

Intérêt nutritionnel de l'œuf en alimentation humaine

F. NAU^{1,2}, Y. NYS³, Y. YAMAKAWA^{1,2}, S. RÉHAULT-GODBERT³

¹ INRA, UMR1253 Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, F-35042 Rennes, France

² Agrocampus Ouest, Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, F-35042 Rennes, France

³ INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France

Courriel : Francoise.Nau@agrocampus-ouest.fr

Yves.Nys@tours.inra.fr

L'œuf est la source de protéines et de lipides animaux la moins onéreuse, consommée dans le monde entier et valorisée dans de nombreuses préparations alimentaires pour ses propriétés techno-fonctionnelles très variées. Son intérêt nutritionnel réside dans la diversité et l'équilibre de ses constituants par rapport aux besoins de l'Homme. Les nutritionnistes reprennent progressivement conscience de son intérêt en nutrition et santé humaines à travers une remise en cause des critiques des années 80 liées à sa teneur en cholestérol.

L'œuf permet le développement d'un embryon dans une enceinte close sans aucun apport extérieur autre que gazeux, ce qui atteste de l'équilibre et de la diversité de ses composants. C'est une excellente source de protéines et de lipides, apportant moins de 100 Kcal pour un œuf de 60 g, et une part significative de plusieurs vitamines et minéraux nécessaires à l'Homme. La composition remarquable en acides aminés de l'œuf répond presque parfaitement aux besoins de l'Homme, expliquant qu'il ait été longtemps considéré comme protéine de référence avant d'être remplacé par une protéine virtuelle idéale. Ses lipides sont également très diversifiés et nutritionnellement intéressants. L'œuf est naturellement riche en acides gras insaturés, notamment mono-insaturés, et peut être aisément enrichi en acides gras à longues chaînes, *via* l'alimentation de la poule pondeuse ; il est également riche en phospholipides. L'ensemble de ces éléments contrebalance l'image négative de l'œuf, propagée à tort dans les années 1980 à 2000, en raison de sa teneur en cholestérol et du risque associé de maladies cardiovasculaires. Ce concept est en effet aujourd'hui largement contredit par de nombreuses études épidémiologiques. Cependant, l'évaluation nutritionnelle de l'œuf reste souvent basée sur des données anciennes parce qu'elle a été moins explorée que celle du lait par les approches expérimentales nouvelles. En revanche, à l'instar de nombreuses autres protéines, les protéines d'œuf sont de plus en plus étudiées pour leurs acti-

vités biologiques variées, intéressant potentiellement des secteurs d'application tels que la pharmacie, la médecine, la cosmétique (Réhault *et al* 2007). Par ailleurs, l'utilisation des œufs enrichis en minéraux et/ou vitamines pour pallier certaines carences a été préconisée dans certains pays. Enfin, dans un contexte où les allergies alimentaires sont devenues un problème majeur de santé publique, il convient de souligner le potentiel allergénique des protéines de l'œuf, pour l'enfant en particulier.

En conclusion, la question globale de la valeur nutritionnelle de l'œuf apparaît complexe, combinaison d'avantages et d'inconvénients. Cette revue est complémentaire de celle rapportant les données classiques de la composition de l'œuf et de sa variabilité, publiée en 2004 (Nys et Sauveur 2004). Une revue plus exhaustive sur la valeur nutritionnelle de l'œuf est par ailleurs disponible dans un récent ouvrage consacré à l'œuf (Yamakawa et Nau 2010).

1 / Composition globale de l'œuf

La composition globale de l'œuf a été plusieurs fois décrite dans de récentes revues (Nys et Sauveur 2004, Seuss-Baum 2007). En moyenne, l'œuf est composé de 60% de blanc (solution saline comprenant 11% de protéines), 30% de jaune (50% d'eau, 16% de protéines et 34% de lipides) et 10% de coquille. L'œuf entier (sans coquille)

contient en moyenne 75% d'eau, 12,5% de protéines et de 10 à 11% de lipides. Les constituants comestibles majeurs de l'œuf sont rapportés dans le tableau 1 pour 100 g de produit consommable. Ils sont considérés comme relativement stables et sont modulés principalement par la proportion de blanc et de jaune dans l'œuf, proportion elle-même dépendante de l'origine génétique mais surtout de l'âge de la poule et, pour un âge donné, du poids de l'œuf. Cette variabilité physiologique de la proportion blanc/jaune explique probablement une part des écarts observés entre données publiées par les pays européens ; mais il est probable que la diversité des méthodes analytiques employées pour quantifier les différents nutriments explique une autre part de ces écarts. Il serait donc souhaitable que les analyses soient actualisées et homogénéisées au sein du réseau européen «*European Food Information Resource*». Un échantillon «d'œuf standard» devrait être défini sur la base d'une proportion moyenne de blanc et de jaune, ce qui n'est malheureusement jamais indiqué dans les tables de composition actuellement disponibles. La comparaison des tableaux établis dans les différents pays fait aussi ressortir une variabilité plus importante des constituants mineurs, ce qui est en accord avec l'observation classique selon laquelle il est possible de faire varier de manière importante leur teneur dans l'œuf par modification de l'alimentation de la poule pondeuse (Bouvarel *et al* 2010).

Tableau 1. Teneurs moyennes de l'œuf en ses principaux nutriments (pour 100 g de produit frais), rapportées dans différentes bases nationales (Seuss-Baum 2007).

Composition pour 100 g des parties comestibles	France	Espagne	USA	Danemark	Norvège	Suède	Allemagne	Italie	Pays-Bas	UK	Mín	Max
Eau(g)	75,8	74,5	75,8	74,6	75	76,4	74	77,1	75,4	75,2	74	77,1
Energie (kcal)	146	162	143	152	142	141	154	128	138	147	128	162
Protéines (g)	12,5	12,7	12,6	12,1	12,4	12,6	12,9	12,4	12,6	12,6	12,1	12,9
Sucres (g)	0,3	0,68	0,77	1,2	0,3	0	0,7				0	1,2
Lipides (g)	10,5	12,1	9,9	11,2	10	10,1	11,1	8,7	9,8	10,9	8,7	12,1
AG Saturés (g)	3,1	3,3	3,1	3,1	2,9	2,8	3,3	3,2		3,1	2,8	3,3
AG Mono-insaturés (g)	4,2	4,9	3,8	4,3	4,2	4,5	4,5	2,6		4,7	2,6	4,9
AG poly-insaturés (g)	1,3	1,8	1,4	2	1,3	1,2	1,5	1,3		1,2	1,2	2
Cholestérol (mg)	380	410	423	548	420	417	396	371	333		333	548
C18:1 Acide oléique (g)		4,4	3,5			4,1					3,5	4,4
C18:2 Acide linoléique (g)	1	1,6	1,1	1,39		0,8	1,02	1,06			0,8	1,6
C18:3 Acide linoléique (g)	0,02	0,098	0,03	0,12		0,1	0,27	0,04			0,02	0,27
EPA (mg)			4	46							4	46
DHA (mg)			37	180		100					37	180
Vitamines hydrosolubles												
Thiamine B1 (mg)	0,08	0,11	0,07	0,07	0,15	0,07	0,1	0,09	0,1	0,1	0,07	0,15
Riboflavine B2 (mg)	0,46	0,37	0,48	0,45	0,53	0,45	0,3	0,3	0,5		0,3	0,53
Niacine totale (mg)	0,08		0,07	0,1	0,1	0		0,1	0,1		0	0,1
Ac. Pantothénique B5 (mg)	1,7	1,8	1,4	1,6			1,6			1,8	1,4	1,8
Pyridoxine (B6) (mg)	0,12	0,12	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12		0,17	0,12	0,12	0,17
Biotine (B8) (µg)				25			25			19,4	19,4	25
Acide folique B9 (mg)	0,06	0,05	0,05	0,02	0,07	0,05	0,065		0,057	0,05	0,02	0,07
Cobalamine (B12) (µg)	1,6	2,1	1,3	2	2,3	1,5	2		2,3	2,5	1,3	2,5
Vitamine C (mg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vitamines liposolubles												
Vitamine A (mg)	0,24	0,23	0,14	0,21	0,22	0,21	0,28	0,23	0,19	0,19	0,14	0,28
Retinol (mg)		0,225	0,14		0,215	0,204					0,14	0,225
Vitamine D (µg)	1,7	1,8	35 UI	1,75	3,8	1,4	2,9		1,75	1,7	1,4	3,8
Vitamine E (mg)	1,2	1,9	0,97	1,9	5,3	1,8	2		2,8	1,1	0,97	5,3
Vitamine K (µg)		8,9	0,3	50			48				0,3	50
Carotenoides (µg)		10	14,5								10	14,5
Calcium (mg)	55	56,2	53	40	57	50	56	48	50	56	40	57
Phosphore (mg)	188	216	191	210	242	200	216	210	179	200	179	242
Fer (mg)	1,8	2,2	1,83	2	2,2	1,99	2,1	1,5		1,9	1,5	2,2
Iode (µg)		12,7		21			10			52,3	10	52,3
Zinc (mg)		2	1,1	1,4	1,4	0,3	1,4	1,2	1,3	1,4	0,3	2
Magnésium (mg)	11	12,1	12	13	12	13	12	13	11	12	11	13
Sodium (mg)	133	144	140	138	132	132	144	137	125	140	125	144
Potassium (mg)	125	147	134	130	120	126	147	133	131	130	120	147
Magnésium (mg)		0,071	0,04								0,04	0,071
Cuivre (mg)		0,065	0,1	0,07	0,06		0,14	0,06	0,08	0,1	0,06	0,14
Sélénium (µg)		10	31,7	22,2	19	24		5,8	11	11,6	5,8	31,7
Fluor (mg)							0,11				0,11	0,11

2 / Protéines de l'œuf

2.1 / Digestibilité et valeur biologique des protéines de l'œuf

La digestibilité *in vitro* (98%) et la valeur biologique mesurée sur des rats (94%) classent les protéines d'œuf entier parmi les meilleures sources protéiques pour l'Homme (tableau 2). Toutefois, l'œuf entier n'est plus aujourd'hui la source protéique de référence. Celle-ci est en effet une protéine «idéale» (virtuelle) possédant la composition théorique en acides aminés capable de couvrir l'ensemble des besoins de l'organisme humain (colonne «Besoins» du tableau 2). Le score chimique des protéines d'œuf (c'est-à-dire le ratio entre l'acide aminé le plus limitant de l'œuf et celui de la protéine de référence) est très élevé. La valeur de PD-CAAS (score chimique corrigé par la digestibilité protéique) est également très élevée. Toutefois, jusqu'aux travaux de Evenepoel *et al* (1998), les valeurs de digestibilité indiquées dans

la littérature correspondaient à la digestibilité fécale, et non iléale ; elles ne reflétaient donc pas exactement l'efficacité de l'assimilation de ces protéines.

La digestibilité iléale des protéines d'œuf (Evenepoel *et al* 1998) a été mesurée sur 5 patients iléostomisés en bonne santé, après ingestion d'une charge physiologique exclusivement protéique : elle est de 51,3% ($\pm 9,8$) pour l'œuf cru et de 90,9% ($\pm 0,8$) pour l'œuf cuit. La digestibilité fécale a également été évaluée chez des sujets sains (non opérés) : 64,9% ($\pm 6,78$) pour l'œuf cru et 94,3% ($\pm 0,5$) pour l'œuf cuit (Evenepoel *et al* 1999). Une troisième étude a montré que l'incorporation des protéines d'œuf dans un repas complexe, constitué de glucides, protéines et lipides, n'affecte pas significativement les paramètres principaux de la vidange gastrique et de l'assimilation générale des protéines (Geboes *et al* 2004). Il convient de souligner que les résultats de ces trois études sont basés sur la mesure des variations postprandiales de l'oxydation de la leucine mar-

quée au ^{13}C . Deux considérations limitent cette approche : 1) les différences de modalités d'enrichissement en isotopes des protéines d'œuf doivent conduire à la prudence quant à la comparaison des études entre elles, 2) on peut s'interroger sur la représentativité de la leucine par rapport à l'ensemble des acides aminés et au métabolisme global. Il n'existe par ailleurs aucune donnée sur les métabolismes différentiels des acides aminés issus des protéines du jaune et du blanc qui pourtant diffèrent considérablement en raison de la présence de lipides dans le jaune d'œuf et de leur association avec les protéines.

La différence de digestibilité entre l'œuf cru et l'œuf cuit est attribuée à la présence dans le blanc d'œuf d'une quantité importante d'inhibiteurs de protéases digestives au premier rang desquels l'ovomucoïde (Matthews 1990) et l'ovoinhibiteur, ce dernier étant un inhibiteur puissant de la trypsine et de la chymotrypsine humaines (Gertler et Ben-Valid 1980). Cette moindre digestibilité pourrait également

Tableau 2. Comparaison de divers aliments protéiques en fonction de leur composition en acides aminés indispensables et de 4 critères d'évaluation de leur valeur nutritionnelle (d'après FAO 1985¹, Dupin 1992⁵, Young et Borgonha 2000³, Schaafsma 2000⁴, Nys et Sauveur 2004²).

	Œuf (poule) ²	Blé ¹	Graines de soja ¹	Viande (bœuf) ¹	Lait de vache ¹	Lait humain ¹	Besoins (adulte) ³
Teneur en protéine (%)	12,4	12,2	38	17,7	3,5	1,2	
Acides aminés indispensables (mg/g de protéines)							
Histidine	23	25	28	34	34	25	-
Isoleucine	53	35	50	48	63	40	35
Leucine	84	71	85	81	123	87	65
Lysine	66	31	70	89	71	68	50
Met + Cys	52	43	28	40	33	29	25
Phe + Tyr	93	80	88	80	131	67	65
Thréonine	48	31	42	46	44	44	25
Tryptophane	15	-	14	-	-	-	10
Valine	64	47	53	50	73	45	35
Acide aminé limitant	<i>Leu</i>	<i>Lys</i>	<i>Met + Cys</i>	<i>Phe + Tyr</i>	<i>Met + Cys</i>	<i>Phe + Tyr</i>	
Score chimique** (%)	129	61	113	123	132	103	
Digestibilité fécale ⁴ (%)	98	91	95	98	95		
PD-CAAS (%)	126	56	108	120	125		
Valeur biologique ⁵ (%)	94	65	73	74	84	95	

* Les valeurs indiquées en italique ont été calculées à partir des informations tirées des sources ; les valeurs biologiques annoncées ont été mesurées sur des rats.

** Le score chimique est calculé à partir des teneurs en acides aminés indispensables de la source par rapport à la protéine de référence. Le score chimique corrigé par la digestibilité fécale de la protéine correspond au PD-CAAS.

résulter du faible effet stimulateur du blanc cru sur la sécrétion des enzymes pancréatiques et des sels biliaires. En revanche, les changements structuraux induits par la cuisson permettraient un accès facilité des enzymes digestives aux liaisons peptidiques (Thimister *et al* 1996) et entraîneraient une inactivation des antiprotéases du blanc d'œuf facilitant leur dégradation. Concernant le jaune d'œuf, les protéines sont très digestibles à l'état cru, tandis qu'une sur-cuisson réduit la digestibilité des lipoprotéines (Nys et Sauveur 2004).

La réfrigération, la congélation (Cook et Briggs 1986), la pasteurisation (Allemeersch 1983) ou le séchage (Satyanarayana Rao 1987) de l'œuf ne modifient pas la digestibilité de ses protéines et donc sa valeur nutritionnelle. Une étude sur la pasteurisation des œufs en coquille confirme l'absence d'effet de ce procédé technologique sur la digestibilité des protéines du blanc (Hank *et al* 2001) évaluée *in vitro* ; ceci serait donc à confirmer *in vivo*.

2.2 / Effet satiétogène

La prévention du surpoids et de l'obésité est devenue une priorité de santé publique. Un moyen de contrôler le poids corporel est de développer des moyens efficaces de contrôle de la prise alimentaire, en identifiant les aliments qui induisent une sensation durable de satiété. Les protéines semblent avoir, chez l'Homme, un effet satiétogène à court terme plus fort que les glucides et les lipides (Latner et Schwartz 1999, Anderson *et al* 2004). Quelques études menées chez l'Homme ont évalué le pouvoir satiétogène de l'œuf, soit entier, soit après séparation du blanc et du jaune, sur des sujets sains ou en surpoids. Les résultats obtenus ne sont cependant pas concluants. Anderson *et al* (2004) n'observent pas d'effet des protéines du blanc d'œuf sur la prise alimentaire. D'autres auteurs au contraire ont mis en évidence une diminution significative de celle-ci après un repas (petit déjeuner) comportant des œufs, par rapport à un repas similaire en poids et en énergie, mais ne contenant pas d'œuf (Van der Wal *et al* 2005).

La consommation d'œuf (petit déjeuner avec ou sans œuf) affecte les réponses glycémiques et hormonales et les cinétiques de vidange gastrique (Pelletier *et al* 1996). Le jaune d'œuf, plus particulièrement, réduit la vidange gastrique et augmente la sécrétion de certaines hormones de satiété du fait de sa richesse en lipides, ce qui pourrait inciter à moins consommer (Blom *et al* 2006). Par ailleurs, la teneur élevée du jaune d'œuf en lipides à haut pouvoir calorifique pourrait également intervenir

sur la libération des hormones de satiété. L'œuf pourrait donc présenter un intérêt dans une stratégie de diminution de la prise alimentaire, mais les connaissances actuelles sont cependant encore insuffisantes pour l'affirmer.

2.3 / Protéines et peptides à activité biologique contenus dans l'œuf

De nombreuses revues ont été récemment consacrées aux activités biologiques de protéines de l'œuf (Réhault *et al* 2007). Parmi celles-ci, certaines pourraient être considérées comme des «avantages» potentiels en nutrition et santé humaines, si tant est que ces activités puissent s'exprimer en conditions réelles, c'est-à-dire *in vivo*, après ingestion d'œuf.

L'ovokinine est un peptide issu de la digestion enzymatique expérimentale de l'ovalbumine, la protéine majeure du blanc d'œuf. De par son activité inhibitrice de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (enzyme clef de régulation de la pression artérielle), ce peptide, administré par voie orale, permettrait une diminution significative de la pression sanguine chez des rats hypertensifs (Fujita *et al* 1995). D'autres peptides, également obtenus par hydrolyse du blanc d'œuf, présentent de même une activité antihypertensive (Miguel *et al* 2004), et certains de ces peptides ont par ailleurs des propriétés anti-oxydantes, potentiellement bénéfiques pour lutter contre de nombreuses pathologies telles que les diabètes, cancers et maladies cardiovasculaires (Ames *et al* 1993).

Les composants anti-oxydants du jaune d'œuf, principalement la phosvitine qui chélate les ions Fe(III) (Lu et Baker 1986), protègent également de la formation de radicaux hydroxylés catalysée par le fer. Ils pourraient être utilisés pour la prévention du cancer colorectal, le stress oxydatif modulé par le fer étant impliqué dans cette pathologie (Ishikawa *et al* 2004). En revanche, la phosvitine réduit la biodisponibilité du fer, d'autant plus que cette protéine est résistante aux enzymes protéolytiques du tractus gastro-intestinal. A l'inverse, les phosphopeptides issus de la phosvitine semblent améliorer la biodisponibilité du calcium : ils augmenteraient la solubilité de ce minéral dans le chyme iléal en formant des complexes stables avec le calcium et éviteraient de ce fait sa précipitation sous forme de phosphate de calcium ; la supplémentation en peptides issus de la phosvitine se traduit ainsi par une augmentation de l'absorption intestinale du calcium chez le rat : de 55,1% ($\pm 0,8$) dans le groupe témoin, à 62,6% ($\pm 1,92$) dans le groupe supplé- menté (Choi *et al* 2005).

Une autre protéine susceptible d'améliorer la biodisponibilité des minéraux est l'ovotransferrine. Egalement capable de se lier au fer de façon réversible (Ibrahim 2000), elle pourrait ensuite le libérer progressivement. C'est pourquoi certains auteurs recommandent de l'incorporer dans des préparations pour la complémentation alimentaire en fer (Rupa et Mine 2006).

Les inhibiteurs de protéases du blanc d'œuf que sont la cystatine, l'ovomucoïde, l'ovostatine et l'ovoinhibiteur sont quant à eux considérés comme des facteurs antinutritionnels. En inhibant les protéases nécessaires à la digestion dans le tractus gastro-intestinal, ils empêcheraient l'assimilation des protéines alimentaires lorsqu'ils ne sont pas dénaturés, c'est-à-dire principalement quand ils proviennent du blanc d'œuf cru. De même, les protéines ayant une forte affinité pour les vitamines auraient un effet négatif, en réduisant leur disponibilité. Ainsi, la biotine de l'œuf est piégée par l'avidine et pourrait donc *a priori* être rendue non disponible (Kovacs-Nolan *et al* 2005) ; cependant, aucun cas de déficience en biotine due à la consommation d'œuf n'a jamais été rapporté, cette vitamine n'étant pas limitante dans l'alimentation.

3 / Lipides de l'œuf et nutrition

3.1 / Caractéristiques nutritionnelles des lipides de l'œuf

La teneur globale du jaune en lipides est stable, aux environs de 33% du poids frais (65% de la matière sèche) et ne peut pas être modifiée *via* la teneur en lipides de l'alimentation de la poule (Bouvarel *et al* 2010). En outre, même si leur composition en Acides Gras (AG) est très dépendante de l'alimentation de la pondeuse, les lipides de l'œuf se distinguent par leur richesse en Acides Gras Insaturés (AGI), toujours élevée (tableau 3). L'œuf est également riche en phospholipides et notamment en phosphatidylcholine, indispensable au développement du cerveau (Zeisel 1992) et par ailleurs précurseur de l'acétylcholine, impliquée dans l'apprentissage et la mémoire. Associées à la bonne digestibilité des triglycérides (98%), et des phospholipides (90%) de l'œuf, ces différentes caractéristiques font de l'œuf une source de lipides à forte valeur nutritionnelle.

Au cours de la digestion, l'acide gras placé en position centrale (sn-2) dans la molécule de triglycéride est mieux absorbé que les acides gras en positions externes (sn-1 et sn-3) (Jensen *et al*

Tableau 3. Composition en acides gras des lipides de l'œuf de poule : valeurs moyennes en g pour 100 g de produit, dans le cas d'une alimentation standard de la pondeuse (d'après Romanoff et Romanoff 1949, Parkinson 1975, Martin 2001, Nys et Sauveur 2004).

Acides gras (AG)	% des AG totaux	Œuf entier	Jaune	ANC*	% ANC* couvert par 100g d'œuf
AG saturés	37,5	4,4	13,0	19,5	22,5
- C16:0 acide palmitique	23,5	2,5	7,3		
- C18:0 acide stéarique	14	0,86	2,5		
AG insaturés	62,5	7,0	20,7	49,5	14
AG mono-insaturés	42,2			49	
- C16:1 acide palmitoléique	3,8	0,4	1,1		
- C18:1 acide oléique	38,4	4,1	12		
AG poly-insaturés	20,3				
- C18:2 acide linoléique (n-6)	16,4	1,25	3,6	10	12,5
- C18:3 acide α -linoléique (n-3)	1,4	0,04	0,12	2	2
- C20:4 acide arachidonique (AA) (n-6)	1,3	0,2	0,6		
- C20:5 acide eicosapentaénoïque (EPA) (n-3)	0	0	0		
- C22:6 acide docosahéxaénoïque (DHA) (n-3)	0,8	0,15	0,4	0,12	125

* Apports Nutritionnels Conseillés (g/jour) pour un homme adulte de 70 kg (Martin 2001).

1994). Or, dans l'œuf, que ce soit dans les triglycérides ou dans les phospholipides, les positions sn-1 sont occupées par une série d'acides gras saturés, les acides gras insaturés étant en position sn-2 ; la position sn-3 des triglycérides du jaune d'œuf est quant à elle occupée par un acide gras soit saturé, soit insaturé, selon l'alimentation de la poule (Kivini *et al* 2004). Ainsi, les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC) de l'œuf, placés préférentiellement en position sn-2 des triglycérides et des phospholipides, sont bien absorbés par l'organisme.

3.2 / Œuf et cholestérol

De nombreuses études épidémiologiques ont montré qu'il y a une relation chez l'Homme entre la cholestérolémie et l'incidence des accidents cardiovasculaires. Aussi l'hypercholestérolémie est-elle considérée comme l'un des facteurs de risque des affections cardiovasculaires (Berenson *et al* 1998). Ceci est à l'origine de l'opprobre vis-à-vis de la consommation d'œufs soulevée dans les années 1980 à 2000, avant que des études épidémiologiques spécifiques ne contredisent l'implication de la consommation d'œufs dans ces pathologies, pour la majorité de la population.

Dès la fin des années 1950 en effet, Keys avait émis l'hypothèse selon laquelle les teneurs élevées en cholestérol et lipides de certains aliments pourraient jouer «un rôle dans l'apparition des maladies cardiovasculaires» via l'élévation de la teneur en cholestérol plasmatique (Herron *et al* 2003). Ces propos ont suscité l'inquiétude des consommateurs qui se sont alors montrés réticents vis-à-vis de l'œuf, aliment riche en cholestérol (1,6%, soit environ 210 mg par œuf). Pourtant, cette molécule remplit aussi des fonctions physiologiques essentielles comme précurseur des sels biliaires, des hormones sexuelles et corticales chez l'Homme, ou comme composant majeur des membranes cellulaires, jouant un rôle essentiel pour la croissance des nourrissons (Juneja 1997). De plus, de nombreux travaux ont montré que la quantité de cholestérol ingéré influence peu la cholestérolémie (Kritchevsky 2000). Le cholestérol plasmatique est en effet essentiellement d'origine endogène. D'après Howell (2000), la cholestérolémie dépend en grande partie de l'apport en acides gras saturés qui l'augmente et de l'ingestion d'acides gras polyinsaturés qui la réduit, mais relativement peu de l'apport en cholestérol lui-même. Plus que le cholestérol alimentaire, ce seraient donc les apports en

acides gras saturés qui influenceraient fortement les teneurs plasmatiques en cholestérol total et en cholestérol-LDL (LDL-C) (Herron *et al* 2003).

En dépit de ces conclusions, de nombreux travaux ont cherché à réduire la teneur en cholestérol de l'œuf. Mais ces tentatives ont été peu concluantes, quelle qu'ait été l'approche utilisée : alimentaire, génétique ou pharmacologique (Sauveur 1994, Hermier 1997). La teneur en cholestérol de l'œuf peut être influencée par l'origine génétique de la poule, mais elle l'est surtout par la proportion de jaune par rapport au blanc. Il est par ailleurs très difficile de réduire cette concentration sans altérer les fonctions physiologiques de la poule. En effet, la composition en lipoprotéines de très faible densité (VLDL), précurseurs des constituants du jaune d'œuf, est extrêmement stable lorsque l'on considère la proportion de ses constituants lipidiques et protéiques (à l'exception des acides gras saturés) ; la teneur en cholestérol, présent à 95% dans les VLDL, ne peut être diminuée sans perturber la synthèse des constituants du jaune au niveau hépatique. La teneur de l'œuf en cholestérol est donc dépendante de la synthèse hépatique des lipoprotéines et indépendante de la cholestérolémie de la poule (Griffin 1992). Seuls

20%, présents dans le noyau des VLDL, sont potentiellement modifiables. Ceci explique les très fortes difficultés rencontrées pour répondre aux demandes d'abaissement de la teneur de l'œuf en cholestérol. Il est en revanche possible de fabriquer des poudres de jaune d'œuf pauvres en lipides et en cholestérol, notamment par extraction au CO₂ supercritique (Rupa et Mine 2006).

Certains constituants de l'œuf présentent par ailleurs une certaine activité hypocholestérolémiante. Tel est le cas des protéines du blanc d'œuf, et notamment de l'ovomucine, comme cela a été montré chez le rat (Nagaoka *et al* 2002) et chez l'Homme (Asato *et al* 1996). Cette action résulterait d'une part de leur forte capacité de fixation des acides biliaires, inhibant leur réabsorption au niveau de l'iléon, d'autre part de leur effet modérateur sur la solubilité du cholestérol micellaire qui réduirait l'absorption du cholestérol au niveau du jéjunum (Nagaoka *et al* 2002). La phosphatidylcholine (Jiang *et al* 2001) et la sphingomyéline d'œuf (Noh et Koo 2003) inhiberaient également l'absorption du cholestérol *in vitro* et *in vivo* chez le rat et ce d'autant plus que les chaînes des acides gras estérifiés sont courtes et que leur degré de saturation est élevé. Il conviendrait de valider cette dernière observation chez l'Homme, car cela pourrait remettre en question la stratégie d'enrichissement de l'œuf en AGPI-LC : au-delà des propriétés biologiques réelles de ces acides gras, ne risque-t-on pas d'amoindrir le rôle hypocholestérolémiant des phospholipides de l'œuf ?

La réponse de l'Homme à la consommation de cholestérol varie entre individus. La population dite «normale», majoritaire, correspond aux sujets chez lesquels une augmentation de la consommation de cholestérol de 100 mg se traduit par une augmentation de la teneur en cholestérol sanguin total de 2,2 à 2,5 mg·dL⁻¹ ; en deçà de 2,2 mg·dL⁻¹, on parle de sujets «hyposensibles» ; au-delà de 2,5 mg·dL⁻¹, de sujets «hypersensibles» (Knopp *et al* 1997, Herron *et al* 2004). Seuls ces derniers constituent une population à risque pour laquelle la consommation d'œufs peut provoquer une augmentation de la teneur en cholestérol-LDL, notamment chez les hommes (Herron *et al* 2003). Cependant, selon ces auteurs, la taille de ces particules de LDL pourrait alors également augmenter, ce qui diminuerait leur densité et leur caractère athérogène. C'est ainsi que la consommation quotidienne de 3 œufs par une population en bonne santé n'aurait pas d'implication négative en termes d'athérogénicité des particules de LDL (Herron *et al* 2004). En conclu-

sion, la plupart des études initiées après la mise en accusation du cholestérol dans les années 80, ont démontré que l'apport de cholestérol alimentaire, notamment à travers une forte consommation journalière d'œufs, n'a pas d'influence sur la cholestérolémie de l'Homme pour près de 95% de la population. Il est évidemment regrettable que cette «mauvaise image» de l'œuf reste vivace en Europe, malgré les campagnes correctives initiées dans de nombreux pays depuis 2000 pour rétablir l'intérêt nutritionnel qu'offre cet aliment, notamment pour les enfants et les personnes âgées. Enfin, alors que ce seraient les apports en acides gras saturés, essentiellement d'origine animale, qui conditionneraient fortement les teneurs plasmatiques en cholestérol, plus que la consommation de cholestérol elle-même (Howell 2000), on peut souligner que la contribution de l'œuf à la consommation de lipides animaux a toujours été faible en Europe (contrairement au Japon) : les lipides consommés quotidiennement par l'Homme proviennent respectivement du lait pour 28 g, de la viande pour 21 g et de l'œuf pour seulement 3 g (soit moins de 5% des lipides consommés).

3.3 / Œuf et Acides Gras Polyinsaturés (AGPI)

L'Homme est incapable de synthétiser deux acides gras qualifiés d'indispensables : l'acide linoléique et l'acide α -linoléique. Ces deux acides gras sont les précurseurs des AGPI à plus longue chaîne des familles n-6 et n-3, dont l'intérêt nutritionnel pour certains d'entre eux, est aujourd'hui bien établi. Les AGPI de la famille n-6 (ou ω 6), dérivés de l'acide linoléique, abaissent la cholestérolémie (Jacotot 1988). Les AGPI de la famille n-3 (ou ω 3), dérivés de l'acide α -linoléique, peuvent quant à eux réduire le risque de maladies cardio-vasculaires (MCV) grâce à leurs propriétés anti-athérogènes (Schmidt *et al* 2006) ; parallèlement, ils peuvent réduire la teneur en triglycérides plasmatiques, qui peut elle-même être athérogène lorsqu'elle est élevée (Griffin 2001).

Bien que l'œuf soit naturellement riche en AGPI (environ 63% des acides gras totaux du jaune), la mise en évidence de l'effet bénéfique de ces AG pour l'Homme a été à l'origine d'une multitude d'expérimentations. Celle-ci visait à préciser dans quelle mesure l'œuf pourrait être enrichi en AGPI n-3 et n-6. Le rapport AGI/AGS est en fait relativement stable, peu modifiable par les rations alimentaires des poules, contrairement aux quantités absolues de ces acides gras. Celles-ci reflètent la consommation alimentaire de la poule

et donc le profil des matières premières riches en huile ou des sources d'huiles incorporées dans son aliment. L'impact de ces matières premières sur la composition lipidique de l'œuf est un processus connu depuis plus d'un demi-siècle, et qui a déjà fait l'objet de nombreuses revues (Sauveur 1994, Hermier 1997, Bouvarel *et al* 2010, Nys 2010).

En résumé, les AGS (palmitique C16:0 et stéarique C18:0) sont les plus stables, tandis que les acides gras mono- (AGMI) ou polyinsaturés sont les plus variables, par substitution réciproque. La teneur en acide arachidonique (AA C20:4) et docosahéxaénoïque (DHA C22:6) peut être multipliée par 5 à 10 en apportant aux poules soit du poisson riche en acides gras n-3, soit des extraits d'huile de poisson, ou encore des huiles végétales riches en AGPI (tournesol riche en n-6 ; millet, colza et lin riches en n-3) (Hermier 1997, Sim 2000). La teneur en AGPI n-3 peut être, quant à elle, multipliée par 8 (Bean et Leeson 2003). Il a par ailleurs été montré qu'après consommation d'œufs ainsi enrichis, les teneurs en AGPI plasmatiques augmentent effectivement chez les sujets humains étudiés. En revanche, la consommation d'œufs, qu'ils soient enrichis ou non en AGPI, a en général peu d'effet sur la teneur en lipides circulants, tant pour le cholestérol que pour les triglycérides (Farrell 1998, Lewis *et al* 2000). Il est intéressant de noter enfin que les AGPI de l'œuf sont en partie protégés de l'oxydation par la présence naturelle d'antioxydants tels que la vitamine E et la phosvitine (Castellani *et al* 2004).

3.4 / Œuf et acides linoléiques conjugués (CLA)

Les acides linoléiques conjugués constituent une catégorie d'AGPI-LC qui auraient des propriétés anti-carcinogènes, anti-athérogènes, anti-diabétiques, immunostimulantes et hypocholestérolémiantes (Lee *et al* 1994, Cook *et al* 1999, Park *et al* 1999). Toutefois, les effets diffèrent entre les différents isomères de CLA (Watkins *et al* 2003). Les isomères *cis*-9 *trans*-11 et *cis*-12 *trans*-10 sont ceux impliqués dans les multiples effets biologiques rapportés dans la littérature. L'isomère *cis*-9 *trans*-11 représente plus de 90% des CLA retrouvés dans le régime alimentaire de l'Homme (Fritsche et Steinhart 1999). Dans le cas d'une supplémentation des poules pondeuses en CLA, le taux de transfert vers le jaune d'œuf est plus faible pour l'acide linoléique conjugué que pour l'acide linoléique, mais il est plus élevé pour l'isomère *cis*-9 *trans*-11 que pour l'isomère *cis*-12 *trans*-10 s'ils sont apportés ensemble (Schäfer *et al* 2001).

Raes *et al* (2002) ont calculé qu'un apport de 3 g/jour de CLA serait nécessaire à un adulte de 70 kg pour profiter de leurs éventuels effets bénéfiques, ce qui est largement supérieur aux quantités habituellement consommées. C'est pourquoi l'enrichissement en CLA a été envisagé pour les produits riches en matière grasse, notamment pour l'œuf. La complémentation de la ration alimentaire des poules pondeuses en CLA permet effectivement une élévation de la teneur en ces acides gras dans le jaune d'œuf (Du *et al* 1999). Mais l'enrichissement en CLA induit également une élévation de la teneur en acides gras saturés, et une diminution de la teneur en AGMI et AGPI (Schäfer *et al* 2001, Szymczyk et Pisulawski 2003, Suksombat *et al* 2006). Lors du stockage des œufs, les CLA semblent peu stables (perte de 67% après 60 jours ; Cherian *et al* 2007). L'enrichissement en CLA altère également les propriétés physiques du jaune d'œuf (décoloration, consistance caoutchouteuse après cuisson) ; l'augmentation de la teneur en eau du jaune, résultant de plus fortes concentrations en CLA, serait responsable de ces modifications organoleptiques (Watkins *et al* 2003, Shang *et al* 2004). En revanche, l'enrichissement des œufs en CLA améliore la qualité olfactive des œufs cuits, en réduisant la production d'acides aminés soufrés (Cherian *et al* 2002). En conclusion, l'enrichissement des œufs s'avère plus délicat à maîtriser pour les CLA que pour les AGPI. En outre, les niveaux possibles d'incorporation dans l'œuf (130 à 250 mg de CLA par œuf) sont tels qu'un œuf enrichi ne couvrirait que 4 à 8% des besoins d'un homme adulte pour profiter de leurs effets bénéfiques éventuels, besoins estimés par extrapolation de résultats obtenus sur modèles animaux (Raes *et al* 2002).

4 / Minéraux et vitamines de l'œuf

4.1 / Minéraux

Les teneurs moyennes de l'œuf entier en éléments minéraux majeurs (Na, K, P et Ca) sont stables (tableau 1), tandis que celles en éléments mineurs sont beaucoup plus fluctuantes et peuvent être augmentées par voie nutritionnelle (Nys et Sauveur 2004, Bouvarel *et al* 2010, Yamakawa et Nau 2010). L'œuf est hyposodé et pauvre en calcium, mais un apport de 100 g d'œuf entier permet de couvrir respectivement 20, 25, 33 et 42% des apports nutritionnels en potassium, phosphore, iode et sélénium recommandés chez l'homme adulte. L'enrichissement en iode de l'œuf peut atteindre 60 fois sa teneur initiale, celui

en sélénium 5 à 10 fois (Stadelman et Pratt 1989). En revanche, les possibilités d'enrichissement en fer et en cuivre sont limitées, car l'absorption de ces minéraux par la poule diminue lorsque leur concentration dans l'alimentation augmente (Skrivan *et al* 2005).

Mais au-delà des études visant à évaluer la richesse de l'œuf en ces différents minéraux, les études de biodisponibilité des minéraux de l'œuf sont finalement très peu nombreuses. Elles concernent principalement le fer, et ont généralement été menées sur le rat en croissance ou en anémie. Notamment, aucune étude récente chez l'Homme n'a été menée avec une méthodologie permettant de clarifier les valeurs quelquefois contradictoires rencontrées dans la littérature : alors que Burley et Vadehra (1989) indiquent une valeur de 60% pour la biodisponibilité du fer de l'œuf, Schulz et Smith (1958) mentionnent une absorption de seulement 10% chez l'enfant. Cette faible biodisponibilité pourrait résulter du fait que la quasi-totalité du fer de l'œuf est chélaté par la phosvitine (Skrivan *et al* 2005). D'ailleurs, selon Hallberg et Hulthen (2000), chaque œuf consommé au cours d'un repas réduirait en fait de 27% l'absorption du fer contenu dans ce repas, car la phosvitine, qui est par ailleurs peu hydrolysée dans le tractus intestinal, se lierait également au fer présent dans les autres aliments de la ration (Miller et Nnanna 1983, Jiang et Mine 2000). Etant établi qu'une partie significative de la population (les femmes notamment) est en situation de carence en fer, y compris dans les pays industrialisés, la question de la biodisponibilité du fer de l'œuf, voire de l'impact de la consommation d'œuf, mériterait d'être explorée *in vivo* chez l'Homme.

4.2 / Vitamines

L'œuf entier constitue une source intéressante de plusieurs vitamines pour lesquelles 100 g de produit apportent en effet une part significative (20% et plus) des besoins journaliers de l'Homme (tableau 4). La composition vitaminique de l'œuf peut être facilement modifiée par l'alimentation des poules pondeuses (Sirri et Barroeta 2007, Nys 2010). Cependant, des niveaux maximum d'enrichissement existent pour les vitamines B₁, B₁₂, A et D qui sont transportées par des protéines spécifiques de liaison. Des antagonismes existent également entre molécules pour leur incorporation dans l'œuf ; c'est le cas entre les vitamines A et E, ainsi qu'entre ces deux vitamines et les pigments caroténoïdes. Contrairement aux mammifères, la poule convertit avec efficacité la forme prépondérante de la vitamine K synthétisée par les plantes, en une forme active (Will *et al* 1992) ; la teneur de l'œuf en cette vitamine peut être multipliée par 9, par supplémentation de la poule pondeuse en un des précurseurs (Suzuki et Okamoto 1997).

Peu de travaux ont mesuré la biodisponibilité des vitamines de l'œuf. Chez le porc, un œuf dur offre une digestibilité précaecale de 82% de la thiamine (Roth-Maier *et al* 1999). Celle des folates d'œufs cuits est de 70% *in vitro* (Seyoum et Selhub 1998). Chez des sujets sains, la cobalamine (vitamine B₁₂) administrée *via* des jaunes d'œufs brouillés est mieux retenue que la cobalamine libre cristalline, l'excrétion urinaire étant plus faible pour la première forme (11,7 à 12,3% contre 25,7 à 27,9%) (Van Asselt *et al* 1996). En conclusion, de nombreuses possibilités d'enrichissement vitaminique de l'œuf existent (vitamines B₁, B₉, B₁₂,

Tableau 4. Composition moyenne de l'œuf entier en vitamines, exprimée en µg et en pourcentage de couverture des ANC pour 100 g de produit (d'après Martin 2001, Nys et Sauveur 2004, ANC pour un Homme adulte de 70 kg).

	Quantité dans l'œuf entier (µg/100 g)	% ANC couverts par 100 g d'œuf entier
Vitamines hydrosolubles		
Acide ascorbique	0	0
Thiamine (B1)	91	7
Riboflavine (B2)	447	28
Niacine (B3)	79	0.6
Acide pantothénique (B5)	1700	34
Pyridoxine (B6)	138	8
Biotine (B8)	25	50
Acide folique (B9)	60	18
Cobalamine (B12)	1	41
Vitamines liposolubles		
A (équivalent rétinol)	150	19
D	1.5	30
E	1300	11
K	4.25	9

A, D, E et K), mais les études de bio-disponibilité chez l'Homme manquent encore pour confirmer l'intérêt nutritionnel de telles pratiques.

5 / Caroténoïdes de l'œuf

Deux pigments xanthophylles particuliers ont été très étudiés en raison de leur intérêt potentiel en santé humaine : la lutéine et la zéaxanthine. Ces deux pigments caroténoïdes auraient de nombreuses propriétés (anti-carcinogène, anti-athérosclérose et immunostimulante) et réduiraient le risque de dégénérescence maculaire liée à l'âge (Mares-Perlman *et al* 2002). Ils ne peuvent pas être synthétisés par l'Homme ou les animaux qui sont donc totalement dépendants de leur apport alimentaire.

Parmi les caroténoïdes présents dans son alimentation, la poule dépose préférentiellement dans le jaune d'œuf les xanthophylles (caroténoïdes hydroxylés). Les teneurs de l'œuf en xanthophylles, notamment lutéine et zéaxanthine qui sont les formes dominantes dans les plantes consommées par l'oiseau, peuvent être largement modifiées *via* l'alimentation des poules pondeuses (Nys 2000, Bouvarel *et al* 2010). Elles sont donc très variables en fonction des différents systèmes d'alimentation associés aux différents systèmes d'élevage : de 0,1 à 2,5 mg de lutéine et de 0,2 à 1,3 mg de zéaxanthine pour 100 g de jaune (Schlatteer et Breithaupt 2006). L'œuf contient moins de lutéine et de zéaxanthine que de nombreux végétaux, mais l'absorption intestinale de ces pigments est nettement plus élevée lorsqu'ils sont apportés par l'œuf (Chung *et al* 2004). Ainsi, la complémentation de l'alimentation humaine en lutéine et zéaxanthine, *via* la consommation d'œufs, enrichis ou non en ces deux nutriments, pourrait constituer un moyen de prévention pertinent contre les pathologies évoquées ci-dessus, et notamment les maladies de l'œil. Ainsi, la dégénérescence maculaire est une maladie chronique fréquente chez les personnes âgées ; elle concerne 1,2 million de personnes de plus de 50 ans en France (Bourre 2005). Une relation entre ce risque de dégénérescence maculaire et la densité optique des pigments maculaires a été montrée,

elle-même dépendante des apports alimentaires en lutéine et zéaxanthine (Sommerburg *et al* 1998, Richer *et al* 2004, Burke *et al* 2005). Globalement, on estime que 1/6^{ème} de la variabilité de leur présence dans les pigments maculaires est dû à la quantité de xanthophylles ingérés (Bone *et al* 2000). Wenzel *et al* (2006) ont montré que la consommation de 6 œufs par semaine pendant 12 semaines pouvait contribuer à augmenter, chez l'Homme, la densité optique des pigments maculaires.

6 / Allergies aux protéines de l'œuf

Les manifestations allergiques à l'œuf sont généralement cutanées (urticaire, eczéma) ou respiratoires (asthme). Si le choc anaphylactique après ingestion d'œuf est très rarement observé (Mine et Yang 2008), l'œuf est cependant l'un des principaux aliments allergènes d'origine animale et fait partie des douze allergènes alimentaires les plus fréquents en Europe. Il est la principale cause d'allergie alimentaire chez l'enfant, avec 35 à 50% des cas d'allergies observés, contre 7% chez l'adulte (Rancé et Dutau 2007). L'allergie à l'œuf apparaît donc tôt (dès les premiers mois de la vie) mais elle est généralement transitoire ; la guérison est le plus souvent observée vers l'âge de quatre à cinq ans. Dans certains cas cependant, l'allergie à l'œuf peut être définitive. Les allergènes majeurs de l'œuf sont l'ovalbumine, l'ovomucoïde, l'ovotransferrine et le lysozyme, quatre protéines majeures du blanc d'œuf (Yamakawa et Nau 2010), mais des cas d'allergie aux protéines du jaune d'œuf ont été également décrits (Walsh *et al* 1988). La grande stabilité à la chaleur de l'ovomucoïde explique la conservation de son pouvoir allergène après des traitements thermiques sévères (Matsuda *et al* 1982). De même, l'ovalbumine conserve une part de son allergénicité après traitement thermique, à la différence de l'ovotransferrine (Mine et Yang 2008). La cuisson de l'œuf ou son hydrolyse enzymatique ne permet donc pas systématiquement de réduire le pouvoir allergénique des protéines de l'œuf. L'éviction du régime est donc généralement préconisée dans le cas d'une aller-

gie à l'œuf. Néanmoins, l'œuf étant très utilisé dans les produits alimentaires industriels pour ses propriétés fonctionnelles, dans des produits cosmétiques (shampoings) ou certains médicaments (enrobage, vaccins), la prévention des allergies aux protéines de l'œuf par une stratégie d'éviction est difficile à appliquer. Des stratégies alternatives, basées sur des approches immuno-thérapeutiques spécifiques par voie orale ont été proposées : induction de la tolérance par voie orale (Rolink-Werninghaus *et al* 2005), peptides «chevauchants» ou protéines recombinantes hypoallergéniques pour diminuer la réponse allergique (Rupa et Mine 2006). Enfin, des solutions technologiques permettent le développement de produits hypoallergéniques à base de blanc d'œuf, par exemple par élimination de l'ovomucoïde (Tanabe *et al* 2000), mais de telles solutions s'accompagnent d'une diminution des propriétés techno-fonctionnelles de l'œuf.

Conclusion

L'œuf est une source remarquable de protéines, de lipides, de minéraux et de vitamines à faible coût ; il présente de ce fait un intérêt potentiel majeur en nutrition humaine. Cependant, peu d'études nutritionnelles ont été consacrées à l'œuf, et les études *in vivo* menées sur l'Homme sont encore plus rares, alors qu'elles seraient pourtant les plus significatives. De telles études devraient donc être engagées pour confirmer l'intérêt de celles, nombreuses, consacrées à l'enrichissement de l'œuf en certains nutriments (vitamines, minéraux, pigments). Par ailleurs, l'identification et la caractérisation de peptides à activités biologiques d'intérêt nutritionnel, issus de l'hydrolyse enzymatique des protéines d'œuf, mériteraient d'être poursuivies. Enfin, malgré toutes ses qualités nutritionnelles, l'œuf présente un inconvénient pour une partie de la population, en raison du pouvoir allergène de certaines de ses protéines, notamment chez le jeune enfant. Bien que le plus souvent transitoire, l'allergie à l'œuf peut en effet dans certains cas entraîner des effets indésirables notables et surtout être contraignante au quotidien.

Références

Allemeersch C., 1983, Les ovoproduits en France : production, débouchés, entreprises industrielles. Thèse de Doctorat vétérinaire, Maison-Alfort, France, 70, 151p.

Ames B.N., Shigenaga M.K., Hagen T.M., 1993. Oxidants, antioxydants, and the degene-

rative diseases of aging. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 90, 7915-7922.

Anderson G.H., Tecimer S.N., Shah D., Zafar Taslem A., 2004. Protein source, quantity, and time of consumption determine the effect of proteins on short-term

food intake in young men. J. Nutr., 134, 3011-3015.

Asato L., Wang M.F., Chan Y.C., Yeh S.H., Chung H.M., Chung S.Y., Chida S., Uezato T., Suzuki I., Yamagata N., Kokubu T., Yamamoto S., 1996. Effect of egg white on serum chole-

terol concentration in young women. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 42, 87-96.

Bean L.D., Leeson S., 2003. Long-term effects of the feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens. *Poult. Sci.*, 82, 388-394.

Berenson G.S., Srinivasan S.R., Bao W., Newman W.P., Tracy R.E., Wattigney W.A., 1998. Association between multiple cardiovascular risk factors and atherosclerosis in children and young adults. *New Engl. J. Med.*, 338, 1650-1656.

Blom W.A., Lluch A., Vinoy S., Stafleu A., Van den Berg R., Holst J.J., Kok F.J., Hendriks H.F.J., 2006. Effects of gastric emptying on the postprandial ghrelin response. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 290, E389-E395.

Bone R.A., Landrum J.T., Dixon Z., Chen Y., Llerena C.M., 2000. Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Exp. Eye Res.*, 71, 239-245.

Bourre J.M., 2005. L'œuf naturel multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, vitamines, minéraux et caroténoïdes. *Médecine et nutrition*, 41, 116-134.

Bouvarel I., Nys Y., Panheleux M., Lescoat P., 2010. Comment l'alimentation des poules influence la qualité des œufs ? In : Numéro Spécial, Qualité de l'œuf. Nys Y. (Ed). *Inra Prod. Anim.*, 23, 167-182.

Burke J.D., Curran-Celentano J., Wenzel A.J., 2005. Diet and serum carotenoid concentrations affect macular pigment optical density in adults 45 years and older. *J. Nutr.*, 135, 1208-1214.

Burley R.W., Vadehra D.V., 1989. Egg in human nutrition. In: *The avian egg*, John Wiley and Sons (Eds). New York, USA, 351-364.

Castellani O., Guérin-Dubiard C., David-Briand E., Antón M., 2004. Influence of physicochemical conditions and technological treatments on the iron binding capacity of egg yolk phosvitin. *Food Chem.*, 85, 569-577.

Cherian G., Goeger M.P., Ahn D.U., 2002. Dietary conjugated linoleic acid with fish oil alters yolk n-3 and trans fatty acid content and volatile compounds in raw, cooked, and irradiated eggs. *Poult. Sci.*, 81, 1571-1577.

Cherian G., Traber M.G., Goeger M.P., Leonard S.W., 2007. Conjugated linoleic acid and fish oil in laying hen diets: effects on egg fatty acids, thiobarbituric acid reactive substances, and tocopherols during storage. *Poult. Sci.*, 86, 953-958.

Choi I., Jung C., Choi H., Kim C., Ha H., 2005. Effectiveness of phosvitin peptides on enhancing bioavailability of calcium and its accumulation in bones. *Food Chem.*, 93, 577-583.

Chung H., Rasmussen H., Johnson E., 2004. Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *J. Nutr.*, 134, 1887-1893.

Cook F., Briggs G.M., 1986. The nutritive value of eggs. In: *Egg science and technology*, Stadelman W.J., Cotterill O.J. (Eds). Publishing Company, Westport, 141-163.

Cook M.E., De Voney D., Drake B., Pariza M.W., Whigham L., Yang M., 1999. Dietary control of immune-induced cachexia: conjugated linoleic acid and immunity. *Adv. Conjugated Linoleic Acid Res.*, 1, 226-237.

Du M., Ahn D.U., Sell J.L., 1999. Effect of dietary conjugated linoleic acid on the composition of egg yolk lipid. *Poult. Sci.*, 78, 1639-1645.

Dupin H., 1992. Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins. In: *Alimentation et Nutrition Humaines*, ESF (Ed). Paris, France, 1533p.

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

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

FAO/WHO/UNU, 1985. Energy and protein requirements: Report of a FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization, Geneva, Belgique, WHO Tech. Report Ser., 724, 192p.

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.

Fritsche J.R.R., Steinhart H., 1999. Formation, contents, and estimation of daily intake of conjugated linoleic acid isomers and trans-fatty acids in foods. *Adv. Conjugated Linoleic Acid Res.*, 1, 378-396.

Fujita H., Sasaki R., Yoshikawa M., 1995. Potentiation of the antihypertensive activity of orally administered ovokinin, a vasorelaxing peptide derived from ovalbumin, by emulsification in egg phosphatidylcholine. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 59, 2344-2345.

Geboes K.P., Bammens B., Luybaerts A., Malheiros R., Buyse J., Evenepoel P., Rutgeerts P., Verbeke K., 2004. Validation of a new test meal for a protein digestion breath test in humans. *J. Nutr.*, 134, 806-810.

Gertler A., Ben-Valid I., 1980. Stoichiometry of interaction of chicken ovo-inhibitor with pancreatic trypsin, chymotrypsin and elastase I. *Eur. J. Biochem.*, 110, 571-577.

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

Griffin B.A., 2001. The effect of n-3 fatty acids on low density lipoprotein subfractions. *Lipids*, 36, S91-S97.

Hallberg L., Hulthen L., 2000. Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71, 1147-1160.

Hank C.R., Kunkel M.E., Dawson P.L., Acton J.C., Wardlaw F.B. Jr, 2001. The effect of shell egg pasteurization on the protein quality of albumen. *Poult. Sci.*, 80, 821-824.

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

Herron K.L., Vega-Lopez S., Conde K., Ramjiganesh T., Shachter N.S., Fernandez M.L., 2003. Men classified as hypo- or hyper-responders to dietary cholesterol feeding exhibit differences in lipoprotein metabolism. *J. Nutr.*, 133, 1036-1042.

Herron K., Lofgren I., Sharman M., Volek J.S., Fernandez M.L., 2004. High intake of cholesterol results in less atherogenic low-density lipoprotein particles in men and women independent of response classification. *Metabolism*, 53, 823-830.

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., Guenter W. (Eds). CAB Int. Publishing, New York, USA, 15-24.

Ibrahim H.R., 2000. Ovotransferrin. In: *Natural Food Antimicrobial Systems*. Naidu A.S. (Ed). CRC Press, New York, USA, 211-226.

Ishikawa S., Yano Y., Arihara K., Itoh M., 2004. Egg yolk phosvitin inhibits hydroxyl radical formation from the Fenton reaction. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 68, 1324-1331.

Jacotot B., 1988. Acides gras alimentaires pour la prévention du risque coronarien. *Cah. Nutr. Diét.*, 23, 211-214.

Jensen M.M., Christensen M.S., Høy C.E., 1994. Intestinal absorption of octanoic, decanoic and linoleic acids: effect of triglyceride structure. *Ann. Nutr. Metabol.*, 38, 104-116.

Jiang B., Mine Y., 2000. Preparation of novel functional oligophosphopeptides from hen egg yolk phosvitin. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 990-994.

Jiang B., Mine Y., 2001. Phosphopeptides derived from hen egg yolk phosvitin: effect of molecular size on the calcium binding properties. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 65, 1187-1190.

Jiang Y., Noh D.K., Koo S.I., 2001. Egg phosphatidylcholine decreases the lymphatic absorption of cholesterol in rats. *J. Nutr.*, 131, 2358-2363.

Juneja L.R., 1997. Egg yolk lipids. In: *Hen eggs, their basic and applied science*. Yamamoto T., Juneja L.R., Hattai H., Kim M. (Eds). CRC Press, New York, USA, 73-98.

Kivini H., Järvenpää E.P., Aro H., Huopalahti R., Ryhänen E., 2004. Qualitative and quantitative liquid chromatographic analysis methods for the determination of the effects of feed supplements on hen egg yolk phospholipids. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 4289-4295.

Knopp R.H., Retzlaff B.M., Walden C.E., Dowdy A.A., Tsunehara C.H., Austin M.A., Nguyen T., 1997. A double-blind, randomized, controlled trial of the effect of two eggs per day in moderately hypercholesterolemic and combined hyperlipidemic subjects taught the NCEP Step 1 Diet. *J. Am. Coll. Nutr.*, 16, 551-561.

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). CAB Int. Publishing, New York, USA, 3-13.

Kovacs-Nolan J., Phillips M., Mine Y., 2005. Advances in the value of eggs and egg components for human health. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 8421-8431.

Latner J.D., Schwartz M., 1999. The effects of a high-carbohydrate, high-protein or balanced lunch upon later food intake and hunger ratings. *Appetite*, 33, 119-128.

Lee K.N., Kritchevsky D., Pariza M.W., 1994. Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis*, 108, 19-25.

- Lewis N.M., Schalch K., Scheideler S.E., 2000. Serum lipid response to n-3 fatty acid enriched eggs in persons with hypercholesterolemia. *J. Am. Diet. Assoc.*, 100, 365-367.
- Lu C.L., Baker R., 1986. Characteristics of egg yolk phospholipids as an antioxidant for inhibiting metal-catalyzed phospholipid oxidations. *Poult. Sci.*, 65, 2065-2070.
- 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, Symposium: Can lutein protect against chronic disease? *J. Nutr.*, 132, 518S-524.
- Martin A., 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3^{ème} édition, Editions Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 650p.
- Matsuda T., Watanabe K., Nakamura R., 1982. Immunochemical studies on thermal denaturation of ovomucoid. *Biochim. Biophys. Acta*, 707, 121-128.
- Matthews D.M., 1990. Protein absorption: development and present state of the subject. Wiley-Liss, New York, USA, 134p.
- Miguel M., Recio I., Gomez-Ruiz J.A., Ramos M., Lopez-Fandino R., 2004. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of peptides derived from egg white proteins by enzymatic hydrolysis. *J. Food Prot.*, 67, 1914-1920.
- Miller J., Nnanna I., 1983. Bioavailability of iron in cooked egg yolk for maintenance of haemoglobin levels in growing rats. *J. Nutr.*, 113, 1169-1175.
- Mine Y., Yang M., 2008. Recent advances in the understanding of egg allergens: basic, industrial, and clinical perspectives. *J. Agric. Food Chem.*, 56, 4874-4900.
- Nagaoka S., Masaoka M., Zhang Q., Hasegawa M., Watanabe K., 2002. Egg ovomucin attenuates hypercholesterolemia in rats and inhibits cholesterol absorption in Caco-2 cells. *Lipids*, 37, 267-272.
- Noh S.K., Koo S.I., 2003. Egg sphingomyelin lowers the lymphatic absorption of cholesterol and α -tocopherol in rats. *J. Nutr.*, 133, 3571-3576.
- Nys Y., 2000. Dietary carotenoids and egg yolk coloration. A review. *Arch. Geflüg.*, 64, 45-54.
- Nys Y., 2010. Structure et formation de l'œuf. In : Science et technologie de l'œuf et des ovoproduits, Nau F., Guérin-Dubiard C., Baron F., Thapon J.L. (Eds). Editions Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 1, chap 5, 161-249.
- Nys Y., Sauveur B., 2004. Valeur nutritionnelle des œufs. *INRA Prod Anim*, 17, 385-393.
- Park Y., Albright K.J., Storkson J.M., Liu W., Cook M.E., Pariza M.W., 1999. Changes in body composition during feeding and withdrawal of dietary conjugated linoleic acid. *Lipids*, 34, 243-248.
- Parkinson T.L., 1975. Fractionation of lipids of raw egg. *J. Sci. Food Agric.*, 26, 1639-1645.
- Pelletier X., Thouvenot P., Belbraouet S., Chayvialle J.A., Hanesse B., Mayeux D., Debry G., 1996. Effect of egg consumption in healthy volunteers: influence of yolk, white or whole-egg on gastric emptying and on glycemic and hormonal responses. *Ann. Nutr. Metabolism*, 40, 109-115.
- Raes K., Huyghebaert G., De Smet S., Nollet L., Arnouts S., Demeyer D., 2002. The deposition of conjugated linoleic acids in eggs of laying hens fed diets varying in fat level and fatty acid profile. *J. Nutr.*, 132, 182-189.
- Rancé F., Dutau G., 2007. Allergies alimentaires. *Pour la Science*, 353, 45-51.
- Réhault S., Anton M., Nau F., Gautron J., Nys Y., 2007. Les activités biologiques de l'œuf. *INRA Prod. Anim.*, 20, 337-348.
- Richer S., Stiles W., Statkute L., Pulido J., Frankowski J., Rudy D., Pei K., Tspursky M., Nyland J., 2004. Double-masked, placebo controlled, randomized trial of lutein and antioxidant supplementation in the intervention of atrophic age-related macular degeneration: the Veterans LASTstudy (Lutein Antioxidant Supplementation Trial). *Optometry*, 75, 216-230.
- Rolinc-Werninghaus C., Staden U., Mehl A., Hamelmann E., Beyer K., Niggemann B., 2005. Specific oral tolerance induction with food in children: transient or persistent effect on food allergy? *Allergy*, 60, 1320-1322.
- Roth-Maier D.A., Wild S.I., Erhardt W., Henke J., Kirchgessner M., 1999. Investigations on the intestinal availability of native thiamin in selected foods and feedstuffs. *Eur. J. Nutr.*, 38, 241-246.
- Romanoff A.L., Romanoff A.J., 1949. The avian egg. John Wiley and Sons Inc. (Ed). New York, USA, 918p.
- Rupa P., Mine Y., 2006. Egg Proteins. In: Nutraceutical Science and Technology 4 - Nutraceutical Protein and Peptides in Health and Disease. Mine Y., Shahidi F. (Eds). CRC Press, Taylor Francis Group, Boca Raton, London, New York, Chapter 22, 445-459.
- Satyanarayana Rao T.S., 1987. Studies on the spray-dried, foam-mat-dried and freeze-dried whole egg powder: changes in the nutritive qualities on storage. *Nutr. Rep. Int.*, 36, 1317-1323.
- Sauveur B., 1994. Variation initiale de la composition de l'œuf, In : L'œuf et les ovoproduits. Thapon J.L., Bourgeois C.M. (Eds). Editions Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 70-83.
- Schaafsma G., 2000. The protein digestibility-corrected amino acid score. *J. Nutr.*, 130, 1865S-1867S.
- Schäfer K., Männer K., Sagredos A., Eder K., Simon O., 2001. Incorporation of dietary linoleic and conjugated linoleic acids and related effects on eggs of laying hens. *Lipids*, 36, 1217-1222.
- Schlatterer J., Breithaupt D.E., 2006. Xanthophylls in commercial egg yolks: quantification and identification by HPLC and LC-APCI MS using a C30 phase. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 2267-2273.
- Schmidt E.B., Rasmussen L.H., Rasmussen J.G., Joensen A.M., Madsen M.B., Christensen J.H., 2006. Fish, marine n-3 polyunsaturated fatty acids and coronary heart disease: a minireview with focus on clinical trial data. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 75, 191-195.
- Schulz J., Smith N.J., 1958. A quantitative study of the absorption of food iron in infants and children. *AMA J. Dis. Child.*, 95, 109-118.
- Seuss-Baum I., 2007. Nutritional evaluation of egg compounds. In: Bioactive egg compounds. Huopalahti R., Lopez-Fandino R., Anton M., Schade R. (Eds). Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Allemagne, Chap. 18, 117-144.
- Seyoum E., Selhub J., 1998. Properties of food folates determined by stability and susceptibility to intestinal pteroylpolyglutamate hydrolase action. *J. Nutr.*, 128, 1956-1960.
- Shang X.G., Wang F.L., Li D.F., Yin J.D., Li J.Y., 2004. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated storage. *Poult. Sci.*, 83, 1688-1695.
- 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). CABI Publishing, New York, USA, 135-150.
- Sirri F., Barroeta A., 2007. Enrichments in Vitamins. In: Bioactive egg compounds. Huopalahti R., Lopez-Fandino R., Anton M., Schade R. (Eds). Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Allemagne, 171-181.
- Skrivan M., Skrivanová V., Marounek M., 2005. Effects of dietary zinc, iron, and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil and herbage. *Poult. Sci.*, 84, 1570-1575.
- Sommerburg O., Keunen J.E., Bird A.C., van Kuijk F.J., 1998. Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes. *Brit. J. Ophthalmol.*, 82, 907-910.
- Stadelman W.J., Pratt D.E., 1989. Factors influencing composition of the hen's egg. *World's Poult. Sci. J.*, 45, 247-266.
- Suksombat W., Samitayotin S., Lounglawan P., 2006. Effects of conjugated linoleic acid supplementation in layer diet on fatty acid compositions of egg yolk and layer performance. *Poult. Sci.*, 85, 1603-1609.
- Suzuki Y., Okamoto M., 1997. Production of hen's eggs rich in vitamin K. *Nutr. Res.*, 17, 1607-1615.
- Szymczyk B., Pisulewski P.M., 2003. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition and cholesterol content of hen egg yolks. *Brit. J. Nutr.*, 90, 93-99.
- Tanabe S., Tesaki S., Watanabe M., 2000. Producing a low ovomucoid egg white preparation by precipitation with aqueous ethanol. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 64, 2005-2007.
- Thimister P.W.L., Hopman W.P.W., Sloots C.E.J., Rosenbusch G., Willems H.L., Trijbels F.J.M., Jansen J.B.M.J., 1996. Role of intraduodenal proteases in plasma cholecystokinin and pancreaticobiliary responses to protein and amino acids. *Gastroenterology*, 110, 567-575.
- Van Asselt D.Z., Van den Broek W.J., Lamers C.B., Corstens F.H., Hoefnagels W.H., 1996. Free and protein-bound cobalamin absorption in healthy middle-aged and older subjects. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 44, 949-953.
- Van der Wal J.S., Marth J.M., Khosla P., Jen C., Dhurandhar N.V., 2005. Short-term effect of eggs on satiety in overweight and obese subjects. *JACN*, 24, 510-515.
- Walsh B.J., Barnett D., Burley R.W., Elliott C., Hill D.J., Howden M.E.H., 1988. New allergens from hen's egg white and egg yolk. *In vitro* study of ovomucin, apovitellenin I and VI, and phospholipids. *Int. Arch. Allergy Immunol.*, 87, 81-86.

Watkins B.A., Feng S., Strom A.K., Devitt A.A., Yu L., Li Y., 2003. Conjugated linoleic acids alter the fatty acid composition and physical properties of egg yolk and albumen. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 6870-6876.

Will B.H., Usui Y., Suttie J.W., 1992. Comparative metabolism and requirement of vitamin K in chicks and rats. *J. Nutr.*, 12, 2354-2360.

Wenzel A.J., Gerweck C., Barbato D., Nicolosi R.J., Handelman G.J., Curran-

Celentano J.M., 2006. A12-weeks egg intervention increases serum zeaxanthin and macular pigment optical density in women. *J. Nutr.*, 136, 2568-2573.

Yamakawa Y., Nau F., 2010. Valeur nutritionnelle et allergénicité. In : *Science et technologie de l'œuf et des ovoproduits. De l'œuf aux ovoproduits*. Nau F., Guérin-Dubiard C., Baron F., Thapon J.L. (Eds). Tec et Doc Lavoisier, Paris, France, 2, 175-220.

Young V.R., Borgonha S., 2000. The Massachusetts institute of technology amino acid requirement pattern. *J. Nutr.*, 130, 1841S-1849S.

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

Résumé

L'œuf est une source très digestible de protéines et de lipides qui contient par ailleurs une part importante des vitamines et minéraux nécessaires à l'Homme. La composition en acides aminés, équilibrée par rapport aux besoins de l'Homme, fait de l'œuf l'une des meilleures sources protéiques et les lipides de l'œuf fournissent des quantités importantes d'acides gras insaturés et de phospholipides. Les constituants majeurs de l'œuf sont relativement stables ; ils dépendent essentiellement de la proportion de blanc et de jaune, elle-même largement influencée par l'âge de la poule. En revanche, la composition de l'œuf en acides gras, vitamines, minéraux et pigments peut fortement varier. La dépendance de ces éléments vis-à-vis de l'alimentation de la poule offre ainsi des opportunités d'enrichissement de l'œuf en constituants d'intérêt pour la santé humaine. Des études nutritionnelles ont par exemple démontré chez l'Homme l'impact positif de la consommation d'œufs enrichis en acides gras polyinsaturés ; de même, la lutéine et la zéaxanthine de l'œuf sont particulièrement bien absorbés par l'organisme humain et biodisponibles pour la rétine. Le concept d'augmentation du risque cardio-vasculaire lié à la forte teneur de l'œuf en cholestérol est quant à lui clairement contredit par de nombreuses études épidémiologiques. Une limite à la consommation d'œuf réside finalement dans son pouvoir allergène, en particulier chez le jeune enfant.

Abstract

Nutritional value of the hen egg for humans

The egg is a highly digestible source of proteins and lipids, which contains a large range of vitamins and minerals needed by humans. The amino acid content, perfectly balanced for human needs, classifies eggs amongst the highest nutritional value of protein sources. Egg lipids provide large amounts of unsaturated fatty acids and phospholipids. The major egg components show limited variability; it essentially depends on egg white/yolk ratio, which is largely controlled by the hen's age. On the contrary, large differences can be observed for egg content in fatty acids, vitamins, minerals and pigments. The influence of the hen's diet on egg composition for these elements enables the enrichment of eggs for human health benefit. For example, nutritional studies have demonstrated in humans the positive impact of consumption of unsaturated fatty acid enriched eggs; in addition, lutein and zeaxanthin are very efficiently absorbed by humans and highly available for the retina when provided by eggs. In addition, the negative image of the egg due to its high cholesterol content tends to be attenuated because the assumption of increased cardiovascular risk is not supported by the majority of epidemiological studies. One constrain to egg consumption is associated with allergenic proteins, and care should be taken especially for young children.

NAU F., NYS Y., YAMAKAWA Y., RÉHAULT-GODBERT S., 2010. Intérêt nutritionnel de l'œuf en alimentation humaine. In : *Numéro Spécial, Qualité de l'œuf*. Nys Y. (Ed). Inra Prod. Anim., 23, 225-236.

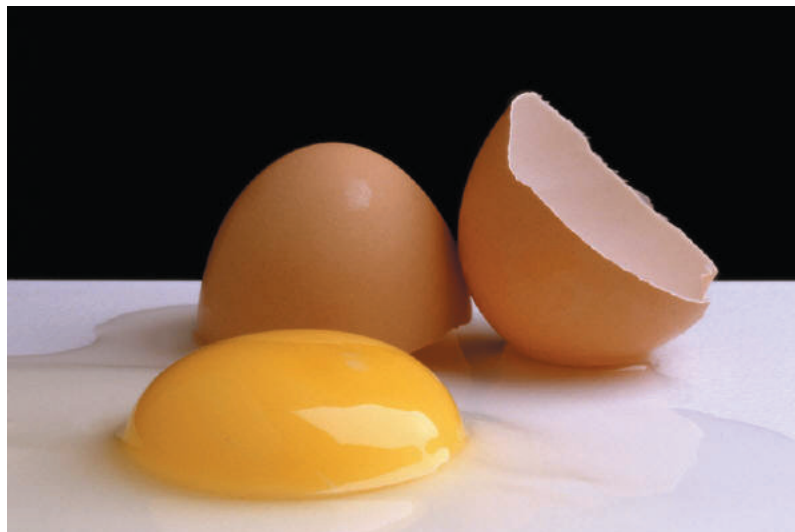


Photo : ITAVI

