

1. Intérêt nutritionnel de l'œuf en alimentation humaine

L'œuf fait également partie intégrante de l'alimentation humaine. Il est une source équilibrée de protéines et de lipides, tout en étant peu énergétique (moins de 100 kilocalories pour un œuf de 60 g). La valeur biologique des protéines de l'œuf a fait de celles-ci la référence pour l'alimentation humaine (valeur 100) jusqu'à récemment. Leur composition répond presque intégralement aux besoins de l'enfant en acides aminés indispensables, qui ne peuvent pas être synthétisés à partir de précurseurs à la suite de réactions enzymatiques.

Des études nutritionnelles ont 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.

2. Définition d'un œuf :

L'œuf est un corps organique élaboré dans le corps des animaux femelles ovipares.

L'appellation « œuf » est utilisée uniquement pour les œufs de poule, autrement il faut apporter à l'appellation l'origine : œuf de caille etc...

L'œuf fait partie intégrante du cycle de reproduction chez la poule. C'est dans cette enceinte close et étanche que l'embryon pourra se développer de manière harmonieuse à partir des seuls constituants présents dans l'œuf lorsqu'il y a eu fécondation. Le mode de reproduction des espèces ovipares implique que les constituants de l'œuf possèdent des propriétés remarquables d'un point de vue énergétique et nutritionnel et de par leurs activités biologiques. Les constituants du jaune sont formés au niveau du foie et déposés au niveau de l'ovaire. Les autres compartiments ont pour origine l'oviducte que l'œuf traverse au cours de sa formation. Le gamète femelle est porté par le jaune et pourra être fécondé par le gamète mâle une fois le jaune ovulé. Le jaune et le blanc contiennent toutes les réserves nutritives protéiques et lipidiques permettant le développement du poussin en 21 jours.

3. Composition de l'œuf :

Dans un espace clos délimité par la coquille et comme tous les œufs d'oiseaux, l'œuf de poule contient tous les éléments nécessaires au développement de l'embryon sans aucun apport extérieur. Il pèse en moyenne 60 g et possède :

- **Une coquille dure** (environ 10 % du poids de l'œuf) de forme ovale, de couleur blanche ou entre crème et brun. La coquille protège l'embryon et permet les échanges gazeux nécessaires à sa respiration car elle est poreuse. Elle est composée de 95% de matière minérale (carbonate de calcium sous forme de calcite), de 3,5% de matière organique et de 1,5% d'eau.

- **Une enveloppe protéique** (la cuticule) recouvre la totalité de la coquille et obture les pores, limitant les pertes en eau et empêchant la pénétration des microorganismes extérieurs.

- Directement sous la partie minérale de la coquille, on trouve deux membranes blanchâtres étroitement associées, qu'on distingue aisément sur les œufs durs. Ces membranes, dites **coquillières**, constituées d'un réseau protéique, jouent le rôle d'un véritable filtre empêchant l'entrée des microorganismes.

- Au centre de l'œuf, on trouve **le jaune** (environ 30 % du poids total de l'œuf, soit 18g environ pour un œuf moyen.), c'est la cellule vitale renfermant l'ensemble des substances de réserve pour la formation du futur poussin. Il est plus ou moins foncé et brillant.

Le jaune contient le gamète femelle qui pourra être fécondé. Ce dernier est localisé au niveau du disque germinatif, situé en surface du jaune. Le jaune est composé de 51% d'eau, de 30% de lipides, de 16% de protéines et de 0,6% de glucides. Il est également riche en phosphore, contient la plupart du fer de l'œuf et renferme des vitamines (la totalité des vitamines liposolubles et un certain nombre de vitamines hydrosolubles).

Entouré d'une fine membrane dite « **vitelline** » a une épaisseur totale d'environ 10 µm, elle permet de maintenir l'œuf « en boule » lorsqu'on le casse.

- À la surface du jaune, on peut voir un disque clair d'environ 3 mm : c'est le **disque germinatif** qui contient les chromosomes femelles et correspond au site de multiplication de l'embryon quand l'œuf a été fécondé. Mais une poule peut pondre des œufs sans s'être accouplée avec un coq, c'est-à-dire sans que l'œuf ait jamais rencontré de spermatozoïdes dans l'oviducte de la poule. Dans ce cas, l'œuf ne pourra bien sûr pas donner naissance à un poussin.

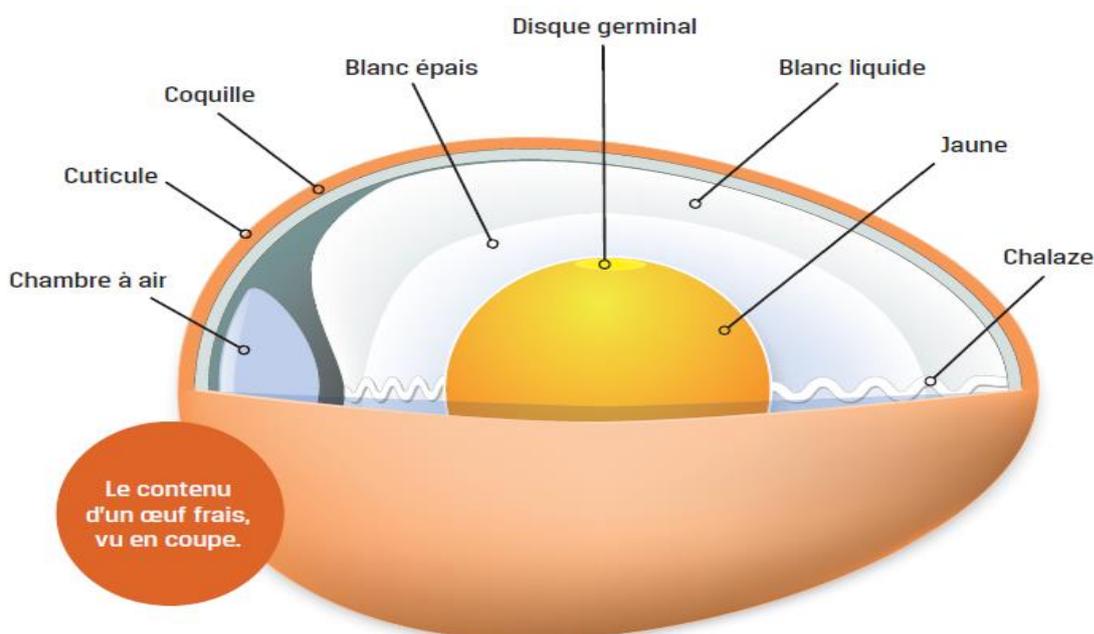


Figure1 : Parties de l'œuf

- Le jaune est enveloppé d'une fine membrane transparente appelée **membrane vitelline**, qui limite les échanges entre le jaune et le blanc. Le jaune est maintenu en suspension au centre de l'œuf grâce aux chalazes,

- **Chalazes** : ces filaments spiralés blanchâtres, de nature protéique, allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf. Le maintien du jaune au centre de l'œuf est une des conditions du bon développement de l'embryon dans le cas des œufs fécondés.

- Entourant le jaune, **le blanc, ou albumen** (environ 60 % du poids de l'œuf), est une solution de protéines dans l'eau, dont certaines contribuent à la protection de l'embryon contre les microorganismes. Le blanc n'est pas un milieu homogène. Il se divise en plusieurs couches qui se distinguent par leur viscosité. On trouve ainsi du blanc liquide, très fluide, et du blanc épais se présentant sous l'aspect d'un gel. Les proportions de blanc liquide et de blanc épais dépendent de la durée et du mode de conservation de l'œuf : on s'en sert d'ailleurs pour évaluer la fraîcheur de l'œuf.

Le blanc est composé de 88% d'eau, de 10,6% de protéines et de 0,9% de glucides. Il contient également des minéraux (0,5%) et une faible quantité de vitamines hydrosolubles, uniquement du groupe B. Les protéines majeures du blanc sont l'ovalbumine (qui représente 54% des protéines du blanc), l'ovotransferrine (13%), l'ovomucoïde (11%), le lysozyme (3,5%) et l'ovomucine (1,5 à 3,5%).

Le blanc contient également les acteurs antimicrobiens les plus concentrés et les plus actifs qui assurent la défense moléculaire antimicrobienne principale de l'œuf. Le lysozyme, l'ovotransferrine ou les β -défensines sont les plus connus

4. Les nutriments de l'œuf :

Nutriments	Dans 100 g d'œuf (sans coquille) = à peu près 2 œufs	Dans 100 g de LAIT de vache ½ écrémé = environ ½ verre
Calories	145 kcal	45 kcal
Eau	76 g	90 g
Protéines	12 g	3 g
Glucides	0,7 g	4,6 g de lactose
Lipides	10 g	1,5 g

Tableau 01 : les nutriments nutritifs dans 100 g d'œuf en comparaison avec 100 g de lait de vache demi écrémé

4.1. ENERGIE

L'œuf est un aliment peu énergétique et grâce à ses propriétés à apaiser la faim, il constitue un excellent allié dans les régimes minceurs.

4.2. LES PROTEINES

L'œuf possède des protéines d'excellente qualité, notamment l'ovalbumine considérée par les nutritionnistes comme "la protéine biologique de référence" et comme standard de l'efficacité protéique chez l'enfant, la femme enceinte, la femme allaitante et les personnes âgées.

Les protéines de l'œuf, dont la biodisponibilité est d'environ 94%, présentent des concentrations élevées en acides aminés essentiels car l'organisme est incapable de les synthétiser. Ils doivent donc être nécessairement apportés par l'alimentation. Ces acides aminés essentiels sont en proportions idéales dans l'œuf. Il s'agit notamment de la lysine et de la méthionine qui sont présents en quantité restreinte dans de très nombreux aliments, de l'arginine, de la phénylalanine et de la cystine.

L'œuf est parmi les rares denrées alimentaires qui contiennent tous les acides aminés essentiels.

4.3. LES LIPIDES

L'œuf contient des lipides concentrés essentiellement dans le jaune d'œuf. Ils sont constitués majoritairement d'acides gras mono et polyinsaturés et particulièrement en acide oléique (oméga 9), en acide linoléique (oméga 6) et en acide alpha-linoléique (oméga 3). Ces acides gras insaturés interviennent dans de nombreuses fonctions physiologiques primordiales dans l'organisme.

4.4. LES VITAMINES

L'œuf est un véritable cocktail de vitamines liposolubles et hydrosolubles. Il apporte une fraction importante de la ration journalière recommandée pour les vitamines.

a. Les vitamines liposolubles : Dans un œuf :

- ✓ Vitamine A 50% de la dose journalière d'un jeune enfant et 20% de celle d'un adulte.
- ✓ Vitamine D : 10% au moins des besoins journaliers recommandés d'un adulte.
- ✓ Vitamine E : + 20% de la dose journalière recommandée d'un enfant et 10% de celle d'un adulte.
- ✓ Vitamine K : 20% de la dose journalière recommandée d'un enfant et 10% environ pour un adulte.

b. les vitamines hydrosolubles du groupe b : Dans un œuf :

- ✓ Vitamine B2 : 10% de la dose journalière recommandée de l'adulte et 25% de celle d'un enfant.
- ✓ Vitamine B5 : 10% de la dose journalière recommandée de l'adulte et 30% pour celle d'un enfant.
- ✓ Vitamine B8 : 10% de la dose journalière recommandée de l'adulte et 20% de celle d'un enfant.

- ✓ Vitamine B9 : 7% de la dose journalière recommandée de l'adulte et 20% pour un enfant.
- ✓ Vitamine B12 : 30% de la dose journalière recommandée de l'adulte et 40% de celle d'un enfant.

4.5. LES MINÉRAUX ET OLIGO-ÉLÉMENTS

L'œuf contient de nombreux minéraux et oligo-éléments parmi lesquels : Phosphore, Fer, Magnesium, Iode, Selenium

4.6. AUTRES NUTRIMENTS

La lutéine et la zéaxanthine sont deux caroténoïdes à effet antioxydants, qui se trouvent dans le jaune d'œuf et jouent un rôle très important pour réduire le risque de cataractes et la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Ils jouent aussi un rôle anticancéreux. La choline joue un rôle important dans le développement et le fonctionnement du cerveau. Un œuf de 60 g contient 215 mg de choline, soit près de 50% de l'apport suffisant (AS) recommandé chez l'adulte.

L'œuf a une grande valeur nutritive, ce qui n'est pas étonnant puisqu'il renferme tous les nutriments nécessaires au développement de l'embryon, à la constitution du squelette et au fonctionnement de tous les organes des poussins à l'éclosion.

DONC : Les œufs sont des produits de bonne qualité nutritionnelle, diététique, économiques, commodes, faciles à cuisiner, qui conviennent à toutes les catégories d'âge. Ils sont aussi délicieux en toutes circonstances. De bonnes raisons de les consommer encore et encore.

5. La formation de l'œuf :

La formation de l'œuf suit un processus spatio-temporel bien déterminé, représenté dans la Figure 2, qui permet la mise en place des différents compartiments de l'œuf le long de l'appareil reproducteur femelle. Chez les oiseaux, seul le côté gauche de l'appareil reproducteur est développé et est constitué de l'ovaire et de l'oviducte. Une fois formé dans l'ovaire et à maturité, le jaune est ovulé puis capté par le pavillon de l'oviducte où le dépôt des autres compartiments aura lieu dans les différents segments.

1. Synthèse du jaune d'œuf dans l'ovaire

Au moment de l'éclosion, le poussin femelle possède une réserve d'environ 12000 ovocytes primaires au niveau de l'ovaire. Les ovocytes vont ensuite subir un développement en trois phases qui va aboutir à la formation du jaune et à son ovulation.

La première phase est **une phase d'accroissement lent**. Elle a lieu entre l'éclosion et la maturité sexuelle (environ 15 à 16 semaines chez la poule). Elle concerne tous les ovocytes, dont le diamètre passe d'environ 10 µm à 1 mm par accumulation de protéines.

A partir de la maturité sexuelle, certains des ovocytes sont sélectionnés à chaque cycle d'ovulation de la poule et poursuivent leur développement. Les autres restent bloqués dans la première phase pendant une durée plus ou moins longue (quelques semaines voire plusieurs mois) en attente de continuer leur maturation.

Les ovocytes sélectionnés entrent dans la deuxième phase qui est **une phase d'accroissement intermédiaire**. Elle dure environ 60 jours chez la poule. Les dépôts de protéines et de lipides conduisent à une multiplication par 4 du diamètre des ovocytes.

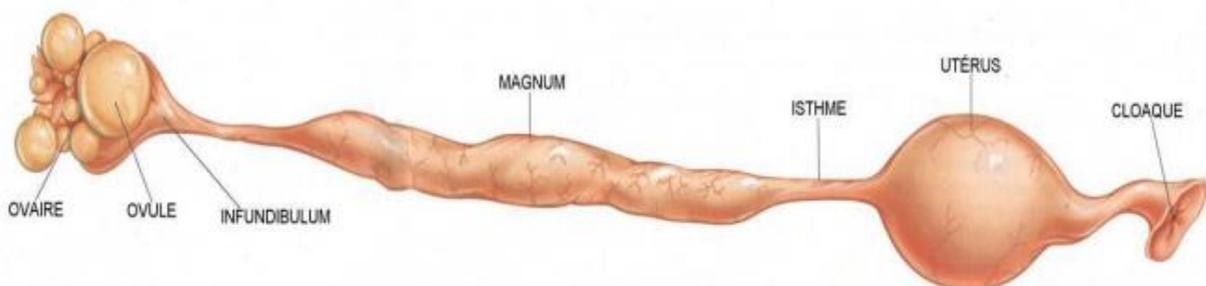
A chaque cycle d'ovulation, un seul ovocyte est également sélectionné pour entrer dans la troisième phase qui est **une phase de grand accroissement**. Il vient s'ajouter aux 7 à 10 ovocytes en phase de grand accroissement déjà présents au niveau de l'ovaire. Les ovocytes voient leur masse augmenter fortement durant les 6 à 14 jours précédant l'ovulation, chacun d'entre eux présentant un développement particulier en décalage d'une journée avec les autres. Les protéines et les lipides s'accumulent autour de l'ovocyte, ce qui correspond au dépôt de la quasi-totalité du jaune (98%). La majorité des constituants du jaune est synthétisée au niveau du foie puis acheminée par la circulation sanguine au niveau de l'ovaire. Durant cette transformation, la masse des ovocytes passe ainsi de 200 mg à 15-18 g. L'ovocyte est alors recouvert de la première couche des membranes vitellines, la couche interne fibreuse.

Chaque jour, l'ovulation de l'ovocyte le plus développé a lieu. Cette ovulation est placée sous contrôle hormonal : elle fait suite à une sécrétion importante de LH (Luteinizing Hormone), dite décharge ovulante, effectuée et régulée par l'axe hypothalamo-hypophysaire.

A sa sortie de l'ovaire, l'ovocyte est capté par l'oviducte, où les autres compartiments de l'œuf sont synthétisés par les différents segments de cet organe.

2. Dépôt des autres compartiments de l'œuf dans l'oviducte

L'oviducte est divisé en 5 segments différents (l'infundibulum, le magnum, l'isthme, l'utérus et le vagin). L'oviducte mesure environ 70 cm de long chez une poule adulte.



a. **Achèvement de la membrane vitelline dans l'infundibulum** : Une fois ovulé, le jaune est tout d'abord capté par l'infundibulum où il reste environ 20 minutes. C'est le lieu d'une éventuelle fécondation ainsi que celui de la synthèse des couches de la membrane vitelline.

b. Dépôt du blanc dans le magnum : Le jaune recouvert de la membrane vitelline transite ensuite dans le magnum, le plus long segment de l'oviducte. Le magnum est le lieu de la synthèse de l'ensemble des protéines du blanc. Lors du passage du jaune, les protéines sont excrétées et déposées autour de celui-ci pour former le blanc. Ce processus dure environ 4 heures. A la sortie du magnum, le blanc n'est pas totalement hydraté.

c. Synthèse des membranes coquillières dans l'isthme : L'œuf en formation traverse ensuite l'isthme où il séjourne environ 1 heure. Ce dernier est lui-même divisé en deux parties : l'isthme blanc et l'isthme rouge. Dans chacune de ces deux parties se déroulent respectivement le dépôt des membranes coquillières et la mise en place des noyaux mamillaires, points de départ de la calcification.

d. Hydratation du blanc et formation de la coquille dans l'utérus : Deux phénomènes se produisent dans l'utérus. Le blanc est tout d'abord hydraté, phénomène appelé « plumping ». L'œuf acquiert ainsi sa forme ovoïde définitive et entre en contact étroit avec la paroi cellulaire de l'utérus.

Le second phénomène est la calcification de la coquille, l'étape la plus longue de la formation de l'œuf, qui se déroule selon un processus de biominéralisation à partir des ions et des constituants de la matrice organique sécrétés par l'utérus. La biominéralisation de l'œuf de poule est l'une des plus rapides du monde vivant : en effet, six grammes de coquille sont formés en 19 heures environ. L'œuf ainsi formé transite par le vagin avant de rejoindre le cloaque et d'être pondu environ 24 heures après l'ovulation du jaune.

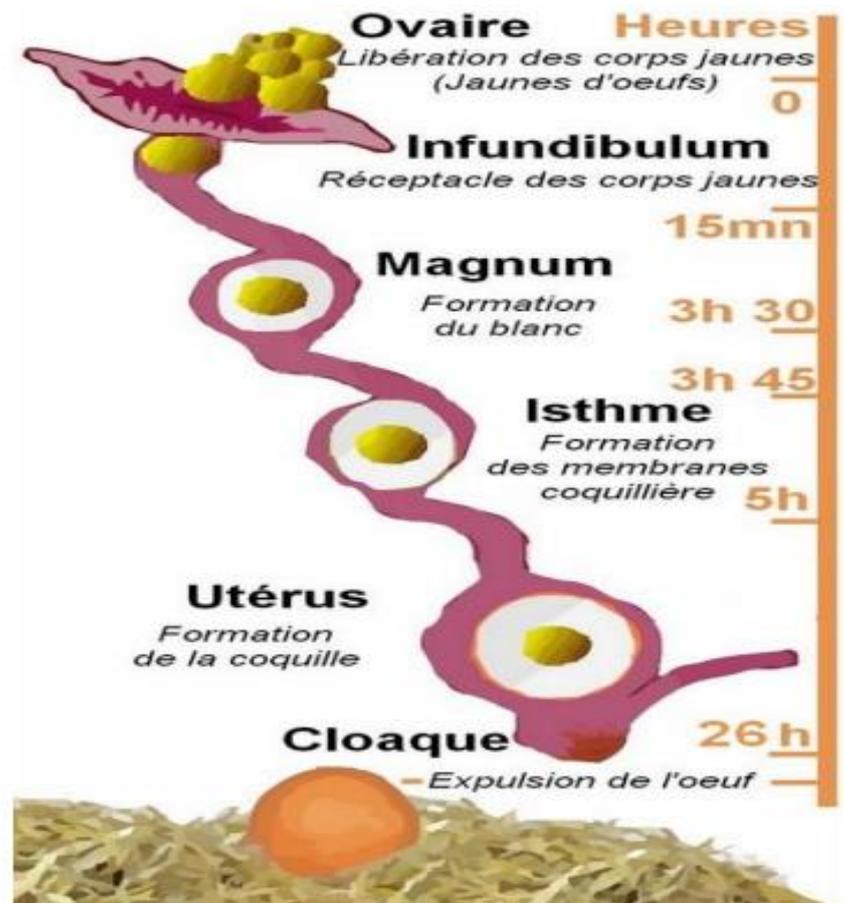


Figure 02 : Formation de l'œuf de poule (durée totale et par segment de l'appareil génital de la poule)

6. Propriété des œufs :

6.1. Pouvoir anti-cristallisant (blanc)

Il permet d'éviter la formation de cristaux de saccharose dans les industries qui utilisent des solutions sursaturées en sucre (confiseries).

6.2. Pouvoir foisonnant

C'est le lysozyme qui est responsable de la formation de la mousse, et l'ovomucine assure la stabilité de cette mousse en formant un film insoluble protégeant des bulles d'air (blanc d'œuf battu en neige : gel emprisonnant l'air. meringue)

6.3. Pouvoir aromatique (jaune)

L'œuf possède une saveur spéciale et constitue un fixateur d'arômes très efficace (fixation arômes sur les lipides du jaune, mauvaises odeurs si trop chauffé)

6.4. Pouvoir colorant (jaune)

Il est très important dans certaines industries alimentaires.

6.5. Pouvoir émulsifiant (jaune)

Grâce à sa viscosité, le jaune confère une grande stabilité aux émulsions qu'il forme (mayonnaise).

Le jaune d'œuf sert d'émulsifiant dans la préparation des sauces en cuisine. Cette propriété est due à la lécithine qu'il contient.

6.6. Pouvoir coagulant (blanc et jaune)

Sous l'action de la chaleur ou d'autres agents physiques ou chimiques, les protéines et en particulier l'ovalbumine vont être dénaturées et ainsi provoquer la coagulation.

Le blanc commence à coaguler à partir de 57°C et le jaune commence à épaissir à partir de 65°C.

6.7. Pouvoir liant (blanc et jaune)

Il est particulièrement recherché dans certaines industries, il est dû à la capacité qu'a le blanc et à moindre degré le jaune de former des gels qui peuvent englober d'autres substances ajoutées.

7. Formes, tailles et couleurs des œufs

Pour offrir le maximum de résistance aux pressions venues de l'extérieur, l'œuf devrait être parfaitement sphérique ; mais cela restreindrait sa capacité et entraverait le développement de l'embryon. En fait, le diamètre de l'œuf est limité par celui de l'oviducte dans lequel il passe avant d'être pondu. On a dit que l'œuf a d'abord une apparence arrondie quand il pénètre dans l'oviducte et qu'ensuite sa forme change sous l'effet des contractions musculaires. La pression serait maximale à sa partie antérieure, et cela expliquerait pourquoi la plupart des œufs ont une extrémité plus pointue que l'autre.



Figure 03 : Œufs de différentes races de poules : La race de poule Marans pond des œufs roux, l'araucana pond des œufs verts et la Bresse pond des œufs blancs.

8. Les anomalies de l'œuf

8.1. Œufs à double jaune

L'inclusion de deux jaunes dans une même coquille est due soit à une ovulation rapide, soit à un retard du jaune dans sa progression jusqu'à la membrane sécrétoire de l'oviducte. Ces œufs sont sans valeur pour la reproduction puisque les naissances gémeillaires sont impossibles.

Le contenu du jaune est fonction de la nourriture : La coloration du jaune d'œuf ou vitellus est d'autant plus intense, que l'alimentation des poules est riche en pigments. Ces substances se rencontrent principalement dans les carottes, le maïs et la verdure.

8.2. Œufs sans coquilles ou œufs Hardés

Lorsque l'œuf atteint la partie utérine de l'oviducte, il est couvert des deux membranes coquillière sécrétée par l'isthme. C'est là dans l'utérus que les matériaux pour la conception de la coquille calcaire devraient se déposer. La fragilité des coquilles peut être due à plusieurs choses :

- ✓ Manque de calcium (Ca) dans la nourriture, il s'agit d'un déséquilibre phosphocalcique.
- ✓ Une précocité sexuelle.
- ✓ Certaines attaques virales, comme la bronchite infectieuse (BI).

8.3. Les œufs tachés de sang

Assez souvent, des taches de sang de volume variable apparaissent sur les coquilles.

Cette anomalie survient surtout pendant la période ponte intensive ou l'ovaire est fortement irrigué pour permettre la formation rapide des ovules. Lorsqu'un follicule hémorragique peut se produire en laissant échapper un peu de sang de l'un des vaisseaux sanguins. Le sang passe donc en même temps que l'albumine (Blanc d'œufs) et il est donc incorporé dans celui-ci. La taille de cette tache de sang dépend donc de la quantité de sang perdu lors du trajet de l'œuf. Ces œufs peuvent être consommés sans problèmes, mais sont à proscrire pour la couvaison.

8.4. Les petits Œufs

Les œufs anormaux, souvent minuscules ne contiennent que du blanc d'œuf. Ces œufs sont souvent appelés « œuf de Coq ». L'apparition de ce type d'œuf signifie souvent la fin de ponte d'une volaille mais elle peut être aussi la cause de :

- ✓ Un dérèglement de la fonction de l'oviducte
- ✓ Une ovulation trop importante ou précoce

9. Différentes catégories d'ovoproduits

9.1. Les ovo produits liquides

Les œufs peuvent être utilisés immédiatement sans subir de pasteurisation ; c'est le cas de la coule fraîche (mélange de blanc et de jaune) qui est la seule préparation pour laquelle l'appellation d'œufs frais est autorisée puisque aucune propriété de l'œuf n'est altérée.

Les autres produits doivent être pasteurisés (2.5 minutes à 64°C) conditionnés en bidons et stockés à une température inférieure ou égale à +3°C jusqu'à leur utilisation, leur livraison devant se faire dans les 24 heures suivant la pasteurisation.

9.2. Les ovo produits congelés

Ce sont les produits liquides qui ont été congelés au plus tard dans les 12 heures qui suivent la pasteurisation, ils sont d'abord surgelés à -40°C puis stockés à une température inférieure ou égale à -12°C (jusqu'à -18°C)

Le moment de la décongélation est le moment le plus critique durant lequel les règles d'hygiène doivent être rigoureuses, il consiste en un préchauffage entre -4°C et -1°C suivi d'un bain marie à $40-45^{\circ}\text{C}$.

9.3.Les ovo produits séchés

Egalement appelés poudres d'œufs, ce sont les produits liquides qui ont été déshydratés jusqu'à l'obtention d'une poudre ayant une humidité convenable (8% pour le blanc, et 5% pour le jaune ou pour l'œuf entier).

9.4.Les ovo produits concentrés

Ce sont les produits liquides pasteurisés ou non auxquels on a retiré une partie de l'eau et des solutés de faible poids moléculaire par ultra filtration et auxquels on a rajouté du sel ou d'un sucre.

Ces produits peuvent être stockés pendant des mois à température ambiante.

En résumé :

Les ovoproduits ont une durée de conservation :

- liquide réfrigérés : entier, jaune ou blanc, 3 à 6 semaines départ usine entre 0 et $+4^{\circ}\text{C}$ selon le processus de fabrication, conservation après ouverture maximum 2 jours entre 0 et $+4^{\circ}\text{C}$.
- congelé ou surgelés : entier, jaune, blanc, 1 à 2 ans à -12°C
- Séchés : en poudre, paillettes, granulés : 2 ans dans un endroit sec