

# UN ALIMENT À FORTE DENSITÉ NUTRITIONNELLE POUR LES PERSONNES ÂGÉES : L'ŒUF MULTI-ENRICHÉ NATUREL, CONTENANT D'IMPORTANTES QUANTITÉS D'ACIDES GRAS OMÉGA-3 (ALA ET DHA), DE VITAMINES (B9, B12, D, E), D'ÉLÉMENTS TRACES (IODE ET SÉLÉNIUM) ET DE CAROTÉNOÏDES

J.M. BOURRE<sup>1</sup>, F. GALEA<sup>2</sup>

1. Hôpital Fernand Widal, INSERM, U 705 ; CNRS, UMR 7157, 200 rue du Faubourg Saint Denis. 75745 Paris cedex 10. 2. Cybélia. ZAC Cicé Blossac. 35170 Bruz, France. Mail : jean-marie.bourre@fwidal.inserm.fr

*Résumé* : Les personnes âgées se doivent de privilégier les aliments dont la densité nutritionnelle est forte. C'est notamment le cas des œufs : avec leurs protéines riches en acides aminés indispensables, ils contiennent des quantités appréciables de nombreuses vitamines et de quelques éléments-traces. Toutefois, la valeur nutritionnelle de l'œuf standard (y compris bio et label) peut être augmentée (pour la rapprocher de la composition des œufs pastoraux, "sauvages", de type "crétois", dit "œuf crétois") en nourrissant la poule pondeuse avec des aliments adaptés. Cet aliment est alors d'autant plus intéressant que des groupes notables de la population française âgée sont manifestement déficitaires en nombre de nutriments : notamment les acides gras oméga-3, ALA et DHA (par exemple intéressants dans le cadre cardio-vasculaire et cérébral), la vitamine D (ossification, car permettant, parmi de multiples fonctions, la captation intestinale du calcium et sa fixation sur l'os), l'iode, l'acide folique, la vitamine E (anti-oxydant majeur, notamment dans les membranes biologiques) ; ainsi que certains caroténoïdes tels la lutéine et la zéaxanthine (préservant la rétine et donc la vision). Ce travail étudie la composition d'œufs multi-enrichis obtenus en nourrissant les poules pondeuses de manière classique, mais en utilisant des graines de lin autoclavées et un complément alimentaire recomposé, riche en certaines vitamines et éléments traces (œufs Benefic®). Un tel œuf contribue mieux à la couverture des ANC (Apports Nutritionnels Conseillés) des personnes âgées que l'œuf standard. En effet, dans 100g, cet œuf contient, pour ce qui concerne les acides gras oméga-3, 6 fois plus d'ALA (20% des ANC), et 3 fois plus de DHA (120% des ANC), 6 fois plus de vitamine E (16 à 40% des ANC), 3 fois plus de vitamine D (15% des ANC), 4 fois plus d'acide folique (50 à 70% des ANC), 2,5 fois plus d'iode (ce qui porte ce nutriment à 100% des ANC), 4 fois plus de sélénium (34% des ANC), 6 fois plus de lutéine + zéaxanthine (75% des recommandations internationales). Les quantités d'acides gras oméga-6 ne sont pas modifiées. Le rapport oméga-6/oméga-3 est donc considérablement amélioré. Cet œuf multi-enrichi contient un peu moins de cholestérol et, comme tout œuf, des quantités appréciables de vitamines A (25% des ANC) et B12 (160% des ANC), des vitamines B2 (riboflavine) et B5 (acide pantothénique), ainsi que du phosphore. Le surcoût de sa production est modeste : ces œufs fournissent les nutriments aux prix les plus bas, qu'il s'agisse des protéines, de certains lipides (oméga-3), des vitamines A, D, E, B12. La valeur nutritionnelle de certains œufs enrichis (similaires aux œufs multi-enrichis de ce travail) a été évaluée sur les modèles animaux comme sur des volontaires humains : amélioration des paramètres lipidiques sanguins, des teneurs en acides gras oméga-3, des triglycérides, du HDL-cholestérol, du LDL-cholestérol.

**Abstract :** *A high quality food for the elderly: natural multi-enriched eggs with a high content of omega-3 fatty acids (ALA and DHA); vitamins B9, B12, D and E; the trace elements iodine and selenium; and carotenoids. Indeed, older people require a high quality diet. An essential component of such a diet is eggs, as they are a major source of protein rich in essential amino acids, several vitamins and trace elements. But the nutritional value of standard eggs, including those labeled "organic" can be improved so as to come closer to that of free range, Cretan type "wild" eggs by feeding laying hens a suitable diet. This diet is particularly important because a significant proportion of older people in France lack several nutritional elements, such as the omega-3 fatty acids, ALA and DHA, that are important for the well being of the brain and cardiovascular system, vitamin D (for building bones by enabling calcium absorption from the intestine and its incorporation into bone), iodine, folic acid, vitamin E (a major anti-oxidant, especially in biological membranes) and carotenoids, like lutein and zeaxanthine, for a healthy retina and thus good vision. We have studied the composition of multi-enriched eggs produced by feeding laying hens in the usual fashion, but with a diet containing autoclaved linseed plus a supplement enriched in vitamins and trace elements (Benefic® eggs). These eggs are a better source of the recommended daily allowance (RDA) of essential dietary elements for the elderly than are standard eggs. Thus 100g of these eggs provides 100% of the RDA for iodine (2.5 times that of standard eggs), 34% RDA for selenium (4 x standard eggs), 15% RDA for vitamin D (3 times) 50-70 % RDA for folic acid (4 times), 16-40% RDA for vitamin E (6 times), 75% of the international recommendation for lutein and zeaxanthine (6 times); and for the omega-3 fatty acids - 20% of RDA for ALA and 12% of RDA for DHA. The amounts of omega-6 fatty acids are unchanged, so that the omega-6/omega-3 ratio is considerably improved. Multi-enriched eggs contain a little less cholesterol and, like all eggs, considerable amounts of vitamins A (25% of RDA) and B12 (160% RDA), vitamin B2 (riboflavin) and B5 (pantothenic acid), plus phosphorus. They cost only a little more to produce, hence they are a low-cost high-quality source of protein, omega-3 fatty acids, and vitamins A, D, E and B12. The nutritional value of other enriched eggs, similar to the eggs described here, has been evaluated in animals and human volunteers. They improved the blood lipid profile, with beneficial changes in omega-3 fatty acids, triglycerides HDL cholesterol and LDL cholesterol.*

## Introduction

De toute évidence, les personnes âgées sont à risque par rapport aux adultes, du fait de modifications physiologiques, de déclin fonctionnels, de maladies aiguës ou chroniques. Le risque de malnutrition est augmenté, en conséquence de maladie, de solitude, de difficultés à manger (1, 2), tout particulièrement lors de démences (3). De plus, au cours du vieillissement un certain nombre de besoins nutritionnels sont accrus : cela concerne les protéines, nombre de vitamines (C, B6, B8, B9, B12, E, D, K) et quelques minéraux (calcium, sélénium) (4). Or, malheureusement, les restrictions alimentaire subies par les personnes âgées ne permettent pas de faire face à ces augmentations de besoin, puisque que ne satisfaisant même pas les besoins standard d'un adulte. Il n'est donc pas étonnant que de nombreuses études épidémiologiques aient montré un accroissement de nombreuses pathologies avec l'avancée en âge, du fait, direct ou indirect, de la mauvaise alimentation. Parmi les divers micronutriments, les plus fréquemment associés au vieillissement sont les vitamines B12, A, C, D, le calcium, le fer, le zinc et la plupart des éléments traces (5). Bien évidemment, les micronutriments, comme d'ailleurs les macronutriments, affectent les performances cognitives (6). Parmi les macronutriments, les acides gras oméga-3 sont fréquemment impliqués, d'autant que des altérations de

leur métabolisme et de leur prise alimentaire sont observées pendant le vieillissement et lors des démences (revue par 20). La consommation de poisson, riches en acides gras oméga-3, est associée à une diminution du risque de démence (7, 8)

Les personnes âgées doivent donc de toute évidence sélectionner des aliments dont la valeur nutritionnelle (la densité nutritionnelle) est forte. C'est notamment le cas des œufs, qui, outre leurs protéines de grandes valeurs biologiques, contiennent des quantités appréciables de nombreuses vitamines et de quelques éléments traces. Or, ces quantités peuvent être modulées par l'alimentation donnée aux poules pondeuses. Quoique, jusqu'à une date récente, l'habitude considérait que la composition de l'œuf est fixe, le métabolisme de la poule étant supposé assurer la constance de cette composition, indépendamment de sa nourriture. Or, la comparaison de la composition acides gras oméga-3 de l'œuf dit "industriel" avec celui produit par des poules "sauvages", grecques en l'occurrence, a montré chez ces derniers une augmentation considérable de l'ALA (15 fois plus) et du DHA (6 fois plus) (9). En France, une alimentation à base de graines de lin (proposition déjà faite depuis de nombreuses années dans d'autres pays, comme le Canada et les USA) a permis d'augmenter spécifiquement les teneurs en acides gras oméga-3 des œufs (10), montrant que la consommation de ces œufs

accroît considérablement l'absorption d'acides gras oméga-3, ceci se traduisant par un accroissement notable de ces acides dans le sang, par exemple (10). Il s'est donc avéré qu'il était possible d'enrichir considérablement les œufs en certains nutriments, pour les rapprocher des œufs "sauvages", éventuellement même dépasser cette composition, pour produire des "designer eggs", outre les acides gras oméga-3, les teneurs en quelques vitamines et éléments traces étant fortement augmentées (11).

L'objectif de ce travail est de montrer l'intérêt, pour la personne âgée, des œufs naturellement riches non seulement en acides gras oméga-3, mais aussi en de multiples vitamines et éléments-traces.

### Matériel et méthodes

En termes de production, les oeufs multi-enrichis (Benefic®), précédemment présentés (12), ont été obtenus en nourrissant les poules pondeuses de manière habituelle, toutefois ont été ajoutés aux formulations des graines de lin autoclavées ainsi qu'un complément alimentaire recomposé. Les graines de lin ont été traitées pour détruire les facteurs antinutritionnels (brevet déposé). Le complément alimentaire était par ailleurs enrichi en lutéine végétale, en vitamines B9, D3, et E, en iode et sélénium. Les conditions d'élevage ont été précédemment publiées ; les dosages ont été réalisés selon les méthodes normalisées, précédemment publiées (13,14). Les profils en acides gras ont été obtenus après extraction des lipides et méthylation, puis analysé par

chromatographie gazeuse avec colonne de type DB23, détecteur à FID et gradient de température de 80 à 200°C. Les calculs en g/100g d'oeuf ont été réalisés à partir du contenu lipidique de l'oeuf et du profil en acides gras totaux en %.

A titre de comparaison, les œufs "standards" ont été produits dans les mêmes conditions que les oeufs multi-enrichis, la seule différence étant évidemment la formulation de l'alimentation ; ils ont été analysés simultanément.

### Résultats et discussion

La reformulation en vitamines et éléments-traces de l'alimentation des animaux se traduit par une augmentation importante de leurs teneurs dans les oeufs, augmentant considérablement la valeur nutritionnelle de ces derniers (tableau 1). En effet, si l'on prend comme référence les apports nutritionnels conseillés pour une personnes âgée (ANC) dans 100g, cet œuf contient 6 fois plus de l'oméga-3 ALA (20% des ANC), et 3 fois plus de l'autre acide gras oméga-3, le DHA (120% des ANC), 6 fois plus de vitamine E (16 à 40% des ANC), 3 fois plus de vitamine D (15% des ANC), 4 fois plus d'acide folique (56 à 70% des ANC), 2,5 fois plus d'iode (ce qui porte ce nutriment à 100% des ANC), 4 fois plus de sélénium (34% des ANC), 6 fois plus de lutéine + zéaxanthine (75% des recommandations internationales, car il n'a pas d'ANC en France). Ce faisant, les œufs multi-enrichis contribuent mieux à la couverture des ANC que l'œuf standard.

Tableau 1  
Composition en nutriments de l'œuf standard et de l'œuf multi-enrichi

Pour 100g d'œuf (poids d'un œuf : 70g)	Oeuf standard	Oeuf multi-enrichi	Enrichissement dans multi-enrichi	% ANC homme adulte dans l'oeuf multi-enrichi	% ANC personne âgée dans l'oeuf multi-enrichi
ALA (mg)	50 (15 aux USA)	300	X 6	15	20
DHA (mg)	40 (33 aux USA)	120	X 3	100	120
Sélénium (µg)	7	28	X 4	47	34
Iode (µg)	40	150	X 2,5	100	100
Vitamine D (µg)	0,5	1,5	X 3	30	15
Acide folique(B9) (µg)	60	240	X 4	70	56 à 70
Vitamine E (µg)	1300	8000	X 6	66	16 à 40
Lutéine + Zéaxanthine (µg)	250	1500	X 6	75 (recommandations)	75 (recommandations)
Vitamine A (µg)	175	180	X 1	23	26 à 31
Vitamine B12 (µg)	1,0	1,4	X 1,4	58	46

L'œuf multi-enrichi est l'œuf Benefic®. Les ANC sont ceux des tables françaises.

En référence, pour un homme adulte (ANC) dans 100g, cet œuf contient 15% des ANC pour l'ALA, et 100% pour le DHA et l'iode, 66% pour la vitamine E, 45% pour le sélénium, 30% pour la vitamine D, 70% pour l'acide folique, 75% des recommandations internationales pour la lutéine + zéaxanthine. Etant donné que les quantités d'acides gras oméga-6 ne sont pas modifiées, le rapport oméga-6/oméga-3 s'en trouve amélioré. Il contient un peu moins de cholestérol. Comme tout œuf, l'œuf multi-enrichi apporte 25% des ANC en vitamines A, 160% en B12. Les différences de contributions des œufs multi-enrichis aux ANC des personnes âgées et des adultes sont la conséquence de besoins différents selon les âges de la vie : pour l'ALA et le DHA ils sont un peu plus faible pour les personnes âgées (1,5g/jour contre 2 pour l'ALA, 100mg/jour contre 120mg pour le DHA). Ils sont identiques pour l'iode (150µg/jour). En revanche ils sont augmentés pour le sélénium (70µg/jour contre 60), pour la vitamine E (fourchette de 20 à 50 mg/jour contre 12), pour la vitamine D (fourchette de 10 à 15µg/jour contre 5) et l'acide folique (fourchette de 330-400µg/jour contre 300).

Les participations (aux couvertures des besoins nutritionnels) sont meilleures pour les femmes, car les ANC sont pour elles généralement inférieurs à ceux des hommes, conséquence de leurs poids plus faibles.

L'œuf standard français serait globalement lui-même meilleur que le standard produit dans certains pays : par exemple, il contient 50 mg/100 g d'ALA, alors

qu'aux USA la quantité est de 15 ; pour ce qui concerne le DHA le standard français est de 40 alors qu'il est de 33 aux USA.

### *Les acides gras oméga-3, notamment ALA et DHA*

Les acides gras oméga-3 constituent une famille dont le premier élément est l'acide alpha-linolénique (ALA, 18:3(n-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)) et le DHA (acide docosahéxaénoïque, dit cervonique, 22:6(n-3)). L'œuf multi-enrichi (tableau 2) contient 6 fois plus d'ALA que l'œuf standard (couvrant ainsi 20% des ANC de la personne âgée) et 3 fois plus de DHA, ce qui représente 120% des ANC de la personne âgée.

Les acides gras oméga-3 sont puissamment impliqués au développement du cerveau (15), c'est-à-dire qu'ils interviennent à tous les niveaux, depuis la composition des membranes jusqu'au fonctionnement de l'organe (6, 16). Ils seraient impliqués dans le vieillissement : leur déficit pourrait altérer le renouvellement des lipides des membranes.

Les acides gras oméga-3 sont impliqués directement et indirectement dans de nombreux domaines de la santé (17). Depuis de nombreuses années, leur efficacité est avérée dans le cadre de la prévention et du

Tableau 2  
Teneur en acides gras (en % des acides gras totaux)

en % des acides gras totaux	Standard	Multi-enrichi
Acides gras poly-insaturés		16,3
ALA (alpha-linolénique)	0,6	3,5
ARA (arachidonique)	1,1	1,1
DHA (docosahéxaénoïque)	0,5	1,5
Somme acide gras poly-insaturés	18,5	22,4
Somme Acides gras	100	100
dont acides gras poly-insaturés à longues chaînes carbonées	2,2	6,1
Oméga 6	17,4	17,4
Oméga 3	1,1	5
Acides gras mono-insaturés		
16:1 (palmitoléique)	4,1	3,1
18:1 (oléique)	44,9	42,0
Somme acides gras mono-insaturés	49,0	45,1
Acides gras saturés		
14:0	0,3	0,2
16:0 (palmitique)	25,6	24,0
18:0 (stéarique)	6,6	8,3
Somme acides gras saturés	32,5	32,5

L'œuf standard est celui du groupe Glon, qui produit aussi l'œuf Benefic®.

traitement des maladies cardio-vasculaires, notamment ischémiques obstructives (18, 19, 20). Pour ce qui est du DHA et de l'EPA, l'huile de chair de poisson constitue un médicament dont l'indication principale est la réduction de l'hypertriglycéridémie. Il est possible de trouver des centaines de publications, portant sur l'homme et chez les modèles animaux, démontrant l'efficacité des acides gras oméga-3, en particulier ceux des huiles de poissons, dans le cadre de la prévention des maladies cardio-vasculaires ischémiques, et aussi de l'infarctus cérébral. Globalement, chez l'homme, il existe une relation inverse entre la consommation de poisson gras et le risque de maladie coronaire (entre autres). Par ailleurs, la consommation de poisson gras induit une augmentation des acides gras oméga-3 dans le sang, elle-même en relation inverse avec le risque de mort subite cardiaque. Incidemment, l'apport en acides gras oméga-3 des populations vivant dans les régions circumpolaires est habituellement attribué aux poissons et aux mammifères marins, mais les oeufs occupent aussi une place importante (21). De multiples essais d'intervention ont aussi montré l'effet bénéfique de la consommation de capsules formées de triglycérides issus de chair de poisson gras (22). Les produits sont commercialisés en France sous les noms de MAXEPA® et d'OMACOR®. Il faut noter que l'" American Heart Association " recommande les capsules d'huile de chair de poisson chez les patients atteints de maladies coronaires avérées (23). En pratique nutritionnelle, seul le DHA est concerné dans les apports nutritionnels conseillés français. Or, outre dans les poissons et les fruits de mer, les acides gras oméga-3 à longues chaînes carbonées (EPA et DHA) peuvent aussi être apportés en quantités utiles par les oeufs, pour autant que les poules pondeuses soient nourries de manière pertinente. Il est même évalué que 3 oeufs de cette qualité sont équivalents à une part de poisson gras.

Les acides gras oméga-3 sont aussi impliqués dans d'autres pathologies, comme certains cancers, notamment du sein et du colon (24), celui de la prostate (25), quelques pathologies à composante inflammatoire (26) et peut-être même le diabète de type 2 (27). D'autres domaines font l'objet d'investigations, telles certaines pathologies rhumatologiques ou dermatologiques (le psoriasis), et récemment la psychiatrie (28, 29).

### *La réalité du déficit de consommation d'acides gras oméga-3*

Les études de consommation d'acides gras oméga-3 spécifiquement dédiées aux personnes âgées sont très rares. Toutefois, il convient de noter que le déficit alimentaire en acides gras oméga-3 est patent. Pour ce qui concerne l'ALA, les recommandations en France (30) sont de 2g pour les hommes et de 1,6g pour les femmes et de 1,5g chez les personnes âgées. Or, en

France (31), il ressort d'une étude réalisée récemment en Aquitaine que les femmes adultes absorbent dans leur alimentation seulement 40% de l'ALA recommandés par les ANC. Des résultats analogues ont été trouvés en Bretagne sur un petit échantillon d'hommes et de femmes (10), mais aussi sur l'ensemble de la France dans l'étude SU.VI.MAX (32). Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres pays. Si la consommation des adultes est insuffisante, il est hautement probable que celle des personnes âgées l'est aussi.

En ce qui concerne les très longues chaînes carbonées oméga-3 (EPA et DHA), les estimations de consommation (32) montrent que les adultes français consomment en moyenne 273 mg/jour de DHA pour les hommes et 226 mg/jour pour les femmes, ce qui représente environ 2 fois plus que les ANC français (120mg/jour pour les hommes, 100mg/jour pour les femmes) ; toutefois, il est très important de noter que des variations considérables sont relevées selon les personnes ; ainsi, dans l'étude de Bretagne, et sur un effectif plus expérimental plus faible chez lequel il était demandé de ne consommer ni poisson ni fruits de mer, la consommation est de moins de moitié des ANC, aux environs de 40mg/jour (10). Un grand nombre de personnes sont déficitaires, alors que certaines autres se trouvent dans une situation de pléthore.

Pour ce qui concerne donc l'ensemble des acides gras oméga-3, le déficit en ALA est patent pour la majorité de la population ; un moyen de le combler est de consommer directement de l'huile de colza, de noix ou de combinaison formée de plus de 50% d'huile de colza. Une alternative partielle est d'absorber le dérivé de l'ALA (seul intégré dans les membranes biologiques des tissus) : le DHA, dans les poissons, mais aussi dans les oeufs quand ils en contiennent, ce qui est précisément le cas des oeufs multi-enrichis.

La nature des acides gras du jaune d'oeuf est en relation importante avec la nature de graisses mangées par la poule. Le rapport oméga-6/oméga-3 des oeufs grecs " sauvages " est de 1,3 exactement, alors qu'il est de 19,9 pour les oeufs qualifiés d'" industriels " (9). Une explication en est la consommation par les poules 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 (33).

Il y a une relation linéaire entre le contenu en ALA dans les aliments (fourni par de l'huile de graines de lin ou de soja), et la teneur en cet acide gras dans le jaune de l'oeuf, puis d'ailleurs aussi dans le cerveau et le

sérum des poussins issus de ces œufs (34). Diverses méthodes d'enrichissement des œufs ont été mises à profit. L'intérêt d'huiles de poisson, en comparaison avec l'huile de lin, a été noté (35). En pratique, un moyen aisé est d'ajouter des graines de lin dans l'alimentation de la poule pondeuse. Des apports originaux ont été proposés, comme l'utilisation de produits de la mer faiblement exploités, comme les crabe rouges (36).

Les effets des acides gras oméga-3 des œufs enrichis en ces acides ont été évalués à travers des études de paramètres physiologiques chez l'animal (pour éventuelle extrapolation à l'homme). Il s'est agi de déterminer les effets au niveau de paramètres physiologiques lipidiques (37, 38) ou bien au niveau de la construction et du fonctionnement des membranes biologiques (37, 38), surtout cérébrales (39-43). Les œufs enrichis en DHA induisent une augmentation des cet acide gras dans les hématies (44). L'addition de phosphatidyl-choline provenant de l'œuf influe sur l'apprentissage de rats âgés (45). Chez le porcelet, des résultats similaires sont obtenus au niveau de la composition en acides gras du cerveau (46); l'utilisation de formulations réalisées à l'aide d'œuf modifie la composition des phospholipides biliaires (47). Sur un plan nutritionnel, les phospholipides sont de meilleurs fournisseurs d'acides gras que les triglycérides (39).

L'administration de quantités variables d'ALA dans l'alimentation des poules modifie la composition de leurs œufs, avec des conséquences sur les paramètres physiologiques des hommes qui les consomment. Ainsi (48), une alimentation contenant 0%, 10% et 20% d'huile de graines de lin induit une augmentation de l'ALA des œufs (respectivement de 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. Il n'a pas été observé de différence significative au niveau de leur cholestérol total, du cholestérol-HDL (le " bon " cholestérol), ni de la teneur plasmatique en triglycérides. En revanche, il a été trouvé une augmentation des acides gras oméga-3, et notamment du DHA et une diminution du rapport oméga-6/oméga-3 dans les phospholipides des plaquettes des sujets consommant ces œufs " oméga-3 ". Cette étude conclut que les œufs constituent un aliment intéressant, pour répondre aux prescriptions gouvernementales (Canadiennes en l'occurrence) et assurer une augmentation de la consommation d'acides gras oméga-3.

Un autre travail expérimental a montré que des hommes et des femmes recevant pendant 4 semaines 4 œufs " oméga-3 " par jour (consommation excessive

pour une alimentation courante, réalisé dans un but démonstratif), ne présentent pas de concentration plasmatique (sanguine) de cholestérol augmentée, celle des triglycérides est diminuée, ainsi que les pressions sanguines systolique et diastolique, alors que ces paramètres sont défavorablement touchés chez ceux qui consomment des œufs standards (49). Ceci a globalement été confirmé (50). D'autre part, les œufs enrichis en acides gras oméga-3 modulent le profil lipidique sanguin chez les patients hypercholestérolémiques, induisant seulement une légère augmentation du cholestérol, mais associée à une diminution importante des triglycérides (51, 52). Les effets cliniques des œufs enrichis en acides gras oméga-3 sont donc positifs (53).

Au cours du vieillissement, chez l'homme, l'utilisation d'œufs enrichis en acides gras oméga-3 induit une augmentation du DHA dans les globules rouges (54).

### *Le peu de problèmes avec le cholestérol*

Bien que la relation reste faible entre le niveau de cholestérolémie et le risque cardio-vasculaire de la personne âgée, la consommation des œufs a pendant longtemps été limitée, du fait de leurs teneurs en cholestérol. Toujours est-il qu'une fraction notable du cholestérol présent dans l'organisme humain est d'origine endogène. Par ailleurs, chez l'homme sain, la captation intestinale du cholestérol est limitée par l'augmentation des quantités de cholestérol dans les aliments. La relation entre l'apport alimentaire en cholestérol et l'hypercholestérolémie est maintenant estimée comme étant modérément importante, voire faible (55). Par exemple, l'"American heart association" n'exige plus de limite de consommation d'œufs (56).

En bref, quelques résultats montrent que la relation est faible entre la consommation d'œufs et l'éventualité d'une hypercholestérolémie, notamment déterminée par une augmentation des LDL. Une étude bibliographique de l'ensemble des études épidémiologiques publiées montre qu'il n'y a pas de relation entre la consommation d'œufs (jusqu'à un par jour) et le risque coronarien, chez les personnes normales et diabétiques (57). La conclusion étant qu'un œuf journalier n'entraîne aucun risque dans le domaine de ces pathologies; elle signale toutefois que les diabétiques pourraient faire exception (58). Les œufs contribuent réellement à la qualité nutritionnelle des aliments, sans être associés à une concentration élevée de cholestérol (59).

Une étude portant sur une forte consommation de "designer eggs" (4 par jour, pendant 4 semaines) ne montre pas d'augmentation significative du cholestérol ni des LDL, mais une réduction de l'agrégation



plaquettaire, une diminution des triglycérides, l'hypothèse étant que les acides gras oméga-3 entraîneraient un déplacement des tailles des particules LDL vers des tailles moins athérogènes ; dans ce sens, il est souligné que 3 œufs de cette qualité apportent autant d'acides gras oméga-3 qu'une part de poisson (11, 51).

### *Vitamine E*

Les œufs multi-enrichis apportent 6 fois plus de vitamine E que les œufs standards. Or, cette vitamine occupe une place importante dans les protections contre les radicaux libres, directement impliqués dans les mécanismes du vieillissement, notamment cérébral. Car la principale propriété (mais pas la seule) de la vitamine E (60, 61) est d'empêcher la production de radicaux libres peroxydes par l'oxygène, et de les piéger s'ils sont formés, notamment ceux formés à partir des acides gras poly-insaturés, en particulier ceux qui sont présents dans les membranes biologiques.

Point d'intérêt particulier, *in vivo*, la présence de vitamine E est intéressante pour l'œuf lui-même, comme pour celui qui le mange. En effet, l'enrichissement simultané en acides gras oméga-3 et en vitamine E assure une meilleure conservation des œufs, en évitant l'oxydation ; la présence de cette vitamine assure une excellente préservation des acides gras des œufs, après, par exemple un maintien à température ambiante pendant 28 jours (62).

*In vitro*, dans les tissus biologiques, parmi les multiples composants de la vitamine E (tocophérols et tocotriénols, avec pour chacun leurs éventuels isomères) seul l'alpha-tocophérol est utilisé par les membranes, particulièrement celles du cerveau, à l'exclusion des autres substances, notamment le gamma-tocophérol (63, 64). L'intérêt de la vitamine E réside donc principalement dans son pouvoir antioxydant ; elle agit en synergie avec d'autres systèmes de défense antioxydants, qu'il s'agisse de piègeurs de radicaux libres, de systèmes enzymatiques ou de systèmes de régénération. L'hypovitaminose se traduit par des signes neuro-dégénératifs et de rétinopathie, il augmente le risque cardio-vasculaire, et peut-être, celui des démences, de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Les études faites sur l'œuf associent en général d'autres nutriments, comme le sélénium, voire les caroténoïdes.

### *Vitamine D*

Les apports alimentaires sont incontournables, bien qu'ils soient malheureusement presque toujours faibles, car les nourritures riches en vitamine D sont rares (65), sinon peu diversifiées. Le saumon, le hareng, l'huître, le flétan et l'œuf sont les aliments les plus riches en vitamine D, après l'huile de foie de morue, avant le foie

d'animal. L'œuf multi-enrichi apporte 3 fois plus de vitamine D que l'œuf standard, couvrant alors, pour 100g, 30 % des ANC.

La vitamine D, dont l'être humain dispose, trouve son origine dans deux sources totalement différentes : la fabrication par la peau et les aliments. La synthèse par la peau diminue fortement avec l'âge : pour une exposition identique au soleil, elle est triple à vingt ans de ce qu'elle est à quatre-vingts ans. De plus, la couleur de la peau influe aussi : blanche, elle peut par exemple en synthétiser cinquante à cent fois plus que si elle est noire. En fait, les synthèses par la peau varient selon les conditions climatiques et les habitudes alimentaires. Cette production pourrait couvrir l'essentiel des besoins de l'homme adulte, mais en réalité elle s'avère généralement insuffisante par défaut quantitatif ou qualitatif du rayonnement ultraviolet. Plusieurs causes sont impliquées : les habitudes vestimentaires, la pollution de l'air qui filtre les UV, un séjour permanent sous un faible ensoleillement,

Du fait de son action sur le métabolisme du calcium (et du phosphore), la vitamine D joue un rôle majeur dans l'ossification (66). Sa fonction première est d'accroître l'absorption digestive du calcium, mais elle intervient aussi dans son dépôt dans la cellule osseuse sous forme de phosphate de calcium. Elle en régule enfin l'élimination rénale. La déficience se traduit par des pathologies : le rachitisme et l'ostéomalacie d'une part, l'ostéoporose d'autre part.

SU.VI.MAX a montré que, en France (67), le statut en vitamine D est proportionnel à l'ensoleillement. Les Français sont donc fréquemment carencés en vitamine D : près d'une personne sur sept en manque, les femmes plus que les hommes.

### *L'iode*

En pratique, les aliments fournissant le plus d'iode sont les moules, les huîtres et les œufs multi-enrichis, les poissons de mer, puis les œufs standards et le roquefort. Un très récent rapport de l'AFSSA (68) propose de compléter en iode un certain nombre d'aliments, plutôt que d'augmenter la quantité d'iode dans le sel (de plus, jusqu'à présent, le sel utilisé dans l'industrie agro-alimentaire en France n'a pas le droit d'être iodé). Un moyen naturel est de consommer des œufs riches en cet élément, qui se situe parmi les aliments les plus intéressants.

La fonction de l'iode est de participer à l'architecture de l'hormone thyroïdienne, qui intervient notamment au niveau du système nerveux : le signe majeur de la carence est le crétinisme, il induit notamment un ralentissement intellectuel. Car cette hormone est en relation avec l'activité des grandes fonctions vitales :

thermogenèse, homéostasie glucidique et lipidique, modulation transcriptionnelle des synthèses protéiques, et bien d'autres encore. Son déficit est donc particulièrement défavorable chez la personne âgée.

L'étude épidémiologique française SU.VI.MAX, entre autres, révèle que l'hypertrophie thyroïdienne est relativement fréquente, mais les personnes âgées ne sont pas prises en compte dans cette étude (69).

### *Le sélénium et les protections contre les radicaux libres*

Le statut en sélénium des personnes âgées en France est très probablement peu satisfaisant. En effet, l'étude SU.VI.MAX (âge maximal de 60 ans) montre que peu des personnes souffrent d'un réel déficit, en revanche 83% des femmes et 75% des hommes présentent de concentrations sériques en sélénium en dessous des valeurs estimées comme optimales pour assurer les activités des glutathion-peroxydases, permettre une activité optimale du système immunitaire, et la prévention de certains cancers (70). Parmi les aliments apportant du sélénium, la place de l'œuf est remarquable : derrière le cèpe de bordeaux (100µg/g), se trouvent les moules et les œufs multi-enrichis (30µg/g) et le foie de veau (20µg/g) (65). Toutefois, l'augmentation modérée de la teneur sanguine (plasmatique) en sélénium après absorption d'œufs enrichis en sélénium pose la question de sa bio-disponibilité, qui reste à être déterminée (11).

Cet élément trace est largement impliqué dans la prévention de nombre de mécanismes intervenant lors du vieillissement. En effet, la plupart des fonctions biologiques du sélénium implique sa présence dans des sélénoprotéines, sous forme d'un acide aminé, une séléno-cystéine, incorporé de manière spécifique (71). Les enzymes les plus importantes sont les glutathion-peroxydases, les thioréductases et les déiodases, qui catalysent la déiodation de la T4 en T3, impliquant donc un rôle important à ce minéral dans la fonction thyroïdienne (72). Les glutathion-peroxydases constituent les lignes de défense puissantes contre les agressions produites par les radicaux libres, y compris au niveau du cerveau (73), elles sont au nombre de 4 : cellulaire, gastro-intestinale, extracellulaire et membranaire ; l'activité de celle qui est spécifique des phospholipides est modulée par la vitamine E (74).

Les activités des glutathion-peroxydases sont en relation avec l'apport alimentaire en sélénium. Par conséquent, un lien direct se fait entre le déficit en sélénium alimentaire et l'augmentation du stress oxydant. Les radicaux libres sont mis en cause dans de multiples pathologies, et plus particulièrement dans le vieillissement, y compris cérébral. Pour améliorer le statut anti-oxydant, il est possible d'enrichir les œufs en

ce minéral. Bien qu'indispensable, le sélénium à forte dose peut s'avérer toxique (75), d'où l'intérêt de ne pas, à l'inverse, exagérer les apports ; et donc d'optimiser simultanément l'apport en d'autres anti-oxydants comme la vitamine E et les caroténoïdes. Par ailleurs, le sélénium participe aussi à la détoxification de xénobiotiques et de certains métaux lourds.

### *Des caroténoïdes particuliers : la lutéine et la zéaxanthine*

Parmi les 500 caroténoïdes connus, environ 24 sont trouvés dans le sang et les tissus humains, dont 2 dans les yeux (lutéine et zéaxanthine, avec leurs dérivés). Les plus étudiés sont le bêta-carotène, le lycopène, la lutéine et la zéaxanthine. Le bêta-carotène appartient à la classe des carotènes liposolubles ; il est reconnu comme précurseur de la vitamine A, mais des rôles qui lui sont propres sont certainement importants. La lutéine participe à la coloration des œufs, mais une vingtaine d'autres caroténoïdes est aussi présente.

Concernant la lutéine et la zéaxanthine, l'œuf se situe à la charnière entre le végétal et l'animal. De plus, l'œuf constitue l'aliment le plus riche en ces nutriments, rapporté à son contenu global en caroténoïdes (pourcentage molaire de 89). Toutefois, les teneurs en lutéine et zéaxanthine sont relativement variables selon les œufs : la fourchette se situe du simple au double pour la lutéine et du simple au triple pour la zéaxanthine (76). Par ailleurs, leur bio-disponibilité dans l'œuf est plus grande car la bio-disponibilité de la lutéine et de la zéaxanthine est augmentée par la matrice lipidique du jaune, avec le cholestérol (200 mg/jaune), les triglycérides (4 g/jaune) et les phospholipides (1 g/jaune), associée à des vitamines lipo-solubles (vitamine A, E et D) (77).

En utilisant des œufs multi-enrichis, c'est-à-dire des "designer eggs", l'augmentation plasmatique de la lutéine est notable : elle est multipliée par 2, avec un contenu dans l'œuf multiplié par 15 ; étant noté que la cuisson ne modifie pas la quantité de lutéine dans les œufs (11).

L'intérêt biologique de la lutéine et de la zéaxanthine réside dans le fait que ces substances s'accumulent dans la région maculaire de la rétine. Anatomiquement, en allant vers la périphérie de la rétine, la concentration en zéaxanthine décline rapidement, tandis que celle de la lutéine décroît plus progressivement. Ces substances se retrouvent aussi présentes dans le cristallin (78). La lutéine et la zéaxanthine pourraient donc prévenir la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), maladie touchant en France 1,2 millions de personnes de plus de 50 ans, et qui s'avère aussi la première cause de cécité (définie comme souffrant d'une acuité visuelle inférieure ou égale à 1/20 dans le meilleur œil) (79).



Globalement, il est estimé que la moitié de la variabilité de la teneur sérique en lutine et en zéaxanthine est la conséquence des apports alimentaires, et que 1/3 de la variabilité de leur présence dans les pigments maculaires est en relation directe avec leurs teneurs sériques (80). En pratique, l'absorption d'œufs, de brocolis et d'épinards serait par ailleurs associée à la diminution du risque de cataracte (jusqu'à 20%) et de celui de dégénérescence maculaire liée à l'âge (jusqu'à 40%) ; 8 études épidémiologiques ont analysé la relation entre la cataracte et le taux de lutéine dans le sang et l'alimentation ; 7 pour ce qui concerne la dégénérescence maculaire liée à l'âge (81).

## Conclusions

La pertinence de l'enrichissement avec des acides gras oméga-3 des aliments fournis aux animaux pour augmenter la valeur nutritionnelle des produits dérivés pour l'homme a été globalement discutée (82, 83). Ce travail montre que les œufs sont particulièrement concernés.

Le déficit en nombre de nutriments est important en France, comme le montre l'enquête SU.VI.MAX (84), de façon parfois considérable : environ les 3/4 de la population consomme moins des 2/3 des ANC en vitamine D (or, l'ossification et l'ostéoporose font partie des préoccupations majeures du PNNS français (Programme National Nutrition Santé), 45% environ pour ce qui concerne la vitamine A, 25% des hommes et 41% des femmes pour ce qui touche à la vitamine E, 15% des femmes pour la vitamine B9. Parmi les minéraux, la prise alimentaire de sélénium n'est pas optimale (70).

L'œuf apporte un grand nombre de macro et de micro-nutriments. En effet, il contient des protéines de bonne valeur biologique. Il n'est déficient qu'en glucides, calcium et vitamine C. Outre les vitamines et minéraux objets de ce travail, l'œuf présente d'autres avantages. Par exemple, du fait de la diminution de la consommation de viande rouge, en particulier bovine, et de la quasi-disparition de la consommation de produits tripiers, des aliments alternatifs riches en vitamine B12 doivent être valorisés pour assurer la couverture de la population. Il s'agit de certains poissons et de quelques fruits de mer, des produits laitiers, mais aussi des œufs. Parmi les nutriments d'intérêt, il est possible de citer la choline, importante dans le cadre notamment du fonctionnement cérébral ; bien qu'il ne s'agisse pas d'une vitamine, un apport alimentaire est recommandé, or les œufs se situent en deuxième position (avec 250mg/100g) derrière les foies de bovins et d'oiseaux (85) qui sont eux-mêmes très peu consommés et donc ne peuvent pas participer à la couverture des besoins.

En conclusion, l'œuf multi-enrichi (qui avoisine la composition de l'œuf pastoral, naturel) participe à la couverture, pour un coût modeste, de plus de 30% des apports nutritionnels conseillés pour 10 nutriments indispensables à l'homme : protéine, vitamine E, D, B2, B9, B12, iode, sélénium, lutéine, acides gras oméga-3.

**Remerciements :** Les dosages réalisés dans ce travail ont été financés par le groupe Glon (M. Alain Glon, M. Lionel Jacquot).

## Références

- Martins I, Dantas A, Guiomar S, Amorim Cruz JA. Vitamin and mineral intakes in elderly. *J Nutr Health Aging* 2002;6: 63-5.
- Padro L, Benacer R, Foix S, Maestre E, Murillo S, Sanvicens E, SOMOZA D, Ngo J, Cervera P. Assessment of dietary adequacy for an elderly population based on a Mediterranean model. *J Nutr Health Aging* 2002;6:31-3.
- Van W, Guedon A, Maniere D, Manckoundia P, Pfitzenmeyer P. A 6-month follow-up of nutritional status in institutionalized patients with Alzheimer's disease. *J Nutr Health Aging* 2004;8:505-08.
- Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Ed. Tec. Et Doc 2000.
- Martin A, Cherubini A, Andres-Lacueva C, Paniagua M, Joseph J. Effects of fruits and vegetables on levels of vitamins E and C in the brain and their association with cognitive performance. *J Nutr Health Aging* 2002;6:392-404.
- Bourre JM. Effets des nutriments (des aliments) sur les structures et les fonctions du cerveau : le point sur la diététique du cerveau. *Rev Neurol* 2004;160:767-92.
- Barberger-Gateau P, Letenneur L, Deschamps V, Peres K, Dartigues JF, Renaud S. Fish, meat, and risk of dementia: cohort study. *BMJ* 2002;325:932-33.
- Morris MC, Evans DA, Tangney CC, Bienias JL, Wilson RS. Fish consumption and cognitive decline with age in a large community study. *Arch Neurol* 2005;62:1849-53.
- Simopoulos AP, Salem N. n-3 fatty acids in eggs from range-fed greek chickens. *The New England Journal of Medicine* 1989;16:1412.
- Weill P, Schmitt B, Chesneau G, Daniel N, Safradou F, Legrand P. Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Ann Nutr Metab* 2002;46:182-91.
- Surai PF, MacPherson A, Speak BK, Sparks NH. Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur J Clin Nutr* 2000;54:298-305.
- Bourre JM. L'œuf naturel multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, en vitamines, minéraux et caroténoïdes. *Médecine et Nutrition* 2005;41:116-34.
- Galea F, Bourdillon A, Rouillère H. Effect of different levels and sources of omega-3 fatty acids in diets for laying hens on eggs acid profile. Scientific Report of the 24th ISF World Congress, 2003.
- Galea F, Bourdillon A, Rouillère H. Effets de différents niveaux et sources alimentaires d'acides gras polyinsaturés oméga 3 sur le profil en acides gras de l'œuf chez la poule pondeuse: 6<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 30 et 31 mars 2005.
- Bourre JM. Structural and functional roles of unsaturated fatty acids in the brain. *Effects of ageing. Age and Nutrition*, 2003 ; 14 : 164-176.
- Bourre JM. Roles of unsaturated fatty acids (especially omega-3 fatty acids) in the brain at various ages and during ageing. *J Nutr Health Aging* 2004;3:163-74.
- Bourre JM. La vérité sur les oméga-3. Odile Jacob. 2004.
- Albert CM, Hennekens CH, O'Donnell CJ, Ajani UA, Carey VJ, Willett WC, Ruskin JN, Manson JE. Fish consumption and risk of sudden cardiac death. *JAMA* 1998;279:23-8.
- Dewailly E, Blanchet C, Gingras S, Lemieux S, Holub BJ. Cardiovascular disease risk factors and n-3 fatty acid status in the adult population of James Bay Cree. *Am J Clin Nutr* 2002;76:85-92.
- Kromhout D, Bosschieter EB, de Lezenne CC. The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronary heart disease. *N Engl J Med* 1985;312:1205-9.
- McGrath-Hanna NK, Greene DM, Tavernier RJ, Buit-Ito A. Diet and mental health in the Arctic: is diet an important risk factor for mental health in circumpolar peoples? *Int J Circumpolar Health* 2003;62:228-41.
- GISSI. Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results of the GISSI-Prevenzione trial. Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico. *Lancet* 1999;354:447-55.
- Kris-Etherton PM, Harris WS, Appel LJ. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation* 2002;106:2747-57.
- Chajès V, Bougnoux P. Omega-6/omega-3 polyunsaturated fatty acid ratio and cancer. *World Rev Nutr Diet* 2003;92:133-51.
- Dewailly E, Mulvad G, Sloth PH, Hansen JC, Behrendt N, Hart Hansen JP. Inuit are protected against prostate cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2003;12:926-7.

26. Mori TA, Beilin LJ. Omega-3 fatty acids and inflammation. *Curr Atheroscler Rep* 2004;6:461-7.
27. Nettleton JA, Katz R. N-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in type 2 diabetes: a review. *J Am Diet Assoc* 2005;105:428-40.
28. Bourre JM. Psychiatrie et acides gras oméga-3 alimentaires : le point sur la question. *Médecine et Nutrition* 2004;40;171-182.
29. Bourre JM. Dietary omega-3 fatty acids and psychiatry: mood, behaviour, stress, depression, dementia and aging. *J. Nutr. Health Aging* 2005;9:31-8.
30. Legrand P, Bourre JM, Descamps B, Durand G, Renaud S. Lipides. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Martin A éditeur Tec et doc Lavoisier 2000;63-82.
31. Combe N, Boue C. Apports alimentaires en acides linoléique et alpha-linolénique d'une population d'Aquitaine. *OCL* 2001;8;118-21.
32. Astorg P, Arnault N, Czernichow S, Noisette N, Galan P, Hercberg S. Dietary intakes and food sources of n-6 and n-3 PUFA in French adult men and women. *Lipids* 2004;39;527-35.
33. Cherian G, Sim JS. 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;70:917-22.
34. Anderson GJ, Connor WE, Corliss JD, Lin DS. Rapid modulation of the n-3 docosahexaenoic acid levels in the brain and retina of the newly hatched chick. *J Lipid Res* 1989;30:433-41.
35. Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, Lopez-Ferrer S, Grashorn MA. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poult Sci* 2000;79:51-9.
36. Carrillo-Dominguez S, Carranco-Jauregui ME, Castillo-Dominguez RM, Castro-Gonzalez MI, Avila-Gonzalez E, Perez-Gil F. Cholesterol and n-3 and n-6 fatty acid content in eggs from laying hens fed with red crab meal (Pleuroncodes planipes). *Poult Sci* 2005;84:167-72.
37. 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;38:340-8.
38. Jiang Z, Sim JS. Effects of dietary n-3 fatty acid-enriched chicken eggs on plasma and tissue cholesterol and fatty acid composition of rats. *Lipids* 1992;27:279-84.
39. Bourre JM, Dumont O. The administration of pig brain phospholipids versus soybean phospholipids in the diet during the period of brain development in the rat results in greater increment of brain DHA. *Neurosci Lett* 2002;335:129-33.
40. Carrie I, Guesnet P, Bourre JM, Frances H. Diets containing long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids affect behaviour differently during development than ageing in mice. *Br J Nutr* 2000;83:439-47.
41. Carrie I, Clement M, de Javel D, Frances H, Bourre JM. Phospholipid supplementation reverses behavioral and biochemical alterations induced by n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency in mice. *J Lipid Res* 2000;41:473-80.
42. Carrie I, Clement M, de Javel D, Frances H, Bourre JM. 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;41:465-72.
43. Carrie I, Smirnova M, Clement M, de Javel D, Frances H, Bourre JM. 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.
44. Gleize B, Payet M, Esmail MH, Pieroni G, Coste TC. Docosahexaenoic acid-enriched egg phospholipids supplementation induces accretion of arachidonic acid in rat blood lipids. *Cell Mol Biol* 2004;50:861-67.
45. Lim SY, Suzuki H. Dose-response effect of egg-phosphatidylcholine on maze-learning ability and fatty acid composition of plasma and brain in aged mice fed an n-3 fatty acid-deficient diet. *Ann Nutr Metab* 2002;46:215-21.
46. Goustard-Langelier B, Guesnet P, Durand G, Antoine JM, Alessandri JM. n-3 and n-6 fatty acid enrichment by dietary fish oil and phospholipid sources in brain cortical areas and nonneural tissues of formula-fed piglets. *Lipids* 1999;34:5-16.
47. Devlin AM, Innis SM. Dietary phospholipid alters biliary lipid composition in formula-fed piglets. *Lipids* 1999;34:1313-18.
48. Ferrier LK, Caston LJ, Leeson S, Squires J, Weaver BJ, Holub BJ. 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* 1999;62:81-6.
49. Oh SY, Ryue J, Hsieh CH, Bell DE. 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;54:689-95.
50. O'Brien BC, Andrews VG. Influence of dietary egg and soybean phospholipids and triacylglycerols on human serum lipoproteins. *Lipids* 1993;28:7-12.
51. Lewis NM, Seburg S, Flanagan NL. Enriched eggs as a source of N-3 polyunsaturated fatty acids for humans. *Poult Sci* 2000;79:971-4.
52. Lewis NM, Schalch K, Scheideler SE. Serum lipid response to n-3 fatty acid enriched eggs in persons with hypercholesterolemia. *J Am Diet Assoc* 2000;100:365-7.
53. Farrell DJ. Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am J Clin Nutr* 1998;68:538-44.
54. Payet M, Esmail MH, Polichetti E, Le Brun G, Adjemout L, Donnarel G, Portugal H, Pieroni G. Docosahexaenoic acid-enriched egg consumption induces accretion of arachidonic acid in erythrocytes of elderly patients. *Br J Nutr* 2004;91:789-96.
55. McDonald BE. The Canadian experience: why Canada decided against an upper limit for cholesterol. *J Am Coll Nutr* 2004;23:616S-620S.
56. Kritchevsky SB. A review of scientific research and recommendations regarding eggs. *J Am Coll Nutr* 2004;23:596S-600S.
57. Kritchevsky SB, Kritchevsky D. Egg consumption and coronary heart disease: an epidemiologic overview. *J Am Coll Nutr* 2000;19:549S-555S.
58. Bautista LE, Herran OF, Serrano C. Effects of palm oil and dietary cholesterol on plasma lipoproteins: results from a dietary crossover trial in free-living subjects. *Eur J Clin Nutr* 2001;55;748-54.
59. Song WO, Kerver JM. Nutritional contribution of eggs to American diets. *J Am Coll Nutr* 2000;19:556S-562S.
60. Hacquebard M, Carpentier YA. Vitamin E: absorption, plasma transport and cell uptake. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8:133-8.
61. Traber MG. Vitamin E regulation. *Curr Opin Gastroenterol* 2005;21:223-7.
62. Meluzzi A, Sirri F, Manfreda G, Tallarico N, Franchini A. Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. *Poult Sci* 2000;79:539-45.
63. Clement M, Dinh L, Bourre JM. Uptake of dietary RRR-alpha- and RRR-gamma-tocopherol by nervous tissues, liver and muscle in vitamin-E-deficient rats. *Biochim Biophys Acta* 1995;1256:175-80.
64. Clement M, Bourre JM. Graded dietary levels of RRR-gamma-tocopherol induce a marked increase in the concentrations of alpha- and gamma-tocopherol in nervous tissue, heart, liver and muscle of vitamin-E deficient rats. *Biochim Biophys Acta* 1997;1334:173-81.
65. Bourre JM. Diététique du cerveau, la nouvelle donne. Edition Odile Jacob 2003.
66. Ferrari S, Rizzoli R, Bonjour JP. Heritable and nutritional influences on bone mineral mass. *Aging (Milano)* 1998;10:205-13.
67. Chapuy MC, Preziosi P, Maamer M, Arnaud S, Galan P, Hercberg S, Meunier PJ. Prevalence of vitamin D insufficiency in an adult normal population. *Osteoporos Int* 1997;7:439-43.
68. AFSSA. Evaluation de l'impact nutritionnel de l'introduction de composés iodés dans les produits agro-alimentaires. Mars 2005.
69. Valeix P, Dos SC, Castetbon K, Bertrais S, Cousty C, Hercberg S. [Thyroid hormone levels and thyroid dysfunction of French adults participating in the SU.VI.MAX study.]. *Ann Endocrinol* 2004;65:477-86.
70. Arnaud J, Bertrais S, Roussel AM, Arnault N, Ruffieux D, Favier A, Berthelin S, Estaquio C, Galan P, Czernichow S, Hercberg S. Serum selenium determinants in French adults: the SU.VI.MAX study. *Br J Nutr* 2006;95:313-20.
71. Brown KM, Arthur JR. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutr* 2001;4:593-9.
72. Chanoine JP. Selenium and thyroid function in infants, children and adolescents. *Biofactors* 2003;19:137-43.
73. Chen J, Berry MJ. Selenium and selenoproteins in the brain and brain diseases. *J Neurochem* 2003;86:1-12.
74. Bourre J, Dumont O, Clement M, Dinh L, Droy-Lefaix M, Christen Y. Vitamin E deficiency has different effects on brain and liver phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase activities in the rat. *Neurosci Lett* 2000;286:87-90.
75. Tinggi U. Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicol Lett* 2003;137:103-10.
76. Handelman GJ, Nightingale ZD, Lichtenstein AH, Schaefer EJ, Blumberg JB. Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *Am J Clin Nutr* 1999;70:247-51.
77. Chung HY, Rasmussen HM, Johnson EJ. Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *J Nutr* 2004;134:1887-93.
78. Johnson EJ. The role of carotenoids in human health. *NutrClinCare* 2002;5:56-65.
79. Seddon JM, Ajani UA, Sperduto RD, Hiller R, Blair N, Burton TC, Farber MD, Gragoudas ES, Haller J, Miller DT. Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. *JAMA* 1994;272:1413-20.
80. Bone RA, Landrum JT, Dixon Z, Chen Y, Llerena CM. Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Exp Eye Res* 2000;71:239-45.
81. Moeller SM, Jacques PF, Blumberg JB. The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. *J Am Coll Nutr* 2000;19:522S-527S.
82. Bourre JM. 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. *Médecine et Nutrition* 2004;40:157-169.
83. Bourre JM. 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? *The Journal of Nutrition, Health and Aging* 2005;10.
84. Hercberg S, Galan P, Preziosi P, Bertrais S, Mennen L, Malvy D, Roussel AM, Favier A, Briancon S. The SU.VI.MAX Study: a randomized, placebo-controlled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. *Arch Intern Med* 2004;164:2335-42.
85. Zeisel SH. Nutritional importance of choline for brain development. *J Am Coll Nutr* 2004;23:621S-626S.