L'œuf naturel multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, en vitamines, minéraux et caroténoïdes

Jean-Marie BOURRE

RÉSUMÉ

L'œuf se situe parmi les aliments les plus riches en nutriments. Or, par rapport à l'œuf mis actuellement à la disposition du consommateur (y compris label et bio), sa valeur nutritionnelle pourrait être accrue en fournissant à la poule pondeuse des aliments pertinents, cela ayant tendance par ailleurs à le rapprocher de la composition des œufs pastoraux, "sauvages". Le processus est d'autant plus intéressant que des fractions notables de la population française sont manifestement déficitaires en nombre de nutriments. Aux principaux rangs des déficits préoccupants s'inscrivent les acides gras oméga-3, ALA et DHA (intéressants dans le cadre cardio-vasculaire et pour le développement cérébral, entre autres), la vitamine D (assurant, entre autres, la captation du calcium au niveau des intestins et sa fixation sur l'os), le fer (nécessaire, parmi de multiples fonctions, à l'oxygénation des organes et des tissus et à la production d'énergie), l'iode (indispensable au développement cérébral), l'acide folique (dont, par exemple, la prescription médicale doit être faite dès le désir de grossesse), la vitamine E (antioxydant majeur, notamment dans les membranes biologiques) ; ainsi que, depuis peu, certains caroténoïdes comme la lutéine et la zéaxanthine (préservant la rétine et la vision). Or, un œuf naturellement

* Hôpital Fernand Widal, INSERM, U705; CNRS, UMR 7157, 200 rue du Faubourg Saint Denis. 75745 Paris cedex 10. Mail : jean-marie.bourre@fwidal.inserm.fr

complet, donc riche, permettrait de palier une partie non négligeable de ces déficits. Pour évaluer cette hypothèse, nous avons étudié 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 (œufs Benefic®). Un tel œuf contribue mieux à la couverture des ANC (Apports Nutritionnels Conseillés) que l'œuf standard français (lui-même meilleur que ceux produits dans certains pays). En effet, dans 100g, cet œuf contient 2,5 fois plus d'iode (ce qui porte ce nutriment à 100 % des ANC), 4 fois plus de sélénium (45 % des ANC), 3 fois plus de vitamine D (30 % des ANC), 4 fois plus d'acide folique (70 % des ANC), 6 fois plus de vitamine E (2/3 des ANC), 6 fois plus de lutéine + zéaxanthine (75 % des recommandations internationales), 6 fois plus de l'oméga-3 ALA (15 % des ANC), et 3 fois plus de l'autre, le DHA (100 % des ANC). Les quantités d'acides gras oméga-6 ne sont pas modifiées. Le rapport oméga-6/oméga-3 est donc considérablement amélioré. Il 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. La valeur nutritionnelle des œufs enrichis (analogues aux œufs multi-enrichis de cette étude) a été testée sur les modèles animaux et sur des volontaires humains, en particulier au niveau des paramètres lipidiques sanguins, qu'ils améliorent : les teneurs en acides gras oméga-3, le HDL-chlestérol, le LDL-cholestérol, et les triglycérides. Ce type d'œuf pourrait influencer favorablement la qualité de la grossesse et la composition du lait des femmes qui allaitent ; ainsi que pour la formulation de laits adaptés aux nourrissons. Le surcoût de cette production est faible : 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. Il ne s'agit en fait que du retour à l'œuf naturel (sauvage, pastoral) tel que produit dans les basses-cours d'autrefois.

Méd. Nut., 2005, 41, 3 : 116-134

ABSTRACT

New multi-enriched natural egg: exceptional nutrient content, especially in omega-3 fatty acids, vitamins, minerals and carotenoïds – *Eggs are one of mankind's most nutritious foods. The nutritional value of the eggs presently on sale (including organic and "label" eggs) could be improved by feeding the laying hens a suitable diet, so that the eggs become more like free-range or "wild". This new process is particularly important as the diet of a significant proportion of the French population lacks several critical elements. The most disturbing deficits include those of the omega-3 fatty acids, ALA and DHA (important for the cardiovascular system and brain development), vitamin D (important for the absorption of calcium via the intestine and its deposition in bone), iron (needed for many body functions, including oxygen transport and energy production), folic acid (which is frequently prescribed for women wishing to become pregnant), vitamin E (a major antioxidant, especially for cell membranes), and, most recently, certain carotenoids like lutein and zeaxanthine (protection of the retina and vision). Eggs that are naturally complete and nutrient-rich can provide a measurable fraction of these dietary requirements. To test this hypothesis, we have examined the composition of a multi enriched eggs obtained by feeding laying hens in the classical manner, but using autoclaved linseed and a special complementary diet (Benefic® eggs). They can thus provide a greater fraction of the recommended daily allowance (RDA) than do standard French eggs (which themselves are better than those available in some countries). These multi-enriched eggs contain 2.5 times (per 100g) more iodine than standard eggs (100 % of the RDR), 4 times more selenium (45 % of RDA), 3 times more vitamin D (30 % of RDA), 4 times more folic acid (70 % of RDA), 6 times more vitamin E (2/3 of RDA), 6 times more lutein and zeaxanthine (75 % of the international RDA), 6 times more of the omega-3 fatty acid ALA (15 % of RDA), and 3 times more DHA (100 % of RDA). The amounts of omega-6 fatty acids remain unchanged, so that the omega-6/omega-3 ratio is considerably higher.*

Multi-enriched eggs contain a little less cholesterol, and like all eggs, provide appreciable amounts of vitamin A (25 % of RDA), vitamin B12 (160 % of RDA), vitamins B2 (riboflavine) and B5 (pantothenic acid), together with phosphorus. Their omega-6 fatty acid contents are the same as normal eggs, which is why that the omega-6/omega-3 ration is considerably higher. They contain a little less cholesterol and appreciable amounts of vitamin A, as do all eggs. The nutritional value of enriched eggs (similar to Benefic® eggs) was tested on animals and human volunteers, with special attention to their actions on blood lipid parameters. These parameters were improved, with greater omega-3 fatty acid, HDL-chlesterol, LDL-cholesterol and triglyceride contents. This type of egg is recommended for pregnant and lactating women because of their favourable influence on pregnancy and mother's milk composition. Extracts of such eggs yolk could be used to prepare infant formulas. These eggs are not very much more expensive to produce and they are a low cost source of essential nutritional elements like proteins, certain lipids (omega-3 fatty acids) and vitamins A, D, E, B12. They are simply a return to the natural, free range farmyard eggs of former times.

Méd. Nut., 2005, 41, 3 : 116-134

INTRODUCTION

Pendant longtemps, jusqu'à une date récente, il était admis que la composition de l'œuf était constante, le métabolisme de la poule assurant la pérennité de cette composition, quelle que soit sa nourriture. Récemment, ce dogme a été remis en question, notamment par 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, chez lesquelles il a été constaté une augmentation considérable de l'ALA (15 fois plus) et du DHA (6 fois plus) (111). Il s'est donc avéré qu'il était possible d'enrichir considérablement les œufs en certains nutriments, pour les rapprocher des œufs "pastoraux", voire même dépasser cette composition, pour aboutir à ce qui est appelé "designer egg" (117), la poule étant alors utilisée comme un organisme "bio-magnificateur "en faveur des œufs. 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 (123).

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'intérêt pour le consommateur des œufs naturellement riches non seulement en acides gras oméga-3, mais aussi en de multiples vitamines et minéraux. En effet, certaines tranches de la population en sont manifestement déficitaires, comme le montre l'étude SU.VI.MAX, entre autres. Or, comme revu dans *"Médecine et nutrition"* (19, 21), il est manifestement possible d'augmenter la valeur nutritionnelle, plus que pour nombre d'autres aliments, ce qui pourrait répondre aux préoccupations du PNNS (Plan National Nutrition Santé).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les œufs multi-enrichis (Benefic®) ont été obtenus en nourrissant les poules pondeuses de manière classique mais en utilisant des graines de lin autoclavées et un complément alimentaire recomposé. Les graines de lin ont été traitées sous forme d'un mélange homogène de graines de lin et de blé (de type Socolin 60(r)) par un procédé en batch qui combine haute température et haute pression. Ce traitement garantit la destruction des facteurs antinutritionnels de la graine de lin (brevet déposé). Par rapport au standard, le complément alimentaire était enrichi en lutéine végétale, en vitamines E, D3, B9 et en iode et sélénium. Les œufs ont été produits dans un élevage de 17 000 poules situé dans les Côtes d'Armor au mois de février de l'année 2004. Les poules pondeuses de souche Isa Brown étaient âgées de 32 semaines au moment de l'échantillonnage des œufs. Les analyses ont été effectuées (9 répétitions) sur des échantillons de blanc et de jaune provenant du mélange de 10 à 15 œufs (55, 56).

Les dosages ont été réalisés selon les méthodes normalisées, dans un laboratoire agrée. Les profils en acides gras ont été obtenus après extraction des lipides (JORF 19.01.1988) et méthylation selon la norme NF EN ISO 5508 , puis analysé par chromatographie gazeuse sur appareil VARIAN 3350 avec colonne de type DB23, détecteur à FID et gradient de température de 80 à 200° C selon la norme NF EN ISO 5509.

Les calculs en g/100g d'œuf ont été réalisés à partir du contenu lipidique de l'œuf et du profil en acides gras totaux en %. Les œufs " standards " ont été produits dans les mêmes conditions que les œufs multi-enrichis, la seule différence étant la formulation de l'alimentation ; ils ont été analysés simultanément.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Comme le montre le tableau 1, les œufs multi-enrichis contribuent mieux à la couverture des ANC (Apports Nutritionnels Conseillés) que l'œuf standard français. En effet, dans 100 g, cet œuf contient 2,5 fois plus d'iode (ce qui porte ce nutriment à 100 % des ANC), 4 fois plus de sélénium (45 % des ANC), 3 fois plus de vitamine D (30 % des ANC), 4 fois plus d'acide folique (70 % des ANC), 6 fois plus de vitamine E (2/3 des ANC), 6 fois plus de lutéine + zéaxanthine (75 % des recommandations internationales), 6 fois plus de l'oméga-3 ALA (15 % des ANC), et 3 fois plus de l'autre acides gras oméga-3, le DHA (100 % des ANC). Les quantités d'acides gras oméga-6 ne sont pas modifiées. Le rapport oméga-6/ oméga-3 est donc amélioré. Il 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.

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 pus faible.

L'œuf standard français est 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 principaux résultats chiffrés sont présentés dans le tableau 1, pour ce qui concerne l'ensemble des nutriments d'intérêt.

Iode

La fonction de cet élément est de participer à l'architecture de l'hormone thyroïdienne, qui intervient pendant la croissance fœtale, notamment au niveau du système nerveux : le signe majeur de la carence est le crétinisme. En effet cette hormone est directement liée à l'activité des grandes fonctions vitales : thermogenèse, homéostasie glucidique et lipidique, modulation

Pour 100g d'œuf (poids d'un œuf : 70g)	Œuf standard	Œuf multi-enrichi	Enrichissement dans l'œuf multi-enrichi	% ANC dans l'œuf multi-enrichi
Iode (µg)	60	150	X 2,5	100
Vitamine D (µg)	0.5	1.5	X 3	30
Sélénium (µg)	7	28	X 4	47
Acide folique(B9) (µg)	60	240	X 4	70
Vitamine E (µg)	1300	8000	X 6	66
Lutéine + Zéaxanthine (µg)	250	1500	X 6	75 (recommandations)
ALA (mg)	50 (15 aux USA)	300	X 6	15
DHA (mg)	40 (33 aux USA)	120	X 3	100
Vitamine A (µg)	175	180	X 1	23
Vitamine B12 (µg)	1,0	1,4	X 1,4	58
L'œuf multi-enrichi est l'œuf Benefic®				

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

	Hommes	Femmes
Palpation de la thyroïde	11,3 %	14,4 %
Echographie thyroïdienne	1/2 homogènes 0,8 % visibles	2/3 homogènes 3,1 % visibles
% de la population affectée :		
Nord, Picardie	7,8	14,2
Bretagne	11,7	15,6
Poitou-Charente, Aquitaine, Midi-Pyrénées	14,9	17,5
Ile-de-France	12,8	18,2
Pays de Loire	17,3	22,0
Centre, Bourgogne	18,5	20,0
Auvergne, Limousin	22,4	30,2
Alsace, Lorraine, Franche-Comté, Champagne-Ardenne	22,7	23,7
PACA, Languedoc-Roussillon	18,3	27,5

Tableau 2 : Thyroïde et goitre en France, étude SUVIMAX (7)

transcriptionnelle des synthèses protéiques, etc. Le goitre constitue généralement le signe du déficit en iode. Le site officiel Internet de l'OMS souligne que le déficit en iode est la première maladie cérébrale mondiale qu'il soit possible de prévenir. Or, déclaré avec le goitre, il touche 740 millions d'êtres humains sur le globe terrestre. À Islamabad, une étude poussée a montré que 40 % des enfants scolarisés avaient un goitre ; un tel déficit fait perdre, en moyenne, de 10 à 15 points de QI (43). Dans certaines régions d'Inde, le crétinisme endémique touche 3,5 % de la population, 22 % des enfants de 10 à 12 ans ont un QI inférieur à 70 (107). Les déficits thyroïdiens pendant la grossesse doivent donc faire l'objet d'une attention particulière (83).

L'étude épidémiologique française SU.VI.MAX, entre autres, révèle que l'hypertrophie thyroïdienne touche de nombreuses personnes, ce qui est préoccupant quand il s'agit des femmes en âge d'être enceintes. Ainsi, plus précisément, (120, 121 122) 11,3 % des hommes et 14,4 % des femmes de la cohorte ont une thyroïde palpable ; selon les régions de l'hexagone, une iodurie inférieure à la moitié de la normale (c'est-à-dire inférieure à 5 µmole/ 100ml, pour une normale de 10) touche de 8 % à 23 % des hommes et 14 % à 30 % des femmes (tableau 2) (7). Un très récent rapport de l'AFSSA (1) propose de supplémenter 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 : les aliments fournissant le plus d'iode sont les moules (200 µg/ 100 g), les huîtres et les œufs multienrichis (150 µg/100 g), les poissons (30 à 60 µg/100 g), puis les œufs standards et le roquefort (50 µg/100 g).

Sélénium

La majorité des fonctions biologiques du sélénium implique sa présence dans des sélénoprotéines, sous forme d'un acide aminé, une sélénocystéine, incorporé de manière spécifique (24). 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 (31). Les glutathion-peroxydases constituent les lignes de défense puissantes contre les agressions produites par les radicaux libres, y compris au niveau du cerveau (33), 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 (45). Leurs activités sont en proportion de l'apport alimentaire en sélénium, il existe donc de ce fait un lien direct 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. Les carences graves se traduisent par des signes cardiologiques (maladie de Keshan), squelettiques, dermatologiques (dépigmentation), sanguins (anémie), et tardivement neurologiques. Or, 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 (118), d'où l'intérêt de na 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.

Le sélénium est retrouvé dans l'œuf, qu'il soit apporté dans l'alimentation de la poule pondeuse soit sous forme minérale soit sous forme organique (103).

La place de l'œuf dans les aliments apportant du sélénium est remarquable : derrière le cèpe de bordeaux (100 µg/g), se trouvent les moules et les œufs multi-enrichis (30 µg/g) et le foie de veau (20 µg/g) (14). 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 (117).

Vitamine D

La vitamine D joue un rôle majeur dans l'ossification des 208 os du corps humain, du fait de son action sur le métabolisme du calcium (et du phosphore) (51). 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. Les nombreux rôles que jouent les dérivés de la vitamine D permettent de la considérer comme une véritable hormone contrôlant, avec la parathormone et la thyrocalcitonine, le métabolisme de ce minéral. La déficience ne se traduit pas par des pathologies : le rachitisme et l'ostéomalacie d'une part, l'ostéoporose d'autre part.

La vitamine D dont l'être humain dispose trouve son origine dans deux sources totalement différentes : la fabrication par la peau et les aliments. Les importances quantitatives varient respectivement selon les conditions climatiques et les habitudes alimentaires. La synthèse est réalisée dans les couches profondes de la peau (le derme), sous l'action des rayons ultraviolets de la lumière solaire (UV B), les stérols naturellement présents dans l'organisme se transforment alors en vitamine D3. 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, l'âge (pour une même exposition au soleil, l'efficacité de synthèse est triple à vingt ans de ce qu'elle est à quatre-vingts ans) ainsi que la couleur de la peau : blanche, elle peut par exemple en synthétiser cinquante à cent fois plus que si elle est noire.

SU.VI.MAX (Tableau 3) a montré que, en France (32), 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, ceux vivant dans le Nord plus que ceux vivant dans le Sud (5 % de carences en Provence, 30 % à la frontière Belge).

Les apports alimentaires s'avèrent donc indispensables, bien qu'ils soient malheureusement presque toujours faibles, car les nourritures riches en vitamine D sont rares (14), 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 100 g, 30 % des ANC.

Région	Ensoleillement (Heures/Jour)	Hypovitaminose % de la population
Nord-Ouest	0,78	14
Centre	0,80	31
Nord	1,06	29
Nord-Est	1,16	18
Paris	1,72	13
Sud-Ouest	2,00	0
Sud	2,19	6
Rhône-Alpes	2,71	9
Côte Méditerranéenne	2,83	7

Tableau 3 : Statut en vitamine D selon les régions françaises (32).

Vitamine E (alpha-tocophérol)

La principale propriété (mais pas la seule) de la vitamine E (62, 119) 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. Cette action est d'abord efficace *in vitro* dans les aliments eux-mêmes, ensuite *in vivo* dans les tissus, particulièrement le cerveau.

In vivo, en effet, la présence de vitamine E est intéressante pour l'œuf lui-même, et pour le consommateur qui le mange. En effet, l'enrichissement simultané en acides gras oméga-3 et en vitamine E assure une meilleure conservation des œufs, par exemple lyophilisés, en évitant l'oxydation (57) ; la présence de cette vitamine ne modifie pas la composition en acide gras des œufs (58), assure une excellente préservation des acides gras des œufs, après un maintien à température ambiante pendant 28 jours (93).

In vitro, dans les tissus biologiques, parmi les multiples composants de la vitamine E (tocophérols et tocotriénols, avec pour chacun leurs éventuels isomères) seuls l'alpha-tocophérol est utilisé par les membranes, particulièrement celles du cerveau, à l'exclusion des autres substances, notamment le gamma-tocophérol (38, 39). L'intérêt de la vitamine E réside donc principalement dans son pouvoir anti-oxydant ; elle agit en synergie avec d'autres systèmes de défense antioxydants, qu'il s'agisse de piégeurs 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 cardiovasculaire, 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.

Lutéine et zéaxanthine

Les caroténoïdes constituent une famille d'environ 500 molécules, principalement formée de pigments solubles dans les lipides (liposolubles). Ils génèrent un grand nombre de couleurs que l'on rencontre dans la nature. Ils participent aux multiples colorations des oiseaux. Parmi ces caroténoïdes, 24 environ sont trouvés dans le sang et les tissus humains, et seulement 2 dans les yeux (lutéine et zéaxanthine, avec leurs dérivés). Ceux qui ont été les plus étudiés sont le beta-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. Le lycopène, présent en grande quantité dans la tomate, a été très étudié dans le cadre de la prévention de certains cancers, notamment celui de la prostate. La lutéine et la zéaxanthine appartiennent à une sous-famille des caroténoïdes dénommée xanthophyles, car ils possèdent au moins un groupe hydroxyle, ils sont chimiquement plus polaires que les carotènes. La lutéine et la zéaxanthine ne sont pas transformées en vitamine A (75). La lutéine contribue à la coloration des œufs, mais une vingtaine d'autres caroténoïdes est aussi présente. Le premier intérêt porté à la lutéine et à la zéaxanthine dérive donc de leur utilité pour assurer la pigmentation du jaune. Entre diverses sources végétales, l'utilisation d'algue a même été évoquée (10).

Pour ce qui concerne la lutéine et la zéaxanthine, l'œuf se situe à la charnière entre le végétal et l'animal. En effet, ces substances sont présentes en quantités importantes presque exclusivement dans le monde végétal, l'œuf faisant donc exception dans le monde animal. La proportion de lutéine et de zéaxanthine dans le contenu total en caroténoïdes constitue un paramètre important : en effet, de fortes compétitions par les caroténoïdes limitent la biodisponibilité de la lutéine et de la zéaxanthine. Or, l'œuf est l'aliment le plus riche en lutéine et zéaxanthine rapporté à son contenu global en caroténoïdes : à eux deux ils représentent un pourcentage molaire de 89. Pour ce qui concerne la lutéine, il est en deuxième position (54 % molaire) derrière seulement le maïs (60 %) mais devant les kiwis, épinards, courgettes (environ 40 %) et les brocolis, jus d'orange, raisins, choux de Bruxelles, et la pomme (environ 20). Pour ce qui est de la zéaxanthine, l'œuf est en première position (35 % molaire) devant le maïs (25 %), l'orange, la mangue (environ 20 %) (115). 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 (64).

Certes, l'œuf contient moins de lutéine et de zéaxanthine que les végétaux, mais leur biodisponibibité y est plus grande ; l'addition d'huile (comme celle de maïs) augmentant le teneur plasmatique de la lutéine de 50 % et celle de zéaxanthine de 114 % (64). Chez des volontaires (37) suivis pendant 10 jours, la lutéine de l'œuf est mieux absorbée non seulement que celle des épinards (qui constitue l'aliment le plus riche), mais aussi que celle de capsule (tel qu'évalué par la mesure de la quantité de lutéine retrouvée dans le sang) car 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) augmente la bio-disponibilité de la lutéine et de la zéaxanthine.

La nature des lipides influe sur la biodisponibiltié de la lutéine et de la zéaxanthine. La supplémentation (1,3 jaunes/jour/personnes, pendant 4 semaines) avec le suif de bœuf augmente la lutéine plasmatique de 28 % et la zéaxanthine de 142 % ; en présence d'huile de maïs, les chiffres sont de 50 % et 114 % (64). Ces résultats sont obtenus avec des œufs standards. En utilisant des œufs enrichis, les résultats seraient probablement meilleurs.

Une étude (73) rappelle que la richesse en lutéine du lait adapté destiné aux prématurés peut être garantie par l'utilisation d'œuf de qualité dans la formulation de ces laits ; il y quelques années le même raisonnement fut déjà appliqué aux acides gras oméga-3.

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 (région centrale de la rétine, le centre étant lui-même dénommé fovéa ; elle permet la vision des couleurs et celle des détails), où elles participent à l'efficacité de la vision. Elles sont en particulier liées à la tubuline. 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 (75). 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). Or, actuellement, cette maladie est pratiquement incurable ; les stratégies de prévention sont donc très importantes, afin d'en prévenir les dommages.

L'un des rôles de la lutéine et de la zéaxanthine est d'assurer la protection contre les UV et la filtration de la lumière bleue, qui est nuisible à la structure rétinienne et donc à l'activité des photorécepteurs visuels, et d'ailleurs aussi à l'épithélium pigmentaire de la rétine. Le rôle d'antioxydant est certainement important, d'autant que la rétine et le cristallin sont soumis à un stress oxydatif notable, conséquence de la présence simultanée de lumière (qui favorise la formation d'espèces radicalaires) et d'oxygène, comme en témoigne, par exemple, leur grande vascularisation. La lutéine et la zéaxanthine constituent de meilleurs anti-oxydants que l'alpha et le bêta-carotène, tout au moins dans des liposomes (49).

Les patients inclus dans le groupe présentant la plus haute concentration dans le sang en lutéine et en zéaxanthine bénéficient du risque le plus réduit en dégénérescence maculaire : sur une population donnée, le tercile ayant la concentration plasmatique la plus basse présente un risque doublé de DMLA (54). Dans une autre étude, les personnes situées dans le quintile de la plus grande absorption alimentaire de caroténoïdes présentent un risque de dégénérescence maculaire réduit de 43 % ; ceux qui ont la plus grande absorption alimentaire de lutéine et de zéaxanthine présentent un risque réduit de 57 %, l'effet étant indépendant des autres caroténoïdes (110). Dans cette étude, ceux dont la consommation en épinards est la plus importante ont un risque réduit de 86 %, les autres légumes étant moins efficaces (brocolis, choux, carottes, pommes de terre, courges) (64). Par ailleurs, la supplémentation avec de la lutéine (à raison de 30 mg par jour, pendant 140 jours) augmente la concentration de lutéine dans le plasma sanguin et, concomitamment accroît sa concentration dans la macula de l'œil humain (80), les teneurs alimentaires les plus hautes en lutéine et zéaxanthine sont en relation avec les plus faibles observations d'anomalies pigmentaires (91). Un essai clinique chez l'homme montre que la supplémentation en lutéine (30 mg par jour pendant 140 jours) se traduit par une augmentation de la densité optique des pigments de la macula de 21 % et une diminution de la

lumière bleue atteignant la rétine de 30 à 40 %, ce qui est tout à fait favorable (80). Toute augmentation alimentaire de 10 % de lutéine + zéaxanthine est associée à un accroissement de 2,4 % de lutéine sérique (106). 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 (12). De ce fait, apporter ces caroténoïdes dans l'alimentation (sous forme d'épinards et de maïs) pendant 4 semaines augmente les teneurs de pigments maculaires chez nombre de sujets, mais toutefois pas chez tous (63).

Ces considérations sont importantes pour tous les âges de la vie, en particulier pour les enfants prématurés (72).

En utilisant des œufs multi-enrichis, c'est-à-dire des " designer eggs ", décrits ci-dessous à propos de l'enrichissement en acides gras oméga-3, 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 (117).

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 (95).

Les acides gras oméga-3

Tout d'abord il convient de rappeler que les acides gras oméga-3 constituent une famille dont le premier élément est l'acide alpha-linolénique (ALA, 18:3(n-3), 18:3ω3, 18:3 oméga-3), acide gras indispensable ; les autres membres, dérivés de l'ALA, sont constitués de chaînes carbonées plus longues et plus insaturées, les principaux étant l'EPA (acide eicosapentaénoïque, dit timnodonique, 20:5(n-3), 20:5ω3, 20:5 oméga-3) et le DHA (acide docosahéxanoïque, dit cervonique, 22:6(n-3), 22:6ω3, 22:6 oméga-3).

Sur le plan de la santé, tous les acides gras oméga-3 (17) ont été mis en exergue dans le cadre de la prévention et du traitement des maladies cardio-vasculaires, notamment ischémiques obstructives (3, 41, 47, 65, 67, 79, 108, 114). 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. 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 inverse avec le risque de mort subite cardiaque. De nombreux essais d'intervention ont monté l'effet bénéfique de la consommation d'acides gras oméga-3, soit sous forme de poisson, soit de capsules formées de triglycérides issus de chair de poisson gras (59). 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. 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, seul le DHA est concerné dans les apports nutritionnels conseillés français. L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) (1) a émis un avis quant aux allégations possibles, dans le domaine cardio-vasculaire exclusivement. Or, les acides gras oméga-3 à longues chaînes carbonées (EPA et DHA) peuvent aussi être apportés en quantités utiles par les œufs, pour autant que les poules

pondeuses soient nourries de manière pertinente : 3 œufs de cette qualité peuvent équivaloir 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 (30), celui de la prostate (48), quelques pathologies à composante inflammatoire (96) et peut-être même le diabète de type 2 (98).

Les acides gras oméga-3 sont puissamment impliqués au développement du cerveau (22), c'est-à-dire qu'ils interviennent à tous les niveaux, depuis la composition des membranes jusqu'au fonctionnement de l'organe (15, 16) D'autres domaines font l'objet d'investigations, telle certaines pathologies rhumatologiques ou dermatologiques (le psoriasis), les cancers et récemment la psychiatrie (20); une revue a récemment été publiée dans *"Médecine et Nutrition"* (18). Les acides gras poly-insaturés, notamment oméga-3, seraient impliqués dans le vieillissement : leur déficit pourrait altérer le renouvellement des lipides des membranes. Une alimentation équilibrée en acides gras oméga-3 et oméga-6, d'ailleurs en accord avec l'alimentation qui a accompagné l'évolution humaine, pourrait diminuer leurs impacts ou retarder l'apparition de nombre de pathologies (113). Une publication traitant de l'évolution humaine, et plus particulièrement de celle de son cerveau, souligne que l'apport en acides gras oméga-3, qui sont retrouvés en grandes quantités dans le cerveau, a été assuré par les poissons et les fruits de mer, mais aussi par les œufs (23). 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 œufs occupent aussi une place importante (89).

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 (21), notamment dans *"Médecine et Nutrition"* (19).

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

La réalité du déficit alimentaire en acides gras oméga-3 est patente. Pour ce qui concerne l'ALA, les ANC (84) sont de 2 g pour les hommes et de 1,6g pour les femmes (2 g pour celles qui sont enceintes, 2,2 g pour celles qui allaitent), et de 1,5g chez les personnes âgées. Or, en France (40), il ressort d'une étude réalisée récemment en Aquitaine que les femmes, en âge d'être enceintes ou qui le sont, absorbent dans leur alimentation seulement 40 % de l'ALA recommandés par les ANC. Des résultats analogues ont été trouvés en Bretagne sur un petit échantillon d'hommes et de femmes (123), mais aussi sur l'ensemble de la France dans l'étude SU.VI.MAX (6) et dans

mg/100 g	Standard USA	Standard France (Glon)	Multi-enrichi	Grec	Enrichissement Multi-enrichi/ Standard Français
Cholestérol		440	400		-10 %
Acides gras saturés	2400	2800	2800	3000	
Acides gras mono-insaturés	3400	4200	3870	4280	
ALA (acide alpha- linolénique)	15	50	300	207	X 6
DHA	33	40	120	198	X 3
DPA	3			84	
Total oméga-3	**51**	**100**	**430**	**531**	**X 4**
LA (acide linoléique)	780	1400	1400	480	=
Total oméga-6	**1017**	**1500**	**1500**	**693**	**=**
Total AGPI		1580	1920		
Rapport oméga-6/oméga-3		15	3.5		- 80 %
Œuf standard USA et œuf grec : (111, 112) pour 100 g d'œufs recalculé ajusté à 30 g de jaune. DPA : docosapentaénoique, 22:5 oméga-3. AGPI : acides gras poly-insaturés.					

Tableau 4 : Composition en acides gras des œufs standard français et des œufs multi-enrichis

d'autre pays : au Canada (70), en Suède (124) aux USA (97), en Australie (94), en Hongrie (5) et en Europe, avec des différences importantes selon les pays (68).

En ce qui concerne les très longues chaînes carbonées oméga-3 (EPA et DHA), les estimations de consommation (6) 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 (120 mg/jour pour les hommes, 100 mg/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 expérimental beaucoup plus faible, chez lequel il était demandé de ne pas consommer de poissons ni de fruits de mer, la consommation est notablement de moitié des ANC, aux environs de 50 mg/jour (123) au moins pour le DHA. Au Canada, la consommation de DHA est en moyenne de 83 mg/jour, 90 % des femmes enceintes consommant moins de 300 mg/jour, correspondant aux références canadiennes (44). En Australie, elle est de 106 mg/jour (94). Il existe donc une grande disparité de consommation de EPA+DHA selon les âges, les personnes, les régions, les pays, les habitudes alimentaires. 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 œufs quand ils en contiennent, ce qui est précisément le cas des œufs multi-enrichis (tableaux 4 et 5).

La comparaison de la composition en acides gras des muscles des poules pondeuses qui reçoivent une alimentation enrichie en acides gras oméga-3 et de leurs œufs montre que le devenir prioritaire des acides gras alimentaires est le jaune de l'œuf, par rapport au muscle (99).

La nature des acides gras du jaune d'œuf est en relation importante avec la nature de graisses mangées par la poule. Le rapport oméga-6/méga-3 des

en % des AGT		Standard	Multi-enrichi
AGS			
	14:0	0,3	0,2
	16:0	25,6	24,0
	18:0	6,6	8,3
Somme acides gras saturés		32,5	32,5
AGMI			
I	16:1	4,1	3,1
	18:1	44,9	42,0
Somme acides gras mono-insaturés		49,0	45,1
AGPI			16,3
	ALA	0,6	3,5
	ARA	1,1	1,1
	DHA	0,5	1,5
Somme AGPI (acides gras poly-insaturés)		18,5	22,4
Somme Acides gras dont AGPI-LC (acides gras poly-insaturés		100	100
à longues chaînes)		2,2	6,1
Oméga 6		17,4	17,4
Oméga 3		1,1	5
ARA : acide arachidonique. L'œuf standard est celui du groupe Glon, qui produit aussi l'œuf Benefic®.			

Tableau 5 : Teneur en acides gras (en % des acides gras totaux)

Acides gras	Contrôle	Lin 8 % graine	Lin 16 % graine	Canola (colza) 16 % graine
C18:3 ω3	0,62	5,79	8,76	2,37
C20:5 ω3	0,00	0,12	0,15	0,11
C22:5 ω3	0,00	0,29	0,30	0,18
C22:6 ω6	1,02	1,42	1,54	1,49
En % des acides gras totaux. Jaune d'œuf, Canola : colza canadien et US, nouvelle variété ne contenant pas d'acide érucique ; le même colza est cultivé en France (34).				

Tableau 6 : Effet de la présence de graines de lin ou de colza dans la nourriture des poules pondeuses sur la composition en acides gras de l'œuf.

œufs grecs "sauvages" est de 1,3 exactement, alors qu'il est de 19,9 pour les œufs qualifiés d'"industriels" (111). 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 (tableau 6) (34).

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'œuf, puis d'ailleurs aussi dans le cerveau et le sérum des poussins issus de ces œufs (tableau 7) (4). 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 (8). 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 (29).

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 (69, 74) ou bien au niveau de la construction et du fonctionnement des membranes biologiques (69, 74), surtout cérébrales (13, 25-28). Les œufs enrichis en DHA induisent une augmentation des cet acide gras dans les hématies (60). L'addition de phosphatidyl-choline provenant de l'œuf influe sur l'apprentissage de rats âgés (87). Chez le porcelet, des résultats similaires sont obtenus au niveau de la composition en acides gras du cerveau (61) ; l'utilisation de formulations réalisées à l'aide d'œuf modifie la composition des phospholipides biliaires (46). Sur le plan nutritionnel, les phospholipides sont de meilleurs fournisseurs d'acides gras que les triglycérides (13).

ACIDES GRAS	Contrôle 2,9 % Maxepa/kg	Poisson 100 g	Lin 100 g/kg	Soja-huile 100 g/kg	Carthame 100 g/kg
16:0	26,1	27,1	18,7	22,4	24,0
18:0	9,5	10,7	12,5	11,3	10,8
Total saturés	36,3	39,2	31,9	34,0	34,9
18:1 ω9	40,3	35,6	33,0	33,1	25,0
Total mono-insaturés	44,4	39,9	35,0	35,2	27,7
18:2 ω6	14,7	8,2	17,5	23,4	30,0
20:4 ω6	2,1	0,7	1,4	2,1	3,2
22:5 ω6	0,5	0,08	-	-	0,9
Total ω6	17,8	9,6	19,7	25,2	35,9
18:3 ω3	**0,4**	**0,4**	**9,4**	**1,7**	**0,06**
20:5 ω3	-	2,1	0,3	-	-
22:6 ω3	**0,6**	**6,3**	**2,2**	**1,8**	**0,2**
Total ω3	**10**	**10,1**	**12,6**	**3,1**	**0,3**
Total ω6 + ω3	18,8	19,7	32,3	28,3	36,2
ω6/ω3	17,8	1,0	1,6	8,1	120
En % des acides gras totaux. (Jaune d'œuf).					

Tableau 7 : Effet de la présence d'huile de poisson, de lin, de soja ou de carthame dans la nourriture de la poule pondeuse sur la composition des acides gras de l'œuf (4).

L'administration de quantités variables d'ALA dans l'alimentation des poules modifient la composition de leurs œufs, avec des conséquences sur les paramètres physiologiques des hommes qui les consomment. Ainsi (52), 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, 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.

La discussion est ouverte, de l'intérêt des œufs par rapport aux algues, afin d'apporter simultanément les acides gras oméga-3 et oméga-6 (92). 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 (sanguines) de cholestérol augmentées, 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 (101).Ceci a globalement été confirmé (100). D'autre part, les œufs enrichis en acides gras oméga-3 modulent le profil lipidique sanguin chez les patients hypercholestérolémiques, induisant une légère augmentation du cholestérol, mais une diminution importante des triglycérides (85, 86). Les effets cliniques des œufs enrichis en acides gras oméga-3 sont donc positifs (50).

Une expérimentation intéressante a utilisé des œufs "designer egg", dont le contenu en acides gras oméga-3, mais aussi en sélénium et en vitamine E sont contrôlés (117). Elle a porté sur 44 volontaires (24 hommes et 20 femmes, d'âge moyen de 44 ans), qui ont consommé un œuf par jour pendant 8 semaines, soit un œuf standard, soit un "designer egg". La cuisson n'a pas diminué les teneurs en vitamine E ni en lutéine. Bien au contraire : la combinaison des anti-oxydants dans les "designer eggs" a augmenté leur stabilité : la quantité de MDA (malondialdéhyde) formée est de 2,2 µg/g de jaune dans l'œuf standard et de 0,6 dans le "designer egg".

La consommation de ces œufs (tableau 8) ne modifie pas les paramètres sanguins : pression sanguine, cholestérol total, HDL-cholestérol; en revanche, elle augmente, parfois considérablement, le statut en certains nutriments, améliorant le profil en acides gras de toutes les classes de lipides sanguins.

Il existe un bénéfice à supplémenter les laits adaptés destinés aux enfants prématurés en acides gras oméga-3 et oméga-6, notamment en combinant les triglycérides d'œufs et de poissons. Il est souligné que le jaune d'œuf enrichi en oméga-3 constitue une source très intéressante d'acides gras oméga-3 dans les 6 mois qui suivent la naissance (90). En alimentation infantile (112), il convient de noter que des extraits de jaune d'œufs (issus de poules nourries avec des aliments judicieusement choisis) ont été ajoutés par quelques marques de laits adaptés pour nourrisson, et de ce fait, ces laits présentent l'avantage d'apporter les

	% d'augmentation
DHA dans Phospholipides	29
DHA dans Tri-acyl-glycérols	128
DHA dans Esters du cholestérol	33
DHA dans Acides gras libres	58
Vitamine E • alpha-tocophérol • gamma-tocophérol	 19 - 2
Lutéine	88
Sélénium	0
Vitamine A	0
L'alimentation des poules a permis de fixer, dans chaque œuf, 19 mg de vitamine E, 209 mg de DHA, 32 µg de sélénium et 1,9 mg de lutéine. Ce qui représente, pour un adulte, 158 % des ANC quotidiens en vitamine E, 50 % des ANC pour le sélénium et 175 % pour le DHA. Il est heureux que la vitamine A ne soit pas modifiée, montrant qu'il n'y a pas eu de compétition avec la lutéine au niveau de la bio-disponibilité (117).	

Tableau 8 : Résumé de l'effet sur les données plasmatiques des consommateurs de "designer eggs"

mêmes quantités d'acides gras à très longues chaînes – notamment les acides gras oméga-3 – que le lait de femme (2, 36, 42, 76, 81, 82). 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 (11).

Le lait de femmes consommant des œufs enrichis en acides gras oméga-3 contient de plus grandes quantités de ces acides (35). La supplémentation de femmes, avec du DHA provenant des œufs, augmente la concentration de cet acide dans son lait, et par voie de conséquence dans les phospholipides plasmatiques du nourrisson (71).

Chez l'homme, au cours du vieillissement, l'utilisation d'œufs enrichis en acides gras oméga-3 induit une augmentation du DHA dans les globules rouges (102).

Le cholestérol

L'autorisation de consommation des œufs a pendant longtemps été limitée, du fait de leurs teneurs en cholestérol. Or, une fraction importante du cholestérol est d'origine endogène ; et d'autre part, 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 estimé comme étant modérément important, voire faible (88), au point que l'*"American heart association"* n'impose plus de limite quand à la consommation des œufs (78). De ce fait, le débat sur le cholestérol change d'orientation.

En effet, plusieurs travaux évaluent la relation entre la consommation des œufs et l'éventualité d'une hypercholestérolémie, notamment déterminée par une augmentation des LDL.

Une vaste observation portant sur 37 851 hommes âgés de 40 à 75 ans et 80 082 femmes âgées de 34 à 59 ans et suivis pendant 14 ans montre qu'il n'y a pas de relation entre la consommation d'œufs et le risque cardiovasculaire et de décès ; après exclusion des autres facteurs de risque comme l'âge, le tabagisme et autres. 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 (9). Un examen des données obtenues lors de l'étude "NHANES II" aux États-Unis, et portant sur 27 378 personnes montre que les œufs contribuent significativement à la qualité nutritionnelle des aliments, sans être associés à une concentration élevée de cholestérol (116). 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 (77).

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. (85). En revanche, la consommation d'un seul œuf (enrichi en acides gras oméga-3, sélénium et vitamine E, en l'occurrence) ne modifie pas les lipides sanguins ni le cholestérol total (117).

En contre point, un travail montre cependant que la consommation de cholestérol associée à une alimentation pauvre en graisses, mais riche en acides gras poly-insaturés ou saturés, augmente *in vitro* la susceptibilité des LDL à l'oxydation (109).

CONCLUSIONS

L'intérêt d'un aliment réside dans la nature, la diversité et la biodisponibilité de ses nutriments, ainsi, évidement que de leurs quantités. De ce fait, s'il n'existe aucun aliment complet pour l'être humain dans le sens nutritionnel du terme (si ce n'est le lait de femme, quoique pour les 5 premiers mois de la vie, seulement), certains aliments sont plus intéressants que d'autres du fait de leur richesse en nutriments : c'est précisément le cas de l'œuf.

Le déficit en nombre de nutriments est important en France, comme le montre l'enquête

SU.VI.MAX (66), 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. Pour les minéraux, le déficit en fer touche notamment les femmes, l'iode et le sélénium n'ont pas été publiés. Toutefois, pour ce qui concerne le sélénium, la supplémentation augmente les teneurs plasmatiques (104).

L'œuf possède donc un certain nombre de caractéristiques nutritionnelles. Il contient des protéines de bonne valeur biologique. Il n'est déficient qu'en glucides, calcium et vitamine C. Au plan énergétique, un œuf de 60 g fournit de 85 à 90 calories métabolisables (75 dans le jaune et 15 dans le blanc) pour un apport protéique de 7 grammes ; cet aliment représente donc un rapport calories/protéines modéré. L'œuf contient de très nombreuses vitamines, la plupart d'entre elles sont beaucoup plus abondantes dans le jaune que dans le blanc. Ceci est évident pour les vitamines liposolubles (A, D, E et K), dont la présence dans le jaune est fonction de l'alimentation de la poule, comme cela est montré dans ce travail. Seule la vitamine B2 (riboflavine) se retrouve en quantité de même ordre de grandeur dans le blanc et le jaune, alors que la vitamine B3 (PP, nicotinamide) est trouvée en concentration plus importante dans le blanc. La présence de vitamines du groupe B, hydrosolubles, en quantités plus élevées dans le jaune (émulsion lipidique) que dans le blanc (aqueux) est due au fait qu'elles ne se trouvent pas à l'état libre, mais liées à des protéines.

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.

La biodisponibilité du **fer** de l'œuf est actuellement discutée. Toutefois, une étude portant sur l'efficacité des œufs enrichis en oméga-3 dans les formulations données aux nourrissons dans les 6 mois suivant la naissance souligne que ces œufs constituent aussi une intéressante source de fer, sans être pour autant enrichis (90). D'autant que l'étude SU.VI.MAX (53) (et d'autres, réalisées en France) montre qu'environ 20 % des femmes sont sujettes à une carence en fer, du fait d'une alimentation inadaptée ne compensant pas les pertes liées au cycle menstruel. L'un des thèmes retenus par le PNNS (Programme National Nutrition Santé) est précisément la lutte contre cette carence.

D'autres perspectives peuvent s'ouvrir : les **CLA** (Conjugated Linoleic Acids). En effet, l'attention portée à ces substances s'est considérablement accrue, avec quelques études (encore non concluantes) portant sur la poule pondeuse et l'œuf. Compte-tenu des publications en nombre encore trop restreint, et des résultats faisant l'objet de discussions au sein de diverses espèces ; mais les preuves d'un intérêt et d'une efficacité reste à apporter. L'enrichissement simultané en C.L.A. et en acides gras oméga-3 est cependant proposé (105), sans démonstration encore de son intérêt. La choline est importante dans le cadre notamment du développement du cerveau et de son fonctionnement ; bien qu'il ne s'agisse pas d'une vitamine, un apport alimentaire est recommandé, or les œufs se situent en deuxième position (avec 250 mg/100 g) derrière les foies de bovins et d'oiseaux (125) qui sont eux-mêmes très peu consommés et donc ne peuvent pas participer à la couverture des besoins.

Au final, l'œuf multi-enrichi contribue à couvrir, à faible coût, plus de 30 % des apports nutritionnels conseillés pour 10 nutriments indispensables à l'homme : protéine, vitamine E, D, B2, B9, B12, iode, sélénium, lutéine, oméga-3. Il avoisine la composition de l'œuf pastoral, naturel, et pourrait donc constituer dans le futur la norme exigée par le consommateur.

REMERCIEMENTS

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

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AFSSA – Acides gras de la famille oméga 3 et système cardiovasculaire : intérêt nutritionnel et allégations. *AFSSA*, 10 juillet 2003.
2. AGOSTONI C. *et coll.* – Prolonged breast-feeding (six months or more) and milk fat content at six months are associated with higher developmental scores at one year of age within a breast-fed population. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2001, **501**, 137-1341.
3. ALBERT C.M. *et coll.* – Fish consumption and risk of sudden cardiac death. *JAMA* ,1998, **279**, 23-28.
4. ANDERSON G.J. *et coll.* – Rapid modulation of the n-3 docosahexaenoic acid levels in the brain and retina of the newly hatched chick. *J. Lipid Res.*, 1989, **30**, 433-441.
5. ANTAL M. *et coll.* – Nutritional survey of pregnant women in Hungary. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 1997, **67**, 115-122.
6. ASTORG P. *et coll.* – Dietary intakes and food sources of n-6 and n-3 PUFA in French adult men and women. *Lipids*, 2004, **39**, 527-35.
7. BARRERE X. *et coll.* – Determinants of thyroid volume in healthy French adults participating in the SU.VI.MAX cohort. *Clin. Endocrinol. (Oxf)*, 2000, **52**, 273-278.
8. BAUCELLS M.D. *et coll.* – Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poult. Sci.*, 2000, **79**, 51-59.
9. BAUTISTA L.E., HERRAN O.F., 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**, 748-754.
10. BEN-AMOTZ A., EDELSTEIN S., AVRON M. – Use of the beta-carotene rich alga Dunaliella bardawil as a source of retinol. *Br. Poult. Sci.*, 1986, **27**, 613-619.
11. BONDIA-MARTINEZ E. *et coll.* – Fatty acid composition of plasma and erythrocytes in term infants fed human milk and formulae with and without docosahexaenoic and arachidonic acids from egg yolk lecithin. *Early Hum. Dev.*, 1998, **53**, S109-S119.
12. BONE R.A. *et coll.* – Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Exp. Eye Res.*, 2000, **71**, 239-245.
13. BOURRE J.M., 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*, 129-133.
14. BOURRE J.-M. – *Diététique du cerveau, la nouvelle donne*. Odile Jacob. 2003.
15. BOURRE J.-M. – Effets des nutriments (des aliments) sur les structures et les fonctions du cerveau : le point sur la diététique du cerveau. *Rev. Neurol.*, 2004, **160**, 767-792.
16. BOURRE J.M. – 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.
17. BOURRE J.-M. – *La vérité sur les oméga-3*. Odile Jacob. 2004.
18. BOURRE J.-M. – Psychiatrie et acides gras oméga-3 alimentaires : le point sur la question. *Médecine et Nutrition*, 2004, **40**, 171-182.
19. BOURRE J.-M. – 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.
20. BOURRE J.M. – Dietary omega-3 fatty acids and psychiatry: mood, behaviour, stress, depression, dementia and aging. *The journal of Nutrition, Health and aging*, 2005, **9**, 31-38.
21. BOURRE J.M. – 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, **9**, 232-242.
22. BOURRE J.M. – Effects of nutrients (in food) on the structure and function of nervous system: update on dietary requirements for brain. *J. Nutr. Health Anging*, 2005, sous presse.
23. BROADHURST C.L. *et coll.* – Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: potential impact on early African Homo sapiens. *Comp Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.*, 2002, **131**, 653-673.
24. BROWN K.M., Arthur J.R. – Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutr.*, 2001, **4**, 593-599.
25. CARRIE I. *et coll.* – Diets containing long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids affect behaviour differently during development than ageing in mice. *Br J. Nutr.*, 2000, **83**, 439-447.
26. CARRIE I. *et coll.* – Phospholipid supplementation reverses behavioral and biochemical alterations induced by n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency in mice. *J. Lipid Res.*, 2000, **41**, 473-480.
27. CARRIE I. *et coll.* – Specific phospholipid fatty acid composition of brain regions in mice. Effects of n-3 polyunsaturated fatty acid deficiency and phospholipid supplementation. *J. Lipid Res.*, 2000, **41**, 465-472.
28. CARRIE I. *et coll.* – Docosahexaenoic acid-rich phospholipid supplementation: effect on behavior, learning ability, and retinal function in control and n-3 polyunsaturated fatty acid deficient old mice. *Nutr. Neurosci.*, 2002, **5**, 43-52.
29. CARRILLO-DOMINGUEZ S. *et coll.* – 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**, 167-172.
30. CHAJES V., BOUGNOUX P. – Omega-6/omega-3 polyunsaturated fatty acid ratio and cancer. *World Rev. Nutr. Diet.*, 2003, **92**, 133-151.
31. CHANOINE J.P. – Selenium and thyroid function in infants, children and adolescents. *Biofactors*, 2003, **19**, 137-143.
32. CHAPUY M.C. – Prevalence of vitamin D insufficiency in an adult normal population. *Osteoporos. Int.*, 1997, **7**, 439-443.
33. CHEN J., BERRY M.J. – Selenium and selenoproteins in the brain and brain diseases. *J. Neurochem.*, 2003, **86**, 1-12.
34. CHERIAN G., SIM J.S. – Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. *Poultry Sci.*, 1991, **70**, 917-922.
35. CHERIAN G., SIM J.S. – Changes in the breast milk fatty acids and plasma lipids of nursing mothers following consumption of n-3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs. *Nutrition*, 1996, **12**, 8-12.
36. CHIROUZE V. *et coll.* – Red blood cell fatty acid composition in low-birth-weight infants fed either human milk or formula during the first months of life. *Acta Paediatr. Suppl.*, 1994, **405**, 70-77.
37. CHUNG H.Y., Rasmussen H.M., Johnson E.J. – Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *J. Nutr.*, 2004, **134**, 1887-1893.
38. CLEMENT M., DINH L., BOURRE J.M. – 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**, 175-180.
39. CLEMENT M., BOURRE J.M. – 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 vitamine-E deficient rats. *Biochem. Biophys. Acta*, 1334, 1997, 173-181.
40. COMBE N., BOUE C. – Apports alimentaires en acides linoléique et alpha-linolénique d'une population d'Aquitaine. *OCL*, 2001, **8**, 118-121.
41. DAVIGLUS M.L. *et coll.* – Fish consumption and the 30-year risk of fatal myocardial infarction. *N. Engl. J. Med.*, 1997, **336**, 1046-1053.
42. DECSI T., THIEL I., KOLETZKO B. – Essential fatty acids in full term infants fed breast milk or formula. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal*, 1995, **72**, F23-F28.
43. DELANGE F. – Iodine deficiency as a cause of brain damage. *Postgrad. Med. J.*, 2001, **77**, 217-220.
44. DENOMME J., STARK K.D., HOLUB B.J. – Directly Quantitated Dietary (n-3) Fatty Acid Intakes of Pregnant Canadian Women Are Lower than Current Dietary Recommendations. *J. Nutr.*, 2005, **135**, 206-211.
45. BOURRE J. *et coll.* – Vitamin E deficiency has different effects on brain and liver phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase activities in the rat. *Neurosci Lett.*, 2000, **286**, 87-90.
46. DEVLIN A.M., INNIS S.M. – Dietary phospholipid alters biliary lipid composition in formula-fed piglets. *Lipids*, 1999, **34**, 1313-1318.
47. DEWAILLY E. *et coll.* – 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.
48. DEWAILLY E. *et coll.* – Inuit are protected against prostate cancer. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 2003, **12**, 926-927.
49. FAROMBI E.O., BRITTON G. – Antioxidant activity of palm oil carotenes in peroxyl radical-mediated peroxidation of phosphatidyl choline liposomes. *Redox. Rep.*, 1999, **4**, 61-68.
50. FARRELL D.J. – Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1998, **68**, 538-544.
51. FERRARI S., RIZZOLI R., BONJOUR J.P. – Heritable and nutritional influences on bone mineral mass. *Aging (Milano.)*, 1998, **10**, 205-213.
52. FERRIER L.K. *et coll.* – alpha-Linolenic acid- and docosahexaenoic acid-enriched eggs from hens fed flaxseed: influence on blood lipids and platelet phospholipid fatty acids in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1995, **62**, 81-86.
53. GALAN P. *et coll.* – Determining factors in the iron status of adult women in the SU.VI.MAX study. SUpplementation en VItamines et Mineraux AntioXydants. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1998, **52**, 383-388.
54. GALE C.R. *et coll.* – Lutein and zeaxanthin status and risk of age-related macular degeneration. Invest. *Ophthalmol. Vis. Sci.*, 2003, **44**, 2461-2465.
55. 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.
56. 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 : 6èmes Journées de la Recherche Avicole, Saint-Malo, France 30 et 31 mars 2005.
57. GALOBART J. *et coll.* – Effect of dietary supplementation with rosemary extract and alpha-tocopheryl acetate on lipid oxidation in eggs enriched with omega3-fatty acids. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 460-467.
58. GALOBART J. *et coll.* – Lipid oxidation in fresh and spray-dried eggs enriched with omega3 and omega6 polyunsaturated fatty acids during storage as affected by dietary vitamin E and canthaxanthin supplementation. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 327-337.
59. 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**, 447-455.
60. GLEIZE B. *et coll.* – Docosahexaenoic acid-enriched egg phospholipids supplementation induces accretion of arachidonic acid in rat blood lipids. *Cell Mol. Biol.*, 2004, **50**, 861-867.
61. GOUSTARD-LANGELIER B. *et coll.* – 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.
62. HACQUEBARD M., CARPENTIER Y.A. – Vitamin E: absorption, plasma transport and cell uptake. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 2005, **8**, 133-138.
63. HAMMOND B.R. *et coll.* – Dietary modification of human macular pigment density. I*nvest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 1997, **38**, 1795-1801.
64. HANDELMAN G.J. *et coll.* – Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, **70**, 247-251.
65. HE K. *et coll.* – Accumulated evidence on fish consumption and coronary heart disease mortality. A meta-ananlysis of cohort studies. *Circulation*, 2004, **109**, 2705-2711.
66. HERCBERG S. *et coll.* – The SU.VI.MAX Study: a randomized, placebo-controlled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. *Arch. Intern. Med.*, 2004, **164**, 2335-2342.
67. HOLUB D.J., HOLUB B.J. – Omega-3 fatty acids from fish oils and cardiovascular disease. *Mol. Cell Biochem.*, 2004, **263**, 217-225.
68. HULSHOF K.F. *et coll.* – "Intake of fatty acids in western Europe with emphasis on trans fatty acids: the TRANSFAIR Study". *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1999, **53**, 143-157.
69. IDE T., MURATA M. – Depressions by dietary phospholipids of soybean and egg yolk origins of hepatic triacylglycerol and fatty acid synthesis in fasted-refed rats. *Ann. Nutr. Metab.*, 1994, **38**, 340-348.
70. INNIS S.M., 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.
71. JENSEN C. *et coll.* – Effect of docohexaenoic supplementation of lactating women on the fatty acid composition of breast milk lipids and maternal and infant plasma. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2000, **71**, 22S-299S.
72. JEWELL V.C. *et coll.* – Nutritional factors and visual function in premature infants. *Proc. Nutr. Soc.*, 2001, **60**, 171-178.
73. JEWELL V.C. *et coll.* – A comparison of lutein and zeaxanthin concentrations in formula and human milk samples from Northern Ireland mothers. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2004, **58**, 90-97.
74. JIANG Z., SIM J.S. – Effects of dietary n-3 fatty acid-enriched chicken eggs on plasma and tissue cholesterol and fatty acid composition of rats. *Lipids*, 1992, **27**, 279-284.
75. JOHNSON E.J. – The role of carotenoids in human health. *Nutr. Clin. Care*, 2002, **5**, 56-65.
76. KOHN G., SAWATZKI G., VAN BIERVLIET J.P. – Long-chain polyunsaturated fatty acids in infant nutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1994, **48**, S1-S7.

77. KRITCHEVSKY S.B., KRITCHEVSKY D. – Egg consumption and coronary heart disease: an epidemiologic overview. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2000, **19**, 549S-555S.
78. KRITCHEVSKY S.B. – A review of scientific research and recommendations regarding eggs. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2004, **23**, 596S-600S.
79. KROMHOUT D., BOSSCHIETER E.B., DE LEZENNE C.C. – The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronary heart disease. *N. Engl. J. Med.*, 1995, **312**, 1205-1209.
80. LANDRUM J.T. *et coll.* – A one year study of the macular pigment: the effect of 140 days of a lutein supplement. *Exp. Eye Res.*, 1997, **65**, 57-62.
81. LAPILLONNE A. *et coll.* – Erythrocyte fatty acid composition in term infants fed human milk or a formula enriched with a low eicosapentanoic acid fish oil for 4 months. *Eur. J. Pediatr.*, 2000, **159**, 49-53.
82. LAPILLONNE A. *et coll.* – The use of low-EPA fish oil for long-chain polyunsaturated fatty acid supplementation of preterm infants. *Pediatr. Res.*, 2000, **48**, 835-841.
83. LAZARUS J.H. – Thyroid disorders associated with pregnancy: etiology, diagnosis, and management. *Treat. Endocrinol.*, 2005, **4**, 31-41.
84. LEGRAND P. *et coll.* – Lipides. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Martin A. Éditeur. Tec et Doc Lavoisier 2000, 63-82.
85. LEWIS N.M., SEBURG S., FLANAGAN N.L. – Enriched eggs as a source of N-3 polyunsaturated fatty acids for humans. *Poult. Sci.*, 2000, **79**, 971-974.
86. LEWIS N.M., SCHALCH K., SCHEIDELER S.E. – Serum lipid response to n-3 fatty acid enriched eggs in persons with hypercholesterolemia. *J. Am. Diet. Assoc.*, 2000, **100**, 365-367.
87. LIM S.Y., 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**, 215-221.
88. MacDONALD B.E. – The Canadian experience: why Canada decided against an upper limit for cholesterol. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2004, **23**, 616S-620S.
89. MacGRATH-HANNA N.K. *et coll.* – Diet and mental health in the Arctic: is diet an important risk factor for mental health in circumpolar peoples?-a review. *Int. J. Circumpolar. Health*, 2003, **62**, 228-241.
90. MAKRIDES M. *et coll.* – Nutritional effect of including egg yolk in the weaning diet of breast-fed and formula-fed infants: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2002, **75**, 1084-1092.
91. MARES-PERLMAN J.A. *et coll.* – Lutein and zeaxanthin in the diet and serum and their relation to age-related maculopathy in the third national health and nutrition examination survey. *Am. J. Epidemiol.*, 2001, **153**, 424-432.
92. MATHEWS S.A. *et coll.* – Comparison of triglycerides and phospholipids as supplemental sources of dietary long-chain polyunsaturated fatty acids in piglets. *J. Nutr.*, 2002, **132**, 3081-3089.
93. MELUZZI A. *et coll.* – Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. *Poult. Sci.*, 2000, **79**, 539-545.
94. MEYER B.J. *et coll.* – Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, 2003, **38**, 391-398.
95. MOELLER S.M., JACQUES P.F., BLUMBERG J.B. – The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2000, **19**, 522S-527S.
96. MORI T.A., BEILIN L.J. – Omega-3 fatty acids and inflammation. *Curr. Atheroscler. Rep.*, 2004, **6**, 461-467.
97. MORRIS M.C. *et coll.* – Consumption of fish and n-3 fatty acids and risk of incident Alzheimer disease. *Arch. Neurol.*, 2003, **60**, 940-946.
98. NETTLETON J.A., KATZ R. – N-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in type 2 diabetes: a review. *J. Am. Diet. Assoc.*, 2005, **105**, 428-440.
99. NITSAN Z., MOKADY S., SUKENIK A. – Enrichment of poultry products with omega3 fatty acids by dietary supplementation with the alga Nannochloropsis and mantur oil. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 5127-5132.
100. O'BRIEN B.C., ANDREWS V.G. – Influence of dietary egg and soybean phospholipids and triacylglycerols on human serum lipoproteins. *Lipids*, 1993, **28**, 7-12.
101. OH S.Y. et *coll.* – Eggs enriched in omega-3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1991, **54**, 689-695.
102. PAYET M. *et coll.* – Docosahexaenoic acid-enriched egg consumption induces accretion of arachidonic acid in erythrocytes of elderly patients. *Br. J. Nutr.*, 2004, **91**, 789-796.
103. PAYNE R.L., LAVERGNE T.K., SOUTHERN L.L. – Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration. *Poult. Sci.*, 2005, **84**, 232-237.
104. PREZIOSI P. *et coll.* – Effects of supplementation with a combination of antioxidant vitamins and trace elements, at nutritional doses, on biochemical indicators and markers of the antioxidant system in adult subjects. *J. Am. Coll. Nutr.*, 1998, **17**, 244-249.
105. RAES K. *et coll.* – The deposition of conjugated linoleic acids in eggs of laying hens fed diets varying in fat level and fatty acid profile. *J. Nutr.*, 2002, **132**, 182-189.
106. ROCK C.L. *et coll.* – Diet and lifestyle correlates of lutein in the blood and diet. *J. Nutr.*, 2002, **132**, 525S-530S.
107. SANKAR R. *et coll.* – Intellectual and motor functions in school children from severely iodine deficient region in Sikkim. *Indian J.Pediatr.*, 1994, **61**, 231-236.
108. SCHMIDT E. B. *et coll.* – N-3 fatty acids from fish and coronary artery disease: implications for public health. *Public Health Nutr.*, 2000, **3**, 91-98.
109. SCHWAB U.S. *et coll.* – Dietary cholesterol increases the susceptibility of low density lipoprotein to oxidative modification. *Atherosclerosis*, 2000, **149**, 83-90.
110. SEDDON J.M. *et coll.* – Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. *JAMA*, 1994, **272**, 1413-1420.
111. SIMOPOULOS A.P., SALEM N. – n-3 fatty acids in eggs from range-fed greek chickens. *Teh new England journal of medicine*, 1989, **16**, 1412.
112. SIMOPOULOS A.P., SALEM N. – Egg yolk as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant feeding. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1992, **55**, 411-414.
113. SIMOPOULOS A. – Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2002, **21**, 495-505.
114. SISCOVICK D.S. *et coll.* – Dietary intake and cell membrane levels of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and the risk of primary cardiac arrest. *JAMA*, 1995, **274**, 1363-1367.
115. SOMMERBURG O. *et coll.* – Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes. *Br. J. Ophthalmol.*, 1998, **82**, 907-910.
116. SONG W.O., KERVER J.M. – Nutritional contribution of eggs to American diets. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2000, **19**, 556S-562S.

117. SURAI P.F. *et coll.* – Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2000, **54**, 298-305.
118. TINGGI U. – Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicol. Lett.*, 2003, **137**, 103-110.
119. TRABER M.G. – Vitamin E regulation. *Curr. Opin. Gastroenterol.*, 2005, **21**, 223-227.
120. VALEIX P. *et coll.* – Iodine deficiency in France. *Lancet*, 1999, **353**, 1766-1767.
121. VALEIX P. *et coll.* – Ultrasonic assessment of thyroid nodules, and iodine status of French adults participating in the SU.VI.MAX study. *Ann. Endocrinol.*, 2001, **62**, 499-506.
122. VALEIX P. *et coll.* – Thyroid hormone levels and thyroid dysfunction of French adults participating in the SU.VI.MAX study. *Ann. Endocrinol.*, 2004, **65**, 477-486.
123. WEILL P. *et coll.* – Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Ann. Nutr. Metab.*, 2002, **46**, 182-191.
124. XIANG M. *et coll.* – Long-chain polyunsaturated fatty acids in human milk and brain growth during early infancy. *Acta Paediatr.*, 2000, **89**, 142-147.
125. ZEISEL S.H. – Nutritional importance of choline for brain development. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2004, **23**, 621S-626S.