useful ? (a)**

J.-M. BOURRE

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

Résumé : Les acides gras poly-insaturés oméga-3 ($\omega 3$) bénéficient de 2 grands axes de valorisation. Le premier réside dans leur importance quantitative et leurs rôles dans le cadre de la mise en place et du maintien des structures cérébrales 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 acides gras oméga-3, entre autres, permettent un meilleur maintien des structures cellulaires cérébrales, et donc préviennent dans une certaine mesure le vieillissement. 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, tout particulièrement pour les personnes âgées. 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, entre autres, les bactéries intestinales hydrogénantes 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 un 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 bovine, 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 (notamment leurs huiles) la quantité de DHA (acide certronique,

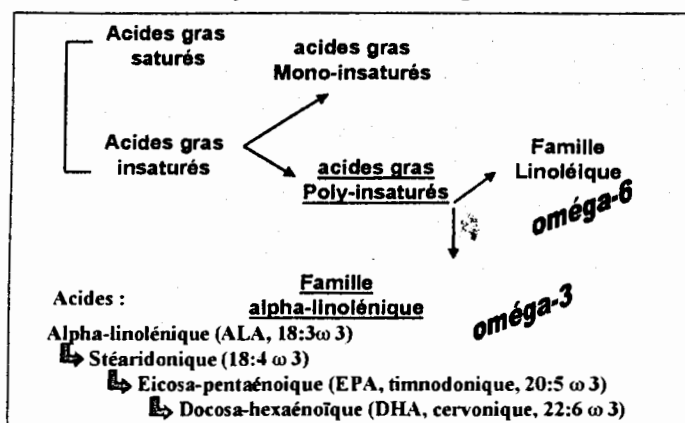
22:6 ω 3) est multipliée par 2 dans la viande bovine, par 7 dans le poulet, par 6 dans les œufs, par 20 dans le poisson (saumon). De tels résultats sont obtenus en respectant la physiologie des animaux. Il convient de mettre l'accent sur les poissons, dont la valeur nutritionnelle pour l'homme en terme 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", "bénéfic" ou "columbus" 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 en termes de contenu en acides gras oméga-3.

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

Introduction

Une revue récente (1) dans " Age et Nutrition " a récemment attiré l'attention sur le rôle des acides gras (notamment oméga-3) au niveau des structures et des fonctions du cerveau à divers âges de la vie, chez les modèles animaux et chez l'homme (2), et plus spécifiquement sur leur intervention dans le domaine de la psychiatrie (3). Les acides gras oméga-3 constituent une famille (figure 1) dont le premier élément est l'acide alpha-linolénique (ALA, 18:3(n-3), 18:3 ω 3, 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), 20:5 ω 3, 20:5 oméga-3) et le DHA (acide docosahéxanoïque, dit cervonique, 22:6(n-3), 22:6 ω 3, 22:6 oméga-3).

Figure 1
Les familles d'acides gras



Par exemple, 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. 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 (4). 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 acides gras poly-insaturés, notamment oméga-3, seraient impliqués dans le vieillissement : leur déficit pourrait altérer le renouvellement des lipides des membranes.

Les oméga-3, et plus particulièrement le DHA, sont donc 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 (5). Il a ensuite été démontré que la carence en ALA perturbait la composition des membranes des cellules cérébrales, neurones, oligodendrocytes et astrocytes, ainsi que de la myéline et des terminaisons nerveuses (6). Cette carence se traduit par des modifications de fluidité membranaires, induisant des perturbations biochimiques et physiologiques, elle génère des perturbations neuro-sensorielles et comportementales (2). 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 (7, 8). Les acides gras oméga-3 occupent une place importante parmi les nutriments qui participent activement aux structures du cerveau, et donc à son fonctionnement (9), ces considérations ont fait l'objet de livres grand public (10), dont l'un est focalisé sur les oméga-3 (11).

récemment en Aquitaine que les femmes, en âge d'être enceintes ou qui le sont, absorbent dans leur alimentation seulement 40% de l'ALA prescrits dans les apports nutritionnels conseillés français, les ANC (13). Des résultats analogues ont été trouvés en Bretagne sur un petit échantillon d'hommes et de femmes (14), mais

Tableau 1
Consommation d'oméga-3 en France

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

D'après SUVIMAX, Rapport AFSSA 2003. ANC : apports nutritionnels conseillés de 2000. L'étude Aquitaine n'a examiné que les femmes (12). Dans l'étude Bretonne (14), 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.

Cette synthèse souhaite évaluer la contribution réelle, à la couverture des besoins, de la consommation par l'homme de produits animaux dont le 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 enrichi en oméga-3 par le même procédé ou avec des graines de lin) ne sont pas inclus dans ce travail. La bio-disponibilité des acides gras oméga-3 présents dans les capsules et gélules est brièvement présentée dans la discussion. L'objectif est de préciser la nature des aliments réellement riches en acides gras oméga-3 et d'évaluer la pertinence des méthodes d'amélioration du 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. D'autant que l'alimentation occidentale, en particulier celle des français, est trop pauvre en ALA.

Démonstration de l'insuffisance des apports en France et dans les pays occidentaux

Les ANC pour l'ALA sont de 2g pour les hommes et de 1,6 g pour les femmes, et de 1,5 g chez les personnes âgées. Or, en France (12), il ressort d'une étude réalisée

aussi sur toute la France dans l'étude SUVIMAX tel que rapporté par l'AFSSA (3) (tableau I) et dans d'autres pays : au Canada (15), en Suède (16) et aux USA (17). 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 (14) 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.

Schématiquement, les aliments qui sont les seuls efficaces pour contribuer aux ANC (13, 18), 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 de type "oméga-3", "bénéfic" ou "columbus" (à l'exclusion de tout autre qualité d'œuf, y compris label ou bio) et les noix. Le tableau II indique les principaux aliments apportant de l'ALA. Les poissons gras sauvages en sont généralement très riches, comme ceux d'élevage à condition expresse que leur nourriture ait été satisfaisante, ce qui constitue précisément un aspect majeur de cette synthèse.

Tableau 2
Sources d'ALA pour l'homme

	ALA (g/100g)	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

D'après (4, 11). Bien que contenant 54 g d'ALA pour 100g, 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.

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 (19) met en évidence des différences notables dans le contenu en acides oléique et linoléique, ainsi qu'en ALA. 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 principalement 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 poly-insaturés (plus de 2 fois moins) que la viande des mono-gastriques.

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, 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. Bien évidemment, les avancées des découvertes en génétique, associées à une meilleure connaissance des besoins nutritionnels, ont permis un accroissement des performances de croissance, notamment chez le poulet et le cochon, en particulier au niveau du muscle ; et plus spécifiquement de réduire considérablement l'adiposité des carcasses chez le porc (20). Dans cette espèce, une supplémentation alimentaire avec de l'huile de colza provoque des changements de la composition des lipides de ses tissus, qui induisent à leur tour des modifications des qualités technologiques du tissu adipeux et de celui de la viande (21), et par conséquent

modulent leur intérêt nutritionnel pour l'homme qui les consomme. En pratique, par exemple, nourrir des porcs avec de l'ALA (tel que trouvé dans des graines de lin) à la quantité de 10 g par kilo d'aliment provoque une augmentation de l'ALA dans leur graisse, jusqu'à pouvoir y atteindre la teneur de 6,8 g/100 g (22). Il est intéressant de noter que l'addition d'ALA peut stimuler la croissance des cochons en fin d'engraissement, cet effet est d'ailleurs indépendant de la conversion de l'ALA en EPA et en DHA (23). Curieusement, la viande de lapin a été très peu étudiée (24).

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.

Tableau 3
Viande de porc (longissimus thoracis, lipides neutres)

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

En % des acides gras (99). 15% de graines de lin dans l'alimentation fournie pendant 42 jours aux animaux. Les données quantitatives (g/100g de viande) ne sont pas calculées dans cette publication.

revanche, la bio-hydrogénation est importante dans le rumen de la vache ; et, par exemple, la supplémentation avec de l'ALA se traduit par l'apparition d'acides gras trans, produits de l'hydrogénation de l'ALA (28). Au contraire de ce qui est observé chez le mouton, l'analyse chimique des acides gras du duodénum de bovin montre une forte hydrogénation des acides gras alimentaires à 20 et 22 tomes de carbone (29). Il est important de noter que l'idée très répandue, affirmant que l'huile de lin diminue la digestibilité des autres nutriments, déduite d'études faites sur le mouton, n'est pas valable chez la vache laitière nourrie avec 3% d'huile de lin (30). Bien mieux, nourrir de vaches avec des graines de lin augmente le pourcentage de protéines ainsi que le rapport oméga-3/oméga-6 (31). En revanche, l'utilisation d'huile de poisson diminue significativement la quantité d'aliments absorbés, augmente la production de lait mais diminue les teneurs en protéines, en caséine et en lipides chez la chèvre (32). 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 quantités 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 (33). Outre les graines de lin (14) et de colza, il s'est avéré (tableau VI) qu'incorporer des huiles

Tableau 4
Viande charolaise (longissimus thoracis, lipides neutres)

	Vaches nourries avec l'alimentation témoin	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

En % des acides gras (100). Viande charolaise. Le DHA n'est pas déterminé dans cette étude au niveau des lipides polaires (phospholipides). Durée du traitement : 120 jours. Les animaux ont été nourris à l'ensilage d'herbe à 14h, les concentrés ont été donnés à 9h et à 16h30. Les graines de lin sont à raison de 213 g/Kg d'alimentation, l'huile de poisson à 54g/kg. Dans le mélange graines de lin et d'huile de poisson, les quantités sont de 213 g de graines et 27g d'huile.

Chez l'agneau, le traitement de graines de lin par le formaldéhyde permet d'augmenter le rapport " acides gras poly-insaturés / acides gras saturés " chez l'agneau dans le foie et le tissu adipeux, mais pas dans le muscle (25) ; des essais ont même été réalisés avec des algues (26). 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 (27). En

de poisson dans la nourriture des vaches constituait un moyen intéressant pour augmenter la teneur en EPA du lait (34).

Tableau 5
Viande d'agneau (longissimus thoracis, triglycérides)

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

En % des acides gras (101, 102). 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.

Tableau 6
Composition du lait de vaches recevant de l'huile de poisson

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

Traitement de 6 semaines. (34).

La micronisation des graines de lin n'apporte pas d'avantages (35). 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 (36). En revanche, l'extrusion pourrait augmenter l'efficacité intestinale des graines de lin (37).

Les poissons

Certes, le contenu en ALA des poissons représente moins de 0,5% des acides gras (38) ; 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 sauvages : 2 contre 7 chez la truite, 2 contre 5 chez l'anguille, 6 contre 11 chez le saumon (39). Or selon la nature des lipides qui leur sont données (40), 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. Malheureusement, il arrive que les lipides utilisés dans l'alimentation des poissons d'élevages soient éventuellement sélectionnés en fonction de leur cours monétaire mondial, plutôt que d'après leur valeur nutritionnelle pour les poissons (constatation valable pour les autres espèces, y compris terrestres). 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 utilisées ; en particulier les huiles de palme et le coprah, cette alternative est à éviter dans la perspective de l'alimentation humaine, car trop riches en acides gras saturés. Les poissons nourris avec ce type de lipides contiennent beaucoup moins d'acides gras oméga-3, amis beaucoup plus d'acides gras saturés, ce qui n'est pas recommandable en consommation humaine, au moins dans une optique cardio-vasculaire.

En fait, apporter dans l'alimentation des poissons des composants de type graines de lin ou de colza est efficace seulement chez les poissons végétariens (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 félidés, 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 et de saumons (carnivores) est directement fonction de celle de cet acide trouvée dans ses aliments. Nourrir des saumons avec soit de l'huile de colza soit avec du lard de porc fourni des teneurs identiques en DHA et en EPA dans les tissus du poissons, alors que l'huile de hareng permet d'obtenir des teneurs beaucoup plus importantes (41). 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 (42). 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 (43). 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 (44).

En pratique, il pourrait s'agir de déterminer, avant l'abattage, la durée nécessaire 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.

Tableau 7
Truites nourries avec des huiles de hareng ou de porc

	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

D'après (43). 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.

Il existe des centaines de publications, portant sur les modèles animaux et chez l'homme, montrant les effets des acides gras oméga-3, en particulier ceux des huiles de poissons, dans le cadre de la prévention des maladies cardio-vasculaires ischémiques, et de l'infarctus cérébral (l'attaque). Un grand nombre d'études réalisées chez l'homme ont montré une relation inverse entre le risque de maladie coronaire (entre autres) et la consommation de poisson gras. De plus, la consommation de poisson gras induit une augmentation des acides gras oméga-3 dans le sang, elle-même en relation avec le risque de mort subite cardiaque. De nombreux essais d'intervention ont montré l'effet positif de la consommation de poissons (et de gélules formées de triglycérides issus de chair de poisson gras). Les mécanismes d'action des acides gras oméga-3 se situent d'abord au niveau de la réduction des triglycérides sériques (ce qui constitue leur indication principale dans le cadre de la mise sur le marché de ces gélules), ensuite par des effets anti-arythmique, anti-thrombotique, anti-athérosclérose, anti-inflammatoire, réducteur de la pression sanguine, améliorant les fonctions des cellules endothéliales et musculaires des vaisseaux sanguins, accroissant la fluidité des membranes. Toutefois, les effets spécifiques, soit de l'EPA, soit du DHA, ne sont pas encore clairement déterminés. A fortiori, les indications des acides gras oméga-3 purifiés, généralement sous forme d'esters éthyliques, sont trop peu documentées. Il faut noter que l'"American Heart Association" a recommandé l'utilisation de capsules d'huile de chair de poisson chez les patients atteints de maladies coronaires avérées. En pratique nutritionnelle, l'absorption optimale pour l'homme de DHA ou de EPA n'est pas clairement déterminée, d'autant que seul le

DHA est concerné dans les apports nutritionnels conseillés français.

Les volailles

La physiologie digestive des oiseaux préserve relativement bien les acides gras poly-insaturés qu'ils consomment, 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. En effet, de fortes quantités alimentaires de graines de lin diminuent légèrement la teneur en DHA, alors que celle de l'ALA est augmentée (tableau IX). La volaille est donc considérée comme un excellent moyen de modifier favorablement le statut nutritionnel des américains en oméga-3 (45). Certains végétaux riches en acides gras oméga-3, notamment sub-tropicaux (chia) ont même été proposés pour alimenter les volailles (46).

Tableau 8
Cuisse de poulet (avec la peau)

	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

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. (103). Les données fournies dans la publication ne permettent pas de calculer les quantités en g/100g de viande.

Tableau 9
Effet de quantités croissantes d'huile de lin sur la composition en acides gras de la cuisse de poulet (avec sa peau)

	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

En % des acides gras totaux (103). Mêmes remarques que pour la figure précédente.-.

Chez les oiseaux, la synthèse de novo des acides gras s'effectue principalement dans le foie, de ce fait la croissance du tissu adipeux et par conséquent l'engraissement est fonction de la biodisponibilité des triglycérides plasmatiques, qui sont transportés par les lipoprotéines. En fait, l'augmentation de la captation des lipides par le tissu adipeux constitue le facteur le plus important dans le cadre de l'adiposité du poulet (47), la différence d'engraissement selon les génotypes semble due à simultanément l'augmentation de la sécrétion des VLDL et à leur élimination du plasma

(48). En fait, le métabolisme des lipo-protéines chez la volaille est en relation avec l'engraissement (49). En pratique, le rôle spécifique des acides gras oméga-3 reste relativement inconnu. L'avantage nutritionnel apporté par la consommation de graisse de palmipèdes dans el sud-ouest français résulte du fait que les oies et les canards sont principalement nourris avec du maïs, dont l'huile (présente dans le germe) est proche de l'huile d'olive dans son profil en acides gras, avec toutefois de faibles teneurs en ALA. Si cette manière d'alimenter les animaux venait à être modifiées, notamment pour des raisons économiques, alors l'intérêt nutritionnel pourrait changer, voire s'annihiler.

Le foie gras constitue un sujet à part. Le susceptibilité à la stéatose varie selon les espèces (50), le ciblage des lipides hépatiques en relation avec la stéatose hépatique a été analysé chez l'oie (51). Chez le palmipède sur-nourris, la lipogénèse hépatique prévaut sur l'apport nutritionnel dans le cadre de la composition des membranes plasmiques (52). Il est intéressant de noter que les caractéristiques hépatiques de la poule pondeuse sont en relation avec les acides gras oméga-3 alimentaires (53).

Les œufs sources d'acide alpha-linolénique et de DHA pour l'homme

Après les poissons, 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 régulateurs". Le rapport oméga-6/oméga-3 (de toutes longueurs de chaînes carbonées) des œufs grecs crétois "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 (54). Une explication en est la consommation, par les poules pondeuses grecques crétoises, de pourpier (une variété de salade), d'escargots et de limaces.

En élevage, les poules nourries avec des graines de lin pondent des œufs contenant plus d'acides gras oméga-3 (55). 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 (56). 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 (57).

Les effets biologiques de la consommation d'acides gras oméga-3 présents dans les œufs ont été évalués à travers des études de paramètres physiologiques chez l'animal, pour extrapolation à l'homme. Il s'est agit de déterminer les effets au niveau de paramètres physiologiques lipidiques (58, 59) ou bien au niveau de la construction et du fonctionnement des membranes biologiques, surtout cérébrales (60-63).

Ainsi, la consommation de ces œufs par l'homme induit des effets bénéfiques, en particulier au niveau des paramètres biologiques lipidiques (64, 65). Une

Tableau 10

Effets de diverses huiles données dans l'alimentation de poules pondeuses sur la composition des œufs qu'elles produisent

	Contrôle	Poules pondeuses nourries avec de l'huile de poisson	Poules pondeuses nourries avec de avec de l'huile de lin	Poules pondeuses nourries avec de avec de l'huile de soja	Poules pondeuses nourries avec de l'huile de carthame
ALA	0,4	0,4	9,4	1,7	0,06
% des acides gras					
EPA	-	2,1	0,3	-	-
% des acides gras					
DHA	0,6	6,3	2,2	1,8	0,2
% des acides gras					
Total w3	0,6	10,1	12,6	3,1	0,3
% des acides gras					
Total ω6 + ω3	18,8	19,7	32,3	28,3	36,2
% des acides gras					
ω6 / ω3	17,8	1,0	1,6	8,1	120

Poules pondeuses Leghorn blanches. Jaune d'œuf. En % des acides gras totaux (57). 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.

alimentation (66) 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, mangeant 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 (67). 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). Il s'agit des œufs "oméga-3", "bénéfic" et "columbus", par exemple. Ils s'avèrent efficaces pour améliorer un certain nombre de paramètres biologiques chez l'homme (68).

En alimentation infantile, des extraits de jaune d'œufs, le plus souvent des lécithines (issus de poules nourries avec des aliments judicieusement choisis, à base d'algues ou de graines de lin) ont été ajoutés dans quelques marques de laits adaptés pour nourrisson, et de ce fait, ce lait présentait l'avantage de fournir les mêmes quantités d'acides gras à très longues chaînes - notamment les acides gras oméga-3 - que le lait de femme (69-73). 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 (74). Parallèlement, le lait de femmes consommant des œufs riches en acides gras oméga-3 contient lui aussi de plus grandes quantités de ces acides (75).

Reconstitution d'une alimentation humaine basée sur des produits d'animaux nourris avec des graines de lin

En France, en Bretagne, un groupe de volontaires (14) 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 / ALA passe de 71 à 34. L'intervention 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 aux saveurs des aliments. Celles des viandes sont en relation linéaire avec la nature de leurs lipides, parmi ceux-ci les phospholipides constituent les principaux générateurs de saveur (76). 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 volatiles lors de la cuisson, (77). Des substances particulières (2-alkyl-thiapyrans et 2-alkylthiophenes) ont été identifiées dans la viande cuite de bœuf et de mouton (78).

Une étude portant sur la viande de porc enrichie (2% en huile de poisson et 1% en huile de colza) montre que l'augmentation des teneurs en acides gras oméga-3 ne modifie ni la couleur ni le goût (79). Quelques déficits sensoriels ont été notés après alimentation basée sur des extraits de thon (80). 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 (81). Des dégustateurs entraînés

distinguent des bacons issus de cochons nourris avec 10 ou 15 % de graines de lin (82). Nourrir des chèvres avec de fortes quantités d'huiles végétales contribue à altérer le goût de leurs produits laitiers (32). Concernant les volailles, l'utilisation de fortes quantités de graines de lin ou d'huile du poisson (le menhaden en l'occurrence) modifie le goût de leur viande (83). En ce qui concerne les oeufs, nourrir des poules pondeuses avec de l'huile de menhaden n'induit pas de modulations notables du goût (84).

Surcoût 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 ; pour la rapprocher d'une alimentation traditionnelle, sinon naturelle (11). 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 " oeufs 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.

Tableau 12
Coût de l'acide alpha-linolénique des œufs par rapport à celui des huiles végétales

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

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 (10, 11).

Conclusions

Bien évidemment, la source principale d'ALA pour l'homme est l'huile de colza, elle est aussi la moins chère. L'huile de noix est tout aussi précieuse. L'huile

de soja est trop riche en acide linoléique, de la famille oméga-6. Incidemment, en France, la part des huiles végétales dans l'apport en ALA 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% (12) ; il est donc aisé de rectifier le déficit en augmentant la consommation d'huile de colza ou de noix. D'autres aliments sont intéressants pour leur fort contenu en ALA, comme l'huile de lin (mais elle est interdite de consommation alimentaire en France, alors qu'elle ne l'est pas dans de nombreux autres pays) ou les graines de lin. Il a été montré que 50 grammes quotidiens sont acceptables, sûr, et bénéfique en augmentant l'ALA et les acides gras oméga-3 dans le sang et les hématies des consommateurs volontaires, tout en réduisant la réponse post-prandiale au glucose (85), sans compromettre le statut anti-oxydant (86). Toutefois, ces graines ne sont pas communément utilisées en alimentation humaine, en revanche elle pourraient l'être beaucoup plus en alimentation animale, afin d'augmenter la valeur nutritionnelle des produits dérivés consommés par l'homme.

Les acides gras oméga-3 sont impliqués depuis de nombreuses années dans el cadre des maladies cardio-vasculaire e du développement cérébral. Récemment, l'intérêt pour les acides gras oméga-3 s'est développé dans le domaine de la psychiatrie, en particulier la dépression, la maladie bipolaire et la démence. Or, la majorité des résultats obtenus portent sur la prévention par la consommation de poisson gras. La principale caractéristique de ces poissons gras est d'être riches en oméga-3, mais d'autres composants peuvent également être responsables d'effets favorables (iode dont l'impact sur le cerveau est considérable, sélénium, entre autres). Par des essais cliniques rigoureux, il reste encore à apporter la preuve incontestable de l'efficacité de la prescription de gélules contenant ces oméga-3 sous forme d'huile de chair de poisson. Il en est de même de la prescription d'oméga-3 purifiés, généralement sous forme d'esters éthyliques, qui ne repose encore que sur beaucoup trop peu d'expérimentations ou d'essais cliniques pour être concluante, donc crédible en psychiatrie. En tout état de cause, l'absorption des huiles de poisson ou de leurs dérivés reste toujours peu clairs (87). Par exemple, y compris dans le domaine cardio-vasculaire, les difficultés d'interprétation résultent du fait que nombre d'essais cliniques ont été réalisés avec des huile de poisson dont la composition n'est pas spécifiée, certains d'entre eux ont été faits avec des ester éthyliques, ou même avec des acides gras libres. D'autant qu'il existe au moins 3 voies d'absorption chez l'homme : préduodénale, lymphatique via les chylomicrons et par le système prote vers le foie. De plus, la position des acides gras sur le squelette glycérol (du triglycéride ou du

phospholipide) détermine une partie de l'efficacité du processus d'absorption. Quelques auteurs ont montré que la bio-disponibilité des esters éthyliques est seulement de 20% des celle des acides gras liés à des triglycérides (88), mais elle est augmentée par la co-ingestion d'un repas riche en graisses (89). Pour un auteur, les acides gras oméga-3 sont identiquement bio-disponibles soit sous forme d'esters éthyliques, soit sous forme de triglycérides (90).

Il convient de rappeler que, en effet, les oméga-3 ne sont pas isolés, ils font partie de constructions moléculaires, naturelles et biodisponibles pour le corps humain, les triglycérides et les phospholipides. Pour enrichir en tel ou tel oméga-3, il faut détruire cette construction, puis, le plus souvent, lier chimiquement les oméga-3 à de l'alcool : il ne s'agit plus alors d'un produit naturel, mais d'une substance chimique, dont il n'est pas prouvé qu'elle soit un médicament. De plus, la confusion ne doit pas être faite entre l'apport à dose nutritionnelle (le complément alimentaire) et la dose pharmacologique, dont les doses sont beaucoup plus élevées. La sécurité est donc de rechercher les indispensables oméga-3 dans les aliments qui les contiennent naturellement.

Dans le cadre d'une alimentation équilibrée, il convient de trouver simultanément dans une alimentation équilibrée l'ALA et les longues chaînes dérivées (EPA et certainement DHA), d'autant que la conversion de l'ALA en EPA et DHA est variable selon les sexes (91) et se trouve diminuée au cours du vieillissement (92). Par exemple, supplémenter des femmes qui allaitent avec de l'huile de lin augmente les teneurs de leurs laits (et de leurs érythrocytes) en ALA et en EPA, mais pas en DHA (93). Chez l'homme jeune, l'EPA et l'acide docosapentaénoïque (mais pas le DHA) sont les principaux produits du métabolisme de l'ALA (94). Il est donc proposé que le DHA soit lui-même indispensable pour l'homme (95). Les variations des activités des désaturases au cours du développement chez l'animal et chez l'homme ont donné lieu à des récentes revues (96, 97). En fait, la co-ingestion modifie la cinétique du métabolisme des acides gras oméga-3 chez l'homme : une alimentation contenant du poisson diminue la synthèse du DHA (98).

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 (11).

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 oeufs 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 intéressants pour le beurre et les produits laitiers. Les acides gras oméga-3 constituent des éléments importants dans le cadre de l'alimentation du cerveau (11).

(a) Article publié dans "Nutrition, Cognitive Decline and Aging" Serdi, 2005, pp 140-164

Références

1. Bourre J.M. Structural and functional roles of unsaturated fatty acids in the brain. *Effects of ageing. Age et nutrition* 2003; 3 : 164-176.
2. Bourre J.M., François M. and Youyou A. et al. 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.
3. 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 Aging* 2004; 3 : 163-174.
4. AFSSA Acides gras de la famille oméga 3 et système cardiovasculaire intérêt nutritionnel et allégations. AFSSA 10 juillet 2003.
5. Bourre J.M., Faivre A. and Dumont O. et al. Effect of polyunsaturated fatty acids on fetal mouse brain cells in culture in a chemically defined

- medium. *J. Neurochem.* 1983; 41 : 1234-1242.
6. Bourre J.M., Pascal G., Durand G., Masson M., Dumont O. and Piciotti M. 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.
 7. 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.
 8. Uauy R., Hoffman D.R., Mena P., Llanos A. and Birch E.E. Term infant studies of DHA and ARA supplementation on neurodevelopment: results of randomized controlled trials. *J. Pediatr.* 2003; 143 : S17-S25.
 9. 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.
 10. Bourre J.M. Diététique du cerveau : la nouvelle donne. Editions Odile Jacob. 2003. Bourre J.M. : La diététique du cerveau de l'intelligence et du plaisir. Editions 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 dietética do cérebro, Gradiva, 1993 Portugal. Bourre J.M. : Brainfood, Little Brown, 1993, USA.
 11. Bourre J.M. La vérité sur les oméga-3. Odile Jacob. 2004.
 12. Combe N. and Boue C. Apports alimentaires en acides linoléique et alpha-linolénique d'une population d'Aquitaine. *OCL* 2001; 8 : 118-121.
 13. Legrand P., Bourre J.M., Descamps B., Durand G. and Renaud S. Lipides. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Martin A. éditeur. Tec et doc Lavoisier 2000; 63-82.
 14. Weill P., Schmitt B., Chesneau G., Daniel N., Safrano F. and Legrand P. Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Ann. Nutr. Metab.* 2002; 46 : 182-191.
 15. Innis S.M. and Elias S.L. Intakes of essential n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids among pregnant Canadian women. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003; 77 : 473-478.
 16. Xiang M., Alfvén G., Blennow M., Trygg M. and Zetterstrom R. Long-chain polyunsaturated fatty acids in human milk and brain growth during early infancy. *Acta Paediatr.* 2000; 89 : 142-147.
 17. Morris M.C., Evans D.A. and Bienias J.L. et al. Consumption of fish and n-3 fatty acids and risk of incident Alzheimer disease. *Arch. Neurol.* 2003; 60 : 940-946.
 18. Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tech. et Doc. Lavoisier 2000.
 19. Abaza L., Msallen M., Daoud D. and Zarrouk M. Caractérisation des huiles de sept variétés d'oliviers tunisiens. *OCL* 2002; 9 : 174-179.
 20. Mouro J. and Hermier D. Lipids in monogastric animal meat. *Reprod. Nutr. Dev.* 2001; 41 : 109-118.
 21. Mouro J., Camara M. and Fevrier C. Effects of dietary fats of vegetable and animal origin on lipid synthesis in pigs. *C. R. Acad. Sci. III* 1995; 318 : 965-970.
 22. Van Oeckel M.J., Casteels M., Warnants N. and Boucque C.V. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: implications for zootechnical performances, carcass and fat quality. *Arch. Tierernahr.* 1997; 50 : 31-42.
 23. Nguyen L.Q., Everts H. and Beynen A.C. Influence of dietary linseed, fish and coconut oil on growth performance of growing pigs kept on small holdings in central Vietnam. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2004; 88 : 204-210.
 24. Lin D.S., Connor W.E. and Spenler C.W. Are dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids deposited to the same extent in adipose tissue of rabbits? *Am. J. Clin. Nutr.* 1993; 58 : 174-179.
 25. Demirel G., Wachira A.M., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Wood J.D. and Enser M. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamin E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *Br. J. Nutr.* 2004; 91 : 551-565.
 26. Cooper S.L., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Hallett K.G., Enser M. and Wood J.D. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *J. Anim. Sci.* 2004; 82 : 1461-1470.
 27. Ashes J., Siebert B.D., Gulati S.K., Cuthbertson A.Z. and Scott T.W. Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil into tissue and serum lipid of ruminants. *Lipids* 1992; 27 : 629-631.
 28. Looor J.J., Ueda K., Ferlay A., Chilliard Y. and Doreau M. Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2004; 87 : 2472-2485.
 29. Doreau M. and Chilliard Y. Effects of ruminal or post-ruminal fish oil supplementation on intake and digestion in dairy cows. *Reprod. Nutr. Dev.* 1997; 37 : 113-124.
 30. Ueda K., Ferlay A., Chabrot J., Looor J.J., Chilliard Y. and Doreau M. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios. *J. Dairy Sci.* 2003; 86 : 3999-4007.
 31. Petit H.V. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed. *J. Dairy Sci.* 2002; 85 : 1482-1490.
 32. Chilliard Y., Doreau M. Influence of supplementary fish oil and rumen-protected methionine on milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1997; 64 : 173-179.
 33. Ledoux M., Chardigny J.M., Darbois M., Soustre Y., Sébédio J.L. and Laloux L. Variations saisonnières et régionales des taux d'acide linoléiques conjugués dans les beurres français. *Sci. des Alim.* 2003; 23 : 443-462.
 34. Keady T.W., Mayne C.S. and 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.
 35. Soita H.W., Meier J.A., Fehr M., Yu P., Christensen D.A., McKinon J.J. and Mustafa A.F. Effects of flaxseed supplementation on milk production, milk fatty acid composition and nutrient utilization by lactating dairy cows. *Arch. Tierernahr.* 2003; 57 : 107-116.
 36. Kitessa S., Gulati S., Ashes J., Scott T. and Nichols P. 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.
 37. Mustafa A.F., Gonthier C. and Ouellet D.R. Effects of extrusion of flaxseed on ruminal and post-ruminal nutrient digestibilities. *Arch. Tierernahr.* 2003; 57 : 455-463.
 38. Ackman R.G. Nutritional composition of fats in seafoods. *Prog. Food Nutr. Sci.* 1989; 13 : 161-289.
 39. Van Vliet T. and Katan M. Lower ratio of n-3 to n-6 fatty acids in cultured than in wild fish. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990; 51 : 1-2.
 40. Medale F., Lefevre F. and Corraze G. Qualité nutritionnelle et diététique des poissons : constituants de la chair et facteurs de variation. *Cah. Nutr. Diet.* 2003; 1 : 37-44.
 41. Dosaanjh B., Plotnikoff D., McBride J., Market J. and Buckley J. 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.
 42. Skonberg D., Rasco B. and Dong F. Fatty acid composition of salmonid muscles changes in response to high oleic acid diet. *J. Nutr.* 1994; 124 : 1628-1638.
 43. Boggio S., Hardy R., Babbitt J. and Brannon E. The influence of dietary lipid source and alpha-tocopheryl acetate level of product quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 1985; 51 : 13-24.
 44. Bell M.V., Dick J.R. and Porter A.E. Biosynthesis and tissue deposition of docosahexaenoic acid (22:6n-3) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids* 2001; 36 : 1153-1159.
 45. Van Elswyk M.E., Hatch S.D., Stella G.G., Mayo P.K. and Kubena K.S. Poultry-based alternatives for enhancing the omega 3 fatty acid content of American diets. *World Rev. Nutr. Diet.* 1998; 83 : 102-115.
 46. Ayerza R., Coastes W. and Lauria M. 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.
 47. Hermier D., Quignard-Boulangé A. and Dugail I. et al. Evidence of enhanced storage capacity in adipose tissue of genetically fat chickens. *J. Nutr.* 1989; 119 : 1369-1375.
 48. Leclercq B., Hermier D. and Guy G. Metabolism of very low density lipoproteins in genetically lean or fat lines of chicken. *Reprod. Nutr. Dev.* 1990; 30 : 701-715.
 49. Hermier D. Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *J. Nutr.* 1997; 127 : 805S-808S.
 50. Fournier E., Peresson R., Guy G. and Hermier D. Relationships between storage and secretion of hepatic lipids in two breeds of geese with different susceptibility to liver steatosis. *Poult. Sci.* 1997; 76 : 599-607.
 51. Hermier D., Salichon M.R., Guy G. and Peresson R. Differential channelling of liver lipids in relation to susceptibility to hepatic steatosis in the goose. *Poult. Sci.* 1999; 78 : 1398-1406.
 52. Cazeils J.L., Bouillier-Oudot M., Auvergne A., Candau M. and Babile R. Lipid composition of hepatocyte plasma membranes from geese overfed with corn. *Lipids* 1999; 34 : 937-942.
 53. Cherian G. and Goeger M.P. Hepatic lipid characteristics and histopathology of laying hens fed CLA or n-3 fatty acids. *Lipids* 2004; 39 : 31-36.
 54. Simopoulos A.P. and Salem N. n-3 fatty acids in eggs from range-fed greek chickens. *The new England journal of medicine* 1989; 16 : 1412.
 55. Bean L.D. and Leeson S. Long-term effects of feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens. *Poult. Sci.* 2003; 82 : 388-394.
 56. Cherian G. and 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.
 57. Anderson G.J., Connor W.E., Corliss J.D. and Lin D.S. 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.

58. Jiang Z. and 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.
59. Ide T. and 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.
60. Carrie I., Guesnet P., Bourre J.M. and Frances H. 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.
61. Carrie I., Clement M., de Javel D., Frances H. and Bourre J.M. Phospholipid supplementation reverses behavioral and biochemical alterations induced by n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency in mice. *J. Lipid Res.* 2000; 41 : 473-480.
62. Carrie I., Clement M., de Javel D., Frances H. and Bourre J.M. 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.
63. Carrie I., Smirnova M., Clement M., de Javel D., Frances H. and Bourre J.M. 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.
64. O'Brien B.C. and Andrews V.G. Influence of dietary egg and soybean phospholipids and triacylglycerols on human serum lipoproteins. *Lipids* 1993; 28 : 7-12.
65. Oh S.Y., Ryue J., Hsieh C.H. and Bell D.E. 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.
66. Ferrier L.K., Caston L.J., Leeson S., Squires J., Weaver B.J. and Holub B.J. 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.
67. Lewis N.M., Schalch K. and 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.
68. Surai P.F., MacPherson A., Speake B.K. and Sparks N.H. Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2000; 54 : 298-305.
69. Agostoni C., Marangoni F., Giovannini M., Galli C. and Riva E. 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 : 137-141.
70. Chirouze V., Lapillonne A., Putet G. and Salle B.L. 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.
71. Decsi T., Thiel I. and Koletzko B. Essential fatty acids in full term infants fed breast milk or formula. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal.* 1995; 72 : F23-F28.
72. Kohn G., Sawatzki G. and Van Biervliet J.P. Long-chain polyunsaturated fatty acids in infant nutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1994; 48 : S1-S7.
73. Simopoulos A.P. and Salem N. Egg yolk as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant feeding. *Am. J. Clin. Nutr.* 1992; 55 : 411-414.
74. Bondia-Martinez E., Lopez-Sabater M.C. and Castellote-Bargallo A.I. et al. - 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.
75. Cherian G. and 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.
76. Gandemer G. Lipides du muscle et qualité de la viande. *Phospholipides et flavEUR.* OCL 1997; 4 : 19-25.
77. Elmore J.S., Mottram D.S., Enser M. and Wood J.D. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 1999; 47 : 1619-1625.
78. Elmore J.S. and Mottram D.S. Formation of 2-alkyl-(2H)-thiopyrans and 2-alkylthiophenes in cooked beef and lamb. *J. Agric. Food Chem.* 2000; 48 : 2420-2424.
79. Leskanich C.O., Matthews K.R., Warkup C.C. Noble R.C. and Hazzledine M. 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.
80. Howe P.R., Downing J.A., Grenyer B.F., Grigonis-Deane E.M. and Bryden W.L. Tuna fishmeal as a source of DHA for n-3 PUFA enrichment of pork chicken, and eggs. *Lipids* 2002; 37 : 1067-1076.
81. Romans J.R., Johnson R.C., Wulf D.M., Libal G.W. and Costello W.J. 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.
82. Romans J.R., Johnson R.C., Wulf D.M., Libal G.W. and Costello W.J. 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.
83. Gonzalez-Esquerria R. and 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.
84. Marshall A., Sams A. and 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.
85. Cunnane S.C., Ganguli S. and et al. High alpha-linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. *Br. J. Nutr.* 1993; 69 : 443-453.
86. Cunnane S.C., Hamadeh M.J., Liede A.C., Thompson L.U., Wolever T.M. and Jenkins D.J. Nutritional attributes of traditional flaxseed in healthy young adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995; 61 : 62-68.
87. Ackman R.G. The absorption of fish oils and concentrates. *Lipids* 1992; 27 : 858-862.
88. Lawson L.D. and Hughes B.G. Human absorption of fish oil fatty acids as triacylglycerols, free acids, or ethyl esters. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1988; 152 : 328-335.
89. Lawson L.D. and Hughes B.G. Absorption of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid from fish oil triacylglycerols or fish oil ethyl esters co-ingested with a high-fat meal. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1988; 156 : 960-963.
90. Nordoy A., Barstad L., Connor W.E. and Hatcher L. Absorption of the n-3 eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids as ethyl esters and triglycerides by humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991; 53 : 1185-1190.
91. Burdge G.C. and Wootton S.A. Conversion of alpha-linolenic acid to eicosapentaenoic, docosapentaenoic and docosahexaenoic acids in young women. *Br. J. Nutr.* 2002; 88 : 411-420.
92. Burdge G.C., Finnegan Y.E., Minihane A.M., Williams C.M. and Wootton S.A. Effect of altered dietary n-3 fatty acid intake upon plasma lipid fatty acid composition, conversion of [13C]alpha-linolenic acid to longer-chain fatty acids and partitioning towards beta-oxidation in older men. *Br. J. Nutr.* 2003; 90 : 311-321.
93. Francois C.A., Connor S.L., Bolewicz L.C. and Connor W.E. Supplementing lactating women with flaxseed oil does not increase docosahexaenoic acid in their milk. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003; 77 : 226-233.
94. Burdge G.C., Jones A.E. and Wootton S.A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of alpha-linolenic acid metabolism in young men. *Br. J. Nutr.* 2002; 88 : 355-363.
95. Muskiet F.A., Fokkema M.R., Schaafsma A., Boersma E.R. and Crawford M.A. Is docosahexaenoic acid (DHA) essential? Lessons from DHA status regulation, our ancient diet, epidemiology and randomized controlled trials. *J. Nutr.* 2004; 134 : 183-186.
96. Descomps B. Les désaturases au cours du développement chez l'homme. *Cah. Nutr. Diet.* 2003; 38 : 384-391.
97. Legand P. Données récentes sur les désaturases chez l'animal et chez l'homme. *Cah. Nutr. Diet.* 2003; 38 : 376-383.
98. Pawlosky R.J., Hibbeln J.R. and Lin Y. et al. Effects of beef- and fish-based diets on the kinetics of n-3 fatty acid metabolism in human subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003; 77 : 565-572.
99. Specht-Overholt S., Romans J.R. and Marchello M.J. et al. Fatty acid composition of commercially manufactured omega-3 enriched pork products, haddock, and mackerel. *J. Anim. Sci.* 1997; 75 : 2335-2343.
100. Scollan N.D., Choi N.J., Kurt E., Fisher A.V., Enser M. and Wood J.D. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.* 2001; 85 : 115-124.
101. Ponnampalam E.N., Sinclair A.J., Egan A.R., Blakeley S.J. and Leury B.J. 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.
102. Ponnampalam E.N., Sinclair A.J., Hosking B.J. and Egan A.R. Effects of dietary lipid type on muscle fatty acid composition, carcass leanness, and meat toughness in lambs. *J. Anim. Sci.* 2002; 80 : 628-636.
103. Chanmugam P., Boudreau M. and Boutte T. et al. Incorporation of different types of n-3 fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.* 1992; 71 : 516-521.