

Valeur nutritionnelle des œufs

Produit de base d'excellente valeur alimentaire pour l'ensemble des populations, l'œuf est depuis toujours, un des aliments d'origine animale les plus utilisés dans le monde (consommation en augmentation de 3 % par an depuis 10 ans). Sa composition, remarquablement stable et indépendante des conditions d'élevage et d'alimentation pour ses constituants majeurs peut être enrichie en nutriments, actuellement très recherchés en nutrition humaine tels que acides gras essentiels, anti-oxydants et vitamines.

L'œuf élaboré par la poule est destiné à assurer la survie et le développement d'un embryon dans l'enceinte close que constitue la coquille. Il doit donc contenir l'ensemble des nutriments nécessaires au développement du poussin et permettre leur utilisation métabolique sans possibilité d'évacuation de déchets solides, puisque la coquille n'autorise que des échanges gazeux avec le milieu externe. Cette réserve de protéines, lipides, minéraux et vitamines est remarquable par la grande diversité des nutriments qu'elle contient et leur haute valeur nutritionnelle, due à un parfait équilibre de ses constituants¹. L'œuf est donc reconnu depuis toujours comme un aliment de haute qualité nutritionnelle pour l'homme.

Par ailleurs, les améliorations considérables apportées à la production de l'œuf depuis trente ans ont beaucoup diminué son prix de revient et en font une source de protéines et de lipides animaux de faible coût. En Europe, 275 millions de poules pondeuses assurent une production de 80 milliards d'œufs chaque année pour répondre à

une consommation annuelle moyenne de 210 œufs par européen, avec des extrêmes allant de 124 œufs en Irlande à 250 œufs en France. La part des ovoproduits dans la consommation globale a considérablement augmenté et atteint 28 % en France en 2003. Il en est de même des productions alternatives d'œufs qui représentent 23 % des œufs coquilles vendus en GMS (Magdelaine 2004). La consommation d'œufs a diminué dans les pays industrialisés entre les années 50 et 90, principalement du fait de suspicions liées à sa forte teneur en cholestérol. Cette tendance s'est inversée depuis 10 ans et la consommation d'œufs a par ailleurs considérablement augmenté dans les pays émergents, notamment en Asie, où les œufs supplantent le lait dans l'alimentation. De façon globale, la production et la consommation mondiales d'œufs ont triplé depuis les années soixante et continuent à croître régulièrement (Gillin et Sakoff 2003).

Le principal facteur défavorable à la consommation de l'œuf est aujourd'hui le risque de contamination par les salmonelles lié à la consommation de préparations à base d'œufs à l'état cru conservées dans de mauvaises conditions. Vient ensuite la présence dans le blanc d'œuf, comme dans le lait ou le soja, de protéines allergisantes pour le jeune enfant. Dans ce contexte, après avoir présenté les principales caractéristiques de l'œuf, la variabilité de sa composition et les facteurs

Résumé

L'œuf peut être défini comme une source peu énergétique de protéines parfaitement équilibrées et de lipides de très bonne digestibilité, assurant par ailleurs 20 à 30 % du besoin journalier de l'homme en de nombreux minéraux et vitamines (pour 100 g d'œuf). Il est cependant déficient en glucides, calcium et vitamine C. Ces qualités font de l'œuf un aliment particulièrement indiqué pour les populations sensibles à l'équilibre de leur ration : enfants, personnes âgées ou convalescentes. L'œuf est enfin le seul aliment d'origine animale capable d'être conservé à l'état cru pendant une période notable à température ambiante.

¹ Lorsqu'on y inclut une partie de la coquille qui fournit à l'embryon le calcium nécessaire à la formation de son squelette, alors qu'elle n'est pas consommée par l'homme.

influençant sa valeur nutritionnelle, nous analyserons l'incidence réelle et les moyens de prévention de ces risques.

1 / Composition globale de l'œuf

La composition moyenne de l'œuf est indiquée dans les tableaux 1 et 2, rapportée à 100 g de produit frais consommable. Ces tableaux incluent les coefficients de variation des nutriments de l'œuf ainsi que les pourcentages des besoins journaliers de l'homme adulte couverts par deux œufs (100 g de produits comestibles).

L'œuf est constitué de 60 % de blanc et de 30 % de jaune, contenus dans une coquille qui représente 10 % du poids total. Les parts relatives de chacun des constituants varient dans des proportions importantes en fonction de l'âge de la poule et, dans une moindre mesure, entre individus, en fonction de certaines conditions environnementales ou lors de carences alimentaires de la poule (Sauveur 1988, Burley et Vadehra 1989, Blum et Sauveur 1996, Gutierrez *et al* 1997).

L'œuf de poule sans coquille contient 74,4 % d'eau et deux séries de nutriments majeurs : des protéines (12,3 % ; 6,7 g/œuf, soit 30 % du besoin quotidien de l'homme/100 g d'œuf) et une quantité équivalente de lipides (11,9 %). Il renferme toutes les vitamines (sauf la vitamine C), de très nombreux minéraux et oligo-éléments. L'œuf est pauvre en énergie (85 kcal soit 6 % seulement du besoin quotidien de l'homme/100 g d'œuf). Le blanc est une solution aqueuse de protéines et de sels minéraux mais dépourvue de lipides alors que le jaune contient 78 % des calories et tous les lipides. Les vitamines, qu'elles soient liposolubles ou hydrosolubles, sont majoritairement présentes dans le jaune, exception faite de la riboflavine et la niacine (vitamines B2 et B3) que l'on retrouve principalement dans le blanc d'œuf.

2 / Valeur nutritionnelle

Protéines de l'œuf

Les protéines sont réparties équitablement entre le blanc et le jaune d'œuf. Les protéines du blanc sont pour la plupart des glycopro-

Tableau 1. Composition moyenne de l'œuf (par 100 g ; œuf sans coquille) (d'après Sauveur 1988 ; Gittins et Overfield 1991 ; Blum et Sauveur 1996 ; Yamamoto *et al* 1997).

Nutriments	Blanc	Jaune	Œuf ⁽¹⁾	CV ⁽²⁾ (%)	ANC ⁽³⁾	100 g œuf % ANC
Proportion part comestible ⁽⁴⁾	60	30,7	90,7			
Eau (g)	88,6	49	74,4	1,2		
Calories (kcal)	47	364	154		2700	6
Protéines (g)	10,6	16,1	12,3	4,7	42	29
Glucides (g)	0,8	0,5	0,7			
Cendres (g)	0,5	1,6	0,9	4,6		
Lipides (g)	0,1	34,5	11,9	6,9		
Triglycérides (g)		22,9	7,7			
Phospholipides (g)		10,0	3,4			
Acides gras saturés (g)		13,0	4,4		19,5	22,5
16:0 acide palmitique		7,3	2,5	21,4		
18:0 acide stéarique		2,5	0,86	23		
Acides gras insaturés (g)		20,7	7,0		49,5	14
16:1-acide palmitoléique		1,1	0,4	30,4		
18:1-acide oléique		12	4,1	18		
18:2-acide linoléique (n-6)		3,6	1,25	40	10	12,5
18:3-acide linoléique (n-3)		0,12	0,04		2	2
20:4-acide arachidonique (n-6, AA)		0,6	0,2			
20:5-acide eicosapentaénoïque (n-3)		0	0			
22:6-acide docosahéxaénoïque (n-3)		0,4	0,15		0,12	125
Cholestérol (g)	0	1,2	0,42	9,5		
Lécithine (Phosphatidylcholine) (g)		7,2	2,30			
Céphaline (g) (phosphatidyléthanolamine)		1,4	0,46			
Acides aminés indispensables, mg						
Histidine					mg/j	
Isoleucine	240	410	290		840	34
Leucine	560	870	660		1400	47
Lysine	880	1390	1040		2400	44
Méthionine+cystine	660	1170	820		2450	33
Phénylalanine+tyrosine	670	660	640		1400	45
Thréonine	1020	1420	1150		2240	51
Tryptophane	470	850	590		1120	52
Valine	170	240	190		280	68

(1) Œuf sans coquille.

(2) Coefficient de variation, Gittins et Overfield 1991.

(3) ANC, recommandations journalières pour l'homme adulte, mâle de 70 kg (Martin *et al* 2001).

(4) Par rapport à l'œuf entier (avec coquille).

Tableau 2. Composition moyenne de l'œuf (100 g produit frais) en vitamines et minéraux et couverture du besoin quotidien de l'homme adulte.

Nutriments	Blanc/ 100 g	Jaune/ 100 g	Œuf entier /100 g frais	CV ⁽¹⁾ (%)	ANC ⁽²⁾	100 g œuf % ANC
Minéraux (mg/100 g)	500	1600	700			
Sodium	155	50	120	8-11	7000	2
Chlore	175	162	172		5000	3
Potassium	140	100	125	8-11	600	21
Calcium	8	133	50	8-11	900	5,5
Phosphore	18	530	193	8-11	750	26
Fer	0,1	4,8	1,7	12	9	19
Magnésium	10	15	12		350	3
Soufre	163	165	164			18
Zinc	0,12	3,9	1,3	28	9-14	11
Cuivre	0,02	0,14	0,06	40	2	3
Manganèse	0,007	0,11	0,04	28	1-2,5	2
Iode	0,003	0,14	0,05		0,15	33
Vitamines (µg/100g)						
Acide Ascorbique	0	0	0		110000	0
A, Rétinol Equivalent	0	450	150	37	800	19
D	0	4,5	1,5	95	5	30
E	0	3600	1300	46	12000	11
Thiamine B1	10	250	91	17	1300	7
Riboflavine B2	430	480	447	21	1600	28
Niacine B3	90	60	79		14000	0,6
Biotine B8	7	60	25		50	50
Vitamine B6	10	370	138		1800	8
Vitamine B12	0,1	2,8	1	45	2,4	41
Acide folique B9	12	140	60	35	330	18
Acide pantothénique B5	250	4500	1700	32	5000	34

(1) Coefficient de variation, Gittins et Overfield 1991.

(2) ANC, recommandations journalières pour l'homme adulte, mâle de 70 kg (Martin *et al* 2001).

téines ; l'ovotransferrine et le lysosyme ont des propriétés antimicrobiennes, alors que d'autres confèrent au blanc d'œuf des propriétés fonctionnelles intéressantes telles que viscosité, thermogélification, propriétés moussantes et émulsifiantes. La synthèse *de novo* des protéines du blanc dans le magnum (partie centrale de l'oviducte) confère une grande stabilité à la teneur et à la composition de ces constituants majeurs. Il en est de même pour les protéines du jaune, synthétisées dans le foie, acheminées dans le sang, pour la plupart sous la forme de lipoprotéines de composition parfaitement définie, puis accumulées dans le jaune par un mécanisme de transport spécifique (Griffin 1992, Hermier 1997).

Les protéines du blanc d'œuf à l'état cru sont peu digestibles (51 %) du fait de l'activité antitrypsique de l'ovomucoïde. Cette activité est détruite à la cuisson qui permet en outre, en provoquant la coagulation des protéines, une stimulation des sécrétions gastriques et pancréatiques : la digestibilité des protéines du blanc cuit est ainsi presque totale 91-94 % (Evenepoel *et al* 1998 et 1999). A l'inverse, une sur-cuisson du jaune diminue la digestibilité de ses lipoprotéines. Comparées à l'ensemble des protéines animales et végétales, les protéines de l'œuf cuit ont une digestibilité très élevée. De plus, leur composition en acides aminés essentiels est parfaitement adaptée aux besoins de l'homme, notamment grâce à une teneur élevée en lysine et acides aminés soufrés. Du fait de cet équilibre parfait, l'organisation mondiale de la santé a choisi l'œuf entier comme source de protéines de référence pour l'enfant (référence 100, donc légèrement supérieure au lait de femme !). Lorsque l'on prend en compte la digestibilité des protéines de l'œuf entier et

leur valeur biologique (utilisation réelle pour la synthèse protéique), l'œuf est supérieur à toute autre source protéique, respectivement, de 15, 20 et 40 % par rapport au lait de vache, à la viande de bœuf ou aux protéines du blé (Sauveur 1988). Les protéines du jaune de l'œuf peuvent être hydrolysées en peptides et constituent une excellente source d'acides aminés équilibrés pour l'enfant, réduisant en outre le risque d'allergie (Gutierrez *et al* 1998).

Lipides de l'œuf

Tous les lipides de l'œuf (6 g par œuf) sont contenus dans le jaune. Ils sont associés aux protéines dans la proportion de 2/1. Les lipides représentent de 33 à 35 % du poids du jaune frais et 65 % de sa matière sèche. Les lipides de l'œuf sont composés pour les deux tiers de triglycérides (65 %) mais incluent des phospholipides (31 %) et du cholestérol (4 %). La digestibilité des triglycérides est excellente (98 %), celle des phospholipides très satisfaisante (90 %).

Les lipoprotéines de l'œuf, synthétisées dans le foie, sont transportées sous forme de vitellogénine et de VLDL (lipoprotéines de très basse densité) dont la composition (7 % cholestérol, 56 % triglycérides et 31 % de phospholipides pour les VLDL) est pratiquement constante (Burley *et al* 1993, Hermier 1997). Ces molécules sont fixées sur des récepteurs spécifiques de l'ovocyte (Bujoh *et al* 1997) et incluses dans celui-ci par endocytose sans aucun remaniement (Griffin 1992). Il est donc impossible de modifier la teneur globale du jaune en lipides à travers la teneur en lipides de l'aliment distribué à la poule. A l'opposé, le profil des acides gras (AG) pré-

sents dans les lipides du jaune est très dépendant de l'alimentation de la poule (Hermier 1997) : les acides gras mono- (AGI) ou polyinsaturés (AGPI) sont les plus variables, par substitution réciproque tandis que les acides gras saturés (palmitique C16 :0 et stéarique C18 :0) sont relativement stables.

Les poules sont alimentées classiquement avec du blé, du maïs et du tourteau de soja. Dans ces conditions (tableau 1), un tiers environ des AG du jaune sont saturés. L'œuf est donc plutôt riche en AG insaturés par rapport aux autres lipides d'origine animale. Il est une excellente source d'AG indispensables, notamment d'acide linoléique (18:2, n-6). Les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC), acide arachidonique (20:4, n-6), acide docosahéxaénoïque (DHA, n-3) sont présents en faible quantité dans l'œuf alors qu'ils sont absents des plantes couramment présentes dans l'alimentation humaine. Leur teneur dans l'œuf peut être augmentée de 5 à 10 fois (par rapport à celle de l'œuf issu de poules nourries avec un régime classique) en incorporant dans l'alimentation de la poule des extraits d'huile de poisson ou des huiles végétales riches en AGPI : tournesol, carthame riche en n-6, millet, colza mais surtout lin et poisson riches en n-3 (Farrel 1998, Hermier 1997, Sim 2000). Il est possible ainsi de réduire le rapport AGPI, n-3/n-6 à 1,9 (Botsoglou *et al* 1998). Cette possibilité d'enrichir le jaune d'œuf en AGPI a été démontrée il y a de nombreuses années.

Les nouveautés concernent davantage la mise en évidence de l'intérêt des AGI à longues chaînes dans différentes situations physiologiques humaines : développement du système nerveux de l'enfant prématuré (Van Elswyk *et al* 2000, Maki *et al* 2003), prévention de la mort subite induite chez l'homme par l'arythmie ventriculaire (Leaf *et al* 2000), optimisation de l'acuité visuelle, fonctionnement du système nerveux central (avec la série en n-3), fonction de reproduction, fonction plaquettaire ou activité du système immunitaire (avec la série n-6).

Le cholestérol est un nutriment essentiel à l'embryon ; il est également un précurseur indispensable des sels biliaires ou des hormones sexuelles et corticoïdiennes chez l'enfant. La teneur élevée en cholestérol de l'œuf (220 mg/œuf ; très inférieure cependant à celle des abats animaux tels que cervelles ou rognons) a contribué au déclin de sa consommation en lien avec la suspicion d'un rôle du cholestérol alimentaire dans l'apparition des maladies cardiovasculaires. De nombreuses tentatives ont été conduites en conséquence, pour réduire la teneur de l'œuf en cholestérol en agissant sur la poule par voie alimentaire, génétique ou même pharmacologique. Toutes ces tentatives se sont soldées par des échecs ou des effets trop limités. Cette quasi impossibilité à diminuer la teneur en cholestérol de l'œuf est attribuable au fait que 95 % de cette molécule sont associés aux VLDL, dont 80 % sous une forme estérifiée, associée aux phospholipides en surface des VLDL (Hermier 1997). Seule la part présente dans le noyau, qui ne représente que 20 % du cholestérol

total, est potentiellement modifiable. Il est à l'inverse facile d'augmenter la teneur en cholestérol de l'œuf *via* une alimentation enrichie de la poule.

L'importance en nutrition humaine de l'apport alimentaire de cholestérol est relativisée par la plupart des travaux récents qui indiquent que le taux plasmatique de cholestérol n'est qu'un des facteurs favorisant l'apparition des maladies cardiovasculaires (Kritchevsky, Kritchevsky *et al* 2000). La quantité de cholestérol ingéré influence peu le taux plasmatique chez la majorité des humains (l'exception étant les patients hypercholestérolémiques) : les trois quarts de la variation de la cholestérolémie dépendent effectivement de facteurs alimentaires mais tout d'abord de l'apport en AG saturés (+ 49 mM pour 1 % de l'apport énergétique total sous forme d'AGS) et relativement peu de l'ingestion de cholestérol lui-même (0,57 mM pour 1 mg de cholestérol). Enfin, la cholestérolémie est diminuée par la consommation d'acides gras polyinsaturés (-23 mM pour un apport de 1 % de l'énergie sous la forme d'AGPI) (Howell 2000).

Le jaune de l'œuf est riche en phospholipides, notamment en phosphatidylcholine (70 %), phosphatidyléthanolamine (14 %) et, en moindres proportions, en lysophosphatidylcholine et sphingomyéline (2 %). Les phospholipides de l'œuf sont donc trois fois plus riches en phosphatidylcholine que la lécithine de soja et sont, à 90 %, des dérivés de la choline. L'homme étant directement dépendant de l'apport alimentaire de ce nutriment, indispensable au développement du cerveau, à la fonction hépatique et à la prévention de cancers (Zeisel 1992), peut trouver dans l'œuf une contribution à la couverture de ce besoin spécifique (Zeisel *et al* 2003).

Les AGPI alimentaires sont oxydables et peuvent conduire à la formation de peroxydes. L'œuf, bien que riche en AGPI, est relativement moins sensible que d'autres produits à l'oxydation, du fait de sa forte teneur en phospholipides qui participent à la régénération des antioxydants primaires en fournissant des radicaux hydrogènes et renforcent ainsi l'action bénéfique du tocophérol. La phosvitine du jaune possède également un effet antioxydant du fait de son pouvoir chélateur du fer.

Glucides

L'œuf ne contient pas de fibres glucidiques. Sa teneur en sucres simples est extrêmement faible (1 % de l'œuf) répartis entre le blanc et le jaune. Le glucose est la forme libre dominante (98 % des 0,5 % de sucres libres). L'œuf contient de nombreux glyco-conjugués notamment des glycoprotéines (ovomucoïde, ovalbumine, ovotransferrine, ovomucine et avidine dans le blanc ; phosvitine et riboflavine dans le jaune). Les glycanes sont constitués de monosaccharides, d'osamines et d'un acide sialique, l'acide N-acétylneuraminique. Ce dernier présente une concentration élevée (2,4 %) dans les chalazes – ligaments suspenseurs du jaune dans le blanc – et dans la mem-

brane vitelline (1,8 %) ; il est aussi présent dans le jaune (0,19 % MS). Il est en concentration plus élevée dans les œufs de poules négre-soie (Koketsu *et al* 2003). Ce composé pourrait avoir un intérêt comme agent inhibiteur de la multiplication de rotavirus, agents provoquant des gastroentérites chez l'enfant (Koketsu 1997).

Minéraux

L'œuf (tableau 2) est riche en phosphore, fer et soufre, leur contenu dans deux œufs (100 g) couvrant respectivement 26, 26 et 18 % du besoin journalier de l'homme. L'œuf contient environ 1 mg de fer dont la disponibilité ne serait que de 60 % dans l'œuf cuit, du fait de la présence de protéines (phosvitine, ovotransferrine) ayant une forte capacité de liaison du fer (Burley et Vadehra 1989). La teneur en sodium de l'œuf est faible, surtout dans le jaune qui peut donc être utilisé dans les régimes hyposodés.

L'œuf contient un éventail très large d'oligo-éléments (tableau 2), la plupart présents dans le jaune. Les teneurs en oligo-éléments de l'œuf présentent des coefficients de variation élevés. Elles dépendent de l'alimentation de la poule et il est possible d'enrichir la teneur de l'œuf en oligo-éléments de 60 fois pour l'iode, 5 à 10 fois pour le sélénium, fluor ou manganèse (Stadelman et Pratt 1989). En revanche, les teneurs en cuivre et zinc sont relativement plus stables car ces éléments sont associés à des protéines avant d'être transférés dans le jaune. L'œuf peut contenir de nombreux autres oligo-éléments à des concentrations extrêmement faibles (Dobrzanski *et al* 1999 ; mg/kg produit frais : 0,5 à 0,7 Al ; 0,04 à 0,09 As ; 0,2 à 1,1 Ba ; 0,02 à 0,006 Cd ; 0,003 à 0,008 Co ; 0,07 à 0,1 Cr ; 0,07 à 0,05 Mo ; 0,01 à 0,07 Ni ; 0,02 à 0,12 Pb ; 0,003 à 0,01 Hg ; 0,6 à 3,4 Si ; 0,3 à 1,1 Sr ; 0,1 à 0,13 V).

Vitamines

L'œuf, et notamment son jaune, est un aliment à teneur élevée en vitamines A, D, E, K, et B (tableau 2). La consommation de deux œufs assure 10 à 30 % du besoin journalier de l'homme en ces vitamines. En revanche, il ne contient pas de vitamine C. Les vitamines B, bien qu'hydrosolubles, peuvent être accumulées dans le jaune grâce à leur transfert par des protéines spécifiques de liaison.

La teneur en vitamines liposolubles de l'œuf est très variable et dépend de l'alimentation de la poule (Stadelman et Pratt 1989 ; Leeson et Caston 2003). Ainsi, la teneur en vitamine D₃ augmente en proportion de l'apport alimentaire et peut être décuplée alors que celle de son précurseur, le 25-hydroxycholecalciferol reste relativement stable (x2) (Mattila *et al* 1999, 2004). La vitamine A est transférée avec une efficacité proche de 80 % jusqu'à des teneurs de 8000 UI/kg. La teneur en vitamine E, qui exerce un rôle primordial dans le contrôle de l'oxydation des AGPI et dans la prévention de goûts désagréables (Sim 2000), augmente de 144 à 477 µg/g de jaune quand la poule reçoit une supplémenta-

tion de 400 mg/kg d'aliment (Jiang *et al* 1994). La teneur en vitamine E dans l'œuf peut donc être multipliée par 6 à 10 par voie alimentaire (Surai et Sparks 2001, Galopart *et al* 2002). Il existe par ailleurs une compétition de transfert entre les vitamines liposolubles A et E, et les pigments caroténoïdes (xanthophylles ou b carotènes). L'accumulation possible des vitamines acheminées par une protéine de liaison est plus limitée, avec apparition de plateaux, par exemple 10 mg pour la riboflavine. La vitamine B12 est transférée avec une efficacité proche de 40 %. Enfin, une particularité de l'œuf réside dans la capacité de l'avidine du blanc cru à lier la biotine et donc à réduire la disponibilité de cette vitamine. 35 % de l'œuf à l'état cru n'est pas digéré ni absorbé, 6 % pour l'œuf cuit (Evenepoel *et al* 1999).

Pigments

Les poules sont incapables de synthétiser les caroténoïdes mais les accumulent très facilement dans le jaune de l'œuf. Leur alimentation contient des pigments (présents dans les matières premières ou ajoutés) qui permettent d'ajuster la coloration du jaune d'œuf à la demande des consommateurs. Seuls les xanthophylles (caroténoïdes présentant un groupement oxygène) ont un effet colorant (Nys 2000). S'ils possèdent une activité provitamine A, ces caroténoïdes perdent leur pouvoir pigmentant lors de leur conversion en vitamine A.

Le β-carotène ne colore pas le jaune mais possède comme les xanthophylles un pouvoir anti-oxydant qui pourrait expliquer leur effet protecteur vis-à-vis du cancer ou de maladies cardiovasculaires. Il a donc été proposé d'enrichir l'œuf en b-carotènes (15 à 500 µg/100 g de jaune ; Jiang *et al* 1994) mais la contribution de l'œuf par rapport à d'autres sources (carottes, 10 mg/100 g) ne peut que rester mineure. L'œuf est par contre relativement riche en lutéine (1 mg / 100 g d'œuf) au même titre que des aliments comme l'épinard ou le chou. La lutéine réduirait le risque de cataracte et dégénérescence maculaire chez les personnes âgées (Mares-Perlman *et al* 2002). De part ses propriétés anti-oxydantes, elle pourrait également contribuer à une diminution du risque d'artériosclérose (Herron et Fernandez 2004).

Facteurs de variation de la valeur nutritionnelle de l'œuf

Comme l'ont indiqué les paragraphes précédents, l'alimentation de la poule n'affecte pas la composition des constituants majeurs de l'œuf (pourcentages totaux de lipides ou de protéines) mais peut modifier le profil des acides gras ainsi que la concentration d'éléments présents en faible concentration, vitamines et oligo-éléments.

Les principales variations des teneurs de l'œuf entier en éléments majeurs proviennent du fait que les proportions de blanc et de jaune varient de façon assez importante en fonction : (i) du poids de l'œuf, et (ii) de l'âge de la poule, et que les teneurs en matière sèche des deux compartiments sont très dif-

férentes. Pour un âge donné de la poule, un gros œuf contient une plus grande proportion de blanc (l'augmentation de la part de blanc est trois fois plus forte que celle du jaune). En revanche, la forte augmentation du poids de l'œuf qui est associée au vieillissement de la poule correspond à une majoration de la part du jaune : au cours de son année de ponte, la poule produit en effet des œufs de plus en plus gros (+ 20 g), suite à une forte augmentation du poids du jaune (+ 36 %) et une moindre variation de poids du blanc (+ 5 %). Il en résulte un accroissement de la matière sèche totale de l'œuf, liée à l'évolution du poids du jaune, même si on constate simultanément une réduction de la teneur en matière sèche du blanc avec l'âge de la poule (Sauveur 1988).

L'origine génétique de la poule a peu d'influence sur les proportions blanc-jaune ou sur les teneurs en matière sèche de l'œuf, lipides et protéines (Sauveur 1994). Ceci, ajouté à la faible variabilité d'origine génétique des poules utilisées, fait que, dans les conditions de production des pays développés, les plus gros œufs trouvés sur le marché sont issus des poules en seconde moitié de période de ponte et contiennent donc statistiquement plus de matière sèche, et en particulier, plus de lipides que les petits œufs.

Enfin, le système d'élevage des poules, en cages, en volière ou avec parcours extérieur n'a aucun effet sur la composition globale ou la valeur nutritionnelle de l'œuf (Gittins et Overfield 1991, Blum et Sauveur 1996). Les différences aléatoires de composition en acides gras, vitamines ou oligo-éléments observées dans ces données résultent de variations de composition des aliments distribués ou accessibles aux poules dans ces comparaisons, et non du système d'élevage lui-même. L'étude de Lopez-Bote *et al* (1998) l'illustre bien car elle montre que lorsque les poules disposent d'un parcours herbeux, source vérifiée d'acide linoléique C18:3(n-3) et de tocophérol, les œufs sont significativement enrichis en ces deux substances. De même une étude récente de Vitina *et al* (2004) comparant des œufs issus de l'agriculture biologique et de fermes conventionnelles, fait apparaître des différences mineures de teneurs en AGPI (n-3) et en cholestérol qui reflètent le remplacement du tourteau de soja par celui de colza.

Quand les poules sont maintenues au sol, le poids d'œuf peut être très légèrement diminué (-0,5 g). Par ailleurs, si les conditions d'élevage et surtout de ramassage des œufs ne sont pas parfaitement contrôlées, les surfaces des coquilles peuvent éventuellement avoir une charge bactérienne plus forte du fait des possibilités de contamination des œufs par les déjections des poules. La présence éventuelle de résidus indésirables dans les œufs mériterait d'être davantage examinée, en fonction des conditions d'élevage.

Effets du stockage de l'œuf

La composition globale de l'œuf n'est pas affectée par le stockage, au contraire de ses

propriétés technologiques et de sa qualité microbienne (Sauveur 1988). Un stockage à température ambiante ou chaude altère considérablement ces dernières et peut entraîner des problèmes de santé publique. C'est pourquoi un œuf doit être stocké, dès l'achat, dans un réfrigérateur, jusqu'à son utilisation en cuisine (en le sortant éventuellement une heure auparavant pour optimiser ses propriétés foisonnantes). La teneur de l'œuf en vitamines ne diminue qu'après un très long stockage (moins de 10 % après trois mois pour la plupart des vitamines, -14 % pour la vitamine A, -20 % pour la B6). Un stockage à température basse limite les oxydations des AGI de l'œuf. Enfin, ne pas oublier que l'œuf est capable de capter facilement une odeur d'un aliment stocké conjointement ce qui peut modifier son goût, mais pas sa valeur nutritionnelle !

3 / Allergies aux protéines de l'œuf

Les allergies alimentaires représentent environ 10 % de l'ensemble des expressions allergiques réelles. Cependant des enquêtes menées auprès de consommateurs montrent que jusqu'à 20 % de ceux-ci écartent des aliments de leur régime par suspicion de substances allergisantes. Les allergies alimentaires affectent 2 à 3 % des enfants – particulièrement les très jeunes (jusqu'à 5 % chez les enfants de moins de 1 an, Mine 2004) – et 1 à 2 % de la population totale. Chez l'enfant, 80 % des allergies alimentaires sont attribuables à l'œuf, au lait ou à l'arachide, alors que chez l'adulte, les poissons, les crustacés ou l'arachide sont les plus souvent en cause (Stanley et Bannon 1999, Burks *et al* 2001, Hill *et al* 1999, Mine 2004). Les intolérances du jeune enfant au lait ou à l'œuf sont transitoires pour la majorité des sujets. Pour l'œuf, 58 % des jeunes enfants réactifs ne le sont plus après l'âge de 5 ans (Besler 1999, Hill *et al* 1999 et 2001). Cependant l'expression d'une allergie à l'œuf chez l'enfant traduit fréquemment une susceptibilité familiale entraînant un risque de développement d'autres allergies qui se manifesteront à l'âge adulte envers des allergènes inhalés.

La fréquence des allergies à l'œuf n'est souvent connue que de façon approchée car elle est estimée à travers le nombre de réponses positives à un test cutané impliquant simultanément les 8 aliments les plus fréquemment allergisants (œuf, lait, poisson, soja ...) (Mine 2004). L'œuf est à l'origine de 11 % de l'ensemble des cas, les allergies les plus fréquentes étant celles dues aux poissons ou aux crustacés. Chez les enfants présentant de l'asthme, les allergies à l'œuf sont de 1 à 3,6 %, elles sont de 35 % à 50 % chez ceux ayant présenté des dermatites atopiques (Besler 1999, Mine 2004). 39 à 58 % des enfants allergiques au lait sont aussi allergiques à l'œuf (Hill *et al* 1999 et 2001). Ces intolérances apparaissent pour des quantités de 50 mg à 50 g d'œufs. Les symptômes les plus fréquents sont l'eczéma, l'urticaire ou des vomissements. Le choc anaphylactique est très rare.

Des protéines du blanc d'œuf sont à l'origine de la plupart des cas d'allergie à l'œuf (Walsh *et al* 1998) mais celles du jaune peuvent également en provoquer. Trois protéines du blanc sont des allergènes majeurs, l'ovalbumine, l'ovotransferrine et surtout l'ovomucoïde (Burley et Vaderha 1989, Mine 2004). Cette dernière protéine est très stable et conserve ses propriétés allergisantes après cuisson ou après protéolyse partielle. Des lipoprotéines du jaune d'œuf sont également allergènes chez des adultes en contact fréquent avec des oiseaux, mais la fréquence des cas est moindre.

L'œuf étant un aliment très utilisé dans les préparations culinaires, la prévention des allergies à l'œuf est délicate à mettre en œuvre. A part l'exclusion de leur consommation, elle passe par des méthodes spécifiques, telle que la désensibilisation et d'autres non spécifiques (pour éviter les réactions défavorables) telles que les traitements antihistaminiques.

4 / Toxi-infections par les Salmonelles

L'œuf possède une protection naturelle, à la fois physique et chimique, contre la pénétration et la croissance bactériennes (Burley 1990). C'est la seule source de protéines animales qui puisse se conserver plusieurs semaines à une température ambiante non excessive, sans altération notable de sa qualité organoleptique et hygiénique. Mais l'œuf est utilisé cru dans certaines préparations culinaires, ce qui supprime toute possibilité de stérilisation par la cuisson. La présence de salmonelles dans l'œuf avant la ponte est extrêmement rare et le niveau initial de contamination est alors très faible. Néanmoins, depuis une quinzaine d'années, l'œuf est devenu un des aliments le plus souvent incriminés dans les toxi-infections alimentaires liées à *Salmonella* Entititidis en Europe (Cavitt 2003) mais également aux Etats-Unis (Guard-Petter 2001). La contamination intra-ovarienne a été démontrée (St Louis *et al* 1988) mais la part respective de cette contamination verticale par rapport à la

contamination horizontale varie d'un pays à l'autre (Guard-Petter 2001, Messens *et al* 2005) et est probablement dépendante des choix de stratégies préventives (abattage des troupeaux contaminés en Europe, réfrigération des œufs aux USA). Le nombre de salmonelloses dues à l'œuf est très variable au cours des années et d'un pays à l'autre (de 10 en France à plus de 100/100 000 habitants en Allemagne en 1997, pic de la pandémie initiée dans les années 80). En France, 50 % des toxi-infections alimentaires en collectivité, associées à la présence de *Salmonella* dans l'œuf, sont dus à des œufs de basses-cours (Lahellec et Salvat 2004).

Pour réduire le risque de contamination, ont été mis en place en France au niveau de la production et de la commercialisation des œufs, un chauffage des aliments et un contrôle régulier des élevages pour la présence de salmonelles complétés d'une élimination des troupeaux positifs (reproducteurs parents des poules productrices). Ces mesures ont réduit la prévalence des salmonelles par transmission verticale (estimée à 1-3 œufs pour un million) qui serait donc moindre par rapport à la contamination horizontale (qui serait de 1 œuf pour 20 000). Cette pénétration horizontale est influencée par de nombreux facteurs, notamment la contamination initiale sur la coquille, son intégrité et des facteurs environnementaux, température et humidité (Messens *et al* 2005).

La multiplication des salmonelles dans l'œuf est minime à faible température mais rapide à température élevée si elles pénètrent dans le jaune qui est un milieu de culture idéal. En pratique, les œufs consommés doivent donc être irréprochables. Pour éviter tout risque, il est important de n'utiliser que des œufs extra-frais (< 8 jours) dans les préparations à base d'œufs à l'état cru et d'appliquer la cuisson la plus longue (œufs cuits durs) aux œufs les plus âgés. Il faut proscrire un stockage prolongé des œufs à température élevée (> 20°C) et éviter des variations importantes de températures qui peuvent être à l'origine de condensations sur l'œuf, favorables à la pénétration bactérienne.

Références

- Besler M., 1999. Allergien gegen Ei und Eiprodukte. Ernährung-Umschau, 46, 252-256.
- Blum J.C., Sauveur B., 1996. Caractéristiques et qualité de l'œuf de poule. Cah. Nut. Diét., 31, 369-378.
- Botsoglou N.A., Yannakopoulos A.L., Fletouris D.J., Tserveni-Gouissi A.S., Psomas I.E., 1998. Yolk fatty acid composition and cholesterol content in response to level and form of dietary flaxseed. J. Agric. Food. Chem., 46, 4652-4656.
- Bujoh H., Hermann M., Linstedt K.A., Nimpf J., Schneider W.J., 1997. Low density lipoprotein receptor gene family members mediate yolk deposition. J.Nutr., 127, 801S-804S.
- Burks W., Helm R., Stanley S., Bannon G.A., 2001. Food allergens. Curr. Opin. Allerg. Clin. Immunol., 1, 243-248.
- Burley R.W., Evans A.J., Pearson J.A., 1993. Molecular aspects of the synthesis and deposition of hens' egg yolk with special reference to low density lipoprotein. Biochem. Biophys. Res. Comm., 72, 850-855.
- Burley R.W., 1990. The hen's egg as a model for food technology. CSIRO Food Res. Quart., 50, 42-47.
- Burley R.W., Vadehra D.V., 1989. Egg in human nutrition. In : The Avian Egg. John Wiley and Sons (eds), 351-364, New York.
- Cavitt J. Ch., 2003. Present and future control of food-borne pathogens in poultry: revision of the European community legislation on zoonoses. Proceeding of the XVI European symposium on the quality of poultry meat and X European Symposium on the quality of eggs and egg products., vol I, Saint Brieuc, France, Salvat G., Nys Y. Baeza E. (eds), WPSA, 1, 46-58.
- Dobrzanski Z., Gorecka H., Triska T., Gorecki H., 1999. Concentration of (macro?) and microelements in the eggs of hens housed in three different systems. In : Proceedings the

VIII European symposium of the quality of eggs and egg products. Bologna, Italy, Cavalchini L.G, Baroli D., (eds).. 283-285.

Evenepoel P., Claus D., Geypens B., Hiele M., Geboes K., Rutgeerts P., Ghoois Y., 1999. Amount and fate of egg protein escaping assimilation in the small intestine of humans. *Am. J. Physiol.*, 277, G935-G943.

Evenepoel P., Geypens B., Luypaerts A., Hiele M., Ghoois Y., Rutgeerts P., 1998. Digestibility of cooked and raw egg protein in humans as assessed by stable isotope techniques. *J. Nutr.*, 128, 1716-1722.

Farrell D.J., 1998. Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 68, 538-544.

Galopart J., Barroeta A.C., Cortinas L., Baucells M.D., Codony R., 2002. Accumulation of alpha-tocopherol in eggs enriched with omega3 and omega6 polyunsaturated fatty acids. *Poult. Sci.*, 81, 1873-1876.

Gillin E.D., Sakoff, N., 2003. Egg production and trade present and perspectives. Proceeding of the XVI European Symposium on the quality of poultry meat and X European Symposium on the quality of eggs and egg products, vol I, Saint Briec, France, Salvat G., Nys Y. Baeza E. (eds), WPSA, 1, 11-22.

Gittins J.E., Overfield N.D., 1991. The nutrient content of eggs in great Britain. In proceeding of the 4th European Symposium on the Quality of eggs and egg products, Oosterwod A., de Vries A.W. eds, Beekbergen, Netherland, 113-116.

Griffin H.D., 1992. Manipulation of egg yolk cholesterol: a physiologist's view. *World's Poult. Sci. J.*, 48, 101-112.

Guard-Petter J., 2001. The chicken, the egg and salmonella enteritidis. *Environmental Microbiology*, 3, 421-430

Gutierrez M.A., Takahashi H., Juneja L.R., 1997. Nutritive evaluation of hen eggs, . In : Hen eggs, their basic and applied science, Yamamoto T., Juneja L.R., Hatta H., Kim M. (eds), 25-35, CRC Press New York, London.

Gutierrez M.A., Mitsuya T., Hatta H., Koketsu M., Kobayashi R., Juneja L.R., Kim M., 1998. Comparison of egg-yolk protein hydrolysate and soybean protein hydrolysate in terms of nitrogen utilization. *Brit. J. Nutr.*, 80, 477-484.

Hermier D., 1997. Influence de l'alimentation sur la qualité des lipides de l'œuf. Colloque annuel Valicentre 14p., Chambray-les-Tours, France.

Herron K.L, Fernandez M.L. 2004. Are the current dietary guidelines regarding egg consumption appropriate? *J. Nut.* 134, 187-190.

Hill D.J., Hosking C.S., Reyes-Benito L.V., 2001. Reducing the need for food allergen challenges in young children: a comparison of in vitro with in vivo tests. *Clin. Exp. Allerg.*, 31, 1031-1035.

Hill D.J., Clifford C.S., Heine R.G., 1999. Clinical spectrum of food allergy in children in Australia and South-East Asia: identification and targets for treatment. *Ann. Med.*, 31, 272-281.

Howell W.J., 2000. Food cholesterol and its plasma lipid and lipoprotein response: is food cholesterol still a problem or overstated. In : Egg Nutrition and Biotechnology, Sim J.S., Nakai S. and Guenter W. (eds), 15-24, CAB Int. Publishing, New York.

Jiang Y.H., McGeachin R.B., Bailey C.A., 1994. a tocopherol, β -carotene and retinal enrichment of chicken eggs. *Poult. Sci.*, 73, 1137-1143.

Koketsu M., 1997. Glycochemistry of hen eggs. In : Hen eggs, their basic and applied science, Yamamoto T., Juneja L.R., Hatta H., Kim M. (eds), 99-115, CRC Press New York, London.

Koketsu M., Sakuragawa E., Linhardt R.J., Ishihara H., 2003. Distribution of N-acetylneuraminic acid and sialylglycan in eggs of the Silky fowl. *Br. Poult. Sci.*, 44, 145-148.

Kritchevsky, D., 2000. Dietary fat and disease; what do we know and where do we stand. In : Egg Nutrition and Biotechnology. Sim J.S, Nakai S., Guenter W. (eds), 3-13, CAB Int. Publishing, New York.

Kritchevsky S.B., Kritchevsky D. 2000. Egg consumption and coronary heart disease: an epidemiologic overview. *J. Am. Coll. Nutr.*, 19(Suppl. 5), 549S-555S.

Lahellec C., Salvat G., 2004. Qualité hygiénique de l'œuf et des ovoproduits. Situation actuelle et perspectives. Séance conjointe de l'Académie d'Agriculture et de l'Académie de Médecine, Paris, 17 novembre 2004.

Leaf A., Kang J.X., Xiao Y.F., 2000. Antiarrhythmic effects of n-3 polyunsaturated fatty acids. In : Egg Nutrition and Biotechnology; Sim J.S., Nakai S., Guenter W. (eds), 25-33, CAB Int. Publishing, New York.

Leeson S., Caston L.J., 2003. Vitamin enrichment of eggs. *J. Appl. Poult. Sci. Res.*, 12, 24-26.

Lopez-Bote C.J., Arias R.S., Rey A.I., Castano A., Isabel B., Thos J., 1998. Effect of free-range feeding on n-3 fatty acid and alpha-tocopherol content and oxidative stability of eggs. *Anim. Food. Sci. Technol.*, 72, 33-40.

Magdelaine P., 2004. Production et consommation d'œufs et d'ovoproduits. Perspectives d'évolution en relation avec la réglementation sur le bien-être animal. Séance conjointe de l'Académie d'Agriculture et de l'Académie de Médecine, Paris, 17 Novembre 2004.

Maki K.C., Van Elswyk M.E., McCarthy D., Seeley M.A., Veith P.E., Hess S.P., Ingram K.A., Halvorson J.J., Calaguas E.M., Davidson M.H., 2003. Lipid responses in mildly hypertriglyceridemic men and women to consumption of docosahexaenoic acid-enriched eggs. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 73, 357-368.

Mares-Perlman J.A., Millen A.E., Ficek T.L., Hankinson S.E., 2002. The body of evidence to support a protective role for lutein and zeaxanthin in delaying chronic disease. *Overview. J. Nut.* 132, 518S-524S.

Martin A., coordinateur. 2001. Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française, 3th édition, pp 605. Tec and Doc, Lavoisier ed., Paris, Londres, New York.

Mattila P., Lehtikoinen K., Kiiskinen T., Piironen V., 1999. Cholecalciferol and 25-hydroxycholecalciferol content of chicken egg yolk as affected by the cholecalciferol content of feed. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 4089-4092.

Mattila P., Valaja J., Rossow L., Venäläinen E., Tapasela T., 2004. Effect of vitamin D2 and D3 enriched diets on egg vitamin D content, production, and bird condition during an entire production period. *Poult. Sci.*, 83, 433-440.

Messens W., Grijspeerdt K., Herman L., 2005. Eggshell penetration; a review. *World Poult. Sci. J.*, 61, sous presse.

Mine Y., Rupa P., 2004. Immunological and biochemical properties of egg allergens. *WPSJ*, 60, 312-330.

Nys Y., 2000. Dietary carotenoids and Egg yolk coloration. A review. *Arch. Geflugelk.*, 64, 45-54.

Sauveur B., 1994. Variation initiale de la composition de l'œuf, . In : l'œuf et les ovoproduits. Thapon J.L, Bourgeois C.M. (eds), 70-83 Tec et Doc. Lavoisier, Paris.

Sauveur B., 1988. Structure, composition et valeur nutritionnelle de l'œuf, 347-374 ; Qualité de l'œuf, 377-433. In : Reproduction des volailles et production d'œufs., INRA (eds), 449p., Paris.

Sim J.S., 2000. Designer egg concept: perfecting egg through diet enrichment with w-3 PUFA and cholesterol stability. In : Egg Nutrition and Biotechnology. Sim J.S, Nakai S., Guenter W. (eds), 135-150, CABI Publishing, New York.

Stadelman W.J., Pratt D.E., 1989. Factors influencing composition of the hen's egg. *Word's Poult. Sci. J.*, 45, 247-266.

Stanley J.S., Bannon G.A., 1999. Biochemistry of food allergens. *Clin. Rev. In Allergy and Immunology*, 17, 279-291.

Surai P.F., Sparks N.H.C., 2001. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. *Trends Food Sci.Techn.*, 12, 7-16.

St Louis M.E., Morse D.L., Potter M.E., DeMelfi T.M., Guzewish J.J., Tauxe R.V., Blake P.A., 1988. The emergence of grade A eggs as a major source of Salmonella enteritidis

infections. New implications for the control of salmonellosis. *JAMA*, 259, 2103-2107.

Van Elswyk M.E., Hatch S.D., Stella G.G., Mayo P.K., Kubena K.S., 2000. Eggs as a functional food alternative to fish and supplements for the consumption of DHA. In : *Egg Nutrition and Biotechnology*. Sim J.S., Nakai S., Guenter W. (eds), 121-133, CABI Publishing, New York.

Vitina I., Jemelsjanos A., Miculis J., 2004. Feedstuffs produced in organic farming system ; influence on layers productivity and egg quality. In *Animal breeding in the Baltics*. 10th Baltic animal breeding conference, Tartu, Estonia, 262-266.

Walsh B.J., Barnett D., Burley R.W., Elliott C., Hill D.J., Howden M.E., 1988. New allergens from hen's egg white and egg yolk. In vitro study of ovomucin, apovitellenin I and VI, and phosvitin. *Int. Arch. Allerg. Appl. Immunol.*, 87, 81-86.

Zeisel, S.H., 1992. Choline: an important nutrient in brain development, liver function and carcinogenesis. *J. Am. Coll. Nut.*, 11, 473-481.

Zeisel S.H., Mar M.H., Howe J.C., Holden J.M., 2003. Concentrations of choline-containing compounds and betaine in common foods. *J. Nut.*, 133, 1302-1307.

Abstract

The nutritional value of eggs

The egg is an encapsulated reserve of proteins, lipids, minerals and vitamins, which is remarkable for the diversity of nutrients, their high digestibility or availability and also for the balance between the various essential constituents. The avian egg has an incomparable nutritional value, not only for birds but also for humans. It can be defined as a low calorie source of ideal protein for humans covering (/100 g egg) 20 to 30 % of man's daily requirements for a majority of minerals and vitamins, with the exception of vitamin C and calcium since the chicken embryo can use the egg-

shell as a nutritional reservoir. The hen's egg as a nutrient is therefore appropriate for the majority of the population. Eggs are easily digested and absorbed, provide several essential nutrients and are therefore valuable in diets for infants, convalescent or elderly patients who may have greater difficulty digesting and absorbing nutrients. Moreover the egg is the only animal food that can be stored uncooked at room temperature for a noteworthy period.

NYS Y., SAUVEUR B., 2004. Valeur nutritionnelle des œufs. *INRA Prod. Anim.* 17, 385-393.

