

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abd El Hamid Ibn Badis – Mostaganem



UNIVERSITE

Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département d'Agronomie
Laboratoire de physiologie animale appliquée
Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de
Master En Sciences Agronomiques
Spécialité : Génétique et Reproduction animale.

THEME :
**L'effet de l'alimentation sur la
poule pondeuse**

Présenté par : Hammou Redouane.

Devant le jury

Président : M DAHLOUM Lhouari

Encadreur : Mme SOLTANI Fatiha

Examineur : Mme MAGHNIA Djamila

MCA université de Mostaganem

MAA université de Mostaganem

MAA université de Mostaganem

Année Universitaire : 2019- 2020.

REMERCIEMENT

En premier lieu et Avant tout, nous tenons à remercier le tout-puissant Allah de nous avoir octroyé la volonté et le courage d'achever ce modeste travail.

En second lieu nous devons ce que nous sommes à nos parents que nous remercions du fond du cœur et que Allah les bénissent.

Il nous est agréable d'exprimer nos profonds remerciements et gratitude à :

Mme SOLTANI Fatima notre promoteur qui a accepté de nous prendre sous sa charge et de nous guider par ses compétences dans la réalisation ce mémoire.

Aux membres du jury et à leur tête le président du jury M.DHLOUM Lhouari et l'examinateur Mme MAGHNIA Djamila qui nous a honorés par ses présences et de bien vouloir juger et examiner notre modeste travail.

À tous ceux et celles qui nous ont aidées de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire, sans oublier les bibliothécaires au niveau du département de l'agronomie de Mostaganem.

Nous ne saurons oublier les personnes qui nous sont chères nos collègues et nos amis qu'ont connus à tîret et ailleurs.

ET MERCI A TOUS.

Hammou Redouane

DEDICACES

Je dédie mon modeste travail :

À *mes parents* qui à sacrifié sa vies pour moi, et qui ont relevé le défi d'assurer mes études, et la femme qui a éclairé le chemin de ma réussite. À toi *ma femme Marouf Fatima Zohra*.

À mon cher *fil Adam* ... qui a encore un long chemin à parcourir, je lui souhaite plein succès dans sa vie.

À mes chers et adorables *frères et soeurs* qui sont toujours à mes côtés ces longs jours.

Je dédie ce modeste travail

À tout *mes ami(e)s*, sans exception, surtout *Dr amine hamidi, Dr Alouach bachir, Dr Hamida Harrag, ben ali Ismail, kantor amine, Dr hamza (Constantin), ramdani bilal*.

À toutes les personnes qui de près au diu loin ont participe a cette Aventures, ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenu tout au Long de mes études.

RESUME

D'Après les études nous découvriront que l'éleveur est intéressé principalement par 3 choses : la **santé de la poule** et le **poids de l'œuf** et la **solidité de la coquille**.

La **santé des poulets** dépendaient de bonnes conditions d'élevage, et en particulier d'une alimentation équilibrée. Ce dernier doit répondre à tous les besoins quotidiens en matière de qualité et de quantité. Et tout déséquilibre dans la nourriture rend le poulet vulnérable à plusieurs maladies avec basse de productivité Remarquable.

Le **poids de l'œuf** est conditionné par l'origine génétique et l'âge de la poule, mais aussi par **les apports nutritionnels** de la poulette puis de la poule. Le poids de la poulette à l'entrée en ponte, **la concentration énergétique de l'aliment**, les teneurs en protéines et acides aminés (méthionine notamment) et en acides gras (acides linoléique et oléique) **influencent le poids de l'œuf**.

Moins étudiés, la forme de l'aliment et les modes de distribution sont importants et méritent une attention particulière pour les recherches à venir.

La solidité de la coquille est déterminée par l'alimentation calcique en matière de quantité de calcium que de taille des particules.

Les effets de l'alimentation sur les proportions de l'albumen et du jaune, qui intéressent le transformateur, sont marginaux en regard des effets de l'âge de la poule, néanmoins de légers effets sont observés en modifiant les apports en protéines, acides aminés ou en acide linoléique.

Il est ainsi possible d'**améliorer la valeur nutritionnelle** de l'œuf via **l'aliment**.

La composition en macroéléments minéraux est invariable mais de nombreux oligoéléments (iode, sélénium, manganèse) peuvent être modulés par l'apport alimentaire tout comme les vitamines liposolubles (E, D3, A et K).

La couleur du jaune, quant à elle, est dépendante des apports alimentaires, la poule ne pouvant synthétiser les caroténoïdes. Néanmoins, La couleur du jaune varie selon la qualité d'aliment utilisé.

Mots clés: alimentation, pondeuse, poule, œuf, qualité, coquille, jaune d'œuf.

ABSTRACT

From the studies we will discover that the breeder is mainly interested in 3 things: the **health of the hen** and the **weight of the egg** and the **strength of the shell**.

the health of the chickens depended on good rearing conditions, and in particular a balanced diet. The latter must meet all daily needs in terms of quality and quantity. And any imbalance in the feed makes the chicken vulnerable to several diseases with remarkable low productivity.

The **weight of the egg** is conditioned by the genetic origin and the age of the hen, but also by the nutritional intake of the hen and then the hen. The weight of the hen at the start of lay, the energy concentration of the feed, the protein and amino acid content (notably methionine) and fatty acids (linoleic and oleic acids) influence the weight of the egg.

Less studied the form of the food and the modes of distribution are important and deserve special attention for future research.

The **strength of the shell** is determined by the calcium diet in terms of the amount of calcium than the size of the particles.

The effects of food on the proportions of albumen and yolk, which are of interest to the processor, are marginal compared to the effects of the age of the hen, however slight effects are observed by modifying the intake of proteins, acids amino or linoleic acid.

It is thus possible to improve the nutritional value of the egg through the feed.

The composition of mineral microelements is invariable, but many trace elements (iodine, selenium, manganese) can be modulated by food intake just like fat soluble vitamins (E, D3, A and K).

The color of yellow, for its part, is dependent on food intake, the hen being unable to synthesize carotenoids. However, the color of the yellow varies according to the quality of food used.

Keywords: food, thinker, hen, egg, quality, shell, egg yolk.

ملخص

من خلال الدراسات إكتشفنا أن المربي يهتم بشكل أساسي بثلاثة أشياء: **صحة الدجاج و وزن البيضة و صلابة قشرتها .**

صحة الدجاج تعتمد على تربيته في ظروف و شروط جيدة، و أيضا على وجه الخصوص نظام غذائي متوازن.و عليه يجب أن يلبي هذا الأخير جميع الاحتياجات اليومية من حيث الجودة و الكمية . وأي خلل في العلف يجعل الدجاج عرضة لعدة أمراض مع إنتاجية منخفضة بشكل ملحوظ

يتم تحديد **وزن البيضة** حسب الأصل الجيني وعمر الدجاجة ، ولكن أيضًا بالتغذية الغذائية للدجاجة ثم الدجاجة. يؤثر وزن الدجاجة في بداية وضع البيض ، وتركيز الطاقة في العلف ، ومحتوى البروتين والأحماض الأمينية (لا سيما الميثيونين) والأحماض الدهنية (أحماض اللينوليك والأوليك) على وزن البيضة.

أقل دراسة ، شكل الطعام وطرق التوزيع مهمة وتستحق اهتماما خاصا للبحث في المستقبل.

يتم تحديد **صلابة القشرة** من خلال حمية الكالسيوم من حيث كمية الكالسيوم عن حجم الجزيئات.

يعتبر تأثير نوعية العلف على نسب الزلال والصفار ، والتي تهم الوبون و مصانع التحويلية للبيض ، هامشية مقارنة بتأثير عمر الدجاجة ، ولكن لوحظ وجود تأثيرات طفيفة من خلال تعديل تناول البروتينات والأحماض حمض أميني أو لينوليك . وبالتالي فمن الممكن تحسين القيمة الغذائية للبيضة من خلال تحسين نوعية العلف.

إن تركيبة العناصر المعدنية الكلية ثابتة ، ولكن يمكن تعديل العديد من العناصر الراجعة (اليود والسيلينيوم والمنغنيز) عن طريق تناول الطعام تمامًا مثل الفيتامينات التي تذوب في الدهون (K و A ,D₃,E) .

اللون الأصفر **لمح البيضة** ، من جانبه ، يعتمد على مكونات العلف ، حيث الدجاجة غير قادرة على تصنيع الكاروتينات . ومع ذلك، فإن لون المح يختلف باختلاف نوعية الأعلاف المستخدمة .

الكلمات المفتاحية: علف ، الدجاج البيوضة ، بيضة ، جودة ، صلابة القشرة ، صفار بيض .

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	titre	page
1.	Dix premiers pays producteurs d'œufs en 2014 (FAO, 2014).	36
2.	Production européenne dans l'UE-27 (ITAVI, 2015).	37
3.	Développement de la production des œufs en Afrique entre 1990 et 2008 (tonnes) (Wattagnet, 2011).	38
4.	Dix premiers pays producteurs d'œufs en Afrique en 2012 (The Poultry Site, 2014).	39
5.	Premiers pays producteurs d'œufs en Afrique entre 2000 et 2013 (mille de Tonnes) (The Poultry Site, 2015a).	39
6.	La filière œufs de consommation en Algérie : acteurs et potentiels de production (Nouad, 2011).	42
7.	Evolution de la consommation des œufs par habitant et par an de 1966-67 à 2005 (Kaci et Boukella, 2007).	43
8.	Evolution du poids de l'œuf et des différents compartiments de l'œuf au cours de l'année de production (Ternes et al., 1994).	71
9.	Effet du niveau et de la durée de supplémentation en cholecalciférol sur la teneur du jaune d'œuf en cholécalciférol et 25-hydroxy-cholecalciférol (Mattila et al 1999, 2004).	90
10.	Concentrations en xanthophylles des plantes introduites dans l'aliment de poules pondeuses comme sources de pigments (Nys 2000).	95
11.	Nature et concentration en xanthophylles du gluten de maïs (protéines : 59,2%) et du grain de maïs (n = 11) (Looten et al 2003).	96

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : l'appareil digestif de la poule

Figure 2 : Elevage en cages conventionnelles (Harlander, 2015).

Figure 3 : Poule perchée en cage aménagée (Guinebretière, 2010).

Figure 4 : Poules picotant en aire de grattage et picotage (Guinebretière, 2010).

Figure 5 : Elevage au sol (Guerin et Molette, 2007).

Figure 6 : Elevage au sol (volières) (Guerin et Molette, 2007).

Figure 7 : Parcours en élevage plein air (Elson et al., 2011).

Figure 8 : Elevage biologique des poules pondeuses (KABC, 2009).

Figure 9 : Répartition des systèmes d'élevage dans l'UE-27 en 2014 (ITAVI, 2015).

Figure 10 : Représentation schématique de l'ovaire et de l'oviducte de poule mature (Nys et al., 2004).

Figure 11 : Cinétique des dépôts et lieu de formation de l'œuf de poule (Sauveur, 1988).

Figure 12 : Représentation schématique des différents compartiments de l'œuf (Sauveur, 1988).

Figure 13 : Vue en microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale de la coquille d'un œuf de poule montrant les différentes couches (Nys et al., 1999).

Figure 14 : classification des œufs par catégorie des poids (MEIN, 2015).

Figure 15 : Exemple de codage d'un œuf de table (Corpet, 2013).

Figure 16 : Différentes formes et tailles d'œufs : (a) œuf normal, (b) œuf allongé, œuf rond (Hubbard, 2011).

Figure 17 : Œuf ridé (Hubbard, 2011).

Figure 18 : Œufs à coquille molle ((Bernardi, 2008).

Figure 19 : Œuf tacheté de calcium (Bernardi, 2008).

Figure 20 : Œufs présentant des défauts ultrastructurels (Bernardi, 2008).

Figure 21 : Œuf à double jaune (Corpet, 2013).

Figure 22 : Présence de taches de sang dans le contenu de l'œuf (Jacob et Pescatore, 2009).

Figure 23 : Jaunes d'œufs de différentes intensités de couleur (Jacob et Pescatore, 2009).

Figure 24 : Poids moyen de l'œuf du début et de fin de ponte en fonction du poids vif de la poule à la maturité sexuelle.

Figure 25 : Adaptation de la consommation en fonction de la concentration énergétique de l'aliment.

Figure 26 : Consommation d'énergie : impact sur le poids de l'œuf (X : début ponte ; _ : milieu ponte ; _ : fin ponte).

Figure 27 : Poids de l'œuf (g) en fonction de l'ingestion de protéines (g/j) ; (X : début ponte ; _ : milieu ponte ; _ : fin ponte).

Figure 28 : Poids moyen de l'œuf (g) en fonction de la teneur en méthionine totale de l'aliment (%).

Figure 29 : Granulométrie des refus en fonction de la granulométrie de l'aliment distribué sous forme de farine mélangée ou non à du blé entier (Dezat et al 2009).

Figure 30 : Proportion de jaune en fonction de la teneur en acide linoléique de l'aliment.

Figure 31 : Structure des caroténoïdes (Britton 1995).

Figure 32 : Couleur du jaune d'œuf en fonction de l'apport et de la nature source de caroténoïdes alimentaires avec ou sans $2\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de canthaxanthine (Nys 2000).

LISTE DES ABREVIATIONS

°C : degré Celsius.

CMV : complexe minérale et vitaminée .

CABC : Centre d'agriculture biologique du Canada.

CEC : Commercial Egg-type Chicken

Cm² : centimètre carré.

CO₂ : dioxyde de carbone.

FAO : Food and Agricultural Organisation.

FMI : Fonds Monétaire International.

g : gramme.

h : heure.

ha : hectare.

IEC : International Egg Commission.

IF : index de forme.

ITAVI : Institute Technique d'Aviculture.

Kg : kilogramme.

Mg : milligramme.

KNC : Korean Native Chicken.

M€ : million d'euros.

m² : mètre carré.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Mn : minute.

Mm : millimètre.

Cm : centimètre.

Mt : Million de tonnes.

OMS: Organisation mondiale de la santé.

Mm : millimètre.

µm : micromètre.

ONAB : Office National des Aliments du Bétail.

PH : potentiel hydrogène.

Rapport J/B : rapport jaune/blanc.

RIR : Rhode Island Red.

Teoc : Tonne équivalent œufs coquille.

U.S.D.A : United States Department of Agriculture.

UE : Union Européenne.

UH : unités Haugh.

W : Watt.

TABLE DE MATIERE

Remerciement.....	2
DEDICACES	3
resumé	4
abstract	5
ملخص	6
LISTE DES TABLEAUX	7
TABLE DES FIGURES	8
LISTE DES ABREVIATIONS	10
TABLE DE MATIERE.....	12
Introduction.....	18
Bibliographie.....	19
Chapitre 1 : Principes de l'alimentation de la poule pondeuse.....	20
A. La formulation alimentaire	20
B. Equilibre de la formule alimentaire :.....	21
C. Prémix utilisés dans les aliments.....	22
D. Amélioration de la digestibilité et Gestion du coût de formule alimentaire : ..	22
Chapitre II : Physiologie des volailles.....	24
DIGESTION	24
A. Cavité buccale:	25
B. L'œsophage :	25
C. Le jabot :	25
D. Le pro-ventricule :.....	25
E. Le gésier	26
F. Intestin	26
RESPIRATION	27
a- Mécanique et échanges respiratoires.....	27
b- Respiration et thermolyse	28
CIRCULATION.....	29
A. Le cœur.....	29
B. La pression artérielle.....	29
APPAREIL URINAIRE	29
REPRODUCTION.....	31

A. Formation de l'œuf :.....	31
B. Oviposition = «ponte» de l'œuf.....	32
C. Chronologie de l'oviposition	32
Déterminisme	33
A. Rôle de l'hormone lutéinisante (luteinizing hormone ou LH).....	33
B. Rôle de la progestérone	33
Production et consommation des œufs.....	35
Chapitre III : Production et consommation des œufs :	36
1.2. Le commerce mondial des œufs et des ovo-produits :	36
1.2.1. Les échanges d'œufs coquille :	36
1.2.2. Les échange des ovo-produits :	37
1.3. La production européenne :.....	37
1.4. Les échanges extra-Union européenne :.....	37
1.5. La consommation européenne :	38
1.6. La production africaine :	38
1.7. La consommation africaine :	40
1.8. Les politiques avicoles mises en œuvre en Algérie :	40
1.8.1. De l'indépendance jusqu'à la libéralisation de l'économie :.....	40
1.8.2. Après la libéralisation de l'économie :.....	40
1.9. La filière œufs de consommation en Algérie :	41
1.9.1. Organisation générale de la filière œufs en Algérie :.....	41
1.9.2. La production algérienne d'œufs de consommation :.....	42
1.9.3. La consommation d'œufs en Algérie :.....	43
2. Modes d'élevage des poules pondeuses :	43
2.1. Les différents modes d'élevage :	44
2.1.1. Élevages standards :.....	44
2.1.1.1. Élevage en cages conventionnelles :	44
2.1.1.2. Élevage en cages aménagées :.....	45
2.1.2. Élevages alternatifs :.....	46
2.1.2.1. Élevage au sol :	47
2.1.2.2. Élevage « plein air » :	48
2.1.2.3. Élevage biologique :	49
2.2. Évolution des systèmes de production et coût de production :	50

2.3. Modes d'élevage des poules pondeuses en Algérie :.....	51
2.4. Modes d'élevage et qualité des œufs :.....	52
3. Formation et structure de l'œuf :.....	53
3.1. Développement et anatomie de l'appareil génital femelle :	53
3.1.1.1. La mise en place de l'ovaire et de l'oviducte durant la vie embryonnaire :	53
3.1.1.2. Développement de l'appareil génital femelle après l'éclosion :.....	53
3.1.2. Anatomie de l'appareil reproducteur de la poule :.....	53
3.2. Formation de l'œuf :.....	55
3.2.1. Au niveau de l'ovaire : la formation du jaune d'œuf :	55
3.2.2. Au niveau de l'oviducte	56
3.3. Structure et composition de l'œuf :.....	58
3.3.1. La cuticule :.....	58
3.3.2. La coquille :.....	58
3.3.3. Les membranes coquillères :.....	59
3.3.4. L'albumen :.....	59
3.3.5. La membrane vitelline :	60
3.3.6. Le vitellus :.....	60
4. Qualité interne et externe des œufs	60
4.1. Classification des œufs :	60
4.1.2. Classification selon le poids :.....	60
4.1.3. Classification selon le mode d'élevage :.....	61
4.2. Qualité externe et interne :	62
4.2.1. Qualité externe :	62
4.2.1.1. Taille et forme :.....	62
4.2.1.2. Qualité de la coquille :.....	63
4.2.2. Qualité interne :.....	66
4.3. Evaluation de la qualité interne et externe :.....	67
4.3.1. Evaluation de la qualité externe :.....	67
4.3.1.1. Poids de l'œuf :.....	67
4.3.1.2. Qualité de la coquille :.....	67
4.3.2. Evaluation de la qualité interne :	68
4.3.2.1. Qualité de l'albumen :.....	68
4.3.2.2. Qualité du vitellus :.....	68

4.3.2.3. Présence et détection des inclusions :	68
4.4. Facteurs de variation de la qualité externe et interne de l'œuf :	69
4.4.1. Effet de l'alimentation sur la qualité interne et externe de l'œuf :	69
4.4.1.1. Poids de l'œuf :	69
4.4.1.1.1. Influence de l'alimentation de la poulette :	69
4.4.1.1.2. Alimentation de la poule pondeuse :	69
4.4.1.1.2.1. Effet de la concentration énergétique :	69
4.4.1.1.2.2. Effet de la teneur en protéines :	69
4.4.1.1.2.3. Effet des acides gras :	69
4.4.1.2. Proportions d'albumen et du jaune :	69
4.4.1.3. Couleur du jaune :	70
4.4.1.4. Qualité de la coquille :	70
4.4.2. Effet de l'âge de la poule :	71
4.4.2.1. Poids d'œuf et part des compartiments :	71
4.4.2.2. Couleur du jaune :	71
4.4.2.3. Solidité de la coquille :	71
4.4.2.4. Qualité physique et caractéristiques fonctionnelles :	72
4.4.3. Effet de la mue :	72
4.4.3.1. Qualité interne de l'œuf :	72
4.4.3.2. Solidité et forme de la coquille :	72
4.4.4. Impact de la température :	73
4.4.4.1. Poids de l'œuf :	73
4.4.4.2. Part des compartiments d'œuf :	73
4.4.4.3. Qualité de la coquille :	73
4.4.5. Influence des programmes lumineux :	73
4.4.6. Effet de l'héritabilité :	74
4.4.6.1. Solidité de la coquille :	74
4.4.6.2. Composantes quantitatives de l'œuf :	75
4.4.6.3. Qualité technologique :	75
Partie théorique	76
Effet de l'alimentation sur la poule pondeuse.	76
Chapitre I : Effet de l'alimentation sur le poule pondeuse:	77
1 / Variation du poids de l'œuf :	77

1.1	Influence de l'alimentation de la poulette :	77
1.2	/ Alimentation de la poule pondeuse :	79
a)	Effet de la concentration énergétique de l'aliment	79
b)	Effet de la teneur en protéines et acides aminés de l'aliment :	80
c)	Effet spécifique des acides gras	82
d)	Effet de différentes matières premières	82
e)	Effets de la présentation de l'aliment	83
f)	Effets du mode de distribution	85
2	/ Variation des proportions d'albumen et de jaune :	87
2.1	/ Effet de la teneur en protéines et en acides aminés :	87
2.2	/ Effet des acides gras	88
2.3	/ Effet du mode de distribution	88
3	/ Variation de la composition en acides gras	89
4	/ Variation de la composition en minéraux et vitamines :	89
4.1	/ Minéraux :	89
4.2	/ Vitamines :	89
a)	Vitamine E (tocophérol)	90
b)	Vitamine D3	90
c)	Vitamine A	90
d)	Vitamine K	90
e)	Autres vitamines	91
5	/ Variation de la couleur du jaune et de sa teneur en caroténoïdes	91
5.1	/ Facteurs influençant l'efficacité d'un caroténoïde alimentaire chez la poule	91
5.2	/ Sources alimentaires de caroténoïdes de l'œuf :	92
6	/ Variation de la qualité de la coquille	95
6.1	/ Alimentation calcique de la poule pondeuse et de la poulette :	96
6.2	/ Effet de la teneur en lipides de l'aliment sur l'utilisation du calcium :	98
6.3	/ Alimentation en phosphore de la poule	99
6.4	/ Vitamine D3 et qualité de la coquille :	99
6.5	/ Equilibre électrolytique de l'aliment :	100
6.6	/ Alimentation en oligoéléments :	100
6.7	/ Argiles :	101
	Conclusion	102

INTRODUCTION

Au cours des dernières années beaucoup de travaux en génétique ont été réalisés. Cependant, les aliments et les Techniques d'alimentation sont les clés qui permettent d'extérioriser le potentiel génétique des poules pondeuses, en Termes de productivité, qualité d'œufs, comportement ...etc.

Cela a permis à la poule produite plus de 300 œufs/an, soit plus de dix fois son poids vif. Par ailleurs la transformation avec une grande efficacité de l'aliment composé majoritairement de matières premières végétales en protéines animales de haute valeur biologique constitue un véritable défi métabolique pour la poule. Son alimentation est cruciale pour optimiser le potentiel génétique des lignées modernes en matière de performance de production mais aussi de qualité de l'œuf.

Mais aujourd'hui, face à la volatilité des prix et la variabilité des matières premières, différentes approches peuvent être envisagées pour la formulation (utilisation de coproduits, d'enzymes, pro-biotique, ...) pour fournir les nutriments essentiels aux pondeuses tout en respectant une bonne présentation de l'aliment. Cela améliore considérablement la santé et la productivité du poulet tout en réduisant les coûts.

Ces circonstances qui nous ont fait faire une étude pour mettre en relief les influences de l'alimentation sur la poule pondeuse et leurs œufs dont le but est de déterminer la santé de la poule et la qualité des œufs.

Chapitre I :

Principes de l'alimentation de la poule pondeuse.

Chapitre 1 : Principes de l'alimentation de la poule pondeuse.

La maîtrise de la nutrition des élevages de poules pondeuses joue un rôle primordial dans la rentabilité de ces derniers. Cette maîtrise implique une bonne connaissance zootechnique et sanitaire des diverses souches de poules pondeuses, ainsi qu'une formulation performante et équilibrée avec une mise à jour constante des connaissances nutritionnelles, des matières premières et autres intrants (additifs nutritionnels et zootechniques).

A. La formulation alimentaire

L'alimentation représentant plus de 65% du coût de production des élevages, il est important de maintenir le coût de la formule alimentaire au niveau le plus bas possible, tout en couvrant l'ensemble des besoins nutritionnels des poules et en maintenant leurs performances à un niveau optimal. La formulation alimentaire à moindre coût est le procédé par lequel est calculée la proportion de chaque matière première (maïs, soja, tournesol...) à incorporer dans un aliment complet, et qui prend en compte :

les besoins nutritionnels de la souche de destination de l'aliment, à un stade physiologique et de production donné (démarrage, croissance, pic de ponte...) ;

la disponibilité et les prix d'achat de ces matières premières ;

les caractéristiques des matières premières en termes d'apport en nutriments ;

les contraintes et limitations à imposer aux diverses matières premières, liées à leur teneur en facteurs antinutritionnels ainsi que leur impact sur les caractéristiques physiques du mélange et son comportement lors du processus de fabrication (coulabilité, qualité du granulé...) ;

les contraintes de marché et souhait des éleveurs lorsque ces derniers ont des exigences précises quant aux caractéristiques physiques de l'aliment (la couleur par exemple).

La maîtrise de la formulation à moindre coût permet donc de réduire de manière significative le coût total de production. A l'inverse, une erreur qui s'introduit à l'une des étapes de ce processus peut être coûteuse à cause du coût alimentaire qui s'en trouve impacté à la hausse et des pertes de performances qui peuvent en résulter.

Divers logiciels plus ou moins évolués et basés sur divers modèles mathématiques existent pour automatiser les calculs et déterminer la composition à moindre coût en matières premières répondant aux contraintes posées par le / la nutritionniste (apports nutritionnels souhaités, limites minimales et maximales pour certaines matières, doses précises pour certains additifs, gestion du risque mycotoxines...).

L'utilisation de ces logiciels est d'autant plus nécessaire lorsque le nombre de matières premières disponibles est élevé.

B. Equilibre de la formule alimentaire :

En ce qui concerne la couverture équilibrée des besoins recommandés en énergie et protéine, il existe diverses stratégies de formulation utilisées variablement par les nutritionnistes. L'apport en énergie et protéines/Acides aminés de la formule doit permettre d'assurer un fonctionnement optimal des processus métaboliques et de la protéosynthèse tout en minimisant les rejets azotés.

Quelle que soit la stratégie adoptée, nous recommandons de s'en tenir à la stricte couverture des besoins nutritionnels, nécessaire à la réalisation des objectifs de production fixés. En effet, un apport excessif en l'un des nutriments (énergie, protéine, acides aminés...) peut non seulement s'avérer inutile et coûteux mais également provoquer des contre performances, en raison du déséquilibre entre énergie et protéine ou entre calcium et phosphore que cet excès peut introduire dans la formule.

L'excès de certains ingrédients peut en outre s'avérer toxique au-delà de certains seuils (exemple de la méthionine, lorsque l'apport dépasse 3 fois le besoin).

Il convient aussi pendant le processus de formulation de prêter attention à l'équilibre électrolytique en raison de son influence sur le métabolisme acidobasique et son rôle dans la formation de la coquille.

Formulation pour la poule pondeuse d'œufs de consommation

La première monographie des recommandations nutritionnelles pour la poule pondeuse a été publiée en 1944 par le NRC (l'US National Research Council). Depuis, la génétique de la poule pondeuse a beaucoup évolué et nous disposons aujourd'hui de recommandations très précises des producteurs de souches de poule pondeuses.

Les recommandations les plus importantes à prendre en compte en formulation portent sur les besoins en énergie, en acides aminés, en protéine brute, en calcium et phosphore. Ces besoins nutritionnels de la poule pondeuse sont évolutifs, ce qui nous permet de distinguer :

Les formules alimentaires de la phase d'élevage (démarrage de 0 à 6 semaines, croissance / développement et pré-ponte jusqu'à 17 semaines) où l'attention est portée sur la croissance de la poulette et la prévention des maladies (virales, bactériennes et parasitaires) pouvant impacter ses performances ultérieures.

Les formules alimentaires de la phase de production (de l'entrée en ponte à la réforme) où l'attention est portée sur la couverture des besoins nutritionnels tout en optimisant le coût des formules.

La maîtrise de l'apport en calcium est un point crucial dans le cas de la poule pondeuse. Le besoin en Ca pour assurer une bonne solidité et qualité de la coquille augmente de manière très significative à l'entrée en ponte (le besoin en Ca est multiplié par 4 ou 5), il est donc recommandé d'augmenter progressivement cet apport dès la phase de pré-ponte. La forme sous laquelle cet apport est réalisé est également importante.

C. Prémix utilisés dans les aliments.

L'incorporation de prémix dans l'aliment destiné à la poule pondeuse est nécessaire, de même que pour les autres types de volailles (poulet de chair, dinde, reproducteurs...). La particularité du prémix destiné à l'alimentation de la poule pondeuse est que ce sont très souvent les producteurs eux-mêmes qui disposent de leur propre usine d'aliment (communément appelés FAFeurs ou Fabricants à la Ferme). Cette particularité permet chez un même intervenant, de suivre l'ensemble des paramètres nutritionnels et zootechniques, de manière continue et permanente.

En effet, les éléments nutritifs contenus dans les matières premières entrant dans la composition de l'aliment fini ne sont pas suffisants pour couvrir les besoins nutritionnels des poules pondeuses hautes productrices. C'est pourquoi un apport additionnel de vitamines, minéraux, acides aminés et d'autres additifs est nécessaire pour atteindre un apport alimentaire équilibré et couvrant l'ensemble des besoins de ces volailles.

Additifs utilisés dans les prémix pour l'alimentation de la poule pondeuse

En plus des additifs nécessaires à la couverture des besoins nutritionnels (vitamines, minéraux et oligoéléments, acides aminés...), d'autres additifs zootechniques sont rajoutés au prémix afin d'optimiser les performances technico-économiques, selon 3 modes d'action :

- Amélioration de la digestibilité des matières premières et gestion du coût de formule alimentaire ;
- Gestion de la flore digestive ;
- Gestion du risque mycotoxines.

D. Amélioration de la digestibilité et Gestion du coût de formule alimentaire :

Les enzymes sont les additifs zootechniques les plus importants à considérer dans un premier lieu. Ceci en raison de leur impact sur les formules alimentaires. Ces enzymes, de nature protéique, sont utilisées dans le but d'optimiser et de baisser le coût de la formule alimentaire, exemple : Phytases, Protéases.

Chapitre II :

Physiologie des volailles.

Chapitre II : Physiologie des volailles.

Les brèves notions de physiologie des oiseaux présentées ici sont consacrées, pour l'essentiel, aux fonctions les plus directement en rapport avec les conditions d'élevage et avec la pathologie.

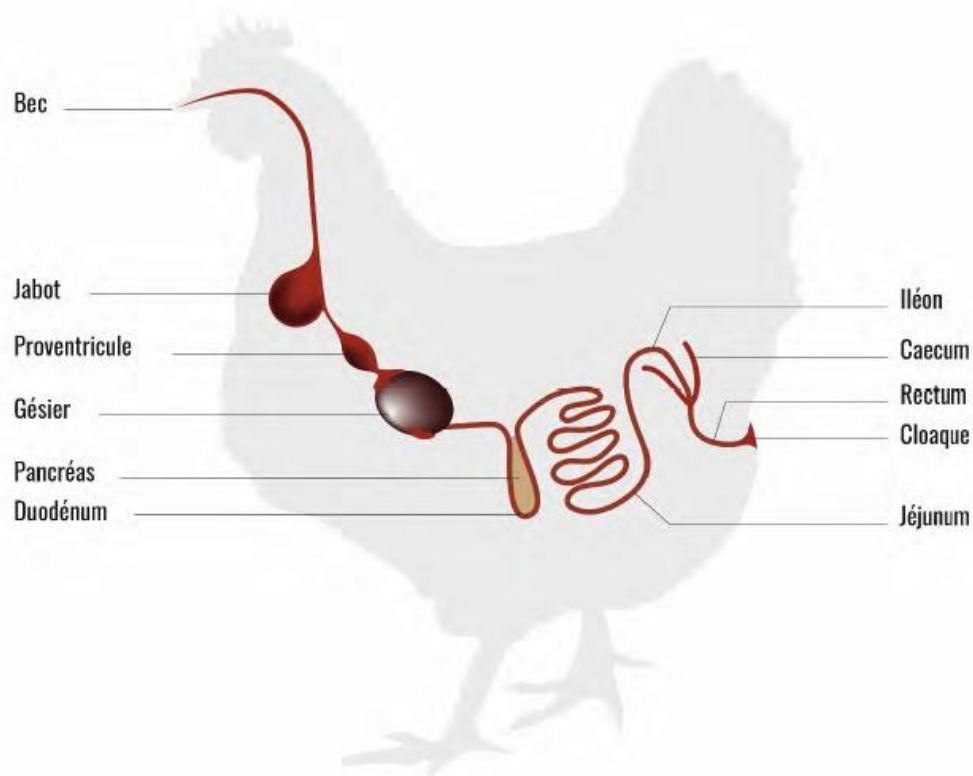
Les Galliformes constituent le groupe le mieux connu, et même si les données ne sont pas généralisables à tous les oiseaux, elles constituent la base pour comprendre l'ensemble de cet Ordre.

DIGESTION

L'appareil digestif des oiseaux présente des caractéristiques originales:

- une cavité buccale dépourvue de dents;
- un œsophage doté d'un diverticule, le jabot, dont les fonctions annoncent déjà celles de l'estomac;
- un estomac où les deux fonctions, sécrétoire et mécanique, sont assurées par deux poches distinctes, le ventricule succenturié et le gésier;
- un intestin très court, rejoignant le cloaque où convergent aussi les voies urinaires et génitales.

Figure 1 : Appareil digestif de la poule



A. Cavité buccale:

La préhension des aliments est assurée par le bec, dont les variations morphologiques inter-espèces sont corrélées à la nature du régime alimentaire (comparer les espèces granivores, rapaces, piscivores, etc.).

Suite à l'ingestion des aliments, ceux-ci sont rassemblés pour former un bolus, sous influence des muscles hyobranchio-linguaux et à son humectation par la salive (7-30 ml/24h). Il n'y a cependant pas d'insalivation du bol en profondeur, mais seulement une lubrification en surface. A l'action des muscles buccaux, s'ajoutent les mouvements de la tête vers le haut et vers l'avant, qui favorisent la progression des aliments vers l'arrière bouche et

les introduisent dans le pharynx, ce qui marque le début du transit œsophagien.

B. L'œsophage :

est très extensible. Il possède de nombreuses glandes muqueuses qui complètent le rôle Lubrifiant de la salive. Le transit des aliments résulte d'une activité péristaltique beaucoup plus lente que chez les mammifères. A l'entrée du thorax, les aliments peuvent soit continuer leur transit vers le ventricule succenturié soit aller au jabot.

Ceci dépend de l'état de réplétion du ventricule succenturié et du gésier, qui conditionne le tonus de l'œsophage inférieur et le degré d'ouverture de l'orifice du jabot. Lorsque le gésier est vide, les aliments passent dans le pro ventricule. S'il est plein, ils se collectent dans le jabot.

C. Le jabot :

Poche en dérivation sur l'œsophage. Assure les fonctions suivantes:

- mise en réserve des aliments, permettant l'ingestion de repas volumineux, alors que les capacités du ventricule et du gésier sont limitées. Le stockage dans le jabot permet, en particulier, de «couvrir» l'absence de prise de nourriture pendant

la période obscure du nyctémère (NB: la palpation externe du jabot permet de reconnaître si l'oiseau est alimenté ou à jeun).

- imbibition par l'eau et fragmentation des aliments les plus friables.

- digestion microbienne d'une partie de l'amidon avec formation d'acide lactique.

La flore bactérienne responsable (lactobacilles) est absente des

Aliments. Outre l'acide lactique, l'acide acétique et l'éthanol sont des constituants usuels du contenu du jabot. La présence de pepsine ne doit pas être considérée comme une production de ce dernier, mais comme résultant d'un reflux depuis le ventricule.

D. Le pro-ventricule :

est l'estomac sécrétoire, responsable de la digestion «chimique» par l'intervention du suc gastrique qu'il produit. Du fait de la rapidité du transit et de la faible capacité de ce réservoir, l'action de la sécrétion se produit surtout dans les segments suivants, gésier et duodénum, avec intervention de mouvements de va-et-vient des digesta

entre ces trois segments. La sécrétion, comme chez les mammifères, Contient acide chlorhydrique et pepsine, mais ces constituants sont présents en quantité plus grande. Le débit est pratiquement continu dans le cas d'une Alimentation ad libitum. Les facteurs de stimulation sont à la fois nerveux (influence du nerf vague) et humoraux (gastrine). La sécrétion gastrique (pro ventricule) peut être à l'origine d'érosions (érosions simples à ulcères) dans le gésier plutôt que dans le ventricule. De même, une hyper- sécrétion peut être induite par l'histamine et par les aliments qui la contiennent.

E. Le gésier

est l'estomac broyeur. En réalité, il cumule les fonctions de mastication absentes chez l'oiseau et de mélange du suc gastrique avec les ingesta. Du point de vue histologique, c'est un énorme muscle lisse. Sa couleur rouge sombre est due à la myoglobine qui caractérise les muscles à contractions puissantes et soutenues. La nature du régime alimentaire est un des principaux facteurs de variations de cette activité motrice: le passage d'une alimentation de farines à un régime de céréales non broyées produit une augmentation de 85% des salves de l'électromyogramme. A terme, cette différence d'activité retentit sur le développement de l'organe, peu développé chez le poulet d'élevage par rapport à celui de l'animal élevé avec une alimentation traditionnelle. L'action mécanique produite par le gésier est une trituration qui permet de fragmenter les grains de céréales. Chez les oiseaux élevés à l'extérieur, le gésier contient des graviers qui favorisent le broyage, mais ils ne sont pas indispensables.

Les poulets ont un comportement d'ingestion de graviers, dont la prise est fortement stimulée si les animaux en ont été privés. Les graviers de nature calcaire finissent par se dissoudre sous l'action conjointe des frottements et de l'acide chlorhydrique, ce qui contribue à l'apport de calcium.

La motricité du ventricule et du gésier est inhibée par divers stimulus d'origine du développement dérale, tels que la distension, l'application d'acide, ou la mise en place d'huile ou de solution salines, facteurs comparables à ceux qui sont identifiés chez les mammifères. On notera qu'il existe des reflux du duodénum dans le gésier lors de la motricité normale.

F. Intestin

La digestion dans l'intestin grêle débute sous l'influence du suc gastrique: l'abouchement des canaux pancréatiques et biliaires est situé chez le Poulet à la fin du duodénum, ce qui laisse l'ensemble de la boucle duodénale pour prolonger l'action du suc gastrique.

Les sécrétions pancréatiques et biliaires apportent les mêmes éléments que chez les mammifères:

Bicarbonates, enzymes, sels biliaires. L'équipement enzymatique du suc pancréatique contient amylase, lipase, enzymes protéolytiques.

Au cours du développement foetal, l'intestin est au terme de son ontogenèse à J16. Les activités enzymatiques de la digestion sont faibles chez le jeune poussin nouveau-né, mais la possibilité de digérer les glucides (maltase et sucrase), présente dès la naissance, se développe au cours des tout premiers jours et atteint son maximum à 8 jours. La lactase n'est présente à aucun moment dans le tube digestif.

La digestibilité des lipides est faible à la naissance, et dans les premières semaines (4 à 8 semaines) seuls les lipides insaturés sont utilisés; par la suite, la digestion des graisses très saturées devient possible. Finalement, le développement des activités enzymatiques est très rapide par comparaison aux mammifères qui ont deux périodes critiques, à la naissance et au sevrage. Ici l'adaptation est pratiquement immédiate.

Les caractéristiques du gros intestin sont la relative simplicité du côlon, peu différent de l'intestin grêle, et l'existence de deux cæcums. Ces derniers présentent une grande variabilité selon les espèces:

absents chez le pigeon, ils sont généralement bien développés chez les granivores et atrophiés chez les rapaces. Le remplissage des cæcums s'effectue non pas à partir de l'intestin grêle (un repas baryté ne passe pas), mais à partir du côlon (un opacifiant des voies urinaires injecté par voie veineuse gagne

le cloaque après avoir traversé les reins et les uretères et finit par opacifier les cæcums, ce qui indique que les cæcums sont remplis par voie rétrograde à partir du colon et du cloaque). La vidange des cæcums est peu fréquente (1 à 2 fois par 24 heures). Elle ne surviendrait jamais pendant la période d'obscurité mais surtout en fin de période d'éclairement.

Les fonctions digestives des cæcums sont: la digestion par les micro-organismes qui concerne l'indigéré de la digestion chimique (dont une fraction de la cellulose), la synthèse de vitamines du groupe B, l'absorption de l'eau des digesta et de l'eau urinaire. La réabsorption d'eau est d'autant plus grande que le bilan hydrique est difficile à équilibrer, par exemple en cas d'exposition à la chaleur.

RESPIRATION

a- Mécanique et échanges respiratoires

Les principales particularités de la fonction respiratoire concernent la structure et le fonctionnement de l'échangeur pulmonaire. En effet, chez les mammifères, les poumons ont une structure en cul-de-sac qui implique d'une part un va-et-vient de l'air aux deux temps respiratoires, et d'autre part des propriétés mécaniques de souplesse permettant d'assurer les variations de volume nécessaires à l'inspiration et à l'expiration. Chez les Oiseaux, au contraire, on constate une véritable rigidité de la cage thoracique et du parenchyme pulmonaire. Le diaphragme, qui chez les mammifères, limite vers l'arrière le thorax et assure une partie importante de l'inspiration, est absent. Il est remplacé par une mince membrane bronchopleurale

rattachée aux côtes par des faisceaux musculaires (muscle costopulmonaire) qui se contractent en réalité lors de l'expiration. Les poumons, qui n'occupent que la partie supérieure du thorax, restent «déployés» en permanence, et leur volume ne varie pas au cours des mouvements respiratoires. Les zones d'échange gazeux et les capillaires aériens sont maintenus en permanence à l'état d'ouverture. Le passage du courant gazeux n'est possible que grâce à des dispositifs annexes, les sacs aériens, qui constituent un «volant» permettant la mise en réserve et la redistribution de l'air au cours du cycle respiratoire. Les échanges avec les capillaires sanguins qui les entourent sont continus et bénéficient d'une disposition à contre-courant. Le rendement de l'échangeur est supérieur à celui de mammifères: à taille égale, avec un poumon plus petit, les oiseaux ont une fréquence respiratoire plus faible.

La trachée se prolonge à l'intérieur de chaque poumon par un conduit axial, la mésobronche. Celle-ci délègue une première série de ramifications, les quatre ventrobronches, puis plus tard un groupe de sept à dix dorsobronches. Les ramifications reliant dorso- et ventrobronches sont les parabronches du paléopulmo organisées en conduits parallèles entre elles et aussi parallèles à la mésobronche. Vers l'arrière, un réseau de parabronches «en série» avec la mésobronche s'interpose entre cette dernière et les sacs aériens caudaux (sac abdominal et sac thoracique caudal). Ce second réseau de parabronches dans certaines espèces abronches constitue le néopulmo.

b- Respiration et thermolyse

Les oiseaux ne possédant pas de glandes sudoripares, le seul mécanisme de thermolyse possible est l'évaporation d'eau dans les voies respiratoires par polypnée thermique (= halètement). Comme chez les mammifères qui utilisent ce mécanisme, l'évaporation se produit dès les premières voies (muqueuses buccale et/ou pituitaire) et dans les

voies trachéobronchiques. Les sacs aériens offrent un dispositif supplémentaire de convection des calories, dont l'intérêt provient de ce qu'ils entourent la totalité des organes thoraciques et abdominaux. Ce sont aussi des zones d'évaporation.

Lorsque le halètement se produit, la ventilation est accrue de façon considérable, car parallèlement à l'accélération des mouvements, le volume courant n'est pas réduit en proportion, surtout aux fréquences les plus basses. La polypnée accroît le rejet de CO₂ et tend à produire une alcalose respiratoire: chez la poule, le pH peut s'élever jusque vers 7,7, alors que la PCO₂ (pression artérielle de gaz carbonique) peut descendre très en dessous de 10 mm Hg. Le halètement s'accompagne, dans certaines espèces (pigeon, chouette, canard, pélican, etc.), d'un phénomène de «flutter guttural». Il s'agit d'une vibration du plancher buccal, le bec restant ouvert, qui favorise l'évaporation d'eau. Cette vibration peut se faire à une fréquence identique à celle de la polypnée (680/mn chez le pigeon) ou différente (230 à 290/mn chez le pélican, alors que la fréquence respiratoire n'est que de 135/mn).

CIRCULATION

A. **Le cœur** des oiseaux, comme celui des mammifères, comporte quatre cavités. Des particularités, encore mal expliquées, existent à propos de la commande (activation) des contractions. Il existe un tissu excitomoteur et conducteur similaire à celui des mammifères (noeud sinusal, noeud atrioventriculaire, faisceau de His) mais ce tissu nodal possède des éléments supplémentaires, tels que des anneaux autour de l'orifice atrio-ventriculaire droit et de l'orifice aortique. L'activation se produit en premier lieu en région sous-épicaudique et gagne la région sous-endocardique. Initialement expliqué par l'existence de voies (réseau de Purkinje) suivant le sens de distribution des ramifications artérielles coronaires, ce fait est difficilement compatible avec la vision d'un réseau de Purkinje se distribuant exclusivement à partir de la région sousendocardique.

D'une façon générale, la fréquence cardiaque est, chez les oiseaux, bien supérieure à ce qu'elle est chez les mammifères de taille équivalente. Cependant, dans l'ensemble des espèces, on vérifie le principe que plus le format est réduit, plus la fréquence est élevée (200/mn chez le canard, 1000/mn chez le canari) et que les espèces à aptitudes marquées pour l'exercice physique ont une fréquence plus basse (250-450/mn chez le poulet, 200/min chez le pigeon).

L'électrocardiogramme présente une onde P (quelquefois peu apparente en cas de fréquence élevée par exemple supérieure à 200/mn) et deux ondes, R de dépolarisation et T de repolarisation en position alterne.

B. **La pression artérielle** des oiseaux est notablement plus élevée que chez les mammifères. Il existe aussi des différences importantes selon les espèces, l'âge et le sexe. Chez le poulet, la pression systolique approche, voire dépasse, les 200 mm Hg. Sans argument décisif pour le prouver, cette pression élevée peut être mise en rapport avec la perfusion de l'encéphale, dans des conditions plus difficiles du fait de la longueur du cou et du fin diamètre des carotides et avec la structure du rein (système porte rénal particulier).

APPAREIL URINAIRE

Le rein présente, du point de vue morphologique, des particularités qui soulèvent, au plan fonctionnel, de nombreuses questions quant aux mécanismes de formation de l'urine. Ces particularités sont:

- *La conservation d'une lobulation marquée*, telle que chaque lobule constitue une sous-unité où l'on distingue un cortex et une modula terminée par les «cônes médullaires» homologues des pyramides.

A l'intérieur de chacun des cônes médullaires, la disposition des néphrons est typique: la plupart des néphrons sont situés dans le cortex où ils prennent naissance par un glomérule assez éloigné de la surface.

Les tubules dont les circonvolutions restent dans le cortex ne possèdent pas d'anses de Henlé.

Ces néphrons sont dits «reptiliens». Une partie des néphrons situés en région plus profonde émettent des anses de Henlé. Ils sont qualifiés de «mammaliens

». Certains dits «à anse longue» s'enfoncent dans la medulla. Ils sont numériquement minoritaires (15 à 30 % du total de néphrons). Seuls les néphrons à anses longues participent à la création du gradient de pression osmotique. Leur faible nombre, le faible développement de la papille et la faible disponibilité de l'urée expliquent que les possibilités de concentrer l'urine restent limitées chez la plupart des oiseaux. Le pouvoir maximal de concentrer l'urine est généralement d'un facteur 2. Il est quelquefois supérieur chez des oiseaux vivant dans des habitats particuliers, tels la caille du désert (x 2,5) et un moineau des marais saumâtres (x 5).

- *L'existence d'un système porte particulier*, tel que les veines drainant les membres postérieurs, le bassin, la portion terminale de l'intestin et la région caudale rejoignent le rein homolatéral. Les veines iliaques se divisent en abordant le rein en constituant un réseau porte en région superficielle du rein. Ces veinules rejoignent les capillaires péritubulaires du cortex, c'est-à-dire ceux qui entourent les néphrons reptiliens. Ce système dérive vers le rein une partie variable du sang en provenance des membres postérieurs, du bassin, de la région du croupion et de la partie postérieure de l'intestin. Une valvule, qui à l'état d'ouverture permet un passage direct vers la veine cave postérieure, adapte le débit qui sera dirigé vers le rein.

- *Les canaux collecteurs de l'urine* se distribuent en deux zones, soit péri-lobulaire, soit médullaire avant de rejoindre les bassinets. Les oiseaux ne métabolisent pas l'acide urique et les déchets azotés en urée et ont une quantité importante de cet acide à éliminer (l'urée ne représente que 1 à 10% de l'élimination azotée). L'acide urique circulant est éliminé par un processus rénal complexe qui comprend:

- la filtration glomérulaire (quantitativement 10% du débit d'élimination),

- la sécrétion tubulaire (un processus concurrent de réabsorption existe).

Le système porte est le principal convoyeur des urates circulants puisque, dans les conditions normales, sa contribution approche les 60% des urates

totaux éliminés.

Dans l'urine, la concentration des urates est comprise entre 0,1 et 1 mol/L, ce qui dépasse les possibilités de mise en solution. Les urates ne sont pas dans l'urine sous forme de solutés, mais en suspension colloïdale visible sous forme de flammèches

Blanchâtres. Cette forme particulière permet d'accroître la quantité d'urates, sans augmenter la pression osmotique, seule la forme dissoute étant responsable de la

pression osmotique. Ce mécanisme rend possible l'élimination de ces sels par un rein peu apte à la production d'urines hyperosmotiques.

Au-dessous de 25 mmol/L, seulement 10 à 20% de l'acide urique sont sous forme précipitée, taux qui passe à 95% lorsque la concentration est supérieure à 200 mmol/L.

- L'urine produite par le rein gagne le cloaque où elle peut refluer dans le colon et les cœcums. Une réabsorption supplémentaire d'eau peut avoir lieu, selon les conditions physiologiques. Cette récupération ne porte que sur 2 à 3% de l'eau en état de disponibilité correcte de l'eau. Le taux est accru en hydropénie ou lors de perte en sel. La réabsorption de l'eau dans le cloaque ou le rectum est très minime.

Le bilan de l'eau est, de ce fait, plus précaire que chez la plupart des mammifères.

REPRODUCTION

A. Formation de l'œuf :

L'appareil génital des femelles d'oiseaux est dissymétrique:

seul l'ovaire et l'oviducte gauches sont développés et fonctionnels. L'ovaire a, chez la poulette, l'allure d'une grappe, dont chaque sphère est un follicule contenant un ovocyte qui a accumulé du vitellus blanc au cours de la période pré pubertaire.

A l'entrée en ponte, certains de ces ovocytes commencent une phase d'accroissement qui, en 8 à 10 jours, permet la mise en réserve de quantités considérables de vitellus en couches concentriques:

c'est la formation du jaune de l'œuf, à la surface duquel se trouve la cellule germinale. Chaque jour apporte une couche de vitellus, où alternent vitellus blanc (couche mince élaborée la nuit) et vitellus jaune (couche épaisse élaborée le jour).

Cette croissance du follicule s'est accompagnée de modifications de structure: la croissance repousse le disque germinatif à la périphérie, en laissant au centre une trace: la latebra. La portion intermédiaire située sous le disque germinatif et présentant l'allure d'un coussinet est appelée «noyau de Pander». Un groupe de 8 follicules suit en même temps cette phase d'accroissement rapide. Il y a un décalage de 24 heures par «jaune». Au cours de cette phase, le poids passe de 200 mg à 15-18 g.

Lorsque survient l'ovulation, le pavillon se rapproche activement de la grappe ovarienne et se plaque sur l'ovule. Si ce mouvement est perturbé pour des raisons pathologiques, il s'ensuit une «ponte abdominale». L'ovocyte s'engage dans l'oviducte et s'il rencontre des spermatozoïdes, la fécondation a lieu.

Lors de la traversée de l'oviducte, chaque portion contribue à la formation de l'œuf. Dans le magnum se forme l'albumen, ou blanc, qui commence par le dépôt de

protéines visqueuses, qui au fur et à mesure de la descente de l'œuf, du fait des mouvements de rotation, vont prendre une disposition spiralée: les chalazes. A leur suite, plusieurs couches d'albumen sont ajoutées, sous forme peu hydratée. Dans la portion suivante, de faible diamètre, l'isthme, sont ajoutées les membranes coquillières, constituées de kératine, et accolées sur toute leur surface à l'exception de la «chambre à air». Au sortir de l'isthme, elles sont encore plissées.

Dans l'utérus, surviennent plusieurs modifications successives: tout d'abord l'apport d'une solution saline qui hydrate l'albumen et lui donne son volume définitif, puis la formation de la coquille qui procède de trois couches successives:

Mamillaire, spongieuse et cuticulaire. Cette dernière peut, éventuellement, fixer des pigments. L'œuf achevé quitte l'utérus et traverse le vagin qui assure le transit vers l'extérieur lors de l'oviposition.

L'évagination de cette dernière portion permet d'éviter le contact direct avec les parois du cloaque et les souillures d'origine fécale.

La formation de la coquille nécessite du carbonate de calcium. L'ion carbonate est formé à partir du CO₂ sanguin sous l'influence de l'anhydrase carbonique.

Si le CO₂ est peu disponible, par exemple lors de polypnée, l'apport de carbonate est insuffisant, d'où formation d'une coquille plus fragile. Lehalètement qui survient en ambiance chaude peut être responsable d'une insuffisance de formation de carbonate, mais cet effet est généralement limité car la coquille se forme la nuit quand la température est basse. Le calcium est l'autre élément indispensable.

La quantité exportée par la coquille excède la quantité apportée par l'aliment. Il faut faire appel pour les 10-30% qui manquent à l'os «médullaire». Celui-ci est constitué avant l'entrée en ponte. Il est mobilisé par les oestrogènes.

B. Oviposition = «ponte» de l'œuf

L'oviposition désigne l'action par laquelle la poule rejette à l'extérieur l'œuf achevé (=pondre un œuf). Le terme permet de distinguer cette action de l'ovulation, qui concerne l'ovule (ovocyte entouré de vitellus). L'oviposition obéit à un déterminisme qui assure que sa survenue ne se produit que pendant la phase éclairée du nyctémère, dans une «fenêtre» limitée. Ce déterminisme est aussi intimement coordonné à celui de l'ovulation.

C. Chronologie de l'oviposition

Dans un effectif éclairé de 6h00 à 21h00, la plupart des œufs sont pondus entre 7h30 et 16 h00. Le plus grand nombre est pondu à 11 heures. L'heure de l'oviposition dépend essentiellement de l'heure de l'ovulation et du temps mis par l'ovule pour parcourir le tractus génital de la femelle. C'est seulement après l'oviposition qu'une nouvelle ovulation aura lieu (20 à 30 minutes). Ainsi il n'y a jamais deux œufs à des stades différents de formation en même temps dans les voies génitales. Le temps de

descente de l'œuf étant de plus de 24 heures (25 à 26 h), il y aura chaque jour un décalage de l'ordre de 0,5 à 2 heures entre deux ovipositions successives. On observera ainsi une série (séquence) de pontes avec 3 à 5 jours pendant lesquels il y a un œuf, suivies d'une pause (un jour sans œuf) avec reprise d'une autre séquence le lendemain débutant par une oviposition tôt le matin, et ainsi de suite. Ainsi, l'élément déterminant l'intervalle entre deux ovipositions est-il essentiellement le temps de descente dans les voies femelles. Plus ce temps est court et se rapproche de 24 heures, moins le décalage entre deux ovipositions successives sera long et plus la séquence de ponte durera (en début de ponte sur des souches pondeuses, on peut observer 20 à 30 jours consécutifs avec un œuf quotidien).

Déterminisme

Ceci concerne outre le déterminisme des deux phénomènes, ovulation et oviposition, le réglage de leurs chronologies respectives.

A. Rôle de l'hormone lutéinisante (luteinizing hormone ou LH)

On peut préciser l'intervention de LH comme agent déclencheur de l'ovulation, comme chez les mammifères. L'injection de LH chez une poule hypophysectomisée entraîne l'ovulation après un délai de 5 à 6 heures, délai similaire à celui observé entre le clocher de LH et l'ovulation. La décharge de LH dépend du système hypothalamo-hypophysaire et de la gonadolibérine (gonadotropin-releasing hormone ou GnRH), mais la principale question est de savoir quel est le signal d'activation du système, et comment il peut varier selon le nycthémère.

B. Rôle de la progestérone

En fait, l'évènement déclenchant est une décharge de progestérone. Chez les oiseaux, il existe un feedback positif tel que la progestérone entraîne une libération de LH. Dans la grappe ovarienne, les follicules en maturation, décalés de façon hiérarchique d'un jour entre chacun d'eux, sécrètent oestrogènes et testostérone. Le follicule le plus avancé sécrète la progestérone. La possibilité de sécréter la progestérone n'apparaît que le dernier jour. C'est donc le follicule qui sera concerné qui déclenchera lui-même sa propre libération. Il ne peut y avoir plus d'un œuf par jour. Si deux follicules arrivent à maturation en même temps, ce qui donnera un œuf à double jaune, la progestéronémie est doublée. Au cours du cycle de ponte, l'enchaînement des faits est le suivant: un petit pic de LH qui dépend du rythme lumière-obscurité (micro-décharge) constitue l'évènement initial. Ce micro-pic LH stimule la sécrétion de progestérone qui, par feedback positif, entraîne la décharge de LH qui à son tour déclenche l'ovulation. Un micro-pic de LH survient systématiquement pendant la période obscure.

Si l'oviposition a eu lieu tard dans la journée, la maturation folliculaire n'est pas achevée lorsque le pic se produit, il n'y a pas de réponse de progestérone.

La microdécharge de LH se produit pratiquement à la même heure pour toutes les poules de l'effectif, ce qui explique l'effet de synchronisation de LH sur les ovipositions .

Chapitre III :

Production et consommation des œufs.

Chapitre III : Production et consommation des œufs :

Depuis plusieurs années, le contexte international de la production et de la consommation des œufs est marqué par une évolution importante à l'échelle mondiale, continentale et nationale. La production mondiale de l'œufs de poule a augmenté de 46,55 million de tonnes (Mt) en 1997 à 62,57 Mt en 2007, soit une augmentation de 34%, selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ce qui correspond à une croissance moyenne annuelle de 3%. La croissance enregistrée durant la décennie 1997-2007 était tirée essentiellement par certains pays asiatiques (la Chine, l'Inde, l'Indonésie et les philippines). Ces derniers représentent 60% de la production mondiale et 56% de la croissance mondiale enregistrée durant cette période (Magdeleine et al., 2010). Selon les estimations de la FAO, la production d'œufs de poules dans le monde a atteint 68,3 Mt en 2013. La Chine le premier producteur mondial (24,5 Mt), représente à elle seule 36% de la production mondiale en 2013, suivie de l'Union européenne à 27 (7 Mt), des Etats-Unis (5 Mt), de l'Inde (3,8 Mt) et du Japon (2,5 Mt) (ITAVI, 2015). D'après les projections de la FAO, la production mondiale d'œufs de poules a atteint 70 Mt en 2014 et elle s'est élevée à 70,4 Mt en 2015. La FAO prévoit une production mondiale de 100 millions de tonnes à l'horizon 2035 (Wattagnet, 2012).

Tableau 1: Dix premiers pays producteurs d'œufs en 2014 (FAO, 2014).

Pays / Production	Production 2014 (milliards d'œufs) *	Prévisions 2015 (milliards d'œufs) *
France	14,8	14,8
Italie	12,9	13,1
Allemagne	12,9	13
Espagne	10,6	11,3
Pays-Bas	10,8	10,8
Royaume Uni	10,4	10,6
Union Européenne à 28	107,6	108,6

*convertis sur la base de 16,4 œufs/Kg.

1.2. Le commerce mondial des œufs et des ovo-produits :

1.2.1. Les échanges d'œufs coquille :

Les échanges mondiaux d'œufs coquille, y compris le commerce intra-Union Européenne, ont atteint 1,8 Mt en 2014 soit une baisse de 22,5% par rapport à 2013. En valeur, les échanges d'œufs coquille mondiaux ont atteint 922,26 million d'euros (M€) en 2014 soit une hausse de 3,9% par rapport à 2013 (Magdelaine, 2015).

1.2.2. Les échanges des ovo-produits :

Les échanges internationaux d'ovo-produits s'élèvent à environ 927 500 tonnes équivalent œufs coquille (Teoc) soit un total œuf et ovo-produits de 2,7 Mt équivalent œufs coquille (Magdelaine, 2015).

La valeur des échanges des ovo-produits ont atteint 300 M€ (123,28 M€ vient des exportations d'œufs dépourvus de coquille séchés (ITAVI, 2015).

1.3. La production européenne :

La production européenne a été estimée par la commission européenne à 6,51 Mt en 2013. En 2014, une évolution de la production de 0,7% a été marquée par rapport à 2013, elle atteindrait 6,56 Mt, soit 107,6 milliards d'œufs. Cependant, l'évolution moyenne annuelle de 2010 à 2014 a été marquée par une régression de 0,8%. La France maintient sa place de premier producteur d'œufs de consommation dans l'Union européenne (UE-27), suivie de l'Allemagne puis de l'Italie (ITAVI, 2015). En 2015, la commission a prévu une évolution de la production d'œufs estimée à 108,6 milliards d'œufs soit une hausse de 0,9% par rapport à 2014 (ITAVI, 2015).

Tableau 2: Production européenne dans l'UE-27 (ITAVI, 2015).

Production	Production 2014 (milliards d'œufs) *	Prévisions 2015 (milliards d'œufs) *
Pays		
France	14,8	14,8
Italie	12,9	13,1
Allemagne	12,9	13
Espagne	10,6	11,3
Pays-Bas	10,8	10,8
Royaume Uni	10,4	10,6
Union Européenne à 28	107,6	108,6

*convertis sur la base de 16,4 œufs/Kg.

1.4. Les échanges extra-Union européenne :

En 2014, Les exportations extra-Union européenne d'œufs et d'ovo-produits ont connu une augmentation de 6,5% par rapport à 2013. Elles ont atteint 228 677 Teoc : les exportations d'œufs en coquille se sont élevées à 82 724 Teoc et à 145 953 Teoc pour les ovo-produits (ITAVI, 2015).

L'Union européenne est le premier exportateur mondial d'œufs et d'ovo-produits (288 M€), suivie par les Etats-Unis (241 M€ en 2014), et de la Chine (110 M€) en 2010 (Magdelaine, 2015).

En 2014, les importations européennes d'œufs et d'ovo-produits ont diminué 36,4% par rapport 2013. Elles ont atteint 13 084 Teoc: les importations œufs coquille retombent à 766 Teoc soit une baisse de 57,9% et les importations d'ovo-produits en baisse de 34% à 12 317 Teoc (ITAVI, 2015).

1.5. La consommation européenne :

La consommation européenne d'œufs varie d'un pays membre à un autre en 2013. Elle a atteint 200 œufs par personne alors qu'elle est de 300 œufs par an au Danemark, 181

en Finlande alors qu'elle est uniquement de 140,2 œufs au Portugal. En 2013, la consommation européenne d'œufs et d'ovo-produits s'est élevée à 6,15 Mt, soit 200 œufs par habitant (ITAVI, 2015).

1.6. La production africaine :

Selon les estimations de la FAO, la production africaine des œufs de consommation a atteint 2,438 Mt en 2008, soit une augmentation de 58,1% par rapport à 1990. La contribution du continent africain dans la production mondiale est estimée à 4% en 2008 (Wattagnet, 2011).

Tableau 3: Développement de la production des œufs en Afrique entre 1990 et 2008 (tonnes) (Wattagnet, 2011).

Pays Année	Afrique du Nord	Afrique de l'Est	Afrique du Centre	Afrique du Sud	Afrique de l'Ouest	Total
1990	574 000	261 000	31 000	217 000	458 000	1 541 000
2000	700 000	281000	33 000	325 000	578 000	1 917 000
2008	821 000	308 000	34 000	495 000	780 000	2 438 000
Evolution entre 1999 et 2009 (%).	+ 43,9	+ 18	+ 9,8	+ 128,1	+ 70,3	+ 58,1

La production d'œufs de poules en Afrique a atteint 3 Mt en 2012, soit une hausse de 3,9% par rapport à 2000. La part de l'Afrique dans la production mondiale est passée de

3,7% en 2000 à 4,5% en 2012. Cette production se montre avec croissance annuelle moyenne de 3,9%, dépassant le taux de croissance mondial estimé à 2,2%. Une grande partie de la production est assurée principalement par 5 pays (Nigeria, Afrique du Sud, Egypte, Algérie et Maroc) en 2012, produisant 2,06 Mt d'une production totale de 3 Mt (The Poultry Site, 2014).

Tableau 4: Dix premiers pays producteurs d'œufs en Afrique en 2012 (The Poultry Site, 2014).

Classement	Pays	Production (tonnes)
1	Nigeria	640 000
2	Afrique du Sud	535 000
3	Égypte	310 000
4	Algérie	308 600
5	Maroc	272 000
6	Tunisie	97 700
7	Kenya	96 100
8	Libye	63 600
9	Burkina Faso	59 500
10	Zambie	55 000

La production de l'Afrique était estimée par la FAO à 3,1 Mt en 2013, soit une augmentation de 3,8% par rapport à l'an 2000. Ce taux de croissance était supérieur à celui enregistré à l'échelle mondiale estimé à 2,3%. La production en Afrique pourrait atteindre 3,3 Mt en 2015 (The poultry site, 2015a).

Tableau 5: Premiers pays producteurs d'œufs en Afrique entre 2000 et 2013 (mille de tonnes) (The Poultry Site, 2015a).

Pays \ Année	2000	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nigeria	400,0	500,0	581,0	613,0	623,0	636,0	640,0	650,0
Afrique du Sud	318,0	366,0	473,0	450,0	473,0	511,0	535,0	540,0
Maroc	235,0	232,0	192,0	200,0	244,0	265,0	272,0	278,0
Egypte	177,0	235,0	356,0	249,0	291,0	306,0	310,0	315,0
Algérie	101,0	175,0	184,0	194,0	261,0	280,0	309,0	347,0
Tunisie	82,0	84,0	89,0	88,0	92,0	93,0	98,0	99,0
Kenya	61,0	58,0	77,0	81,0	93,0	94,0	96,0	98,0

1.7. La consommation africaine :

Selon les estimations de la FAO, 25% de la population mondiale vivra en Afrique en 2050. Ces changements ont des impacts sur la consommation des œufs en Afrique.

La croissance démographique en Afrique a connu une augmentation importante de 808 millions d'habitants à 1 milliard et 166 millions d'habitants en 2011, soit une augmentation de 2,5% dépassant le taux de croissance mondiale estimé à 1,2%. En Afrique, la consommation annuelle moyenne était estimée par la FAO à 2,5 kg/personne/an en 2011.

Entre 2000 et 2011, la disponibilité des œufs en Afrique a augmenté de près de 0,4 kg/an (de 2,1 kg/habitant/an en 2000 à 2,5 kg/habitant/an en 2011) (The Poultry Site, 2015b).

1.8. Les politiques avicoles mises en œuvre en Algérie :

1.8.1. De l'indépendance jusqu'à la libéralisation de l'économie :

Après l'indépendance et jusqu'à 1969, l'aviculture était essentiellement fermière sans organisation particulière et ne couvrait qu'une faible partie de la consommation (Fernadji, 1990).

Historiquement, trois périodes différentes ont caractérisé du point de vue organisationnel l'aviculture en Algérie pendant la période de 1969 jusqu'à 1989 (Fernadji, 1990) :

1) La période 1969-1979 qui constitue l'amorce du programme de développement des productions animales, dont l'aviculture. Cette période s'est caractérisée par la création des structures visant à organiser le secteur de la production (Office National des Aliments du Bétail (ONAB), les coopératives avicoles et secteur privé).

2) La période 1980-1984 qui a vu la mise en place d'un programme spécial pour l'aviculture « le plan avicole », visant une réorganisation du secteur avicole. Cette période a été marquée par la restructuration de l'ONAB, généralisation de l'aviculture à l'échelle nationale et la volonté de faire produire les produits finis par les producteurs (privés et domaines) et non plus par les structures de l'état.

3) La période 1985-1989 qui se situe dans le cadre du deuxième Plan quinquennal. Elle représente une continuité de la période précédente. L'objectif qui a été fixé pendant cette période est l'augmentation de la consommation par habitant et par an (10 kg/hab/an pour la viande blanche et 120 œufs/hab/an pour les œufs de consommation).

1.8.2. Après la libéralisation de l'économie :

En 1994 et dans le cadre du programme d'ajustement structurel (PAS), le Fond

Monétaire International (FMI) et la banque mondiale ont imposé à l'Algérie des réformes qui ont eu pour objectifs le désengagement de l'Etat de la gestion directe de l'économie, le freinage de la croissance en produits importés, la privatisation du secteur économique publique et la favorisation du secteur privé (Amghrou et Badrani, 2007).

Pour la filière avicole en Algérie, les réformes s'articulaient essentiellement dans la levée du monopole de l'Etat sur le commerce extérieur des intrants et équipements avicoles, La réduction des droits de douanes pour le poulet de chair et pour les poussins d'un jours « chair », La suppression des subventions aux intrants, aux équipements et au crédit. La dévaluation du dinar Algérien qui a perdu environ la moitié de sa valeur par rapport au dollar, a rendu les importations d'équipements et de matières premières pour l'aviculture onéreuses et la suppression de la défiscalisation de l'activité avicole (Amghrou et Badrani, 2007).

Dans une tentative d'analyser la politique suivie au cours de cette période, les efforts pour la restructuration du secteur publique et l'implication des différents acteurs (entreprises d'amont, les élevages, les coopératives avicoles et les structures d'abattage) n'étaient pas présents pour l'essentiel. Une autre réorganisation a été réalisée en 2005.

Elle s'est basée sur le recentrage des métiers de base et l'organisation par filière de production (« chair », « ponte », « aliments »). L'objectif visé était la permission à l'aval de la filière avicole de jouer leur rôle en tant que véritable centre de décision en matière d'intégration (Kaci et Boukella, 2007).

Selon Alloui (2011), l'histoire de l'aviculture Algérienne est divisée en trois étapes. La première étape est de l'indépendance à 1968. Cette période est caractérisée par la transformation des porcheries en poulaillers d'engraissement. De 1969 à 1989, c'est la période pendant laquelle a été réalisé plusieurs complexes modernes et la création de l'ONAB qui a été chargé du développement de l'aviculture nationale. Il a joué un rôle important dans la formation des techniciens, la vulgarisation des techniques d'élevage et l'encadrement de l'activité. La troisième période de 1990 à 2011, est caractérisée par la suppression du monopole de l'Etat, l'arrêt des investissements dans la filière du secteur public et les réalisations importantes du secteur privé.

1.9. La filière œufs de consommation en Algérie :

1.9.1. Organisation générale de la filière œufs en Algérie :

La production avicole en Algérie s'articule essentiellement sur deux filières de production qui sont la filière chair et la filière œufs de consommation. Le processus de production du matériel biologique est encore à un stade embryonnaire. Le segment de sélection/multiplication des souches n'existe pas (Amghrou et Badrani, 2007).

La production d'œufs à couver ne dépassait guère 2 millions d'unités par an, d'où le recours à une importation marginale du poussin d'un jour (Kaci et Boukella, 2007). Le secteur privé représente 73% des capacités de production nationale en œufs de

consommation avec une taille moyenne des élevages privés de 10 000 sujets. Le nombre de reproductrices d'un jour pour la filière ponte mis en place s'élève en moyenne annuelle à 330 000 (Alloui, 2011).

Tableau 6 : La filière œufs de consommation en Algérie : acteurs et potentiels de production (Nouad, 2011).

Opérateurs Potentiels de production	Opérateurs privés et capacité de production	Opérateurs publics et capacité de production	Observations
Elevage reproducteurs ponte	/	3 unités 346 000 sujets	/
Accoupage ponte	68 unités	3 unités 15 millions poussins/an	/
Elevage poulettes démarrées	68 unités 1,4 millions sujets	40 unités 8 millions sujets	/
Elevage de pondeuses	16 498 éleveurs 4,2 milliards d'œufs	9 unités 4 milliards d'œufs	Elevages familiaux en batterie de faible taille (1500 sujets) chez le privé
Conditionnement des œufs	/	/	En plateau de 30 chez l'aviculteur

1.9.2. La production algérienne d'œufs de consommation :

L'aviculture Algérienne a connu une évolution spectaculaire pendant la période 1969-1989. C'est la période pendant laquelle la production d'œufs de consommation a également connu une progression importante, elle s'est élevée de 200 millions œufs de consommation en 1971 à 2200 millions œufs de consommation en 1986 (Fernadji, 1990).

Entre 1968 et 1999, la production d'œufs a augmenté en moyenne de 8% par an. Cette croissance a été stimulée par la réalisation en amont d'investissements dans l'aviculture par le secteur public, l'organisation des approvisionnements en intrants (aliments du bétail et facteurs de production, produits vétérinaires et équipements). La forte demande en œufs de consommation fait suite au renchérissement du prix de la viande (rouge et blanche) (MADR, 2003).

Selon Alloui (2011), la production d'œufs de consommation en Algérie a atteint 1,49 milliard d'œufs de consommation en 2000. Selon le même auteur, le nombre de poulettes démarrées mises à la disposition des producteurs avec un taux de mortalité de 8% a atteint 21 millions. Sur la base d'une production moyenne de 250 œufs par poule, le nombre d'œufs de consommation produits a été estimé à 5 milliards d'unités.

D'après le rapport du Ministère de l'Agriculture et du Développement Durable (MADR) en 2012, le développement de la filière avicole en Algérie a permis d'améliorer la consommation des protéines animales par la population avec un moindre coût.

Pour les œufs de consommation, la disponibilité des œufs est de 124 œufs par habitant en 2010 (MADR, 2012a).

En 2011, la production annuelle nationale du secteur avicole a enregistré un volume considérable. Pour la filière œufs de consommation, la production a été évaluée à presque 4,5 milliards d'œufs de consommation (MADR, 2012b).

La production d'œufs de consommation est estimée à 2,02 milliards œufs en 2000, mais reste inférieure à celle enregistrée pendant la période de 1989 à 1994, la période pendant laquelle la production avicole a été soutenue par l'Etat. Selon les chiffres de statistiques publiées par le MADR en 2012, la production d'œufs a atteint 4,82 milliards d'œufs de consommation en 2011 (MADR, 2012c).

1.9.3. La consommation d'œufs en Algérie :

Un déficit important a été enregistré suite à une enquête effectuée en 1966-1967, la ration alimentaire d'un Algérien, contenait 7,8 g/j de protéines animales ; une seconde enquête a été effectuée en 1979 démontre une légère augmentation avec une valeur de 13,40 g/j, mais elle reste au-dessous des recommandations de la FAO et de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) fixées par 16 g/j (Fernadji, 1990).

Au début des années 1970 et dans le cadre de combler le déficit important en protéines d'origine animale, les planificateurs algériens décidaient de miser sur l'aviculture intensive en raison que celle-ci échappe aux contraintes climatiques et du fait de la rotation rapide de son cycle de production (Amghrou et Badrani, 2007).

Le contexte socio-économique de la période 1974-1977 (période charnière de l'aviculture algérienne), a conduit les pouvoirs publics à opter pour le développement de l'aviculture intensive comme moyen pour équilibrer la ration des populations en protéines animales (Kaci et Boukella, 2007).

Tableau 7 : Evolution de la consommation des œufs par habitant et par an de 1966-67 à 2005 (Kaci et Boukella, 2007).

Année	1966/67	1979/80	1988	1989	1998	2004	2005
Consommation							
Œufs consommés par habitant et par an	0,47	1,06	3,02	120	70	105	117

2. Modes d'élevage des poules pondeuses : La directive européenne CE 99/74 imposée à partir de 2012, qui a pour objectif la promotion du bien-être animal par la

suppression des cages conventionnelles, a entraîné l'apparition des modes d'élevages alternatifs (élevage au sol, en volière, élevage de type biologique) caractérisés par des normes spécifiques en matière de pratiques d'élevage (normes d'alimentation, densité, équipement de bâtiment d'élevage, commercialisation, ...etc.). Cette directive était derrière le changement de plusieurs pratiques en élevage de poules pondeuses, ce qui pourrait avoir un impact sur la qualité des œufs.

2.1. Les différents modes d'élevage :

- L'élevage dit « standard » ;
- L'élevage « au sol » ;
- L'élevage dit « plein air » ;
- L'élevage « biologique ».

2.1.1. Élevages standards :

Ils correspondent à deux types de systèmes de cages : cages conventionnelles et cages aménagées.

2.1.1.1. Élevage en cages conventionnelles :

Ce type d'élevage est souvent appelé élevage en batteries (figure 3).

La cage conventionnelle offre une surface de 550 cm² par poule, ce qui correspond à cinq poules par cage. Chaque cage fait 40 cm de hauteur sur 65% de sa surface et pas moins de 35 cm en tout point. L'inclinaison du sol grillagé ne doit pas être au-delà de 8°. L'eau et la nourriture sont en libre accès, avec 10 cm de mangeoire minimum par poule. Le bâtiment est de type fermé, la ventilation est de type mécanique et le programme lumineux est appliqué avec une faible intensité lumineuse. Ce système d'élevage a été remis en cause en termes de bien-être animal. Ce mode d'élevage n'est plus autorisé dès le premier janvier 2012 en Europe (Kouba et al., 2010).



Figure 2 : Elevage en cages conventionnelles (Harlander, 2015).

2.1.1.2. Élevage en cages aménagées :

Dans ce mode d'élevage chaque poule doit avoir accès à au moins 750 cm² de Surface de cage. Chaque cage a une hauteur de 60 cm et il doit y avoir 35 cm entre le sol et les cages de la rangée inférieure. Elle comporte aussi des perchoirs (15 cm de perchoir minimum par poule) (figure 2), un nid, une litière permettant le grattage et le picotage, un système d'abreuvement et une mangeoire (12 cm de mangeoire par poule), ainsi que des dispositifs permettant le raccourcissement des griffes (figure 4).

Afin de maintenir le calme, le programme lumineux est appliqué avec une faible intensité. L'avantage de ce type de mode d'élevage est la limitation des problèmes liés aux modes de production alternatifs (parasitisme, picage, cannibalisme, ... etc.) (Kouba et al.,2010).



Figure 3 : Poule perchée en cage aménagée (Guinebretière, 2010).



Figure 4 : Poules picotant en aire de grattage et picotge (Guinebretière, 2010).

2.1.2. Élevages alternatifs :

Ce système regroupe deux modes d'élevages : élevage au sol et élevage en plein air. Les systèmes d'élevage dit « alternatifs » ont été développés face aux systèmes D'élevage en cages. Ils offrent aux poules la possibilité d'exprimer leurs comportements.

Cependant, ils nécessitent une conduite d'élevage adaptée (Tauson, 2005). Les

inconvenients présentés par ces modes d'élevage ont été le sujet de plusieurs études. Parmi lesquels le parasitisme qui nécessite un contrôle particulier, le picage, le cannibalisme, ainsi que la nécessité de veiller à la qualité de l'air en luttant contre la poussière qui peut conduire à des lésions pulmonaires (Michel et al., 2003). S'ajoute à cela le niveau de contamination microbienne important (Mallet et De Reu, 2007).

2.1.2.1. Élevage au sol :

Dans ce mode de logement, l'élevage est réalisé en bâtiment intégral. Deux types de bâtiments sont distingués : bâtiment d'un seul étage de caillebotis, mangeoires et abreuvoirs (élevage dits : au sol) (figure 4) ou plusieurs étages (élevage dits : en volière) (figure 6).



Figure 5 : Elevage au sol (Guerin et Molette, 2007).



Figure 6 : Elevage au sol (volières) (Guerin et Molette, 2007).

2.1.2.2. Élevage « plein air » :

Dans ce mode de production, les poules ont accès à un parcours en plein air (figure 7).

La densité sur le parcours est au minimum de 4 m² par poule. Les œufs issus d'élevage plein air sont commercialisés sous le code 1. Deux mentions complémentaires peuvent être apposées sur les œufs issus d'élevage en plein air : œufs « label rouge » et œufs « fermiers » (Kouba et al., 2010).

Œufs « label rouge » : l'élevage des poules pondeuses d'œufs « label rouge » a pour objectif de produire des œufs de qualité supérieure à celui des œufs courants. Dans ce type de production, les critères à respecter portent essentiellement sur les conditions d'élevage, l'alimentation (elle doit être à 100% d'origine végétale avec un minimum de 50% de céréales) et la sélection qualitative des œufs produits. Le ramassage des œufs est réalisé deux fois par jour. Autres normes : les niveaux superposés sont interdits, la densité maximale est de 9 poules par m² dans les bâtiments et de 5 m² par poule sur le parcours, le nombre de poules par bâtiment est limité (moins de 6000) et par exploitation (moins de 12 000), la distance des trappes aux nids et les dimensions doivent faciliter la sortie des poules (Kouba et al., 2010).



Figure 7 : Parcours en élevage plein air (Elson et al., 2011).

Œufs « fermiers » : ils correspondent à un modèle économique de production et non à un mode d'élevage. Pour l'alimentation, les céréales utilisées proviennent de l'exploitation concernée ou d'exploitation situées dans les départements limitrophes. Le nombre de poules pondeuses ne dépasse pas 6000, le ramassage et le triage des œufs est réalisé manuellement et quotidiennement. La mention « fermier » est apposée sur les emballages et accompagnée de l'indication du nom et de l'adresse du producteur. Elle peut être apposée sur les œufs biologiques (Kouba et al., 2010).

2.1.2.3. Élevage biologique :

Les caractéristiques de cet élevage sont proches de celles d'élevage « plein air ». Quelques différences sont observées : une densité de 6 poules /m² au maximum, un nombre de poules par bâtiment plus faible (3000) et une longueur des perchoirs plus grande (au moins 18 cm/poule), ainsi qu'il n'existe pas des normes pour le ramassage et la collecte des œufs.

S'ajoute à cela quelques différences qui portent essentiellement sur l'alimentation, la prophylaxie et les soins vétérinaires. Les œufs issus de cet élevage sont commercialisés sous le code 0.

Les différences majeures résident dans l'obligation de respecter les normes et les exigences de l'agriculture biologique notamment sur le lien au sol (figure 8).

Ces différences portent principalement sur l'alimentation qui doit être à 100% biologique et l'utilisation de molécules de synthèse et d'organismes génétiquement modifiés est interdite. (Kouba et al., 2010).



Figure 8 : Elevage biologique des poules pondeuses (KABC, 2009).

2.2. Évolution des systèmes de production et coût de production :

D'après ITAVI (2015), le poids des systèmes alternatifs est en nette augmentation dans l'ensemble des pays européens de 2010 à 2014. Les systèmes de production ont connu une forte évolution en Europe, en raison de l'évolution des attentes des Consommateurs et les évolutions réglementaires (la mise en œuvre de la directive CE 99/74 concernant la protection des poules pondeuses).

En Europe, 18 233 élevages sont en système alternatif, soit 82,3% des élevages Européens en 2014. La répartition des systèmes d'élevage au sein de l'UE-27 en 2014 est comme suit : élevage biologique (4%) ; élevage plein air (14%) ; élevage au sol (26%) ; élevage en cage (56%) (Figure 9) (ITAVI, 2015).

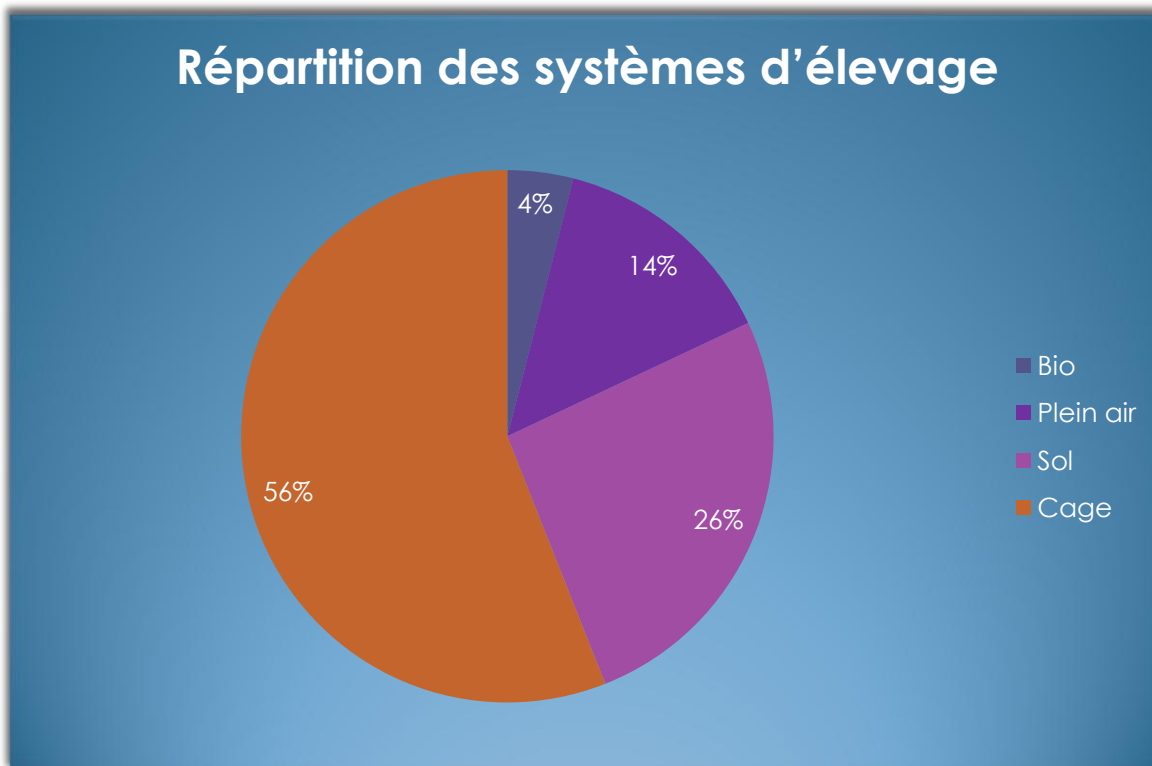


Figure 9 : Répartition des systèmes d'élevage dans l'UE-27 en 2014 (ITAVI, 2015).

Selon la Commission Internationale des Œufs (IEC), l'UE affiche les coûts les plus hauts en raison des coûts d'approvisionnement en matières premières et du coût de la main d'oeuvre, ainsi que la réglementation contraignante sur le bien-être (Magdelaine, 2015).

La directive CE 99/74 établie au niveau de l'UE était derrière l'accentuation des différentiels de coût de production avec ses compétiteurs. Elle a entraîné un surcoût de production estimé à 5-7 % et le surcoût d'un œuf produit en volière est de 12 à 15 % par rapport à la cage aménagée (Van Horne, 2014).

2.3. Modes d'élevage des poules pondeuses en Algérie :

En Algérie, deux types d'œufs sont commercialisés.

Ces deux types sont issus de deux modes d'élevage avec systèmes de production différents.

Le premier type est les œufs issus d'élevage industriel avec un mode d'élevage en batterie « élevage en cage ». Cet élevage a été mis en oeuvre au début des années 1980 basé sur l'élevage intensif des souches hybrides (Kaci, 2015), produisant 4,8 milliards d'œufs en 2010 (MADR, 2012).

Le deuxième mode d'élevage produit des œufs mais avec une capacité de production moindre et une disponibilité limitée comparativement avec le type de production précédent. Ce sont les œufs issus d'élevage traditionnel des poules locales.

Cet élevage est considéré comme étant un mode d'élevage avec un type de production de basse-cour (Sheldon, 1993). La qualité des œufs de cet élevage est appréciée par la communauté (Galal, 2006).

Cet élevage reste un outil de lutter contre la pauvreté et leurs produits sont utilisés pour des raisons socioculturelles, économiques et pour renforcer la situation de la femme dans les zones villageoises (Moula et al., 2009).

2.4. Modes d'élevage et qualité des œufs :

La directive européenne 99/74/CE, a entraîné l'abandon d'élevage en cages conventionnelles et l'obligation d'adopter le mode d'élevage en cages aménagées ou le choix d'autres modes d'élevage alternatifs (au sol, en plein air, élevage biologique).

Plusieurs études ont été réalisées pour démontrer l'effet de différents modes d'élevage sur la composition et la qualité des œufs.

Certaines études ont montré que le mode d'élevage n'a aucune influence sur la Composition des œufs. Selon Sauveur (1991), le poids des œufs et leur composition ne sont pas modifiés de façon répétable par le mode d'élevage et une augmentation, rarement significative, de la teneur en acide linoléique et en cholestérol peut être observée chez les œufs issus d'élevage au sol. Selon le même auteur, le pourcentage des œufs fêlés est réduit dans l'élevage au sol, alors que la structure du blanc, la coloration du jaune et la fréquence des inclusions ne sont pas influencées par le mode d'élevage.

Selon Nys et Sauveur (2004), 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. Cependant, Matt et al. (2009) ont confirmé l'effet du mode d'élevage sur la qualité des œufs. Il a montré que les différences de composition chimique entre les œufs de poule organiquement ou conventionnellement élevés étaient significativement différentes.

Plusieurs études ont constaté que le contenu de l'œuf dépend beaucoup de la souche et de l'alimentation (Sauveur, 1991 ; Nys et Sauveur, 2004). Par conséquent, du fait que les systèmes agricoles biologiques et conventionnels sont fondées sur les systèmes d'alimentation différents, il est possible de conclure que la composition chimique de l'œufs pourrait être affectée par le système de logement. Des études plus détaillées et complètes sont nécessaires pour établir l'impact des systèmes de logement sur la qualité des œufs ainsi que la composition chimique (Matt et al., 2009).

Sur le plan hygiénique, aucune différence significative n'été observée dans le pourcentage d'œufs sales entre cages aménagées et non aménagées (De Reu et al., 2009).

Sur le plan bactériologique, il a été rapporté que les œufs de la volière sont plus contaminés par des bactéries aérobies que ceux de système de cage (cages aménagées et cages conventionnelles) (De Reu et al., 2005). De Reu et al. (2009) ont également trouvé que le nombre de bactéries sur les œufs de cages aménagées est

plus faible par rapport à celui trouvé sur les œufs du système alternatif. Cependant, les mêmes auteurs n'ont constaté aucune différence significative en pourcentage des entérobactéries sur les œufs produits en cage et ceux d'autres systèmes. Dans une autre étude, il a été rapporté que des œufs fermiers ont été caractérisés par une forte contamination des bactéries aérobies par rapport aux œufs de cages conventionnelles (Schwarz et al., 1999). De Reu et al. (2009) ont rapporté que la contamination bactérienne des œufs est déterminée par le système de production, l'organisation et la gestion agricole qui joue également un rôle important. Guesdon et Faure (2004) ont constaté que le nombre des œufs fêlés était plus élevés dans des cages aménagées que dans des cages traditionnelles. De même, De Reu et al. (2009) ont constaté un plus grand pourcentage d'œufs fêlés ($p \leq 0,01$) dans les cages aménagées (7,8%) par rapport aux modes de production alternatifs (4,1%).

3. Formation et structure de l'œuf : Aujourd'hui, le nombre d'œufs produits par une poule domestique est supérieur à 300 œufs par an. Le contrôle du niveau de production dépend du nombre de jaunes élaborés sur l'ovaire et du contrôle de leur libération (ovulation) (Nys, 2010). Cette question sera traitée dans ce chapitre qui a pour objectif de décrire le développement et l'anatomie de l'appareil génital de la poule, la formation et la structure de l'œuf.

3.1. Développement et anatomie de l'appareil génital femelle :

3.1.1.1. La mise en place de l'ovaire et de l'oviducte durant la vie embryonnaire :

La mise en place de l'ovaire a lieu au 3^{ème} jour de la vie embryonnaire, les cellules de l'épithélium coelomique (cellules somatiques) et les cellules germinales primordiales (futurs gamètes) se différencieront en cellules de la granulosa. La différenciation sexuelle gonadique est accomplie au 7^{ème} jour et seule la gonade gauche se développe en ovaire, tandis que la gonade droite régresse. La mise en place de l'oviducte a lieu durant les 4 premiers jours de la vie embryonnaire, un groupe de cellules également issues de l'épithélium coelomique, migre et s'accumule de façon symétrique à gauche et à droite de l'embryon (Guioli et al., 2007).

3.1.1.2. Développement de l'appareil génital femelle après l'éclosion : Trois mois après l'éclosion, l'ovaire atteint une taille d'environ 1 cm et présente une croissance très rapide entre 16 et 20 semaines, passant de 5 à 60 g et pouvant atteindre 120 à 150 g. la croissance de l'oviducte est sensiblement proportionnelle à celle de l'ovaire, qui tous deux sont sous la dépendance des sécrétions stéroïdiennes ovariennes. Durant la vie embryonnaire, l'oviducte a l'aspect d'un fil et pèse quelques mg. Sa croissance et sa différenciation cellulaire se produisent essentiellement lors de la maturité sexuelle et son poids augmente de moins de 1 g à plus de 40 g en 2 semaines ; sa taille passe de 12-15 cm à 70 cm (Sauveur, 1988). Seuls l'ovaire et l'oviducte gauches sont fonctionnels chez les femelles aviaires (Sauveur, 1988).

3.1.2. Anatomie de l'appareil reproducteur de la poule : L'appareil reproducteur femelle de l'oiseau est constitué de deux parties : l'ovaire et l'oviducte. L'ovaire est situé dans la partie médio-ventrale de l'abdomen. A l'âge adulte, l'ovaire est un

organe largement différencié qui assurera deux rôles : une fonction de reproduction liée à la production de gamètes et une fonction endocrine liée à la production d'hormones. Il est constitué de deux régions bien distinctes, une enveloppe externe ou cortex qui entoure une partie centrale très vascularisée : la zone médullaire. Dans la zone médullaire, se trouvent les vaisseaux sanguins et lymphatiques. La zone corticale contient les follicules variés, siège de l'ovogenèse et de la folliculogénèse, qui représente le lieu de l'élaboration du jaune (Sauveur, 1988).

L'oviducte est en contact avec l'ovaire et débouche par son extrémité dans le cloaque et apparaît comme un tube d'une longueur de 70 cm de couleur grise à rose très pâle.

Il est vascularisé à quatre niveaux à partir du système artériel général, notamment au niveau de l'utérus. Il est constitué selon plusieurs auteurs de cinq parties (Sauveur, 1988 ; Nys, 1994), alors qu'une sixième partie, la jonction utéro-vaginale peut être considérée (Bakst et al., 1994)

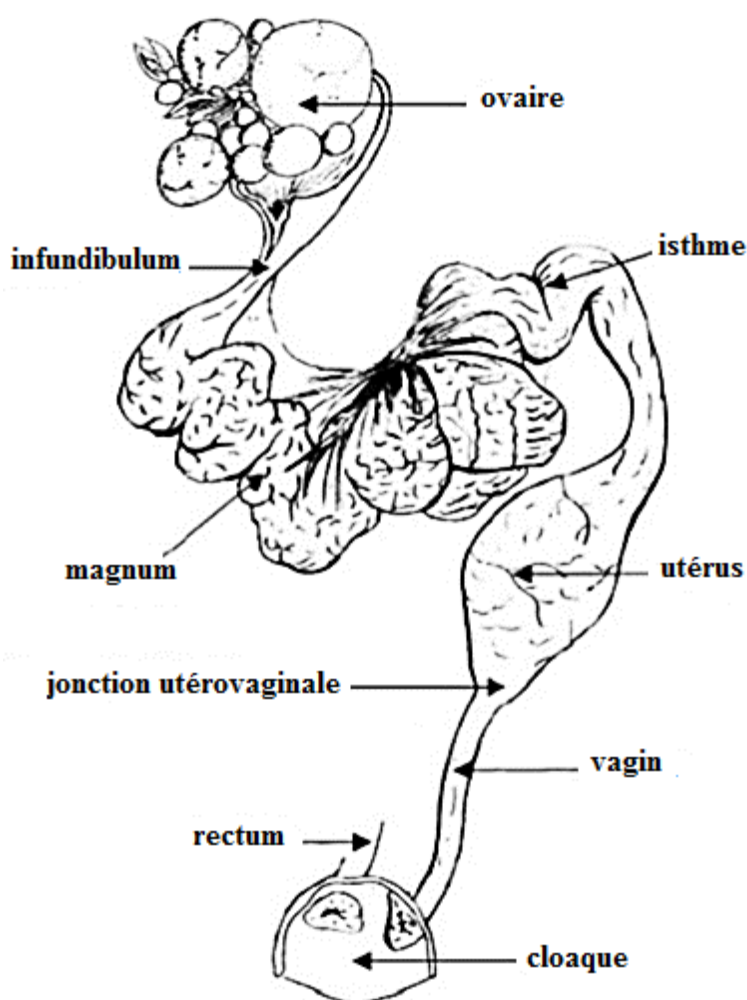


Figure 10: Représentation schématique de l'ovaire et de l'oviducte de poule mature (Nys et al., 2004).

- **L'infundibulum ou pavillon**, zone très fine, non rattachée à l'ovaire, en forme d'entonnoir.

Il capte l'ovocyte au moment de l'ovulation. L'infundibulum est le lieu de la fécondation de l'œuf. Sa paroi est particulièrement fine et sa muqueuse

contient plusieurs catégories cellulaires ayant pour les unes une fonction sécrétoire (dépôt des protéines formant la membrane périvitelline externe de l'œuf), et pour les autres une fonction de stockage des spermatozoïdes (glandes infundibulaires).

- **Le magnum** est la partie la plus longue de l'oviducte d'une longueur de 30 à 35 cm chez une poule adulte, est la zone au niveau de laquelle l'album en est synthétisé puis déposé. Sa paroi est très extensible et présente sur sa face interne des plis importants dont l'épaisseur peut atteindre 5 mm . C'est la zone la plus riche en cellules et glandes sécrétrices. Le magnum est nettement séparé de la zone suivante par une étroite bande translucide sans glande ni repli interne.
- **L'isthme** est d'une longueur d'environ 15 cm, présente un léger rétrécissement du diamètre par rapport au magnum. Ses quatre derniers centimètres sont richement vascularisés. Les deux régions sont ainsi distinguées appelées isthme blanc et isthme rouge.
- **L'utérus ou glande coquillière** se distingue des segments précédents par sa forme de poche et l'épaisseur de sa paroi musculaire .
- La jonction utéro-vaginale, d'une longueur de 1 à 2 cm seulement et de forme évasée se rétrécissant dans la partie basse. Elle est rattachée à l'utérus par une structure fibreuse épaisse, qui l'accole plus ou moins contre celui-ci. Cette région joue un rôle essentiel dans le stockage prolongé des spermatozoïdes.
- **Le vagin** est une partie étroite et musculaire. D'une longueur d'une dizaine de centimètres, est la partie la plus distale de l'oviducte et débouche dans le cloaque. Il est constitué d'une couche importante de tissus musculaires qui permettront l'expulsion finale de l'œuf.

3.2. Formation de l'œuf :

3.2.1. Au niveau de l'ovaire : la formation du jaune d'œuf :

L'accumulation du jaune d'œuf à l'intérieur d'un follicule commence dès la vie Embryonnaire et se termine juste avant l'ovulation. Trois phases caractérisent l'accumulation du jaune d'œuf (Sauveur, 1988 ; Nys, 1994) :

- **Phase initiale d'accroissement lent :**

A la naissance, le stock de gamète présent sur l'ovaire est d'environ 12000 ovocytes. Pendant la phase initiale, l'ensemble des ovocytes sont affectés et individualisés par la mise en place de l'épithélium folliculaire au cours des premières semaines après éclosion, puis elle correspond à une accumulation de protéines issues de la granulosa ou du fluide péri-vitellin.

Un grand nombre de ces follicules disparaît par atrophie à ce stade. Le diamètre d'un ovule porté par un ovaire est multiplié par quatre à l'âge de six semaines et atteint un millimètre entre quatre et cinq mois, après dépôt de quelques gouttelettes lipidiques.

- **Phase intermédiaire :**

Dans une durée de 60 jours, la taille du follicule sélectionné passe de 1 à 4 mm, grâce au dépôt de protéines et de lipides constituant « le vitellus blanc ».

- Phase de grand accroissement :

Pendant cette phase, la croissance de l'ovule s'accélère rapidement par dépôt de protéines et de lipides (6 à 14 jours). La durée de cette phase varie de 6 à 14 jours. Tous les constituants du jaune sont apportés par le sang et proviennent en majorité du foie.

Il s'agit surtout d'une émulsion d'eau, de lipoprotéines et de protéines, ainsi que de minéraux et pigments (Sauveur, 1988). Tous les lipides du jaune sont associés à des protéines, constituant ainsi des lipoprotéines. Ceux du jaune sont synthétisés dans le foie, puis transportés vers l'ovaire sous forme de vitellogénine et de lipoprotéines de très basse densité (VLDL) (Leclercq et al., 1990).

3.2.2. Au niveau de l'oviducte :

Lorsque l'ovule atteint sa maturité, le follicule se déchire et libère ainsi le jaune, c'est l'ovulation. Le jaune libéré est capté par l'oviducte. Il y a alors dépôts successifs des autres constituants de l'œuf dans les segments de l'oviducte au cours d'un processus qui durera 24 à 26 heures (Sauveur, 1988).

Selon Bain et Hall (1969), La membrane vitelline externe est déposée à partir des sécrétions infundibulaires au niveau de l'infundibulum. Vingt minutes après l'ovulation, l'œuf en formation pénètre dans le magnum et ressort 3 h 30 plus tard. Le jaune s'entoure alors des protéines du blanc (albumen). On distingue 4 zones dans le blanc d'œuf (Sauveur, 1988) :

- Le blanc liquide interne présent entre le blanc épais et le jaune.
- Le blanc épais attaché aux deux extrémités de l'œuf et présentant l'aspect d'un gel.
- Le blanc liquide externe au contact des membranes coquillières.
- Les chalazes, filaments spiralés allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf à travers le blanc et assurant sa suspension.

Les protéines de l'albumen sont synthétisées puis sécrétées localement par le magnum.

Les protéines du blanc, synthétisées par les glandes tubulaires et épithéliales, s'accumulent sous forme de grains de sécrétion dans le cytoplasme et dans les canaux tubulaires avant le passage de l'œuf (Nys et al., 2004).

L'œuf en formation pénètre dans l'isthme 3 h 30 après l'ovulation du jaune et y séjourne entre 1 heure et 1 h 30. Deux phénomènes s'y produisent (Sauveur, 1988 ; Nys, 1994) :

- Le recouvrement des protéines du blanc par des fibres protéiques dans l'isthme blanc. L'entrelacement de fibres constituera les membranes coquillières.
- Les amas organiques sont déposés dans l'isthme rouge en surface de la membrane coquillière externe constituant les noyaux mamillaires à partir desquels la

minéralisation sera initiée.

Cinq heures après l'ovulation du jaune, l'œuf pénètre dans l'utérus. Il y séjournera 19 heures environ. Deux phénomènes principaux s'y produisent. L'hydratation des protéines du blanc et la minéralisation ordonnée de la coquille dans le fluide utérin, produite par précipitation de carbonate de calcium associé à des constituants organiques (Sauveur, 1988) (figure 11).



Repères anatomiques		Fonction	Temps
Ovaire	Dimension (cm)	 Dépôt du jaune	150 J
	7		10 J
OVIDUCTE		 Ovulation	0
	9	Infundibulum Fécondation	20 mn
	33	Magnum Dépôt du blanc	3h 30
	10	Isthme Dépôt des membranes coquillères	1h 15
	10	Utérus Dépôt de la coquille	21h
	10	Vagin Expulsion de l'œuf (oviposition)	

Figure 11 : Cinétique des dépôts et lieu de formation de l'œuf de poule (Sauveur, 1988).

3.3. Structure et composition de l'œuf :

Trois compartiments caractérisent l'œuf de poule : la coquille, le blanc d'œuf (albumen) et le jaune d'œuf (vitellus). Les proportions relatives de chaque compartiment par rapport à l'œuf total sont de 8,5 à 10,5% pour la coquille, de 57 à 65% pour l'albumen et de 25 à 33% pour le vitellus (Nys, 2010).

L'œuf est composé, de l'extérieur vers l'intérieur, d'une coquille, de deux membranes coquillières qui entourent l'albumen. Ce dernier à son tour enveloppe le vitellus. L'albumen et le vitellus sont séparées par une membrane acellulaire appelée membrane vitelline (Nys, 2010) (figure 12).

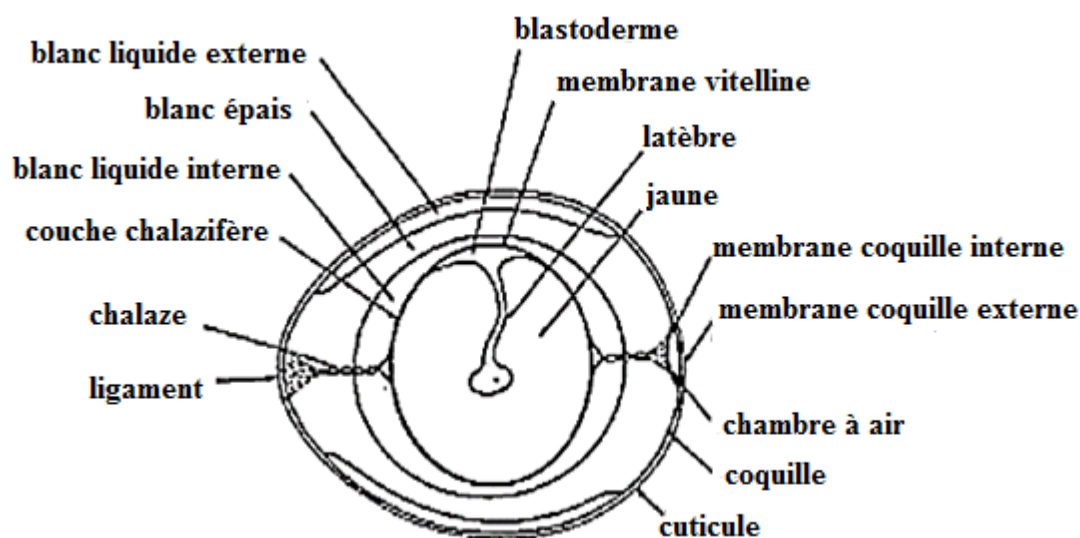


Figure 12 : Représentation schématique des différents compartiments de l'œuf (Sauveur, 1988).

3.3.1. La cuticule :

Elle est la couche la plus externe de l'œuf, et est déposée sur la coquille environ deux heures avant l'oviposition, et est composée de 90% de protéines et de glycoprotéines, 5% d'hydrates de carbone et d'environ 3% de cendres (Dennis et al., 1996).

La cuticule permet d'une part, de réguler les pertes en eau de l'œuf et d'autre part, d'obturer les pores de la coquille pendant les premières heures suivant la ponte. Ces derniers constituent une porte d'entrée pour les germes qui peuvent contaminer le contenu interne de l'œuf (Cook et al., 2003).

3.3.2. La coquille :

La coquille de l'œuf d'oiseau et les membranes coquillières qui la supportent renferment en moyenne 1,6% d'eau, 3,3 à 3,5% de matière organique et 95% de matière minérale. La coquille elle-même, sans sa cuticule, est composée majoritairement de carbonate de calcium (94%) et d'une faible proportion de constituants organiques (2,3%) inclus dans la partie minéralisée. Elle contient 37,5%

de calcium et 58% de carbonate mais également du magnésium et du phosphore, ce dernier étant concentré dans les couches superficielles.

Elle contient enfin de nombreux oligo-éléments dont du manganèse (7 mg.kg⁻¹) dont l'apport alimentaire chez la poule favorise la solidité de la coquille probablement en influençant sa structure cristalline. La coquille d'œuf de poule est composée de cinq couches de l'intérieur vers l'extérieur (figure 13) : les membranes coquillières, la couche mamillaire ou couche des cônes, la couche palissadique, la couche des cristaux verticaux et la cuticule (Nys et al., 1999 ; Nys et al., 2010).

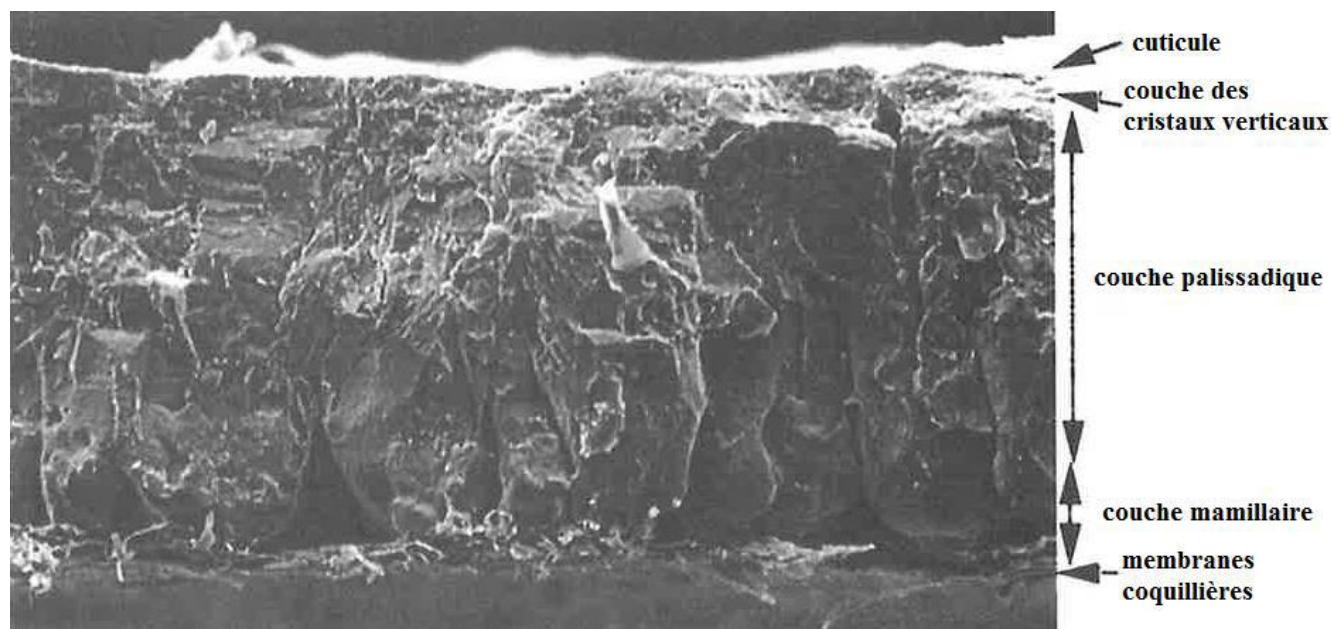


Figure 13 : Vue en microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale de la coquille d'un œuf de poule montrant les différentes couches (Nys et al., 1999).

3.3.3. Les membranes coquillières :

Elles sont situées entre l'albumen et la surface interne de la coquille, les membranes coquillières présentent une structure en deux couches interne et externe. La couche interne est formée de trois sous-couches de fibres parallèles à la coquille, tandis que la membrane externe est constituée de six couches de fibres orientées alternativement dans des directions différentes (Nys et al., 2004). Les membranes coquillières se composent de 90% de protéines de 2% de glucose et de 2% de cendres. Les fibres qui les constituent sont principalement à base de collagène X qui empêcherait la minéralisation vers l'intérieur de l'œuf (Dominguez- Vera et al., 2000). Elles jouent un rôle important au phénomène de formation de la coquille : la minéralisation de la coquille est initiée en surface de ces membranes dans les sites de nucléation, qui correspondent à des amas organiques où sont déposés les premiers cristaux de calcite. Toute anomalie de la formation des membranes coquillières par une carence en cuivre ou suite à l'ingestion de mycotoxines provoque des déformations importantes de la coquille (Chowdhury, 1990).

3.3.4. L'albumen :

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 (Guerin-Dubiard et al., 2010). Les protéines majeures qui caractérisent l'albumen 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%) (Li-Chan et Nakai, 1989).

3.3.5. La membrane vitelline :

Elle entoure le jaune et le sépare de l'albumen. Il a une épaisseur d'environ 10 µm. Il est de nature protéique (Mineki et Kobayashi, 1997). La membrane vitelline est composée de trois couches, l'une interne au contact du jaune, une deuxième couche intermédiaire formée d'une substance amorphe et une troisième couche externe au contact du blanc (Burley et Vadehra, 1989).

3.3.6. Le vitellus :

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) (Guerin-Dubiard et al., 2010).

Deux fractions du jaune peuvent être distinguées lors de la centrifugation : le plasma (environ 78%), et la fraction granulaire ou globulaire (environ 22%), correspondant au précipité.

Dans le plasma, les principales protéines identifiées sont l'albumine sérique, microglobuline et l'immunoglobuline Y (Li-Chan et Kim, 2008). La fraction granulaire, riche en gouttelettes lipidiques, contient notamment des HDL (High-Density Lipoprotein) avec des lipovitellines issues des vitellogénines et des VLDL (Very Low Density Lipoprotein) avec des apoprotéines (Burley et Vadehra, 1989).

4. Qualité interne et externe des œufs

4.1. Classification des œufs : En termes de caractérisation, les œufs sont définis par trois classifications : classification par catégorie, classification selon le poids et classification selon le mode d'élevage (Mertens et al., 2010) : Deux catégories sont distinguées A et B. Un œuf de catégorie A, est un œuf frais qui répond à plusieurs critères : il doit présenter une coquille intacte et propre ; il ne doit pas être lavé ; le contenu de l'œuf doit présenter une qualité irréprochable. La hauteur de la chambre à air est un critère déterminant de la fraîcheur de l'œuf, il ne doit pas dépasser 06 mm au maximum. Les œufs de catégorie A doivent être vendus au plus tard 21 jours après la ponte. Il existe au sein de cette catégorie des œufs mentionnés « des œufs extra », qui sont vendus dans les 09 jours qui suivent la ponte. La hauteur de la chambre à air de type extra est inférieure à 04 mm. Un œuf de catégorie B, est destiné à l'industrie des ovo-produits.

4.1.2. Classification selon le poids : - Lorsque le poids est supérieur à 73 g, l'œuf est de catégorie XL (œuf très gros). - Lorsque le poids est compris entre 63 g et 73 g, l'œuf est de catégorie L (œuf gros). - Lorsque le poids de l'œuf est compris entre 53 g et 63 g, l'œuf est de catégorie M (œuf moyen). - Lorsque le poids de l'œuf est inférieur à 53 g, l'œuf est de catégorie S (œuf petit).

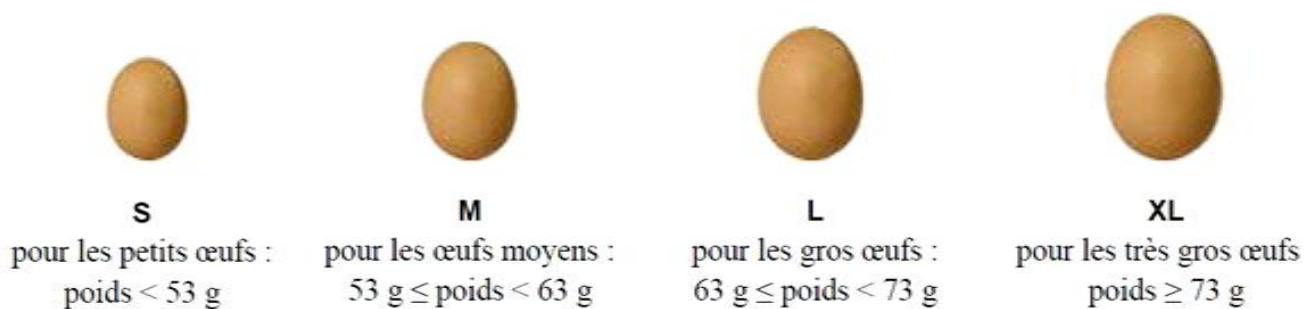
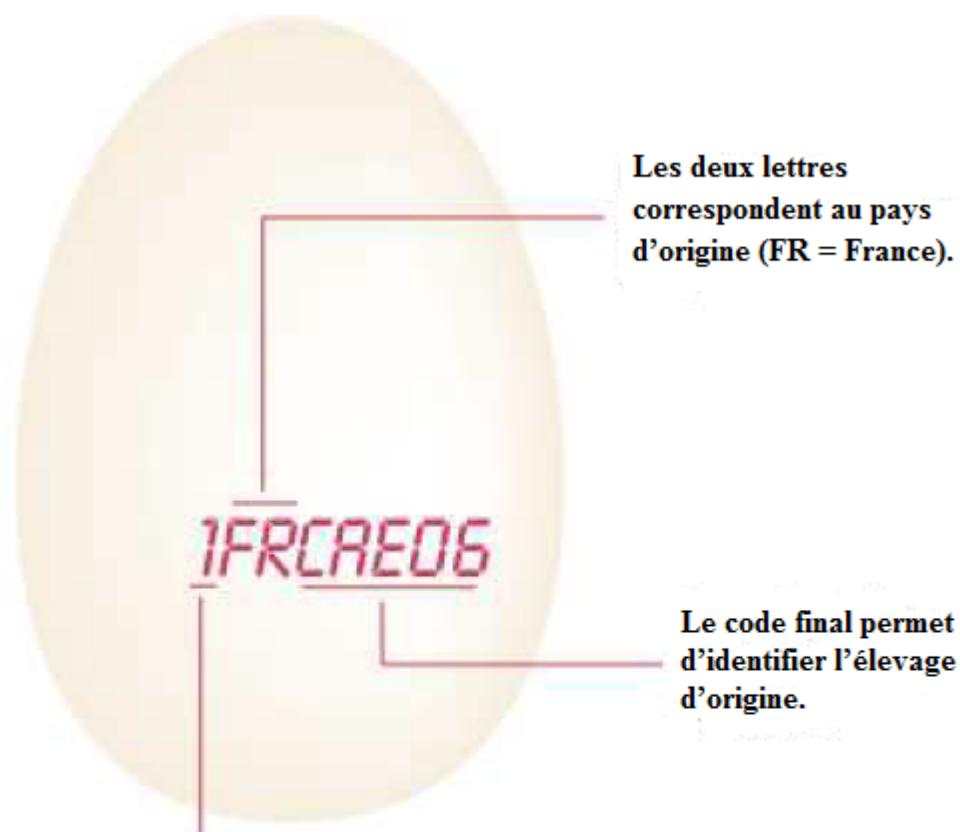


Figure 14 : classification des œufs par catégorie des poids (MEIN ,2015).

4.1.3. Classification selon le mode d'élevage :

Afin de favoriser le développement d'élevage respectueux du bien-être animal, les œufs commercialisés sont classés selon le mode d'élevage des poules pondeuses (figure15). Chaque mode d'élevage est indiqué sur l'œuf grâce au marquage obligatoire de chaque œuf (code « 0 » pour les œufs biologiques ; code « 1 » pour les œufs de poules élevées en plein air ; code « 2 » pour les œufs de poules élevées au sol ; code « 3 » pour les œufs de poules élevées en cages).



Le premier chiffre correspond au mode d'élevage de la poule :

- 0- œuf issu d'une poule élevée en élevage biologique
- 1- œuf issu d'une poule élevée en plein air
- 2- œuf issu d'une poule élevée au sol
- 3- œuf issu d'une poule élevée en cage

Figure 15 : Exemple de codage d'un œuf de table (Corpet, 2013).

- **Œufs de poules élevées en cage :**

Dans ce mode d'élevage, les œufs sont produits dans des cages dites «conventionnelles» . Il permet de produire des œufs dans les meilleures conditions d'hygiène.

- **Œufs de poules élevées au sol :**

Les œufs sont issus d'élevage où les poules sont élevées dans un bâtiment. Un tiers de la surface du poulailler est sous forme de litière. Dans ce mode d'élevage la densité est de 7 poules/m² au maximum.

- **Œufs de poules élevées en plein air :**

Ces œufs sont issus d'élevage où les poules sont élevées dans des poulaillers comparables à ceux des poules élevées au sol mais avec un accès à un parcours en plein air.

- **Œufs biologiques :**

Les œufs biologiques sont produits sans utilisation des produits ou chimiques synthétiques. Dans le cas de la production des œufs, l'alimentation des poules pondeuses doit être d'origine biologique à 80% au minimum et doit y avoir suffisamment de fourrage grossier.

4.2. Qualité externe et interne :

Pendant la commercialisation, le consommateur cherche toujours des œufs qui répondent visuellement à certains critères telles que l'uniformité de la couleur et de la surface de la coquille et son intégrité, ainsi que l'absence des anomalies de taille et de forme, ce qui peut représenter la qualité externe.

4.2.1. Qualité externe :

L'intégrité de l'œuf et la qualité de la coquille sont des éléments de garantie pour la sécurité des consommateurs. Elle regroupe la taille et la forme de l'œuf ainsi que la qualité de l'œuf.

4.2.1.1. Taille et forme :

La forme de l'œuf est déterminée par la tonicité musculaire de la glande coquillère (Sauveur, 1988). Différentes anomalies de taille et de forme peuvent être observées au cours la période de production de poules pondeuses (figure 16). Des œufs à doubles jaunes sont quelques fois obtenus en début de ponte d'une taille anormale et d'une forme allongée, mais ils disparaissent après le pic de ponte. Autres anomalies de taille et de forme peuvent être observées, des œufs très petits ne contenant que du jaune, lorsque l'alimentation et le programme lumineux appliqué n'étaient pas maîtrisés pendant la période d'élevage des poulettes, ce qui influence la maturité sexuelle entraînant l'apparition du défaut cité précédemment (Rose, 1997).

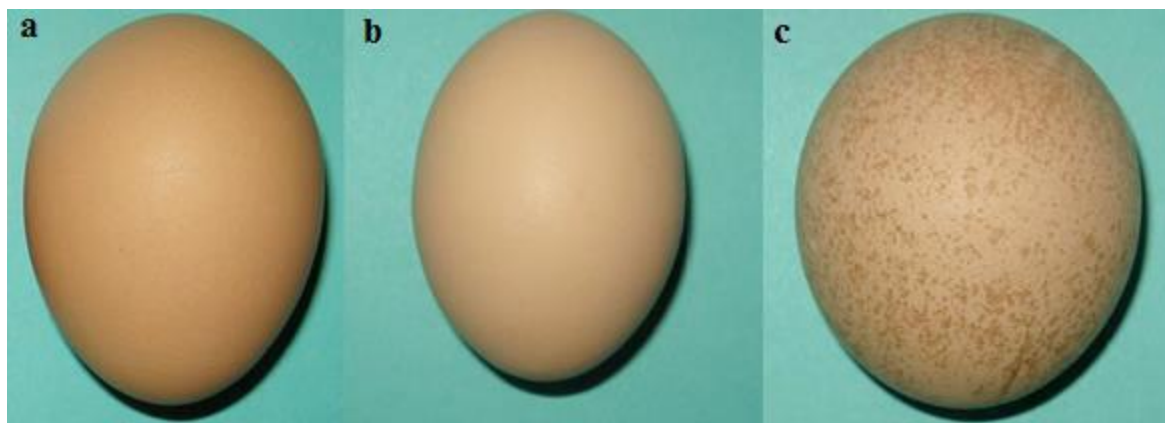


Figure 16 : Différentes formes et tailles d'œufs : (a) œuf normal, (b) œuf allongé, œuf rond (Hubbard, 2011).

4.2.1.2. Qualité de la coquille :

Le risque pour un œuf d'être fêlé est fonction d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels l'importance de la charge subie et la résistance mécanique de sa coquille (Mertens et al., 2010). Selon le même auteur, la fissuration de la coquille est le résultat des impacts des œufs entre eux et de la collision des œufs pendant la période de collecte, et pendant la période de transit. Selon Mertens et al. (2010), Les principales anomalies des coquilles de l'œufsont :

- **Œufs « pré-fêlés in vivo » :**
Ce type d'anomalie est liée aux changements de tonicité musculaire au niveau de l'oviducte durant le stade initial de formation de la coquille qui est progressivement renforcée au cours du processus de calcification.
Cette anomalie est plus prononcée chez les poules qui sont trop actives ou qui ont été perturbées pendant les premières heures d'obscurité (le début de la calcification).
- **Œufs auréolés :**
Dans ce type d'anomalie, une partie de la coquille est aplatie ou entaillée. Ils sont souvent observés chez les jeunes poules qui pondent pour la première fois, mais cela peut être aussi observé chez les poules âgées.
- **Œufs à coquille ondulée :**
Ils présentent une surface rugueuse et ondulée. Ces défauts surviennent lorsqu'il y a un dysfonctionnement du magnum causé par une maladie, telle que la bronchite infectieuse. La modification de consistance de l'albumen d'origine pathologique, a une répercussion sur la formation de la coquille d'où les œufs apparaissent ridés avec coquilles rugueuses et ondulées (figure 17).



Figure 17 : Œuf ridé (Hubbard, 2011).

- **Œufs à coquille molle ou sans coquille :**

Ces anomalies apparaissent lorsque la calcification de la coquille n'est pas complète. Ils sont généralement produits par les jeunes poules en début de ponte, et notamment lorsqu'elles ont été soumises trop à des durées d'éclairage trop importantes, ce qui stimule de manière trop précoce le système hormonal. Certaines maladies et contraintes environnementales peuvent être à l'origine de ce défaut (figure 18).



Figure 18 : Œufs à coquille molle ((Bernardi, 2008).

- **Œufs mauves, roses et tachetés de calcium :**

L'apparition de ces anomalies peut être la conséquence d'un stress d'où une partie de la coquille est enduite d'un résidu poussiéreux ou de dépôts superficiels blancs (figure 19).



Figure 19 : Œuf tacheté de calcium (Bernardi, 2008).

- **Œufs à coquille rugueuse :**

Ces anomalies interviennent lorsque les parties rugueuses sont soit distribuées sur les œufs de manière irrégulière sur toute la surface de la coquille, soit concentrées sur une des extrémités de l'œuf. L'apparition de ce type d'œufs est associée aux troupes âgées, mais certaines maladies, telle que la bronchite infectieuse, peuvent provoquer ce genre de défaut.

- **Œufs présentant des aspérités :**

Ces aspérités sont produites pendant le processus de formation de la coquille, en raison d'un défaut de la membrane coquillière, ou de fragments d'oviducte incorporé dans celle-ci.

- **Œuf à « fenêtres » translucides :**

Ce défaut est la conséquence de la présence, dans la coquille, d'eau provenant de l'intérieur de l'œuf. Le phénomène peut être accru par l'existence d'imperfections de la trame protéique coquillière.

- **Autres défauts :**

Ce sont surtout des défauts ultrastructuraux de la coquille, lors du processus de formation de la coquille (figure 20), au niveau de la couche mamillaire à partir de laquelle est déposée (Nys et al., 1999).



Figure 20 : Œufs présentant des défauts ultrastructuraux (Bernardi, 2008).

4.2.2. Qualité interne :

Le contenu de l'œuf, blanc d'œuf et jaune d'œuf, est la partie effectivement consommée par l'homme, et qui joue un rôle déterminant dans la qualité de l'œuf. Les principales anomalies sont comme suit (Mertens et al., 2010) :

- **Blanc aqueux :**

La qualité de l'albumen diminue au fur et à mesure du vieillissement du troupeau.

Mais certaines maladies, telles que la maladie de Newcastle et la bronchite infectieuse, par l'attaque du magnum où sont secrétés les constituants de l'albumen, peuvent détériorer la qualité de l'albumen quel que soit l'âge des troupeaux. L'apparition du blanc très liquide peut aussi être la conséquence des températures environnementales élevées ou des conditions défavorables lors de stockage.

- **Jaunes tachetés et décolorés :**

Dans ces cas, des marques de tailles et de couleurs différentes, sont visibles à la surface du jaune, et peuvent être du translucide à l'orange brunâtre voire presque noire.

La prévention des taches sur le jaune est fortement liée à l'intégrité et à la résistance de la membrane vitelline et toutes imperfections de la membrane peuvent être la cause de l'apparition de ce type de défaut (Jacob et al., 2000).

- **Œufs à double jaune :**

Ce défaut est observé chez les poules en début de ponte (figure 21), mais une fois le programme de ponte est stabilisé, il disparaît.



Figure 21 : Œuf à double jaune (Corpet, 2013).

- **Jaunes cassés :**

Le jaune d'œuf se casse sous l'effet de la liquéfaction de l'albumen d'une part, et sous l'effet de l'évaporation de l'eau à travers la

coquille d'autre part, où le jaune se déplace vers la périphérie de l'œuf. Ce déplacement pourrait résulter du transfert d'eau du blanc vers le jaune, ce qui a pour conséquence la diminution de la viscosité du jaune et l'endommagement de la membrane vitelline. Cette anomalie est surtout observée à la fin de la ponte : les œufs produits à la fin de cycle de production sont gros d'où la membrane vitelline devient fragile et n'est pas apte à maintenir son intégrité structurelle.

- **Présence des inclusions :**

Les taches de sang ou de viande présentes dans le blanc résultent de microhémorragies ovariennes ou de desquamation de l'oviducte dues à des infections virales ou à certaines contraintes environnementales (figure 22).

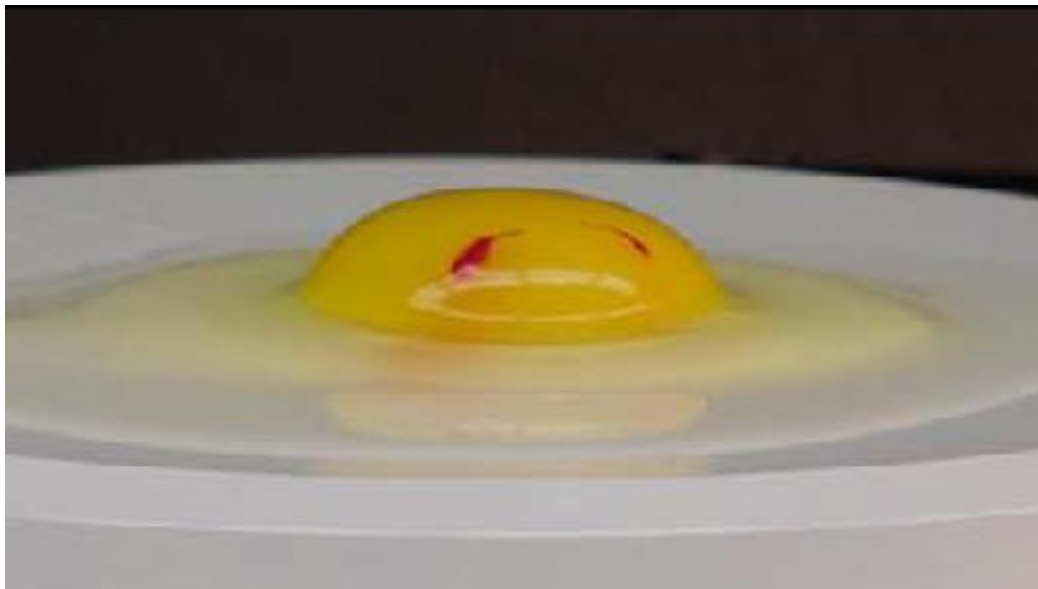


Figure 22 : Présence de taches de sang dans le contenu de l'œuf (Jacob et Pescatore, 2009).

4.3. Evaluation de la qualité interne et externe :

4.3.1. Evaluation de la qualité externe :

4.3.1.1. Poids de l'œuf :

Pour le consommateur, le poids de l'œuf est un critère de qualité important d'où vient la nécessité de maîtriser cette caractéristique par les éleveurs. Les œufs sont vendus sous plusieurs formes qui se basent dans leur ensemble sur le poids.

4.3.1.2. Qualité de la coquille :

La propreté est mesurée par le pourcentage d'œufs sales, c'est-à-dire présentant des souillures d'origine intestinale ou urinaire (matières fécales), génitales (sang) ou autre (poussières).

La coquille est en général considérée comme sale lorsque les salissures recouvrent plus de 1/32 de la surface, si celles-ci sont localisées, ou 1/16 si elles sont dispersées (Mertens et al., 2005).

La couleur de la coquille peut être mesurée par réflectométrie ou par spectrométrie de fluorescence (Mertens et al., 2010). Elle est due aux pigments localisés au niveau de la cuticule et au niveau de la coquille elle-même (Lang et Wells, 1987).

La solidité dépend de la nature, de la quantité et de la structure des matériaux déposés. Deux méthodes existent pour évaluer la solidité de la coquille : méthodes indirectes (mesure de l'épaisseur de la coquille, mesure de la densité de l'œuf, test de déformation non destructive de la coquille, analyse des vibrations) et méthodes directes (test de ponction, test de compression quasi statique) (Mertens et al., 2010).

4.3.2. Evaluation de la qualité interne :

4.3.2.1. Qualité de l'albumen :

La qualité de l'albumen est principalement associée à la proportion de blanc épais, exprimée au travers des unités Haugh, grandeur internationalement reconnue (Haugh, 1937). Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un tripode après le cassage de l'œuf sur une surface plane. Cette unité permet de classer les œufs en termes de fraîcheur en quatre classes AA ($UH \geq 72$), A ($78 > UH \geq 55$), B ($54 > UH \geq 31$), C ($UH < 30$) (Sauveur, 1988).

Bien que les unités Haugh est la référence, d'autres méthodes ont été développées telles que la technique de la spectroscopie dans le visible (VIS) et le proche infrarouge (NIR), la résonance magnétique nucléaire (RMN) (Schwagele et al., 2001), la spectrométrie de fluorescence (Karoui et al., 2006).

4.3.2.2. Qualité du vitellus :

La couleur du jaune d'œuf est considérée comme un des principaux critères de qualité. Elle est mesurée visuellement en utilisant l'échelle Roche sur un éventail allant de 01 à 15 (Thapon et Bourgeois, 1994). Elle dépend essentiellement de la qualité des pigments ingérés par la poule. Elle est due à la présence de pigments jaunes d'origine naturelle (xanthophylles comme la lutéine de la luzerne ou la zéaxanthine du maïs) ou de synthèse d'une part, et de pigments rouges (canthaxanthine, citraxanthine) d'autre part (Larbier et Leclercq, 1992).

4.3.2.3. Présence et détection des inclusions :

Classiquement, les inclusions de tache de sang et de viande sont détectées par le mirage. Actuellement des méthodes alternatives se caractérisent par l'exactitude, la rapidité et non destructives sont utilisées, notamment les techniques de spectroscopie visible et proche infrarouge (Mertens et al., 2010).

4.4. Facteurs de variation de la qualité externe et interne de l'œuf :

4.4.1. Effet de l'alimentation sur la qualité interne et externe de l'œuf :

4.4.1.1. Poids de l'œuf :

4.4.1.1.1. Influence de l'alimentation de la poulette :

Le poids de l'œuf dépend principalement de facteurs liés à la poule (origine génétique et surtout âge) mais aussi de son alimentation durant la période de ponte. L'alimentation de la poulette y contribue indirectement en influençant sa maturité sexuelle, son poids vif et sa composition corporelle lors de l'entrée en production (Bouvarel et al., 2010).

4.4.1.1.2. Alimentation de la poule pondeuse :

4.4.1.1.2.1. Effet de la concentration énergétique :

Les poules tendent à surconsommer les aliments les plus caloriques et à sousconsommer les moins énergétiques, ce qui a des conséquences sur le poids de l'œuf. En effet, lors d'une dilution ou d'un enrichissement de l'aliment en énergie, la variation de l'ingéré est une fonction linéaire de la variation de la concentration énergétique de l'aliment (Valkonen et al., 2008).

4.4.1.1.2.2. Effet de la teneur en protéines :

Le poids moyen de l'œuf est fonction de la quantité de protéines ingérées (Valkonen et al., 2008).

La méthionine est le premier acide aminé limitant dans les aliments destinés aux poules pondeuses (Narvaerz-Solarte et al., 2005).

4.4.1.1.2.3. Effet des acides gras :

Une grande part des liquides alimentaires est utilisée pour la synthèse des lipides du jaune, en agissant à la fois sur l'intensité de la vitellogenèse et la composition des dépôts.

Les matières grasses alimentaires influencent le poids de l'œuf. L'effet le plus connu est celui de l'acides linoléique (Balnave et Weatherup, 1974).

Les apports recommandés en acide linoléique dans l'aliment se situent autour de 1% (Grobass et al., 1999).

4.4.1.2. Proportions d'albumen et du jaune :

L'évolution des proportions du jaune et d'albumen est liée principalement à l'âge. Par exemple, chez la poule ISA Brown, entre les périodes 20-26 semaines et de 54-60 semaines, la proportion du jaune augmente de 23,1 à 28,1% tandis que la proportion d'albumen décroît de 63,8 à 59,2% (Zita et al., 2009). Les effets nutritionnels, quant à eux, sont beaucoup plus réduits.

Les proportions des constituants de l'œuf peuvent être légèrement modifiées par la

teneur en protéines de l'aliment. Le pourcentage d'albumen est réduit au profit du jaune (0,4 point) avec un aliment moins riche en protéines (13 vs 16) (Penz et Jensen, 1991).

L'enrichissement de l'aliment en acide linoléique entraîne une légère diminution de la proportion du jaune au profit de l'albumen (Grobas et al., 1999).

4.4.1.3. Couleur du jaune :

Chez la poule, l'efficacité de coloration pour le jaune d'œuf est très variable d'un caroténoïde à un autre, car elle est influencée par l'absorption intestinale, le transfert plasmatique, l'efficacité d'exportation dans les tissus et le métabolisme de dégradation des caroténoïdes (Nys, 2010) (figure 23).



Figure 23 : Jaunes d'œufs de différentes intensités de couleur (Jacob et Pescatore, 2009).

4.4.1.4. Qualité de la coquille :

Le calcium est un nutriment clé de la solidité de la coquille (Nys, 2010). Hartel (1990) indiquent que les besoins en calcium alimentaire sont de l'ordre de 0,9 à 1,2% de la ration pour la période de croissance durant la phase poulette, 2-2,5% pour le stockage l'os médullaire, environ deux semaines avant la ponte, et de 3,5-4% pour la formation de l'œuf en période de ponte.

Les acides gras peuvent s'associer au calcium et au magnésium dans le tractus gastro-intestinal et former des savons insolubles particulièrement lorsque ces acides gras sont saturés. Une augmentation du niveau de calcium alimentaire et l'incorporation de grandes quantités de graisses notamment désaturées (10%) provoquent chez la poule la formation de savon dans l'intestin et une diminution de la rétention calcique (Atteh et Leeson, 1985). Il est également bien établi qu'un excès de phosphore dans l'aliment pénalise la qualité de la coquille. C'est pourquoi les recommandations d'apport en phosphore (0,28% de phosphore non phytique) ont été réduites notablement il y a une vingtaine d'années, sous l'influence du groupe européen d'alimentation minérale de l'association mondiale d'aviculture (Nys, 2001).

Un kg d'aliment standard de poules pondeuses, à base de maïs et de soja, contient 30 mg de Zn, 6 mg de Cu et 20 mg de Mn. Ces niveaux évitent une carence provoquant des anomalies importantes de la coquille. Mais il est d'une pratique courante de supplémenter les poules avec ces trois éléments. La supplémentation

en Mn (50 à 80 mg.kg⁻¹ d'aliment) est particulièrement intéressante, car elle améliore la solidité de la coquille.

Cette supplémentation augmente le poids de coquille, mais aussi ses propriétés mécaniques, indépendamment de l'effet sur la quantité de matériau (Mabe et al., 2003).

4.4.2. Effet de l'âge de la poule :

4.4.2.1. Poids d'œuf et part des compartiments :

Le poids des œufs d'une jeune poule atteint 60 g à 26 semaines puis tend à se stabiliser à 65 g à partir de 50 semaines. Il s'élève à environ 68 g vers 80 semaines d'âge (Beaumont et al., 2010). L'évolution du poids de l'œuf avec l'âge de la poule est accompagnée de l'évolution de différents compartiments principaux de l'œuf (coquille, blanc et jaune) (Ternes et al., 1994). Les variations du poids de l'œuf au cours de l'année de ponte de la poule ainsi que de la part relative des différents compartiments affecte le rapport blanc/jaune (tableau 8). Cette proportion constitue la source la plus importante de variation de la composition d'œuf, du fait de la composition très différente de ces deux compartiments. Cependant, la sélection génétique a réduit la variabilité de la part des compartiments de l'œuf en fonction de l'âge, comparé à des souches plus anciennes (Curtis et al., 2005).

Tableau 8 : Evolution du poids de l'œuf et des différents compartiments de l'œuf au cours de l'année de production (Ternes et al., 1994).

Compartiments \ Âge (semaines)	34/35		50/51		70/71	
	(g)	%	(g)	%	(g)	%
Œuf	61	/	66	/	68	/
Jaune	16	26	19	29	20	29
Coquille	6,1	10	6,6	10	6,7	9,85
Blanc	39	63	41	61	41	61
Rapport blanc/ jaune	2,4		2,2		2,1	

4.4.2.2. Couleur du jaune :

La couleur de la coquille, notamment pour les œufs bruns, s'éclaircit avec le vieillissement des poules (Mills et al., 1991).

Des défauts de présentation de coquilles peuvent être observés chez des poules jeunes en début de production malgré les efforts en sélection (Sauveur, 1988).

4.4.2.3. Solidité de la coquille :

Le taux d'œufs cassés et fêlés est faible en début de production puis augmente au cours du cycle de ponte, pour atteindre à la fin d'une année de production des valeurs autour de 12% voire 20% de certains élevages, selon les conditions de management, d'alimentation et d'environnement (saveur, 1988).

A un âge donné lorsque le poids de l'œuf augmente, la part de coquille diminue également : à 37 semaines, la coquille augmente de 5,3 à 6,1 g si le poids de l'œuf varie de 56 à 66 g. Il est noté cependant que la durée de dépôt de la coquille ne varie pas avec l'âge de la poule, alors que l'intervalle entre deux ovipositions s'accroît notablement au fur et à mesure que l'intensité de ponte diminue (Nys, 1986).

4.4.2.4. Qualité physique et caractéristiques fonctionnelles :

Parallèlement à l'augmentation du poids de l'œuf au cours du cycle de ponte, la part du blanc épais s'accroît au détriment du blanc liquide interne. La qualité moyenne de l'albumen (unité Haugh qui reflète la part du blanc épais) régresse avec le vieillissement du troupeau (Sauveur, 1988 ; Curtis et al., 2005).

La structure de la membrane péri-vitelline se change également avec l'augmentation de la taille de follicule. En fin de ponte, sur de gros œufs, la capacité de cette membrane à garder son intégrité peut alors être réduite induisant une détérioration plus rapide du jaune d'œuf. Par conséquent, le jaune d'œuf se casse facilement lors de sa séparation du blanc.

Curtis et ses collaborateurs en 2005 ont observé une diminution de la résistance de la membrane vitelline de 2,33 à 1,2 g entre le début et la fin de ponte.

4.4.3. Effet de la mue :

En cas de mue forcée après environ un an de production, le poids des premiers œufs pondus lors du second cycle est élevé dès le début de ponte (63-65g environ). Il est moyen en premier cycle de ponte et plafonne à partir du 4^{ème} mois du deuxième cycle de ponte (Sauveur, 1988 ; Ahmed et al., 2005).

4.4.3.1. Qualité interne de l'œuf :

De même que pour un 1^{er} cycle de ponte, les changements de proportion des compartiments d'œuf sont accentués après une mue. La réduction du rapport blanc/jaune est davantage accentuée lors d'un 2^{ème} cycle de ponte. Les œufs de 2^{ème} cycle de ponte relativement plus riches en jaune, sont donc très intéressants pour l'extraction et/ou le traitement du vitellus. La qualité de l'albumen se révèle également améliorée après une mue mais se dégrade plus rapidement au cours du deuxième cycle (Sauveur, 1988).

4.4.3.2. Solidité et forme de la coquille :

De nombreuses publications démontrent une amélioration de la qualité des coquilles d'œufs après la mue et notamment, après une mue artificielle (Bell, 2003). Selon certains auteurs cette amélioration après la mue est associée à celle de l'épaisseur de la coquille (Garlichet al., 1984). Par contre, Ahmed et al. (2005) ont montré, en comparant un échantillon d'œuf de même taille et de même poids de coquille, que la mue améliore les propriétés mécaniques de la coquille indépendamment de son épaisseur.

4.4.4. Impact de la température :

4.4.4.1. Poids de l'œuf :

Une élévation de la température d'élevage au-delà de 16°C se traduit par une réduction du poids d'œuf qui est curvilinéaire. La diminution varie de 0,4g/°C à près d'1g/°C pour des températures supérieures à 25°C (Travel et al., 2010).

4.4.4.2. Part des compartiments d'œuf :

Lorsque la température ambiante augmente le poids de l'œuf mais également ceux de ses constituants sont affectés : le poids du blanc est immédiatement diminué alors que la réduction de celui du jaune apparaît progressivement 6 à 7 jours après l'introduction du stress thermique compte tenu de la durée de dépôt du vitellus. Après quelques jours, la part du jaune semble être aussi affectée que celle de blanc (Sauveur et Picard, 1987).

La qualité initiale de l'albumen (unité Haugh) est peu altérée par une forte température ambiante. Néanmoins, la hauteur du blanc diminue rapidement après la ponte si l'œuf reste trop longtemps stocké dans cet environnement chaud : c'est donc un effet direct de fortes températures sur l'œuf après la ponte (Sauveur et Picard, 1987).

4.4.4.3. Qualité de la coquille :

Des poules soumises à de fortes température (32-35°C) réduisent de 6 à 30% leur quantité de coquille, de 17 à 34% leur consommation alimentaire et de 6 à 13% leur poids d'œuf (Nys, 1995). La chaleur entraîne une diminution de l'épaisseur de coquille et, par conséquent, augmente le risque de casse. La dégradation de la qualité de coquille est moindre lorsque la chaleur est cyclique comparée à une forte chaleur constante (Balnave et Brake, 2005).

4.4.5. Influence des programmes lumineux :

Les principaux éléments décrivant l'influence des programmes lumineux sur la qualité de l'œuf sont la maturité sexuelle, la photopériode et les cycles ahéméraux.

- Maturité sexuelle :
La fonction sexuelle et la mise en place du cycle reproducteur des poulettes sont stimulées par les programmes lumineux appliqués durant la période d'élevage. En élevage des poules pondeuses, une maturité sexuelle trop précoce induit la ponte de petits œufs, une plus grande fragilité de coquille, des troubles de l'oviposition ainsi que l'apparition de doubles ovulations (Sauveur, 1996).
- Photopériode :
L'utilisation d'un programme d'une seule photopériode/jour, cas des programmes classiques, la durée de la photopériode affecte principalement la fréquence des œufs préféchés *in utero* et des œufs déformés. L'utilisation de périodes claires de 15 h plutôt que 18 h

réduit de moitié la fréquence des œufs pré-fêlés *in utero*. En effet, un programme de 15 h plonge les poules dans l'obscurité en fin de journée, ce qui réduit leur activité durant les premières heures de calcification, au cours desquelles la coquille en formation se révèle encore très fragile (Sauveur et Picard, 1987).

- Cycles ahéméraux :
Ces cycles correspondent à des cycles jour/nuit qui ne durent pas 24 h (Kouba et al., 2010). Ils correspondent à une photopériode quotidienne distribuée en une seule fois mais dont la durée « jour + nuit » est légèrement inférieure ou supérieure à 24 h. Deux types de cycles ahéméraux sont distingués (Sauveur et Picard., 1987 ; Shanawany, 1990 ; Sauveur, 1996) :
- Cycles ahéméraux supérieurs à 24 h :
Ces cycles correspondent à une durée (jour + nuit) supérieure à 24 h. Dans ces cycles, le poids d'œufs'accroît du fait de l'augmentation du temps passé dans l'oviducte : de 4-5% pour les cycles de 26 h, 6-8% pour 27 h et jusqu'à 11% pour ceux de 28 h ; le poids du jaune et du blanc augmente simultanément alors que l'épaisseur de l'albumen (unités Haugh) diminue. Ces longs nycthémers augmentent le poids de coquille en raison de l'accroissement du temps de séjour de l'œuf en formation dans l'utérus.
- Cycles ahéméraux inférieurs à 24 h :
Ces cycles courts améliorent la coïncidence entre la période claire pendant laquelle les poules consomment l'aliment contenant le calcium et la période sombre pendant laquelle se forme la coquille. L'épaisseur de la coquille est améliorée de 5% avec ce type de cycle court (< 24 h) qui ne désynchronise pas les ovipositions du troupeau.

4.4.6. Effet de l'héritabilité :

La perspective de l'abandon de la cage conventionnelle en 2012 dans l'Union Européenne et le développement de modes de production alternatifs suscitent des questions sur la pertinence des paramètres génétiques estimés sur des animaux élevés en cages individuelles. La sélection des pondeuses au sol représente actuellement un nouvel enjeu pour le sélectionneur : avec les techniques actuelles, l'utilisation de nids- trappe induit une perte d'information et réduit la valeur des héritabilités. La définition de méthodes et de critères de sélection pour la ponte au sol suscite de nouveaux travaux où la qualité de l'œuf, en particulier sanitaire, devra également être prise en compte (Beaumont et al., 2010).

4.4.6.1. Solidité de la coquille :

Présente une héritabilité élevée (0,53) et une forte corrélation favorable avec les mesures classiques de résistance de la coquille. De plus, elle peut être utilisée comme un prédicteur de la probabilité de casse à l'emballage (Bain et al., 2006).

4.4.6.2. Composantes quantitatives de l'œuf :

Le poids moyen de l'œuf est réparti en trois composantes : la coquille (9,5%), le vitellus (26,5%) et l'albumen (63%). Cette répartition peut varier en fonction de l'origine génétique de la poule, de son âge et de facteurs du milieu. Le croisement peut avoir un effet significatif sur les taux d'albumen et de vitellus mais pas sur le pourcentage de coquille ni sur la force de rupture (Tixier-Boichard et al., 2006).

4.4.6.3. Qualité technologique :

L'une des exigences technologiques des entreprises agroalimentaires est d'avoir des valeurs d'unités d'Haugh élevées pour éviter toute erreur liée à la fraîcheur des œufs. Ce caractère présente une héritabilité moyenne quel que soit le type de souche. Les autres critères de qualité notés en même temps que les unités Haugh sont la présence de taches de sang et d'inclusions dites « de viande ». Ces caractères ont une héritabilité faible, de l'ordre de 0,09. La qualité du jaune peut se traduire par la mesure de la couleur. Ce critère n'est que très peu héritable, il dépend surtout de la quantité et de la couleur des pigments ingérés par la poule, ce qui n'en fait pas un critère intéressant pour les sélectionneurs (Beaumont et al., 2010).

Effet de l'alimentation sur la poule penseuse.

Chapitre I : Effet de l'alimentation sur le poule pondeuse:

L'alimentation des poulettes puis des poules influence notablement la masse d'œuf globale via le nombre ou le poids des œufs mais ne peut pas affecter la composition des constituants majeurs de l'œuf, en ne modifiant d'ailleurs que très modérément les proportions d'albumen et de jaune. En revanche, certains constituants des aliments influencent directement leur teneur dans l'œuf : c'est le cas des acides gras et des nutriments présents en quantité mineure tels que les vitamines ou les oligo-éléments mais aussi des caroténoïdes du jaune. Enfin, la modification du mode de distribution ou de la composition de l'aliment au cours de la journée peut affecter la production et la qualité de l'œuf, probablement du fait du cycle journalier de formation de l'œuf. Cet article présente différents critères de la qualité de l'œuf susceptibles d'être modifiés par l'alimentation des poules. Il s'agit tout d'abord du poids de l'œuf et la solidité de la coquille, éléments de rémunération de l'éleveur, des proportions d'albumen et de jaune, qui intéressent le transformateur, et enfin de la composition en acides gras, minéraux, vitamines et couleur du jaune, importants pour les consommateurs.

1 / Variation du poids de l'œuf :

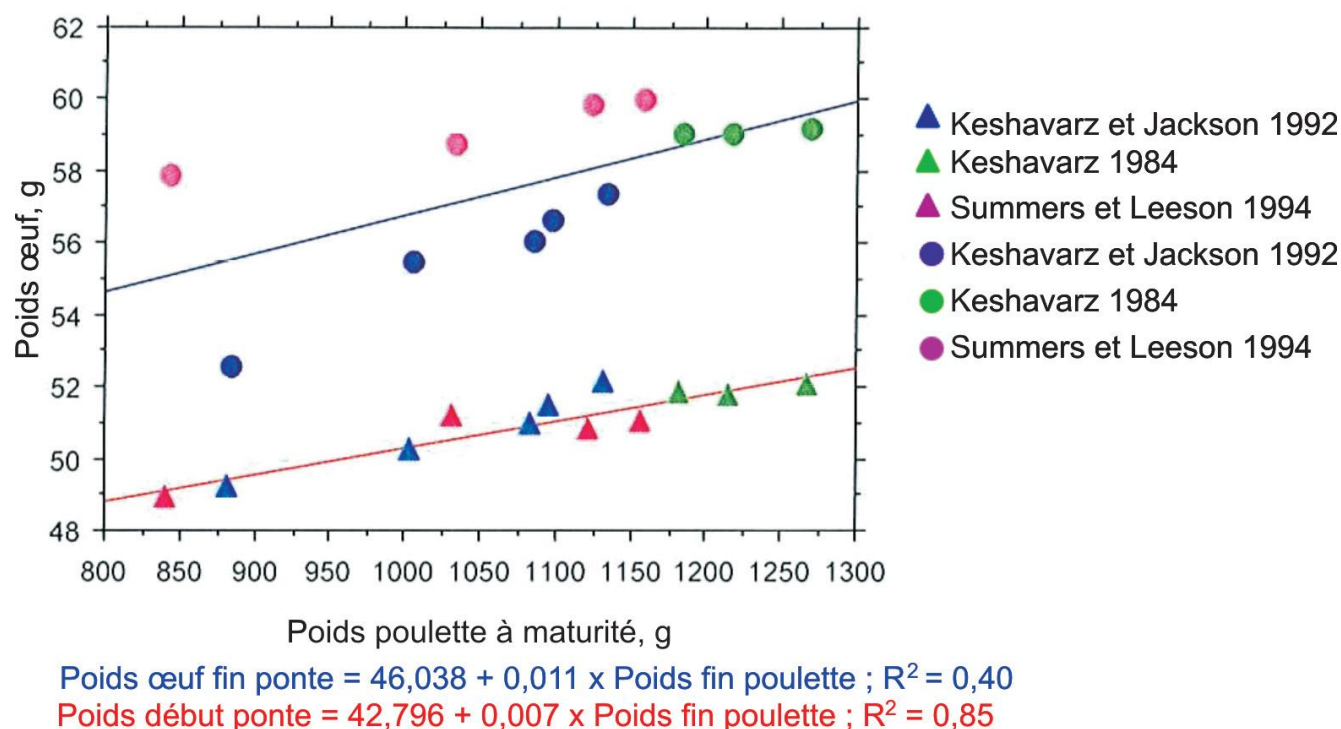
Le poids de l'œuf dépend principalement de facteurs liés à la poule (origine génétique et surtout âge) mais aussi de son alimentation durant la période de ponte. L'alimentation de la poulette y contribue indirectement en influençant sa maturité sexuelle, son poids vif et sa composition corporelle lors de l'entrée en production.

1.1 / Influence de l'alimentation de la poulette :

L'alimentation de la poulette influence sa courbe de croissance et donc son poids vif et sa composition corporelle au moment de l'entrée en ponte. Par là même, elle peut modifier les caractéristiques ultérieures de sa production d'œufs. Plusieurs expérimentations ont étudié l'effet de la teneur en protéines de l'aliment de la poulette sur la production d'œufs. Keshavarz (1984) a mesuré l'effet de différents niveaux protéiques : 18% de 0 à 6 semaines d'âge, puis respectivement de 6 à 14 et 14 à 20 semaines : 15/12, 12/12 ou 12/15%. Keshavarz et Jackson (1992) ont expérimenté d'autres enchaînements, respectivement de 0 à 6, 6 à 12 et 12 à 18 semaines : 20, 16 et 14% de protéines, ou 16, 13,5 et 11,5%. Pour cette dernière séquence, l'aliment a été supplémenté ou pas avec de la méthionine, lysine, tryptophane et isoleucine. Summers et Leeson (1994) ont mesuré l'effet de quatre teneurs en protéines, depuis l'éclosion jusqu'à 16 semaines d'âge (20, 17, 14 et 11%). Ces différents traitements alimentaires apportés durant la phase de croissance ont des effets sur le poids de la poule à l'entrée en ponte (+ 32 g par point de protéines supplémentaire) ($R^2 = 0,94$; $P < 0,05$) à 16 semaines. La compilation de ces données souligne la forte relation entre poids de la poule à l'entrée en ponte et poids moyen de l'œuf en début de ponte ($R^2 = 0,85$, $P < 0,01$) (Figure 24) sans qu'il soit noté

d'effet significatif sur le taux de ponte pour la période entière. Le gain sur le poids d'œuf durant la période d'entrée en ponte est de 0,7 g par 100 g de poids vif supplémentaire de la poulette. L'effet sur le poids de l'œuf durant le reste de la période de ponte est plus variable selon les expériences (Figure 24). La composition corporelle des poulettes lors de l'entrée en ponte paraît également importante. Une teneur énergétique plus élevée (+ 215 Kcal/kg de 0 à 6 semaines et + 357 Kcal/kg de 6 à 18 semaines) ne modifie pas le poids vif à 20 semaines mais augmente l'état d'engraissement (+ 7%) et réduit le poids moyen des œufs de 20 à 64 semaines (55,0 vs 56,1 g) (Cheng et al 1991). La gestion des apports calciques entre les stades «poulette» et «ponte» est par ailleurs importante et conditionne aussi le poids de l'œuf via leur effet sur l'ingéré alimentaire. La distribution d'un aliment présentant du calcium particulière avant la ponte, comparé à un aliment pauvre en Ca (0,89%), améliorera la consommation future d'aliment de la poule et le poids de l'œuf de 25 à 32 semaines (+ 1,6 g) (Classen et Scott 1982). Un aliment trop pauvre en calcium durant la phase de transition entraîne un engraissement excessif du fait d'une surconsommation de l'aliment (Roland 1986). Il est donc important d'introduire un régime intermédiaire à environ 2,5% de calcium, notamment sous forme particulière, pour permettre aux poules d'adapter leur ingéré calcique en fonction de leur besoin, et ce, deux à trois semaines avant la période attendue de production du premier œuf.

Figure 24. Poids moyen de l'œuf du début et de fin de ponte en fonction du poids vif de la poule à la maturité sexuelle (▲ : début ponte ; ● : fin ponte).



1.2 / Alimentation de la poule pondeuse :

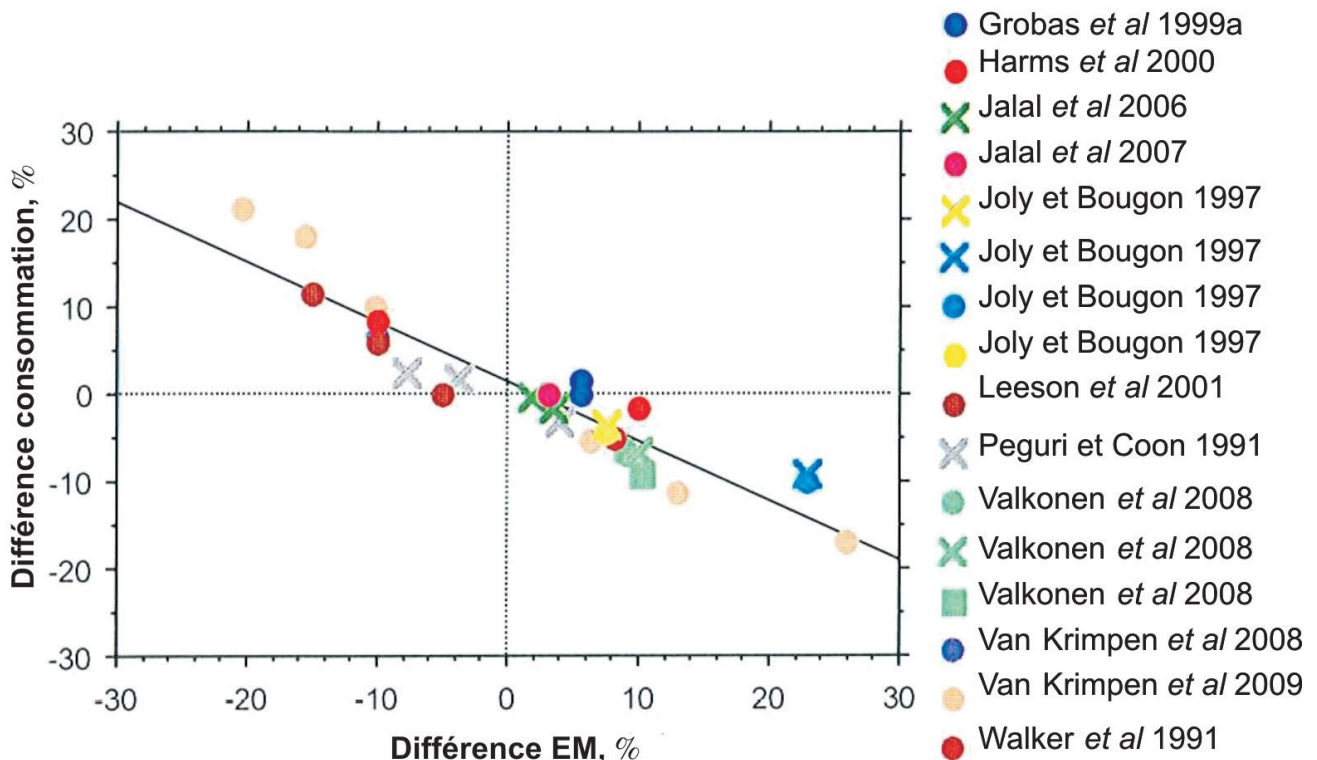
a) Effet de la concentration énergétique de l'aliment

Les poules tendent à surconsommer les aliments les plus caloriques et à sous-consommer les moins énergétiques, ce qui a des conséquences sur le poids de l'œuf . En effet, lors d'une dilution (sable) ou d'un enrichissement de l'aliment en énergie sous la forme entre autres de matières grasses, la variation de l'ingéré est une fonction linéaire de la variation de la concentration énergétique de l'aliment (Peguri et Coon 1991, Walker et al 1991, Joly et Bougon 1997, Grobas et al 1999a, Harms et al 2000, Leeson et al 2001, Jalal et al 2006, 2007, Valkonen et al 2008, Van Krimpen et al 2008, 2009) (figure 25) :

Variation de consommation (%) = 1,452 - 0,685 x Variation d'énergie (%),

$R^2 = 0,875$ Selon cette régression, la poule adapte sa consommation à la teneur

Figure 25 . Adaptation de la consommation en fonction de la concentration énergétique de l'aliment (Différence EM < 0 : dilution avec du sable ou > 0 : ajout de matières premières énergétiques dont matières grasses) ; (X : début ponte ; ● : milieu ponte ; ■ : fin ponte).



Différence consommation, % = 1,452 - 0,685 x Différence EM, % ; $R^2 = 0,87$

Énergétique de l'aliment. Cependant, la pente de la réponse n'est pas proportionnelle à une substitution quantitativement exacte. Lors d'une dilution énergétique, les poules pondeuses augmentent insuffisamment leur ingestion pour atteindre le même ingéré énergétique.

Inversement, dans le cas d'un enrichissement, les poules ne la baissent pas suffisamment pour atteindre ce même ingéré énergétique. Ainsi, la consommation d'énergie est significativement supérieure avec un aliment plus concentré, en moyenne de 1,3% pour 100 Kcal ($P < 0,01$, figure 3) (Peguri et Coon, 1991, Walker et al 1991, Joly et Bougon 1997, Grobas et al 1999a, Harms et al 2000, Leeson et al 2001, Jalal et al 2006, 2007, Valkonen et al 2008, Van Krimpen et al 2008, 2009). Le type de substitution (sable ou matières premières) ne modifie pas la fonction d'ajustement.

Le poids moyen de l'œuf augmente légèrement avec l'augmentation de l'ingéré énergétique ($R^2 = 0,33$) (Peguri et Coon 1991, Walker et al 1991, Joly et Bougon 1997, Grobas et al 1999a, Harms et al 2000, Leeson et al 2001, Jalal et al 2006, 2007, Valkonen et al 2008) (figure 26). La variation est en moyenne de 0,96 g pour un écart d'ingestion de 10 Kcal. Les points reliés sur la figure confirment cette augmentation pour la majorité des expérimentations, avec un effet moins marqué pour les plus fortes consommations d'énergie journalières.

b) Effet de la teneur en protéines et acides aminés de l'aliment :

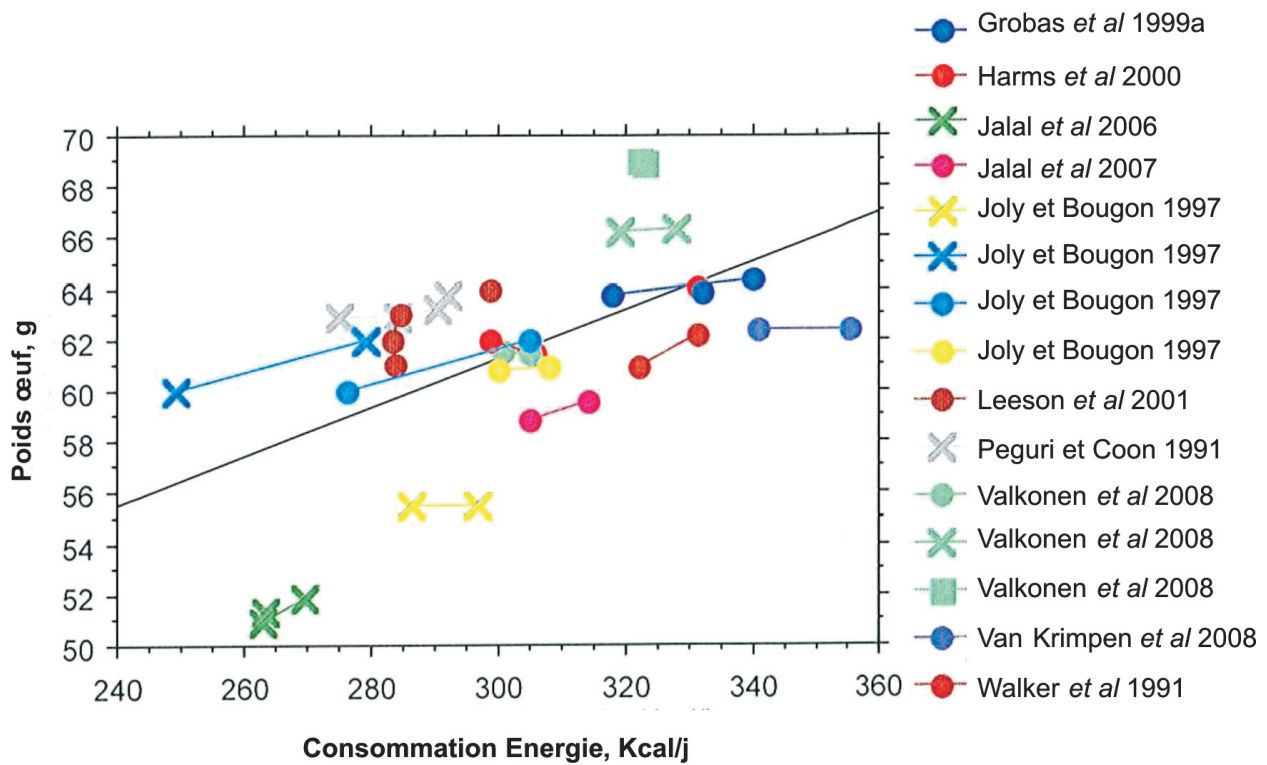
Le poids moyen de l'œuf est fonction de la quantité de protéines ingérées ($R^2 = 0,58$) (Peguri et Coon 1991, Walker et al 1991, Joly et Bougon 1997, Grobas et al 1999a, Harms et al 2000, Leeson et al 2001, Jalal et al 2006, 2007, Valkonen et al 2008, Van Krimpen et al 2008) (figure 27).

L'ingestion d'un gramme de protéines par jour en plus entraîne en moyenne une augmentation du poids de l'œuf de 1,3 g.

La méthionine est le premier acide aminé limitant dans les aliments destinés aux poules pondeuses. Plusieurs publications évaluent l'effet de la teneur en méthionine sur le poids de l'œuf au moment du pic de ponte, par ajout de DL-méthionine (Schütte et al 1994, Bertram et al 1995a, 1995b, Dunner et Bessei 2002, Narvaerz-Solarte et al 2005), la couverture en protéines des aliments étant assurée. Le poids de l'œuf suit une relation curvilinéaire en fonction de la teneur en méthionine, avec une asymptote à 0,36-0,38% de méthionine dans l'aliment (figure 28).

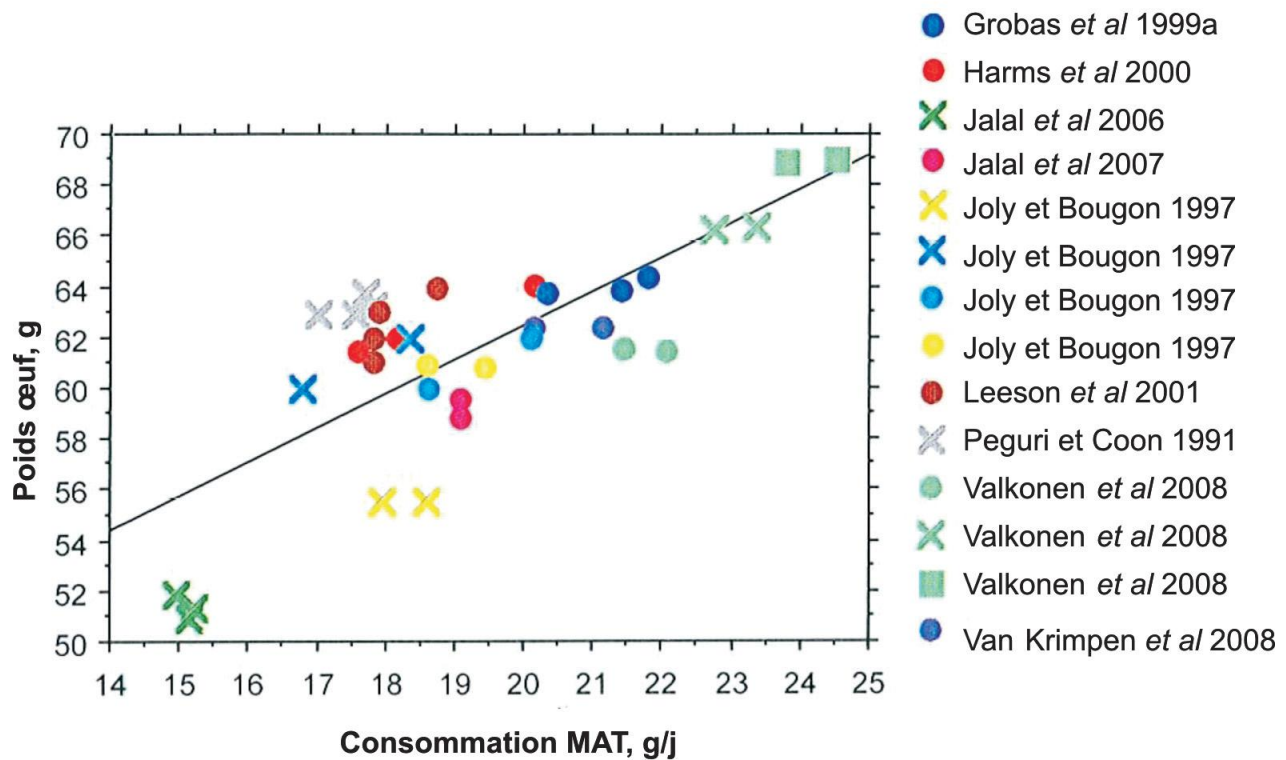
Calderon et Jensen (1990) observent les mêmes résultats, à deux stades de ponte (32-35 semaines et 59-63 semaines), avec des teneurs en protéines de 16 ou de 19%. Toutefois, pour une teneur plus faible en protéines (13%), le poids d'œuf stagne à partir d'une teneur en méthionine plus basse, de l'ordre de 0,30%, indiquant que dans ces conditions, d'autres acides aminés sont limitants. Bregendahl et al (2008) ont récemment mesuré les réponses de poules Hy-Line W-36 âgées de 28 à 34 semaines, à des teneurs variées en acides aminés (lysine, isoleucine, méthionine, thréonine, tryptophane et valine), avec un aliment de base pauvre en protéines (12,3%). L'acide aminé qui présente le plus fort effet sur le poids de l'œuf lorsqu'il est limitant est la méthionine, puis la thréonine, la valine et enfin la lysine. Le tryptophane n'a pas d'effet.

Figure 26. Consommation d'énergie : impact sur le poids de l'œuf (X : début ponte ; _ : milieu ponte ; _ : fin ponte).



$$\text{Poids œuf, g} = 32,581 + 0,0986 \times \text{Consommation Energie, Kcal/j} ; R^2 = 0,33$$

Figure 27. Poids de l'œuf (g) en fonction de l'ingestion de protéines (g/j) ; (X : début ponte ; _ : milieu ponte ; _ : fin ponte).



$$\text{Poids œuf, g} = 35,547 + 1,347 \times \text{Consommation MAT, g} ; R^2 = 0,58$$

c) Effet spécifique des acides gras

Une grande part des lipides alimentaires est utilisée pour la synthèse des lipides du jaune, en agissant à la fois sur l'intensité de la vitellogenèse et la composition des dépôts. Les matières grasses alimentaires influencent le poids de l'œuf.

L'effet le plus connu est celui de l'acide linoléique (Balnave et Weatherup 1974). Les apports recommandés en acide linoléique dans l'aliment se situent autour de 1% (Whitehead 1981, Grobas et al 1999b).

Néanmoins, la réponse est plus importante lorsque l'aliment est enrichi à la fois en acide linoléique mais aussi en acide oléique présent par exemple dans l'huile d'olive (Whitehead 1981) ou l'huile de soja (Dunicke et al 2000). Ces acides gras très facilement absorbables augmentent la rétention des autres acides gras (Whitehead 1981).

L'effet de l'enrichissement alimentaire en acide linoléique sur le poids de l'œuf est plus prononcé chez les poules en début de ponte (22-32 semaines) (Whitehead et al 1991). Il est nul chez des animaux âgés (94-106 semaines) (Yousefi et al 2006).

d) Effet de différentes matières premières

Le maïs, le blé et le tourteau de soja sont les principales matières premières utilisées pour l'alimentation des poules pondeuses. L'utilisation des protéagineux dans l'alimentation des poules pondeuses en substitution partielle de ces matières premières peut détériorer le poids de l'œuf. Le pois, incorporé à des taux de 10, 15, 20 et même 30%, ne modifie généralement pas le taux de ponte mais dégrade légèrement le poids de l'œuf (jusqu'à 3,1%), sans effet notable des facteurs antitrypsiques des variétés d'hiver (Lacassagne 1988a).

Les effets de la féverole sur le poids de l'œuf sont clairement établis, du fait de la présence de facteurs antinutritionnels, dont la vicine-convicine (Lacassagne 1988a, Castanon et al 1990, Grosjean et al 2000, Lessire et al 2005).

La perte relative de poids d'œuf (% du témoin sans féverole) est proportionnelle au taux d'incorporation de la féverole dans l'aliment. Le taux de féverole à partir duquel s'observe une dépression du poids de l'œuf semble se situer aux environs de 7% (Lacassagne 1988a).

L'incorporation de 15% de féverole sans vicine ni convicine améliore significativement le poids d'œuf sans toutefois atteindre celui de poules ne recevant pas de féverole (- 1,4%) (Grosjean et al 2000). Toutefois, Dunner (2003) n'a pas observé de différences de poids d'œuf avec l'utilisation d'une variété à faible teneur en vicine et convicine (Divine) comparée à une variété conventionnelle (Condor) incorporées à hauteur de 30% dans l'aliment. Le colza, d'une manière générale, déprime le poids de l'œuf. D'après Lacassagne (1988b), la perte de poids

d'œuf est proportionnelle au taux d'incorporation du tourteau de colza dans l'aliment, avec un effet plus marqué du colza de type ancien, à fort taux en glucosinolates comparé au colza à faible teneur. Le taux de tourteau de colza à partir duquel s'observe une dépression du poids de l'œuf semble se situer aux environs de 8-9% (Lacassagne 1988b).

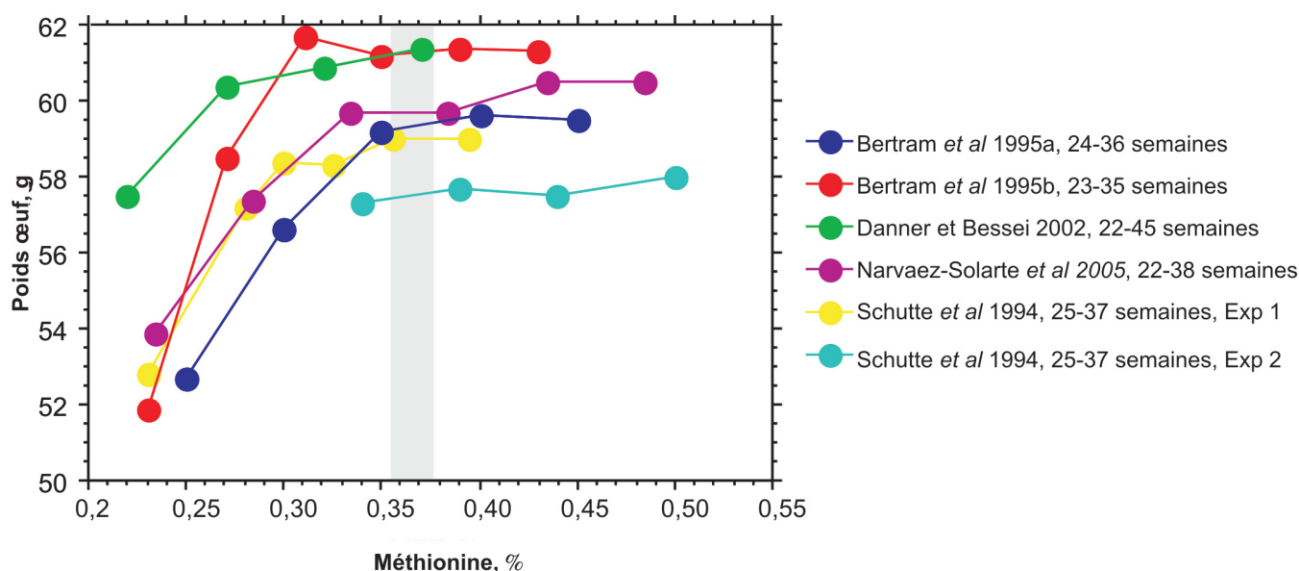
Plus récemment, Ciurescu (2009) a toutefois montré, sur une période courte (40-47 semaines), que le tourteau de colza pouvait être incorporé à raison de 15% sans effet sur le taux de ponte et le poids moyen de l'œuf. Par ailleurs, les œufs issus de poules de souche à œufs bruns pouvaient développer jusqu'à présent un goût de poisson lorsque les poules sont nourries avec du colza.

Ainsi, son taux d'incorporation est généralement limité à 5% pour les œufs colorés. Cette anomalie, liée à un polymorphisme simple du gène de l'enzyme responsable de la destruction dans le foie du triméthylamine provenant essentiellement du métabolisme de la sinapine présente dans le colza (Honkatukia et al 2005), tend à disparaître du fait d'une sélection sur ce critère.

e) Effets de la présentation de l'aliment

La poule pondeuse ingère des aliments afin de répondre à des besoins mais aussi en fonction de ses préférences et de la connaissance qu'elle a de l'aliment. Des interactions entre des préférences alimentaires et des régula-

Figure 28. Poids moyen de l'œuf (g) en fonction de la teneur en méthionine totale de l'aliment (%).



tions physiologiques interviennent, conditionnant la prise alimentaire et par voie de conséquence la production et le poids d'œufs.

Les volailles consomment les particules suffisamment grosses pour être saisies efficacement par le bec (Rogers 1995). Ces préférences correspondent à une

optimisation énergétique (bénéfice/ coût) du comportement alimentaire (Collier et Johnson 2004). Les poules pondeuses sélectionnent ainsi leur prise alimentaire en fonction de la taille relative des particules par rapport au bec. Avec un aliment présenté sous forme de miettes (72% des particules > 1,18 mm), Portella et al (1988) ont clairement montré la préférence immédiate des poules pondeuses pour les plus grosses particules. Dans le cas d'un mélange de blé entier et d'un aliment sous forme de farine, les animaux ingèrent Préférentiellement les particules dont la taille est supérieure à 2 mm (figure 29) (Dezat et al 2009).

Par ailleurs, les poules ne montrent pas une forte préférence pour les plus grosses particules quand l'aliment est présenté sous forme de farine relativement homogène et contenant majoritairement des particules «moyennes» comprises entre 0,60 et 2,36 mm, contenant des quantités appréciables de calcium et protéines, suggérant un rôle moteur de l'ingestion calcique (Portella et al 1988).

Aussi quelle que soit la présentation, les petites particules (< 0,60 mm) ont un faible taux de disparition, la poule ayant toujours tendance à les délaissier (Portella et al 1988). Ces particules fines, contenant des nutriments comme des vitamines, minéraux et acides aminés, percolent au fond de la mangeoire (Tang et al 2006).

Par ailleurs, Joly (2004) indique que la distribution d'une farine fine comparée à une mouture plus grossière (31 vs 9% de particules < 0,5 mm) entraîne une réduction de la consommation d'aliment, du taux de ponte et du poids d'œuf (- 0,9g). L'adjonction de petites quantités de matières grasses ou d'eau peut pallier en partie ce problème en «collant» les particules, facilitant ainsi la prise alimentaire (Tang et al 2006).

L'utilisation d'aliment humide est, quant à elle, assez peu documentée chez la poule pondeuse. Elle stimule la consommation en matière sèche (Tadtiyanant et al 1991, El Kaseh et Forbes 1995). L'utilisation d'un aliment humide fermenté caractérisé par un pH assez faible (4,5) réduit au contraire l'ingestion de matière sèche (110 vs 125 g/j) de 18 à 37 semaines, tout en

améliorant significativement le poids de l'œuf mais seulement à partir de la 30^{ème} semaine (Engberg et al 2009). La forme physique de l'aliment interagit avec la capacité de la poule à ajuster son ingéré énergétique à la concentration énergétique de l'aliment. Les poules mangent plus d'un aliment dilué avec des fibres (45% de son de blé) quand il est présenté sous forme granulée qu'en farine (Vilariño et al 1996).

Une présentation en miettes ou en granulé permet ainsi d'améliorer la consommation d'énergie de régimes dilués.

De plus, les volailles sont capables d'apprentissage, leur permettant de reconnaître leur aliment et donc de mieux s'adapter à leur environnement, en améliorant leur capacité de choix. Pour exemple, le changement brusque de forme d'aliment, d'une farine à de grosses miettes (> 2,36 mm) entraîne une réduction immédiate et

importante de l'ingéré (- 28%) (Portella et al 1988) susceptible d'affecter le poids de l'œuf .

f) Effets du mode de distribution

a) Dissociation des apports protéiques dans la journée

Les premiers travaux réalisés sur la dissociation des apports protéiques dans la journée datent des années 70. Ils ont été guidés par l'hypothèse qu'à l'instar du calcium, un moment adéquat puisse être déterminé dans la journée pour apporter les acides aminés nécessaires à la formation de l'albumen. En effet, tandis que les lipoprotéines du jaune sont synthétisées en continu par le foie, les protéines de l'albumen seraient synthétisées dans le magnum sur un pas de temps de 24 h et secrétées dans l'oviducte le matin, l'intervalle entre deux ovipositions successives étant en général de 24 h.

Leeson et Summers (1978) ont dissocié les apports protéiques et énergétiques (le matin) des apports en calcium (l'après-midi). Reichmann et Connor (1979) ont apporté un aliment énergétique le matin, et protéique et calcique l'après-midi. Dans les deux cas, la consommation et le poids des œufs ont été réduits.

Des travaux plus récents avec des génotypes plus performants indiquent qu'il est possible de dissocier les apports protéiques sans détérioration du poids de l'œuf , en préférant des apports faibles le matin et plus élevés l'après- midi. Un apport en protéines réduit l'après-midi (13 au lieu de 16% de 14 h à 8 h en incluant la nuit) entraîne une réduction du poids de l'œuf (- 1,8 g), quelle que soit la teneur en protéines de l'aliment distribué le matin (13 ou 16%) (Penz et Jensen 1991). En revanche, un apport en protéines réduit le matin et élevé l'après-midi permet de maintenir le poids de l'œuf .

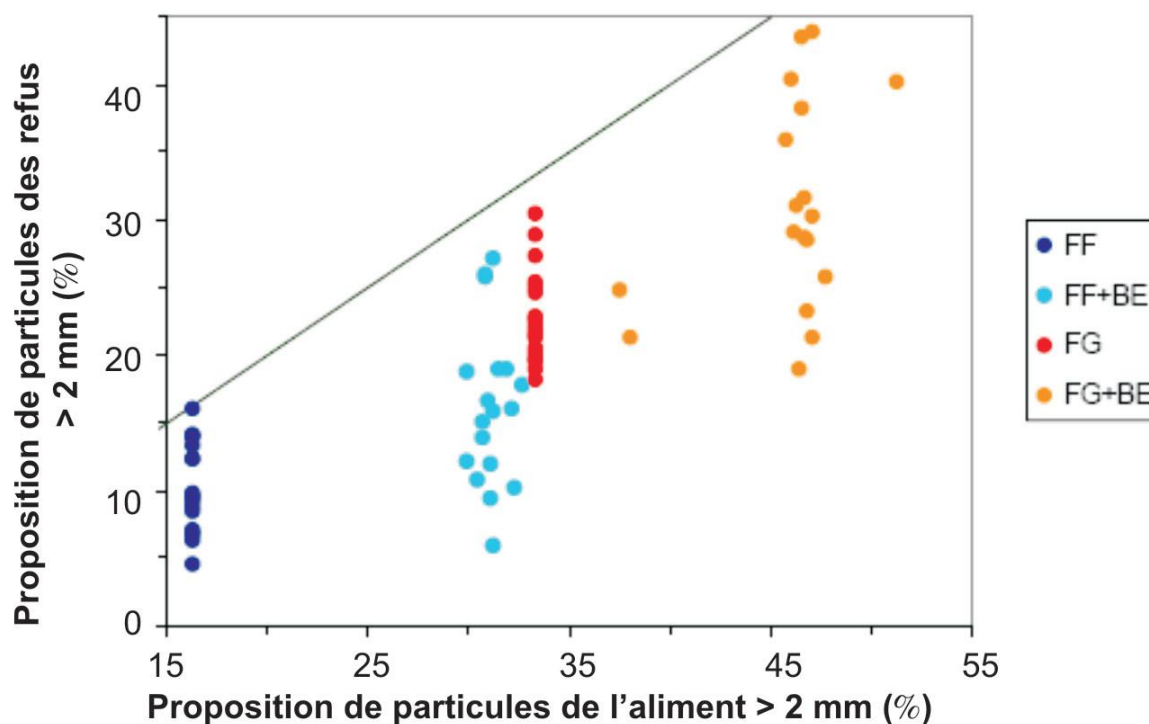
Keshavarz et al (1998b) ont procédé également à des alternances d'aliments variant par leur teneur en protéines dans la journée (10 et 16%). Comparé à un aliment témoin protéique (16%) distribué toute la journée, la distribution de l'aliment le plus protéique l'après-midi permet de maintenir le poids moyen de l'œuf , ce qui n'est pas le cas lorsqu'il est distribué le matin (Keshavarz et al 1998b).

Cette différence, observée entre matin et après-midi, peut s'expliquer par une consommation d'aliment plus faible le matin (40%), pouvant entraîner un déficit en acides aminés.

Ces travaux nécessitent des investigations supplémentaires en préférant des apports protéiques faibles le matin et plus élevés l'après-midi et en évaluant les rejets azotés.

Figure 29. Granulométrie des refus en fonction de la granulométrie de l'aliment distribué sous forme de farine mélangée ou non à du blé entier (Dezat et al 2009).

Chaque point du graphique correspond au refus d'une poule placée en cage individuelle. Les résultats obtenus, positionnés par rapport à la bissectrice ($y = x$), indiquent que les animaux ingèrent préférentiellement les particules les plus grossières



FF : farine fine, FG : farine grossière, FF + BE : farine fine en mélange avec blé entier, FG + BE : farine grossière en mélange avec blé entier (Dezat et al 2009).

b) Utilisation de graines entières :

D'autres travaux ont cherché à valoriser des céréales entières dans l'aliment.

Ces graines sont apportées avec un aliment complémentaire concentrant l'apport de protéines, minéraux et vitamines en mélange ou par séquence. Blair et al (1973) ont apporté par séquence des céréales (blé, orge et maïs) le matin et un aliment complémentaire l'après-midi, sans aucune détérioration du poids de l'œuf. Il en a été de même avec un apport simultané des céréales et du complémentaire. Plus récemment, Umar Faruk et al (2010) ont obtenu des résultats similaires avec une distribution de blé entier le matin et d'un aliment complémentaire l'après-midi,

ainsi qu'avec un mélange des deux fractions. Il est de plus à souligner que l'efficacité alimentaire est notablement améliorée avec la distribution séquentielle

de blé et d'un aliment complémentaire (+ 5%, $P < 0,01$), ce qui n'est pas le cas avec le mélange. Robinson (1985) a observé une dégradation du poids de l'œuf avec la distribution d'un aliment concentré en protéines le matin et de céréales entières l'après-midi. Ceci peut s'expliquer par un ordre de distribution des aliments (protéiques et énergétiques) non adéquats, comme cela a été observé par Keshavarz et al (1998b).

L'utilisation à la ferme de céréales entières avec un aliment complémentaire présente plusieurs avantages : réduction du transport des céréales et du coût énergétique lié au broyage, baisse du coût de production du fait de l'amélioration de l'efficacité alimentaire. Toutefois ce système nécessite de disposer de deux silos et d'être capable de contrôler avec précision les niveaux d'apport de l'aliment complémentaire et de la céréale.

2 / Variation des proportions d'albumen et de jaune :

L'évolution des proportions de jaune et d'albumen est liée principalement

à l'âge. Pour exemple, chez la poule ISA Brown, entre les périodes de 20-26 semaines et de 54-60 semaines, la proportion de jaune augmente de 23,1 à 28,1% tandis que la proportion d'albumen décroît de 63,8 à 59,2% (Zita et al 2009).

Les effets nutritionnels, quant à eux, sont beaucoup plus réduits.

2.1 / Effet de la teneur en protéines et en acides aminés :

Les proportions des constituants de l'œuf peuvent être légèrement modifiées par la teneur en protéines de l'aliment.

Le pourcentage d'albumen est réduit au profit du jaune (0,4 point) avec un aliment moins riche en protéines (13 vs 16%) (Penz et Jensen 1991). Lorsque l'aliment est appauvri en protéines (18,9 vs 14,4% de 20 à 43 semaines, 16,3 vs 13,8% de 44 à 63 semaines), Novak et al (2006) observent que le pourcentage d'albumen, les teneurs en protéines du blanc et du jaune sont légèrement réduits (respectivement 61,1 vs 60,6%, 10,37 vs 9,67% et 15,95 vs 15,70%) sans modifier le pourcentage de jaune (26,2%).

L'augmentation des apports en méthionine (0,28 et 0,43%) entraîne une amélioration du poids de l'œuf sans affecter les pourcentages de blanc et de jaune (Shafer et al 1996). Il en est de même pour des apports croissants en lysine (0,70 à 1,58%) à partir de la 45ème semaine d'âge. Lorsque le poids de l'œuf est augmenté, les proportions de blanc et de jaune ne sont pas affectées (Prochaska et al 1996). En revanche, avec des apports croissants de lysine (0,72 à 1,37%) à partir de la 26ème semaine d'âge et sous des températures plus élevées, la proportion de blanc tend à diminuer au profit du jaune, avec 0,5 point de différence pour les deux critères entre les régimes extrêmes, alors que le poids d'œuf n'est pas modifié

(Prochaska et al 1996). Ces résultats suggèrent que dans des situations particulières, des légères compensations sont possibles entre le blanc et le jaune.

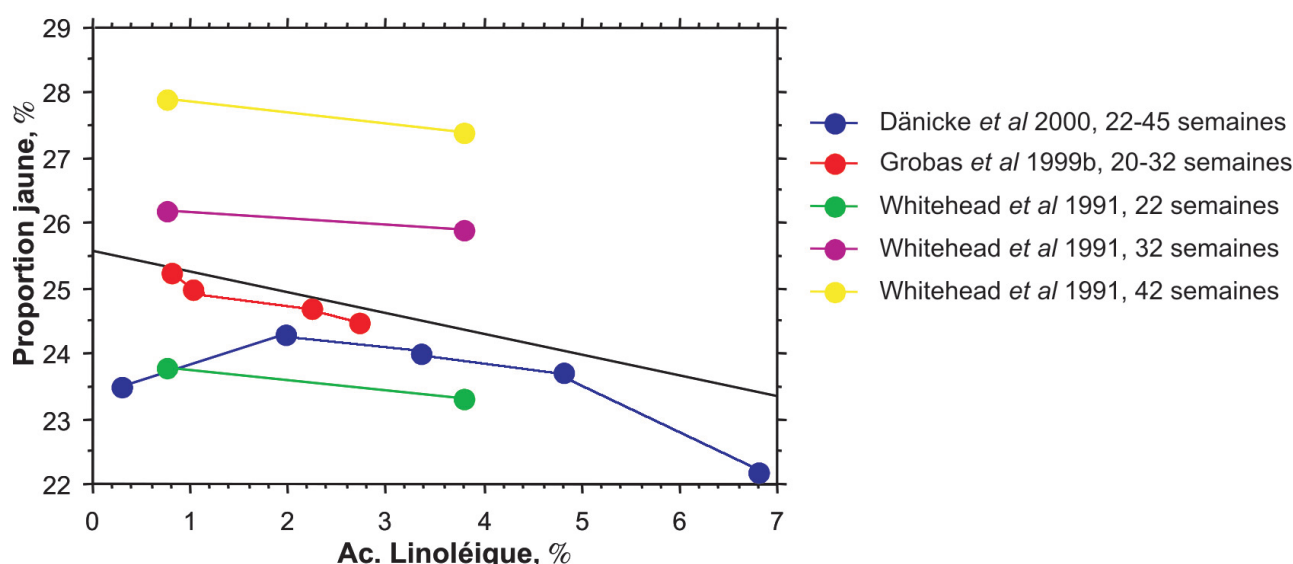
2.2 / Effet des acides gras

L'enrichissement de l'aliment en acide linoléique entraîne une légère diminution de la proportion de jaune au profit de l'albumen (Whitehead et al 1991, Grobas et al 1999b, Dunicke et al 2000) (figure 30).

2.3 / Effet du mode de distribution

La distribution séquentielle de deux aliments variant par leur teneur en protéines (16 et 13%) entraîne, avec une réduction du poids de l'œuf, une légère réduction du pourcentage d'albumen (- 0,6 point) au profit du jaune, lorsque

Figure 30. Proportion de jaune en fonction de la teneur en acide linoléique de l'aliment.



$$\text{Proportion jaune, \%} = 25,569 - 0,317 \times \text{Ac. Linoléique, \%} ; R^2 = 0,15$$

La proportion de jaune dans l'œuf est mesurée pour différentes teneurs en acide linoléique dans l'aliment. Chaque point correspond à une mesure moyenne réalisée dans le cadre d'une publication (sur une période ou un âge donnés)

l'aliment le moins protéique est distribué l'après-midi (Penz et Jensen 1991).

Par ailleurs, avec des alternances d'aliments variant par leur teneur en protéines dans la journée (10 et 16%) il n'y a ni modification du poids moyen de l'œuf ni des pourcentages d'albumen et de jaune (Keshavarz et al 1998b). D'après l'étude réalisée par Umar-Faruk et al (2010), l'utilisation de graines entières de blé en mélange avec un aliment protéique complémentaire ou par séquences (graines entières le matin et complémentaire l'après-midi) de 19 à 46 semaines, ne modifie pas significativement le pourcentage d'albumen. Le pourcentage de jaune est quant à lui réduit sur la période 27-37 semaines avec une distribution séquentielle comparée à une alimentation en mélange des mêmes matières premières. Cet effet est conjoint à une prise de poids plus faible des animaux soumis à l'alimentation séquentielle associée à une amélioration de l'indice de consommation.

3 / Variation de la composition en acides gras

Le profil en acides gras de l'œuf, que ce soit dans les triglycérides ou les phospholipides, reflète directement la consommation alimentaire en AG de la poule (Romanoff et Romanoff 1949).

De très nombreux travaux démontrent cette dépendance et la faisabilité de modifier la composition en AG de l'œuf pour optimiser sa valeur nutritionnelle. En effet, il est tout aussi facile de modifier la composition en acides gras saturés et insaturés de l'aliment des poules qui est directement dépendante des matières premières riches en huile ou des sources d'huiles incorporées dans l'aliment. En résumé, les acides gras saturés (acides palmitique C16:0 et stéarique C18:0) sont les plus stables dans l'œuf, tandis que les acides gras mono- et polyinsaturés (AGPI) sont les plus variables, par substitution réciproque. Ce processus, connu depuis plus d'un demi-siècle, a fait l'objet de nombreuses revues (Hermier 1997, Nys et Sauveur 2004, Yannakopoulos 2007) et est décrit dans l'article sur la valeur nutritionnelle de l'œuf de ce numéro.

4 / Variation de la composition en minéraux et vitamines :

4.1 / Minéraux :

Les teneurs de l'œuf en macroéléments minéraux (calcium, phosphore, sodium et potassium) peuvent être considérées comme invariables. A contrario, celles de nombreux oligoéléments sont fonction de l'ingéré de la poule (Romanoff et Romanoff 1949, Stadelman et Pratt 1989, Nys et Sauveur 2004). Le cas le plus anciennement connu est celui de l'iode dont la concentration dans l'œuf peut être multipliée par un facteur de plusieurs dizaines, dans le blanc, mais aussi et surtout dans le jaune. Le sélénium a été le plus étudié pour des valeurs dans l'aliment variant de 0,1 à 0,6 mg.kg. Sa teneur peut être accrue de 5 à 10 fois (12 fois dans le blanc et 4 fois dans le jaune), à partir de teneurs de base elles-mêmes variables selon les zones de production (de l'ordre de 0,15 mg.kg dans le jaune et 0,05 mg.kg dans le blanc) (Surai et Spark 2001). L'utilisation d'une source organique de sélénium permet d'enrichir l'œuf en Se jusqu'à 30 µg. Œuf (0,5 mg.kg), ce qui représente la moitié du besoin journalier de l'homme (Surai et al 2007). A noter toutefois que la législation européenne limite son utilisation à 0,5 mg.kg d'aliment maximum. Par ailleurs, les contenus en manganèse peuvent aussi être facilement modifiés, alors que ceux en fer sont plus stables.

4.2 / Vitamines :

La teneur du jaune en vitamines liposolubles est directement dépendante de l'apport alimentaire. Par conséquent, il est possible d'enrichir la teneur des œufs en ces vitamines (Nys et Sauveur 2004, Sirri et Barroeta 2007, Nys 2010).

a) Vitamine E (tocophérol)

Les risques d'oxydation qui résultent de l'enrichissement des œufs en AGPI ont suscité le développement d'études parallèles sur la possibilité d'enrichir le jaune de l'œuf en anti-oxydants. On peut ainsi multiplier par 6, voire par 10, le contenu de l'œuf en vitamine E mais le rendement de dépôt semble variable du fait probablement des autres constituants de l'aliment (lipides), et/ou de la durée de supplémentation.

A titre d'exemple, le taux de transfert dans l'œuf est de 42% avec un apport de 50 mg·kg⁻¹ mais chute à 26% lorsque l'apport est majoré à 200 mg·kg⁻¹ (Galobart et al 2001a et b).

L'accumulation de tocophérol dans l'œuf est décelable dès 4 jours après le début de la supplémentation alimentaire, et est maximale après 2 à 3 semaines, ce qui est cohérent avec la durée de formation du jaune. L'enrichissement de l'œuf en vitamine E exerce un effet anti-oxydant incontestable sur les lipides des œufs riches en AGPI, principalement lorsque l'œuf est conservé à température ambiante, ou séché par procédé spray (Galobart et al 2001 b et c).

b) Vitamine D3

La teneur en vitamine D3 peut être multipliée par 10 environ, pour atteindre des concentrations de 30 à 40 µg.100 g de jaune, une dizaine de jours après le début de la supplémentation.

Sur le long terme (plus de 100 jours), elle se stabiliserait à un niveau un peu plus faible, de l'ordre de 20 µg.100 g (Mattila et al 2004, tableau 9).

c) Vitamine A

La vitamine A est incorporée dans l'œuf avec une efficacité élevée (78%) jusqu'à un apport alimentaire de 8000 UI·kg⁻¹ (Naber et Squires 1993). Le contenu de l'œuf en vitamine A peut ainsi être multiplié par 10 au moins. A noter qu'il existe des antagonismes entre le dépôt de vitamines liposolubles A et E.

d) Vitamine K

La poule contrairement aux mammifères (Will et al 1992), est capable de convertir la forme prépondérante de cette vitamine qui est synthétisée par les plantes, en une forme active qui intervient dans le métabolisme osseux, aussi il est possible d'augmenter la teneur en vitamine K des œufs d'un facteur 15 (Suzuki et Okamoto 1997).

Tableau 9. Effet du niveau et de la durée de supplémentation en cholecalciférol sur la teneur du jaune d'œuf en cholécalciférol et 25-hydroxy-cholecalciférol (Mattila et al 1999, 2004).

Durée de la supplémentation (semaine)	Aliment	Jaune d'œuf	
	Cholecalciferol ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)*	Cholecalciferol ($\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}$)	25(OH)D ₃ ($\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}$)
4 à 6	26,6	1,2-1,5	0,5
	62,4	3,4-3,5	0,8-1
	216	21-23	1,4-1,5
0	43	4,2	1,1
1	280	30,2	1,9
3	280	26,6	1,7

* 1 μg = 40 ui de vitamine D3

e) Autres vitamines

Des essais d'enrichissement de l'œuf en d'autres vitamines ont été conduits.

Parmi les vitamines hydrosolubles (Squires et Naber 1992), les vitamines B2 (riboflavine) et B12 (cobalamine) sont les plus susceptibles de varier avec le régime de la poule, suivies par la thiamine (B1), la biotine (B8) et les acides folique (B9) et pantothénique (B5). Dans tous les cas, les taux de transfert décroissent avec les apports et des plafonds sont atteints. L'acide folique par exemple, n'augmente pas au-delà de 40 $\mu\text{g}\cdot\text{œuf}$, contre 17 $\mu\text{g}\cdot\text{œuf}$ dans les œufs témoins ; ce niveau est atteint avec une supplémentation alimentaire de 4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (House et al 2002). Les concentrations en pyridoxine (B6) et en niacine (B3) ne semblent pas pouvoir être augmentées dans l'œuf par voie alimentaire (Sauveur 1994). Un apport en vitamine C pourrait avoir un effet positif sur la qualité de la coquille de poules soumises à de fortes températures (Njoku and Nwazota 1989).

5 / Variation de la couleur du jaune et de sa teneur en caroténoïdes

5.1 / Facteurs influençant l'efficacité d'un caroténoïde alimentaire chez la poule

Les animaux ne peuvent pas synthétiser les caroténoïdes, aussi leur pigmentation dépend directement des apports alimentaires. Chez la poule, l'efficacité de coloration pour le jaune d'œuf est très variable d'un caroténoïde à un autre, car elle est influencée par l'absorption intestinale, le transfert plasmatique, l'efficacité d'exportation dans les tissus et le métabolisme de dégradation des caroténoïdes (Nys 2000, 2010).

L'efficacité du dépôt dans le jaune est respectivement de 14% pour l'astaxanthine, 25% pour la zéaxanthine et 30 à 40% pour la canthaxantine (Hencken 1992). Le dépôt de caroténoïde dans le jaune est rapide (< 48h) mais une dizaine de jours sont nécessaires pour obtenir une couleur stable puisque cette durée correspond au

temps moyen de formation d'un jaune. (Romanoff et Romanoff 1949, Marusich et Bauernfeind 1981).

Il existe un très grand nombre de caroténoïdes caractérisés par une chaîne de 40 carbones alternant simples et doubles liaisons à l'origine des propriétés chromophores de ces molécules (Britton 1995, figure 31). La grande diversité des caroténoïdes résulte de modification de cette structure de base par cyclisation en extrémité de cette chaîne de carbones, par hydrogénation ou déshydrogénation ou d'oxydation de carbones. Leur utilisation et pouvoir pigmentant varient en fonction des espèces. Les ruminants accumulent préférentiellement le carotène, les oiseaux les oxy-caroténoïdes. Différents paramètres sont à l'origine de la variabilité d'efficacité des caroténoïdes chez l'oiseau. C'est tout d'abord leur aptitude à générer de la vitamine A, par scission de leur molécule (cas des α - et β -carotènes non pigmentants chez l'oiseau). Tous les caroténoïdes possédant une extrémité β -carotène ont cette propriété. Le degré de conversion au niveau intestinal dépend alors des caractéristiques du caroténoïde et des apports alimentaires en vitamine A. Dans les aliments riches en vitamine A, utilisés dans les conditions habituelles, la conversion est mineure à partir de la zéaxanthine et la canthaxantine (Hencken 1992).

L'efficacité d'un caroténoïde dépend aussi beaucoup de son absorption intestinale et de son métabolisme (Hamilton 1992, Hencken 1992). L'absorption de lutéine chez l'oiseau est plus efficace sous forme libre qu'estérifiée ; or, c'est sous cette dernière forme qu'on la trouve dans les extraits de soucis ou autres fleurs riches en lutéine utilisées en aviculture.

La conformation de la molécule influence aussi l'efficacité de la pigmentation (Hencken 1992). Les transcaroténoïdes présents à hauteur de 60 à 90% dans les plantes ont une coloration plus rouge que les isomères cis, et sont donc plus pigmentant pour l'œuf. Chez l'oiseau, les caroténoïdes les plus efficaces sont ceux contenant un atome d'oxygène (xanthophylles). C'est pourquoi les caroténoïdes d'origine végétale les plus utilisés sont la lutéine, la zéaxanthine et la capsanthine (Nys 2000).

Le jaune d'œuf semble capable d'accumuler préférentiellement les caroténoïdes : 50% de la zéaxanthine et 80% de la canthaxantine sont accumulés dans le jaune. Le dépôt des caroténoïdes efficaces chez la poule se fait dans le jaune globalement en proportion de leurs teneurs initiales dans l'aliment (Hamilton 1992, Hencken 1992).

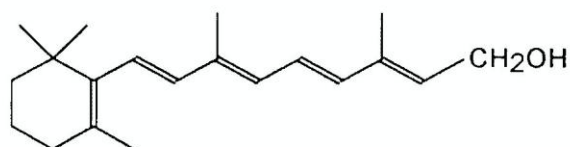
5.2 / Sources alimentaires de caroténoïdes de l'œuf :

Les principales sources végétales utilisées en Europe sont le maïs, le gluten de maïs, la luzerne, les concentrés de luzerne et des extraits de fleurs (soucis, tagètes) ou de plantes (paprika) (tableaux 10 et 11). La concentration en caroténoïdes est plus élevée quand la teneur en protéines de la source augmente, que ce soit pour le maïs, la luzerne ou les extraits de fleurs. Le blé et le sorgho sont très pauvres en

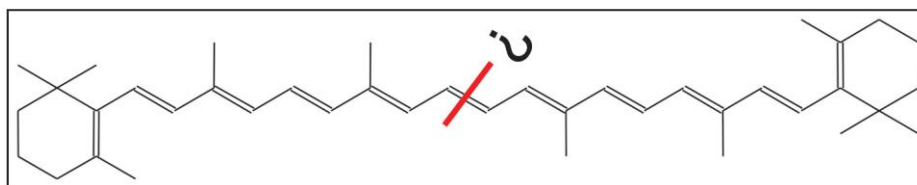
caroténoïdes. Le maïs et ses dérivés se caractérisent par leur richesse en lutéine et zéaxanthine, mais aussi par la présence de cryptoxanthine (3). La lutéine est le principal caroténoïde de la luzerne qui contient aussi de la violaxanthine, non pigmentante. Les extraits de fleur contiennent principalement de la lutéine. La teneur en caroténoïdes des matières premières varie en fonction de l'origine génétique de la plante, de la maturité à la récolte, de la durée et des

Figure 31. Structure des caroténoïdes (Britton 1995).

Vitamine A

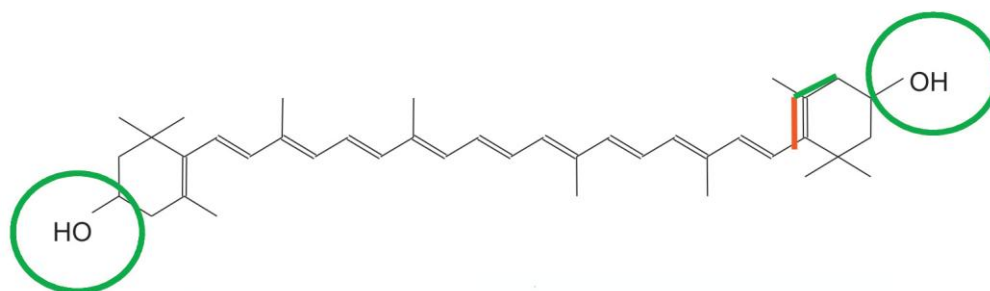


**β-carotène :
non-pigmentant**

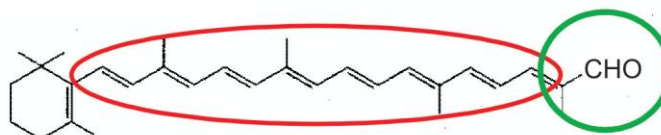


**Lutéine de la
luzerne**

**Zeaxanthine
du maïs**



β-Apo-8'-caroténal



Seuls les caroténoïdes hydroxylés sont efficaces chez la poule. Le carotène peut être scindé en deux molécules de vitamine A et est par conséquent peu efficace pour colorer le jaune d'œuf .

conditions de stockage. Un maïs peut ainsi perdre jusqu'à 50% de sa teneur initiale en caroténoïdes en fonction des conditions et de la durée de stockage. La teneur en xanthophylles de la luzerne dépend du numéro de coupe et du stade de maturité de la plante. C'est pourquoi des mélanges à grande échelle sont réalisés entre récoltes, tout au long de l'année, pour homogénéiser le produit. Pour les concentrés de luzerne, les conditions de séchage sont également un facteur très important (Nys 2000). Les extraits de soucis sont riches en lutéine. Ils sont préparés à partir de pétales de fleurs dont les caroténoïdes sont extraits par des solvants,

saponifiés et protégés de l'oxydation par des antioxydants. Ils sont riches en esters qui doivent donc être hydrolysés pour obtenir la forme libre de la lutéine.

Leur efficacité dépend du procédé de préparation, notamment du degré de saponification qui peut augmenter celle-ci de 40%, et de leur stabilité au cours du stockage. Il existe une grande variabilité entre les différentes préparations commerciales. L'efficacité relative de tagètes varie entre 13 et 20% (Grashorn et Seehaver 1999). Ces valeurs des sources commerciales peuvent cependant évoluer notablement car les procédés de préparation sont continuellement améliorés. Les sources végétales apportent principalement des caroténoïdes jaunes ; seul le paprika disponible en faible quantité apporte une teinte rouge.

Ce caroténoïde est préparé par un processus analogue à celui des tagètes, à partir de piment rouge (*Capsicum annum* ou *Capsicum frutescens*). La saponification améliore considérablement son efficacité, qui demeure cependant relativement faible (1 à 6%).

Il existe toutefois de grandes différences d'efficacité entre préparations, avec des rapports d'efficacité vis-à-vis de la canthaxanthine de 3 à 5 pour le rendement de dépôt et de 1 à 4 pour la capacité pigmentante. Des caroténoïdes de synthèse correspondant à des caroténoïdes naturels (acide β -apo8'-caroténoïde ethyl ester, canthaxanthine, citranaxanthine) sont également introduits dans l'aliment des poudeuses. Leur efficacité de coloration dépend d'abord de la structure chimique de la molécule, mais également de sa stabilité lors du stockage. Ils ont été choisis pour leur grande efficacité de coloration, 2 à 3 fois supérieure aux caroténoïdes d'origine végétale, et l'absence de conversion en vitamine A.

Celle de l'apo-8-ester est de 42 à 50%, (Grashorn et Sachayer 1999). Pour ces caroténoïdes de synthèse, l'enrobage de la molécule active est optimisé pour favoriser leur stabilité. En Europe, la supplémentation en xanthophylles est limitée à 80 mg.kg à l'exception de la canthaxanthine (8 mg.kg).

Huit caroténoïdes de synthèse sont autorisés en caroténoïdes rouges : la capsanthine, la canthaxanthine, la citranaxanthine et la cryptoxanthine, en caroténoïdes jaunes : le β -apo 8' caroténal, l'acide β -apo 8' caroténoïque, la lutéine, la zéaxanthine mais seule la canthaxanthine est utilisée couramment (Breithaupt 2007).

Ainsi, la perception de l'intensité de couleur du jaune d'œuf dépend directement de la quantité de caroténoïde consommée par la poule, de leur efficacité et donc de la proportion et de la composition chimique des sources utilisées (végétale ou synthétique).

La figure 9 illustre cette variabilité en fonction de la source et démontre l'existence d'un plateau de réponse de la coloration du jaune au-delà d'une teneur relativement faible de caroténoïdes ingérés. Dans la pratique, les poules sont nourries

avec des matières premières riches en caroténoïdes jaunes et sont supplémentées avec des sources concentrées en caroténoïdes rouges pour répondre au souhait du consommateur français de forte coloration du jaune. Une coloration optimale du jaune d'œuf est obtenue en apportant dans l'aliment un mélange de caroténoïdes jaunes (12 à 20 mg·kg⁻¹) et d'une faible quantité de caroténoïdes rouges (1 à 2 mg·kg⁻¹).

Cet apport de rouge est indispensable si une couleur jaune orangé, supérieure à 10 sur l'échelle «DSM» est souhaitée.

6 / Variation de la qualité de la coquille

La structure et la formation de la coquille sont décrites dans un autre article de ce numéro spécial (Nys et al 2010). Le déclassement des œufs lié à la présence de coquilles cassées ou fêlées reste notable (plus de 10%) et a des conséquences économiques importantes (Nys 2001, Nys et al 2008).

Ce déclassement relativement stable malgré les nombreux progrès réalisés en génétique et alimentation résulte en partie de l'amélioration importante des techniques non invasives de détection des œufs micro-fêlés. Ces défauts de la coquille augmentent le risque de toxi-infection alimentaire, du fait qu'ils favorisent la pénétration de bactéries pathogènes.

L'utilisation de méthodes plus sensibles de détection des micro-fêlures de la coquille, telles que les mesures acoustiques (De Ketelaere et al 2004) améliore le tri des œufs, maintient un taux élevé de déclassement et limite le risque sanitaire. Le taux d'œufs cassés ou micro-fêlés est minimum en début de production, puis augmente considérablement au cours d'un cycle de ponte, pour atteindre à la fin d'une année de production des valeurs de 12 à 20% en fonction des élevages, de leur gestion, de la nutrition et des conditions d'environnement. La solidité de la coquille dépend de la quantité de matériau déposé et de la fabrication de ce matériel protecteur sous la dépendance de la matrice de la coquille (Nys et al 1999, 2010). De très nombreux exemples démontrent que l'alimentation des poules influence la quantité de coquille déposée.

Tableau 10. Concentrations en xanthophylles des plantes introduites dans l'aliment de poules pondeuses comme sources de pigments (Nys 2000).

Matières premières d'origine végétale	Concentration en xanthophylles (mg·kg ⁻¹)	
	Valeur moyenne	Valeurs extrêmes
Maïs jaune	17	10-40
Gluten de maïs (CP 60%)	260	180-400
Luzerne déshydratée (CP 25%)	480	350-540
Concentré de luzerne (CP 59%)	1560	900-2100
Extrait de soucis	9000	4500-14 000
Concentré d'extrait de soucis	50 000	40 000-55 000

CP : teneur en protéines.

Tableau 11. Nature et concentration en xanthophylles du gluten de maïs (protéines : 59,2%) et du grain de maïs (n = 11) (Looten et al 2003).

	Gluten de maïs (mg.kg)		Maïs (mg.kg)
	Moyenne	Ecart Max-Min.	
Xanthophylles totaux	361	278-440	31 ± 4
Lutéine	155	117-205	15 ± 2
zéaxanthine	91	60-161	9 ± 2
β-cryptoxanthine	14	7-35	1 ± 1
Autres pigments	84	71-99	5 ± 1
β -carotène	7	3-12	1 ± 0
Autres carotènes	9	6-13	< 1

6.1 / Alimentation calcique de la poule pondeuse et de la poulette :

Le calcium est un nutriment-clé de la solidité de la coquille (Nys 2001). Classen et Scott (1982), Sauveur (1987), Hartel (1990) indiquent que les besoins en calcium sont de l'ordre de 0,9 à 1,2% pour la période de croissance durant la phase poulette, de 2-2,5% pour le stockage dans l'os médullaire, environ deux semaines avant la ponte, et de 3,5-4% pour la formation de l'œuf en période de ponte. La transition de la phase «poulette immature» à celle de «poule pondeuse» est une période cruciale. Il est indispensable, 2 semaines avant l'apparition des premiers œufs (14-16 semaines), d'augmenter l'apport de calcium dans l'aliment de 1 à 2,5% pour favoriser la mise en place de l'os médullaire et la formation des coquilles des premiers œufs. Introduire directement l'aliment pondeuse peut provoquer une sous-consommation des poules.

Une introduction trop tardive de calcium réduit non seulement la qualité des premiers œufs, mais aussi celle des suivants, même si la poule reçoit alors un aliment riche en calcium (Leeson et al 1986, Roland et Bryant 2000). Les poules ont

actuellement une maturité sexuelle très précoce, aussi la probabilité que les premiers œufs soient pondus avant le transfert des poules en bâtiment de production est importante. Le risque de sous-consommation d'aliment et de calcium par la poule peut être jugulé en améliorant la forme de présentation de l'aliment (présentation miette, aliment broyé grossièrement, calcium sous forme particulaire).

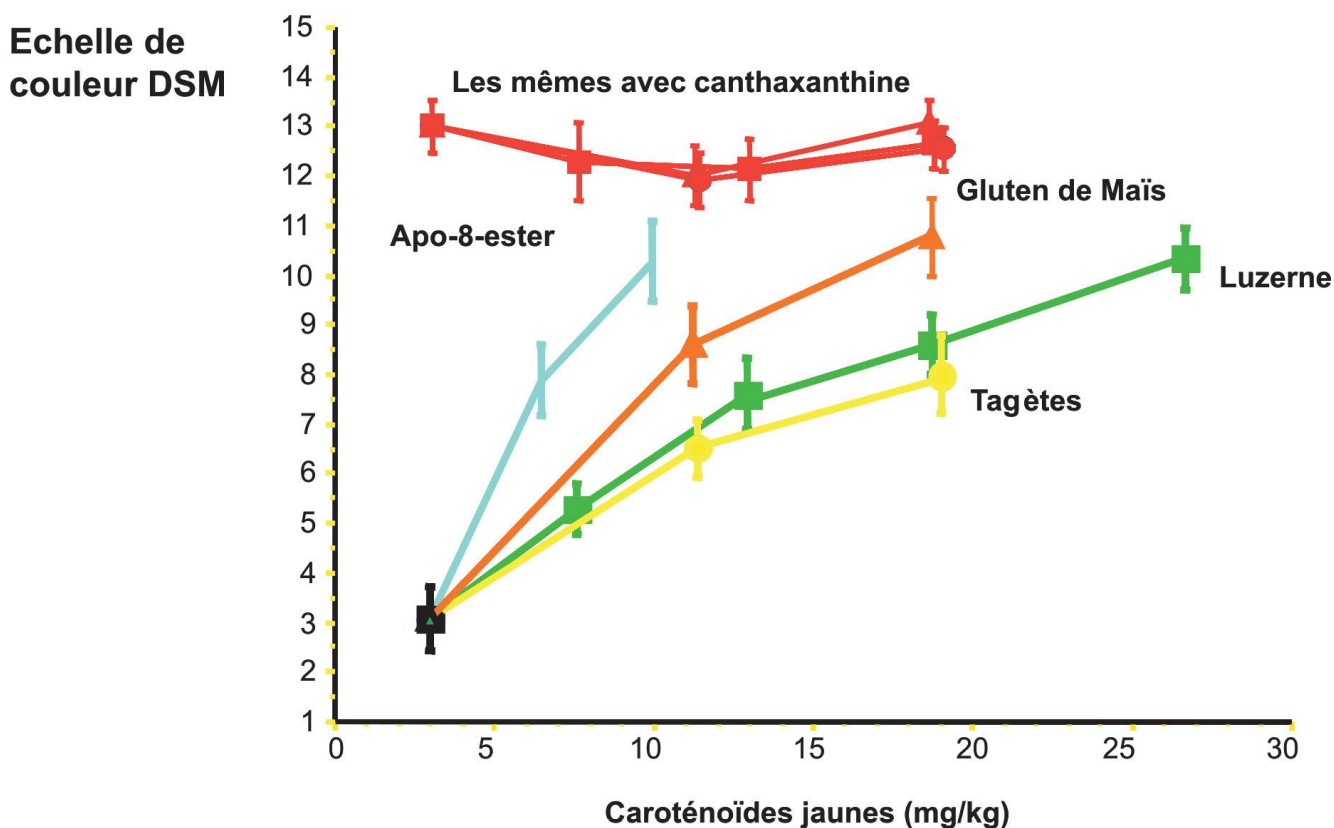
La poule exporte en moyenne 2,2 g de calcium par œuf et doit donc, compte tenu de la rétention calcique, en consommer 4 g chaque jour. Un apport limitant en calcium (teneur de l'aliment inférieure à 3%) réduit la solidité de la coquille, la production d'œufs et augmente la mortalité des poules (Hartel 1990, Keshavarz 1998a et b). La solidité de la coquille est maximale quand les poules ingèrent 4 à 4,5 g de calcium par jour (Scott et al 1999). Pour limiter la baisse de qualité de la coquille avec l'âge de la pondeuse, certains auteurs préconisent d'augmenter progressivement l'apport de calcium au cours de l'année de production (3,5 puis 4,5 puis 5,5% de calcium dans l'aliment), mais les preuves expérimentales d'une amélioration sont peu convaincantes sur la qualité de la coquille, seules les réserves osseuses augmentant (Guinotte et Nys 1993).

Les sources de carbonate de calcium proviennent de carrières (calcaire, marbre) ou sont d'origine marine (coquilles d'huître et autres espèces bivalves).

Elles sont disponibles sous différentes tailles de particules et correspondent à différentes propriétés physico-chimiques (Guinotte et Nys 1991). Les analyses chimiques de ces sources démontrent une grande variabilité de leur composition en calcium mais également en oligoéléments (Reid et Weber 1976, Guinotte et Nys 1993) mais le type cristallographique (calcite, aragonite ou amorphe) n'influence pas cette composition et est sans conséquence sur la qualité de la coquille chez la poule (Brister et al 1981). Le paramètre physique prédominant pour la qualité de la coquille est donc la taille de la particule (grossière ou broyée) du fait des particularités physiologiques de la poule pour former chaque jour une coquille (Nys 1993, Bar 2008).

La désynchronisation entre l'ingestion de calcium et son exportation vers l'œuf est corrigée par l'existence de l'appétit calcique développé par la poule, juste avant l'extinction de la lumière. Un apport de calcium particulaire valorise cette capacité de la poule à ingérer préférentiellement du calcium lorsqu'elle initie la fabrication d'une coquille. Les particules doivent avoir une taille supérieure à 0,8 mm pour être retenues sélectivement par le gésier (Rao et Roland 1990). Cet appétit pour le calcium est à l'origine de la dilatation du jabot qui stimule la sécrétion acide du proventricule (Ruoff et Sewing 1971) ; et donc la solubilisation du calcium dans le tractus gastro-intestinal (Guinotte et al 1995). De très nombreuses expériences conduites depuis 1927 (plus de 350 !) démontrent, dans plus de 50% des cas, l'intérêt d'introduire dans l'aliment du calcium particulaire en substitution de calcium broyé (Guinotte et Nys 1993, Nys 2001).

Figure 32. Couleur du jaune d'œuf en fonction de l'apport et de la nature source de caroténoïdes alimentaires avec ou sans 2mg·kg⁻¹ de canthaxanthine (Nys 2000).



Le pourcentage de réponses positives est plus élevé (51 contre 19% des comparaisons) quand la taille de la particule est supérieure à 1 mm par rapport à des particules plus fines (0,2 à 1 mm ou < 0,2 mm). L'effet est d'autant plus marqué que les poules sont soumises à des conditions défavorables à la formation de la coquille : apport alimentaire en calcium limitant, poules soumises à un stress de chaleur (78% des essais positifs en présence de calcium particulaire vs 43% à température normale), âge élevé des poules (62% d'essais positifs en fin de cycle de production vs 30% en début) (Guinotte et Nys 1993).

6.2 / Effet de la teneur en lipides de l'aliment sur l'utilisation du calcium :

Les acides gras peuvent s'associer au calcium et au magnésium dans le tractus gastro-intestinal et former des savons insolubles particulièrement lorsque ces acides gras sont saturés. Une augmentation du niveau de calcium alimentaire et l'incorporation de grandes quantités de graisses notamment désaturées (10%) provoquent chez la poule la formation de savon dans l'intestin et une diminution

de la rétention calcique (Atteh et Leeson 1985). Cependant, l'absorption de calcium ou celle de lipides et la qualité de la coquille ne sont pas affectées par la formation de savon lorsque le niveau des graisses dans l'aliment est inférieur à 6%. En effet, l'absorption de calcium semble précéder celle des lipides et la formation de savon

se ferait plutôt avec la partie non absorbée du calcium dans les parties distales du tractus gastro-intestinal (Guéguen 1992).

Le faible effet des lipides sur la calcium pourrait aussi résulter d'une plus forte sécrétion de sels biliaires chez l'animal adulte par rapport au jeune or la bile réduit la formation de savon (Krogdahl 1985). Enfin, la vidange gastrique et le transit intestinal sont ralentis par la présence de graisses (Krogdahl 1985) ce qui pourrait faciliter la solubilisation du calcium et son absorption.

6.3 / Alimentation en phosphore de la poule

Il est également bien établi qu'un excès de phosphore dans l'aliment pénalise la qualité de la coquille. C'est pourquoi les recommandations d'apport en phosphore (0,28% de phosphore non phytique) ont été réduites notablement il y a une vingtaine d'années, sous l'influence du groupe européen d'alimentation minérale de l'association mondiale d'aviculture (Nys 2001). Une alternative proposée par Keshavarz (2000) consiste à réduire progressivement l'apport de phosphore au cours de l'année de production de la poule, par exemple en introduisant 0,25 puis 0,2 puis 0,15% de phosphore, respectivement pour les périodes 30-42, 42-54 et 54-66 semaines d'âge.

La généralisation de la supplémentation des aliments avec une phytase microbienne qui libère le phosphore phytique des matières premières végétales, a accentué la réduction des apports de phosphore minéral.

Il est généralement admis qu'un apport de phytase de 300 UP (Unité Phytase) est équivalent à 0,8 ou 1 g de phosphore minéral et que l'addition à l'aliment de 1 g de phosphore non phytique suffit à éviter une réduction éventuelle de la production d'œufs en lien avec une déficience en phosphore. Inversement, un apport de 0,11% de phosphore non phytique (NPP) est insuffisant pour assurer des performances normales au contraire d'un apport de 0,21% NPP selon Keshavarz (2003).

6.4 / Vitamine D3 et qualité de la coquille :

La vitamine D3 (seule forme efficace chez l'oiseau) intervient dans le contrôle du métabolisme calcique chez la poule, notamment sur l'absorption intestinale du calcium qui est directement dépendante du métabolite actif, le 1,25 dihydroxy-cholecalciférol (Nys 1993, Bar 2008). Cependant, le transfert de calcium au niveau de l'utérus pour la formation de la coquille ne montre pas une telle dépendance vis-à-vis de la vitamine D3 et de ses métabolites.

La vitamine D3 est indispensable pour la production de l'œuf et la qualité de la coquille, le besoin étant de 400 UI par jour selon les essais antérieurs à 2000, (Whitehead 1986, 300 UI /kg NRC, 1994) mais pratiquement, les niveaux d'incorporation sont majorés dans les aliments des poules produisant actuellement plus de 300 œufs en une année de production (Weber 2009).

Le 25 (OH) D3 présente une activité biologique supérieure à celle de son précurseur, la vitamine D3. Ce métabolite peut être substitué à la vitamine D3 (Soares et al 1995).

Un effet positif sur la qualité de la coquille a été observé chez des poules en fin de production (Koreleski et Swiatkiewicz 2005) mais n'a pas été confirmé par d'autres auteurs (Keshavarz 2003). Le 25 (OH) D3 résulte de l'hydroxylation de la vitamine D3 dans le foie. Sa teneur reflète l'apport alimentaire de la vitamine D3. En cas de trouble du métabolisme hépatique, la production de 25 (OH) D3 pourrait être réduite et dans ce cas, un apport alimentaire du 25 (OH) D3 présente évidemment un intérêt. Le métabolite actif de la vitamine D3 (calcitriol ou 1,25 (OH)₂ D3) augmente l'absorption intestinale de calcium proportionnellement à l'apport alimentaire mais le coût élevé de ce métabolite, le risque de toxicité en cas d'excès d'apport et l'absence d'un effet direct de ce métabolite sur le transfert de calcium utérin (Nys 1993) prohibe l'usage de ce métabolite en aviculture.

6.5 / Equilibre électrolytique de l'aliment :

L'équilibre électrolytique de l'aliment influence le métabolisme acido-basique qui est également fortement dépendant de la formation de la coquille (Mongin 1978).

Les tentatives initiales pour définir le rapport optimum entre Na, K et Cl chez la poule n'ont pas été cependant concluantes. Des modifications du rapport Na + K/Cl aussi importantes que de 0,4 à 7,7, obtenues en modifiant les apports alimentaires de sodium et de chlore, altèrent considérablement le pH sanguin et les concentrations plasmatiques de bicarbonate mais sont sans conséquence sur la qualité de coquille (Mongin 1978, Hamilton et Thompson 1980, Kurtoglu et Balev 2007).

Il est clairement établi qu'un excès important de chlore affecte négativement la qualité de la coquille. Des coquilles à faible solidité sont obtenues lors d'apport supérieur à 0,75% de chlore (Austic 1984). Cependant, lorsque le niveau de chlore est inférieur à 0,3%, la qualité de la coquille n'est pas affectée (Hess et Britton 1989). De hauts niveaux de sodium alimentaires (0,35 et 0,45%) associés à de forts (0,47%) ou faibles (0,12%) apports de chlore réduisent également la solidité de coquille (Hughes 1988). Inversement, une carence en sodium ou en chlore (< 0,1% ; Vogt 1977, Sauveur et Mongin 1978) décroît les performances de production et la qualité de la coquille. C'est un phénomène qui est parfois observé lors d'un oubli de l'apport de sel dans un aliment !

6.6 / Alimentation en oligo-éléments :

L'importance des oligo-éléments (Cu, Zn, Mn) dans la formation normale des membranes coquillières et de la coquille a été démontrée. Un kg d'aliment standard de poules pondeuses, à base de maïs et de soja, contient 30 mg de Zn, 6 mg de Cu et 20 mg de Mn. Ces niveaux évitent une carence provoquant des anomalies importantes de la coquille. Mais il est d'une pratique courante de supplémenter les poules avec ces trois éléments.

La supplémentation en Mn Comment l'alimentation des poules influence la qualité des œufs ? / 177 Inra Productions Animales, 2010, numéro 2 (50 à 80 mg· kg-1 d'aliment) est particulièrement intéressante, car elle améliore la solidité de la coquille. Cette supplémentation augmente le poids de coquille, mais aussi ses propriétés mécaniques, indépendamment de l'effet sur la quantité de matériau (Mabe et al 2003).

Le Mn pourrait modifier la morphologie des cristaux de calcite qui constituent la coquille et accroître ainsi ses propriétés mécaniques.

6.7 / Argiles :

De nombreuses études ont étudié l'intérêt d'une supplémentation en argile naturelle ou synthétique comme agents favorisant la formation des granulés, pour améliorer l'efficacité alimentaire, contrôler l'humidité des litières ou leur mauvaise odeur. Les aluminosilicates de sodium (zéolites incorporées à 0,75 ou 1,5% dans l'aliment) ont la capacité de complexer le calcium et d'améliorer la qualité de la coquille (gravité spécifique) dans 77% des 35 essais analysés en particulier quand l'apport de calcium est marginal (2,75% ; Roland 1988) ou lorsque les poules sont soumises à un environnement chaud (Ingram et Kling 1988, Keshavarz et McCormick 1991). L'utilisation des zéolites est cependant limitée par le fait que 10 à 20% de l'aluminium et 40% du silicium de cette argile est absorbé chez la poule (Roland et al 1993). Les argiles naturelles ne présentent pas ce défaut mais leur incorporation ne reproduit pas l'effet observé avec les zéolites.

Conclusion

On sait très bien que la santé du poulet se reflète toujours dans la qualité et la quantité d'œufs produite, ce qui entraîne des pertes pour les éleveurs en particulier et pour l'économie en général. Et qu'une alimentation saine et équilibrée peut renforcer leur système immunitaire et leur corps, maintenir leur système reproducteur en bonne santé, ce qui garantit de bons œufs et une coquille dure.

La qualité de la coquille d'œuf reste une préoccupation majeure pour les producteurs d'œufs car 6 à 8% de la production totale d'œufs sont inutilisables / invendables en raison de leurs qualités de coquille insuffisantes. Cette revue se concentre sur l'analyse des effets des facteurs nutritionnels, y compris le niveau d'énergie, les protéines, les lipides, les minéraux, les vitamines, les additifs alimentaires et l'eau, sur la production d'œufs et la qualité de la coquille d'œuf. Les données de la littérature suggèrent que les quantités insuffisantes ou excessives de ces facteurs dans les régimes alimentaires des pondeuses pourraient entraîner une réduction des performances de ponte et de la qualité de la coquille des œufs. Les niveaux d'énergie et de protéines semblent avoir plus d'effets sur la production d'œufs, tandis que la qualité de la coquille d'œuf est principalement contrôlée par la teneur en minéraux et en vitamines de l'alimentation. Les informations fournies dans cette revue pourraient aider les gestionnaires de la ferme à réduire le nombre d'œufs de qualité inférieure et ainsi augmenter les bénéfices de la ferme.

L'analyse de la bibliographie souligne l'importance des facteurs nutritionnels comme déterminants de la qualité de l'œuf. La sélection génétique permet aujourd'hui un haut niveau de productivité et l'alimentation des poules doit être raisonnée de manière à apporter les nutriments nécessaires à son expression.

Beaucoup de travaux ont porté par le passé sur la définition de «besoins» nutritionnels et sur les relations entre nutriments et qualités nutritionnelle ou organoleptique (couleur) de l'œuf. Pour l'avenir, les enjeux sont de définir des systèmes d'alimentation durables, c'est-à-dire impactant au minimum l'environnement tout en garantissant un revenu correct aux différents maillons de la filière et une qualité satisfaisant les consommateurs. L'alimentation des poules doit ainsi être revisitée en accordant plus d'importance à la nature des matières premières utilisées, en privilégiant des matières premières locales par exemple, mais aussi en redéfinissant les modalités d'apports. L'alimentation séquentielle avec utilisation de céréales entières apparaît notamment comme un système d'alimentation d'avenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- **Ahn, D.U., Kim, S.M. et Shu, H.**, 1997. *Effect of egg size and strain and age of hens on the solids content of chicken eggs*. *Poultry Science*, 76(6), pp.914-919.
- **Ahn, D.U., Sell, J.L., Chamrusspollert, C.Jo.M. et Jeffrey, M.**, 1999. *Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage*. *Poultry Science*, 78(6), pp.922-928.
- **Akyurek, H. et Okur, A.A.**, 2009. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(10), pp.1953-1958. *Poultry production in Algeria: Current situation and future prospects*.
- **Alloui, N. et Sellaoui, S.**, 2015. *Etude socio-économique des élevages de volailles locales dans la région des Aurès (Algérie)*. 11èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France, 25-26 Mars 2015.
- **Alloui, N.**, 2011. *Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie*. 9èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France, 29 et 30 Mars 2011.
- **Alloui, N., Ayachi, A., Alloui Lombarkia, O. et Zeghina, D.**, 2003. *Evaluation de l'effet du statut hygiénique des poulaillers sur les performances zootechniques*. 5èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France, 26 et 27 Mars 2003.
- **Amghrous, S. et Badrani, S.**, 2007. *La compétitivité de l'aviculture algérienne*. Cahiers du CREAD, 79-80, pp.53-76.
- **Anderson, K., Thamington, J., Curits, P. et Jones, F.**, 2004. *Shell characteristics of egg from historic strains of single comb white leghorn chickens and the relationship of egg shape to shell strength*. *International Journal of Poultry Science*, 3(1), pp.17-19.
- **Angrand, A.**, 1986. *Contribution à l'étude de la qualité commerciale des œufs de consommation de la région de Dakar (Sénégal)*. Thèse de doctorat. Ecole inter-Etats des sciences et médecine vétérinaires (E. I. S. M. V).
- **Ashraf, M., Mahmood, S. et Ahmad, F.**, 2003. *Comparative reproductive efficiency and egg quality characteristics of Lyallpur Silver Black and Rhode Island Red breeds of poultry*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5(4), pp.449-451.
- **Atfeh, J.O. et Leeson, S.**, 1985. *Effects of dietary fat level on laying hens fed various concentrations of calcium*. *Poultry Science*, 64(11), pp. 2090-2097.
- **Bain, M.M., Dunn, I.C., Wilson, P.W., Joseph, N., De Ketelaere, B., De Baerdemaeker, J. et Waddington, D.**, 2006. *Probability of an egg cracking during packing can be predicted using a simple non-destructive acoustic test*. *British Poultry Science*, 47(4), pp.462-469.
- **Balnave, D. et Brake, J.**, 2005. *Nutrition and management of heat-stressed pullets and laying hens*. *World's Poultry Science*, 61(3), pp. 399-406.
- **Balnave, D. et Weatherup, S.T.C.**, 1974. *The necessity of supplement in laying hen diets with linoleic*. *British Poultry science*, 15(3), pp.325-331.
- **Beaumont, C., Calenge, F., Chapuis, H., Fablet, J., Minville, F. et Tixier-Boichard, M.**, 2010. *Génétique de la qualité de l'œuf*. *Inra Productions Animales*, 23(2), pp.133-140.
- **Belkhiri, Y. et Amir D.**, 2012. *Enquête épidémiologique sur les dominantes pathologies aviaires dans la wilaya de Batna*. 2ème Symposium de la Recherche en Sciences Avicoles. Batna, Algérie, 17-18 octobre 2012.

- **Bell, D.D.**, 2003. *Historical and current molting practices in the U.S. table egg industry*. Poultry Science, 82(6), pp.965-970.
- **Benabdeljelil, K. et Mérat, P.**, 1995. *Comparaison de types génétiques de poules pour une production d'œufs locale : F1 (Fayoumi x Leghorn) et croisement terminal ISA au Maroc*. Annales de Zootechnie, 44, pp.313-318.
- **Bennoune, O., Melizi, M., Adili, N., Khenenou, T., Hadji, K. et Touriat, W.**, 2012. *Enquête sur l'élevage et la pathologie des volailles dans la région de Batna. 2ème Symposium de la Recherche en Sciences Avicoles. Batna, Algérie, 17-18 octobre 2012*.
- **Benrahou, A. et Zaaboub, H.**, 2014. *Etude de la conformation et de la composition des œufs de la poule locale, comparaison avec les œufs de souche commerciale*. Mémoire d'ingénieur. Université de Tlemcen.
- **Bernardi, E.**, 2008. *Impact and control of infectious bronchitis in layers and breeders*. Christchurch : Pacificvet.
- **Bobbo, A.G., Baba, S.S. et Yahaya, Y.M.S.**, 2013. *Egg quality characteristics of three phenotypes of local chickens in Adamawa State*. Journal of Agriculture and Veterinary Science, 4(2), pp.13-21.
- **Bouvarel, I., Nys, Y., Panheleux, M. et Lescoat, P.**, 2010. *Comment l'alimentation des poules Influence la qualité des œufs*. Inra Productions Animales, 23(2), pp.167-182.
- **Brandt, E.T. et Willems, A.E.R.**, 1971. *Traité d'Aviculture Sportive : Avec les Standards Officiels des Races Belges de volailles, aquatiques et dindons*. Gent : S.R. "Hte
- **Curtis, P.A., Kerth, L.K. et Anderson, K.E.**, 2005. *Quality and compositional characteristics of layer hens as affected by bird age. XIth European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*. Doorwerth, The Netherlands, 23-26 mai 2005.
- **De Reu, K., Grijspeerdt, K., Heyndrickx, M., Zoons, J., De Baere, M., Uytten -daele, J., Debe vere, J. et Herman, L.**, 2005. *Bacterial eggshell contamination in conventional cages, furnished cages and aviary housing systems*. British Poultry Science, 46(2), pp.149-155.
- **Dominguez-Vera, J. M., J. Gautron, J. M. Garcia-Ruiz, et. Nys, Y.**, 2000. *The effect of avian uterine fluid on the growth behavior of calcite crystals*. Poultry Science, 79(6), pp.901-907.
- **Egahi, J.O., Dim, N.I. et Momoh, O.M.**, 2013. *The effect of plumage modifier genes on quality indices of the nigerian local chicken*. Journal of Agriculture and Veterinary Science, 2(2), pp.04-06.
- **Fotsa, J.C.**, 2008. *Caractérisation des populations de poules locales (Gallus gallus) au Cameroun*. Thèse de doctorat. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech).
- **Francesch, A., Estany, J., Alfonso, L. et Iglesias, M.**, 1997. *Genetic parameters for egg number, egg weight, and eggshell color in three Catalan poultry breeds*. Poultry Science, 76(12), pp. 1627-1631.
- **Grobas, S., Mendez, J., De Blas, C. et Mateos, G.G.**, 1999. *Influence of dietary energy, supplemental fat and linoleic acid concentration on performance of laying hens at two ages*. British Poultry Science, 40(5), pp.681-687.
- **Halbouch, M., Dalou, L., Mouats, A., Didi, M., Benabdelmoumene, D. et Dahmouni Z.**, 2012. *Sélection d'une Souche avicole locale thermotolérante en Algérie. Programme et résultats préliminaires*. European Journal of Scientific Research, 71(4), pp.569-580.
- **Rajkumar, U. et Panda, A.K.**, 2011. *Characterization of two Indian native chicken breeds for production, egg and semen quality, and welfare traits*. Poultry Science, 90(2), pp.314-320.
- **Heleili, N.**, 2011. *Etude préliminaire des mycoplasmoses respiratoires aviaires dans la région de Batna*. Thèse de doctorat. Université de Batna.

- **Hidalgo, A., Rossi, M., Clerici, F. et Ratti, S.**, 2008. *A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems*. Food Chemistry, 31 (6), pp.227-233.
- **Hocking, P.M., Bain, M., Channing, C.E, Fleming, R. et Wilson, S.**, 2003. *Genetic variation for egg production, egg quality and bone strength in selected and traditional breeds of laying fowl*. British Poultry Science, 44(3), pp.365-373.
- **Holt, P.S., Davies, R. H., Dewulf, J., Gast, R.K., Huwe, J.K., Jones, D., Waltman, R.D. et Willian, K.R.**, 2011. *The impact of different housing systems on egg safety and quality*. Poultry Science, 90(1), pp.251–262.
- **Hubbard**, 2011. Guide Incubation. [pdf] Disponible sur: http://www.hubbardbreeders.com/media/guide_incubation_francais_057015400_0945_07012015.pdf [Consulté le 05 Mai 2016].
- **INRA**, 1989. *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. 2ième ed. Paris : INRA.
- **ITAVI**, 2015. *Situation de la production et des marchés des œufs et des ovoproduits d'œufs*. Note de conjoncture. Paris : ITAVI.
- **Jacob, J. et Pescatore, T.**, 2009. *Common questions about eggs*. Lexington : university of kentucky.
- **Jacob, J.P., Miles, R.D. et Mather, F.C.**, 2000. *Egg quality serial of the animal science*. University of Florida Animal Science. Disponible sur: <http://edis.ifas.ufl.edu/PS020> .
- **Kaci, A.**, 2015. *La filière avicole algérienne à l'ère de la libéralisation économique*. Cahiers Agricultures, 24(3), pp.151-60.
- **Lang, M. R. et Wells, J.W.**, 1987. *A review of eggshell pigmentation*. World's Poultry Science Journal, 43(3), pp.238-245.
- **Lohmann Brown**, 2016. *Guide d'élevage LOHMANN Brown*. [pdf] Cuxhaven : LOHMANN TIERZUCHT. Disponible sur : <http://www.ltz.de/de-wAssets/docs/managementguides/fr/LTZ-Management-Guide-LB-Classic.pdf> [Consulté le 11 Septembre 2016].
- **Mabe, I., Rapp, C., Bain, M.M. et Nys, Y.**, 2003. *Supplementation of a corn soybean meal diet with manganese, copper and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens*. Poultry Science, 82(12), pp.1903-1913.
- **MADR, 2012a. Rapport conjoncturel. (cité dans Kaci, A., 2015. La filière avicole algérienne à l'ère de la libéralisation économique. Cahiers Agricultures, 24(3), pp.151-60).**
- **Mahmoudi, N., Yakhlef, H. et Thewis, A.**, 2015. *Caractérisation technicosocioprofessionnelle des exploitations avicoles en zone steppique (wilaya de M'sila, Algérie)*. Cahiers Agricultures, 24(3), pp.161-169.
- **Mallet, S. et De Reu, K.**, 2007. *Système d'élevage de poules pondeuses et contamination de la coquille des œufs. Journées Nationales des professionnelles de la pondeuse et de l'œuf de consommation*. Ploufragan, France, 04 Décembre 2007.
- **Mao, K.M., Murakami, A., Iwasawa, A. et Yoshizaki, N.**, 2007. *The asymmetry of Avian eggshape: an adaptation for reproduction on dry land*. Journal of Anatomy, 210(6), pp.741- 784.
- **Mapiye, C., Mwale, M., Mupangwa, J., Chimonyo, M., Foti, R. et Mutenje, M.**, 2008. *A research review of village chicken production constraints and opportunities in Zimbabwe*. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 21 (11), pp.1680-1688.
- **Matt, D., Veromann, E. et Luik, A.**, 2009. *Effect of housing systems on biochemical composition of chicken eggs*. Agronomy Research, 7 (Special issue II), pp.662–667.

- **MEIN**, 2015. *Spécifications techniques applicables aux œufs et aux ovoproduits. Document réglementaire réalisé par le groupe d'étude des marchés de restauration collective et nutrition (GEM-RCN)*. Paris : Ministère de l'Economie de l'Industrie et du Numérique (France).
- **Mirabito, L., Coignard, S. et Travel A.**, 2005. *Effet du mode de logement des poules pondeuses d'œufs de consommation (cages aménagées vs cages conventionnelles) sur les performances zootechniques et divers critères de qualité des œufs*. 6èmes Journées de la Recherche Avicole. Saint-Malo, France, 30-31 Mars 2005.
- **Mirabito, L., Giraud, S. et Travel, A.**, 2007. *Effet du mode de logement des poules pondeuses d'œufs de consommation (cages aménagées vs cages conventionnelles) sur le comportement des poules et divers critères de qualité des œufs*. Techniques et Marchés Avicoles, 2, pp.10-18.
- **Monira, K. N., Salahuddin, M. et Miah, G.**, 2003. *Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken*. International Journal of Poultry Science, 2(4), pp.261-263.
- **Moula, N.**, 2012. *Biodiversité avicole dans les pays industrialisés et en développement : caractérisation et étude des performances de production de races gallines locales. Exemple de la Belgique, de l'Algérie, du Vietnam et de la République démocratique du Congo*. Thèse de doctorat, Université de Liège.
- **Moula, N., Antoine-Moussiaux, N., Decuypere, E., Farnir, F., Mertens, K., De Baerdemaeker, J. et Leroy, P.**, 2010. *Comparative study of egg quality traits in two Belgian local breeds and two commercial lines of chickens*. Archiv Fur Geflugelkunde, 74 (3), pp.164-171.
- **Niranjan, M., Sharma, R.P., Rajkumar, U., Chatterjee, R.N., Reddy, B.L.N. et Battacharya, T.K.**, 2008. *Egg quality traits in chicken varieties developed for backyard poultry farming in India*. Livestock Research for Rural Development, [En ligne] 20(12). Disponible sur: < <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd20/12/nira20189.htm> > [Consulté le 11 Juillet 2016].
- **Nouad, M.A.**, 2011. *Etude technico-économique de projets de valorisation/gestion de déchets liés à la filière avicole en Algérie*. Alger : REME.
- **Nys, Y.**, 2001. *Recent development in layer nutrition for optimising shell quality*. 13th European Symposium on Poultry Nutrition. Blankenberge : WPSA. pp.45-52.
- **Offiong, S.A., Ojebiyi, O.O., Moeses, E.O., Umoh, B.I. et Offiong, E.E.A.**, 2006. *Comparison of the morphometric characteristics of exotic commercial and local chicken eggs in the tropical environment*. Journal of Animal and Veterinary Advances. 5(12), pp.1046- 1049.
- **Penz Júnior, A.M. et Jensen, L.S.**, 1991. *Influence of protein concentration, amino acid supplementation, and daily time to access to high- or low-protein diets on egg weight and components in laying hens*. Poultry Science, 70(12), pp.2460-2466.
- **Protais, M.**, 2010. *Sélection génétique et production des pondeuses*. In : F. Nau, C. Guérin-Dubiard, F. Baron, J L. Thapon, eds. 2010. Science et technologie de l'œuf. Paris : Tec et Doc Lavoisier. pp.37-72.
- **Rath, P.K., Mishra, P.K., Mallick, B.K. et Behura, N.C.**, 2015. *Evaluation of different egg quality traits and interpretation of their mode of inheritance in White Leghorns*. Veterinary World, 8(4), pp.449-452.
- **Rayan, G.N., El Faham, A.I., Ibrahim, S.A. et Hattaba, N.A.**, 2015. *Comparative study of egg quality, hatching performance and carcass traits for Rhode Island Red, Bahij and Matrouh chicken strains*. Egypt Poultry Science, 35(3), pp.817-831.
- **Rose, S.P.**, 1997. *Principles of poultry science*. Wallingford : CAB international.
- **Sauveur, B. et Picard, M.**, 1987. *Environmental effects on egg quality*. In: R G. Well., C G. Belyavin, eds. 1987. Egg quality - Current problems and recent advances. Londres: Butterworths. pp. 219-234.

- **Sauveur, B.**, 1988. *Reproduction des volailles et production d'œufs*. Paris : INRA.
- **Sauveur, B.**, 1996. *Photopériodisme et reproduction des oiseaux domestiques femelles*. Inra Productions Animales, 9(1), pp.25-34.
- **Schwagel, F., Poser, R. et Krockel, L.**, 2001. *Application of low-resolution NMR spectroscopy of intact eggs- Measurement of quality determining physical characteristics*. Fleischwirtschaft, 81(10), pp.103-106.
- **Shanawany, M.M.**, 1990. *Ahemeral light cycles and egg quality*. World's Poultry Science Journal, 46(2), pp.101-108.
- **Silversides, F.G. et Budgell, k.**, 2004. *The Relationships Among Measures of Egg Albumen Height, pH, and Whipping Volume*. Poultry Science, 83(10), pp.1619-1623.
- **Silversides, F.G. et Scott, T.A.**, 2001. *Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens*. Poultry Science, 80(8), pp.1240-1245.
- **Silversides, F.G.**, 1994. *The Haugh unit correction for egg weight is not adequate for comparing eggs from chickens of different lines and ages*. The Journal of Applied Poultry Research, 3(2), pp.120-126.
- **Smith, A.J.**, 1992. *L'élevage de la Volaille, Volume 1 : Le technicien d'agriculture tropicale*. Wageningen: CTA ; Paris : Édition Maisonneuve et Larose.
- **Tauson, R.**, 2005. *Management and housing systems for layers*. Effects on welfare and production. World Poultry Science journal, 61 (3), pp.477-490.
- **Travel, A., Nys, T. et Lopes, E.**, 2010. *Facteurs physiologiques et environnementaux Influençant la production et la qualité de l'œuf*. Inra Productions Animales, 23(2), pp.155-166.
- **Valkonen, E., Venäläinen, E., Rossow, L. et Valaja, J.**, 2008. *Effects of dietary energy content on the performance of laying hens in furnished and conventional cages*. Poultry Science, 87(5), pp.844-852.
- **Van Horne, P.L.M.**, 2014, *Competitiveness of the EU egg sector*. International comparison base year 2013. Wageningen: LEI Wageningen UR (University & Research centre).
- **Zita, L., Tůmová, E. et Štolc, L.**, 2009. *Effects of genotype, age and their interaction on egg Quality in brown-egg laying hens*. Acta Veterinaria Brno, 78, pp.85-91.