

# *VALORISATION DU SON DE BLE EN ALIMENTATION DES VOLAILLES*

Présentée par

**Dalila BOUDOUMA**

Rapporteur : M. BERCHICHE Professeur (UNIVERSITE-Tizi-Ouzou)

Soutenue publiquement le : 06/03/08

Devant le jury composé de : Président : M. BELLAL Professeur (INA-EI-Harrach) Membres : N.  
ALLOUI Professeur (UNIVERSITE-Batna) AIN BAZIZ Maître de Conférence (ENV-EI-Harrach) S.  
TEMIM Maître de Conférence (ENV-EI-Harrach) H. YAKHLEF Maître de Conférence (INA-EI-Harrach)

## REMERCIEMENTS

Ces travaux de thèse ont été principalement effectués au département des Productions Animales de l'Institut National Agronomique d'Alger.

J'adresse au Professeur M. BELLAL, un remerciement tout particulièrement ému pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury. Soyez assuré de mon profond respect.

Je remercie Le Professeur M. BERCHICHE pour m'avoir guidée dans la réalisation scientifique de ce travail, pour ses conseils et critiques constructives, sa patience ainsi que pour sa continuelle disponibilité.

Je suis honorée par la présence dans ce jury du Professeur Mr N. ALLOUI, de l'Université de Batna.

J'associe à ces remerciements Melle H. AIN BAZIZ avec qui j'ai eu des discussions très fructueuses et dont les encouragements m'ont accompagnée tout au long de ce travail. Sa présence dans mon jury de thèse m'honore.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Mme S. TEMIM de l'Ecole Nationale Agronomique d'Alger, qui a accepté d'évaluer mon travail de thèse.

Merci également à Mr H. YAKHLEF, responsable du département des Productions Animales de l'Institut National Agronomique d'Alger, pour son concours à ce jury de thèse et pour son soutien tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance.

Je ne saurais exprimer ma grande gratitude à Mr M. LOUNI pour m'avoir permis d'utiliser ses bâtiments d'élevage et de m'avoir fait bénéficier de sa longue expérience d'aviculteur. Je le remercie de tous les conseils qu'il a pu m'apporter.

Que les responsables des unités de semoulerie ERIAD qui m'ont facilitée la tâche de collecte des échantillons de sons, soient vivement remerciés.

Je tiens également à exprimer mes plus vifs remerciements à l'équipe de recherche de la station de recherches avicoles de Nouzilly de Tours, particulièrement Mr M. LESSIRE pour son accueil chaleureux dans l'équipe et pour sa disponibilité, Mr M. PICARD pour ses conseils scientifiques et techniques aussi percutants que nombreux et pour ses constants encouragements et sa gentillesse, Mr J. GRAYON, pour ses précieux conseils techniques qui nous ont guidé lors de la réalisation de la chambre respiratoire et Mr J.M. HALLOUIS pour mon initiation aux mesures analytiques.

Je remercie également Mmes M. PLOUZEAU, J. RONCIN, N. WALCRENIER du centre de documentation de la SRA de Tours ainsi que Mr C. HEMINA de la bibliothèque du département des Productions Animales de l'INA pour leur aide efficace lors de mes recherches bibliographiques.

Toute ma sympathie va vers Mrs B. ZIKI, A. EDDOUD et D. MANSOURI qui ont partagé avec moi mes préoccupations lors de l'analyse statistique des résultats obtenus à l'issue de ce travail.

A mes collègues et au personnel technique et administratif du département de Zootechnie qui, d'une manière ou d'une autre m'ont aidée et encouragée durant la réalisation de ce travail, je dis **MERCI**.

Je ne saurai oublier de remercier l'ensemble des étudiants qui ont contribué par leurs travaux d'ingénieur et de magister à cette thèse. Sans eux, ce travail n'aurait vu le jour.

L'aboutissement de cette thèse a été encouragé par de nombreux collègues de disciplines variées. Je ne citerai pas de nom ici pour ne pas en oublier certains.

Une pensée particulière va vers mes enseignants, les Professeurs G. AYAD de l'USTHB d'Alger et A. LARWENCE de l'ENSIA-SIARC de Montpellier qui m'ont initiée au travail de recherche et suscité ma vocation. Qu'ils soient assurés de mon profond respect.

J'exprime ici toute mon amitié à Attika, Ghania, Monique, Samia et Salima pour leur soutien inconditionnel.

**A mes Parents**

**A Youcef, Aymen et Yazid**

# Table des matières

REMERCIEMENTS . . .	5
Dédicace . . .	6
ABREVIATIONS . . .	7
RESUME . . .	8
ABSTRACT . . .	10
ص غ ل م ل ا . . .	12
INTRODUCTION GENERALE . . .	13
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE . . .	15
<b>CHAPITRE I LES ISSUES DE MEUNERIE DU BLE : PRODUCTION ET UTILISATION</b> . . .	15
I.1. La production mondiale de blé . . .	15
I.2. La production de blé en Algérie . . .	16
I.3. Le procédé de transformation du grain de blé . . .	17
I.4. Les sous-produits de blé dans l'alimentation avicole . . .	20
<b>CHAPITRE II LA COMPOSITION CHIMIQUE DU SON DE BLE</b> . . .	22
II.1. La teneur en protéines et en acides aminés du son de blé . . .	23
II.2. La teneur en matières minérales du son de blé . . .	24
II.3. La teneur en composés glucidiques du son de blé . . .	25
II.4. La teneur en matières grasses du son de blé . . .	27
II.5. La teneur en vitamines du son de blé . . .	28
II.6. Les facteurs antinutritionnels des sons de blé . . .	29
<b>CHAPITRE III LA VALEUR NUTRITIVE DU SON DE BLE CHEZ LA VOLAILLE</b> . . .	32
III.1. Mode d'expression de la valeur énergétique des aliments chez la volaille . . .	32
III.2. La digestibilité des protéines . . .	40
<b>CHAPITRE IV LA PRODUCTION DE CHALEUR CHEZ LA VOLAILLE</b> . . .	44
IV.1. Les composantes de la dépense énergétique . . .	44
IV.2. Les méthodes de mesure de la dépense énergétique . . .	45
<b>CHAPITRE V LE STRESS THERMIQUE CHEZ LA VOLAILLE</b> . . .	48
V.1. Effet de la chaleur sur les performances zootechniques de la volaille . . .	49
V.2. Effet de la chaleur sur la physiologie de la volaille . . .	50
V.3. Effet de la chaleur sur le métabolisme énergétique des volailles . . .	55
PARTIE EXPERIMENTALE . . .	59
<b>CHAPITRE I ETUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES SONS DE BLE PRODUITS     EN ALGERIE</b> . . .	59
I.1. Objectifs . . .	59
I.2. Matériel et méthodes . . .	59
1.3. Résultats . . .	61
1.4. Discussion . . .	63
I.5. Conclusion . . .	71
<b>CHAPITRE II ETUDE DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES SONS DE BLE LOCAUX-     PROPOSITION D'UN MODELE DE PREDICTION</b> . . .	72

II.1. Objectifs . . .	72
II.2. Matériel et méthodes . . .	72
II.3. Résultats . . .	78
II.4. Discussion . . .	82
II.5. Conclusion . . .	88
<b>CHAPITRE III ETUDE DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES SONS DE BLE LOCAUX . . .</b>	<b>89</b>
III.1. Objectif . . .	89
III.2. Matériel et méthodes . . .	89
III.3. Résultats . . .	95
III.4. Discussion . . .	96
III.5. Conclusion . . .	100
<b>CHAPITRE IV EFFET DU STRESS THERMIQUE SUR LA DEPENSE ENERGETIQUE DE LA VOLAILLE . . .</b>	<b>101</b>
IV.1. Objectifs . . .	101
IV.2. Conception et construction d'une chambre respiratoire . . .	101
IV.3. Mesure de la production de chaleur chez la poule pondeuse et le poulet de chair recevant des rations à base de son de blé et exposés à la chaleur . . .	108
<b>CHAPITRE V PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DES POULETS DE CHAIR, DES DINDONNEAUX ET DES POULES PONDEUSES ALIMENTES AVEC DU SON DE BLE . . .</b>	<b>114</b>
<b>V.1. ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DU DINDONNEAU EN     CROISSANCE RECEVANT DES RATIONS A BASE DE SON DE BLE . . .</b>	<b>115</b>
<b>V.2. ETUDE DES PERFORMANCES DU POULET DE CHAIR RECEVANT EN     PERIODE DE CROISSANCE ET DE FINITION DES RATIONS A BASE DE SON     DE BLE . . .</b>	<b>121</b>
<b>V.3. ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE LA POULE     PONDEUSE RECEVANT DES RATIONS A BASE DE SON DE BLE . . .</b>	<b>127</b>
<b>CONCLUSION GENERALE . . .</b>	<b>137</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . . .</b>	<b>141</b>

# ABREVIATIONS

Ac P	Acide phétyque
ADF	Acid détergent fibre
Am	Amines
ANRU	Agence Nationale pour le Développement de la Recherche Universitaire
ANMF	Association Nationale de la Métrerie Française
ANRH	Agence Nationale Ressources Hydriques
°C	Degré Celsius
CIHEAM	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
CB	Célulose brute
CCV	Coeficient de variabilité
CMF	Coeficient de matière minérale
CFD	Coeficient d'efficacité digestive
EB	Energie brute
EM	Energie métabolizable
EM <sub>s</sub>	Energie métabolizable apparente
EM <sub>s,FC</sub>	Energie métabolizable apparente du son de blé mesurée chez le produit de chair
EM <sub>s,P</sub>	Energie métabolizable apparente du son de blé mesurée chez la ponde
EM <sub>s,D</sub>	Energie métabolizable apparente du son de blé mesurée chez le dinde/ouailles
EM <sub>r</sub>	Energie métabolizable réelle
EM <sub>r,FC</sub>	Energie métabolizable réelle du son de blé mesurée chez le produit de chair
EM <sub>r,P</sub>	Energie métabolizable réelle du son de blé mesurée chez la ponde poule/tales
EM <sub>r,D</sub>	Energie métabolizable réelle du son de blé mesurée chez le dinde/ouailles
EMA	Estimatif sans acide
EMAD	Estimatif ségrégué des matières azotées
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	Gramme
g/g	Gramme par gramme
h	Heure
HC	Hémicellulose
IC	Index de conservation
INA	Institut National Agronomique
INRA-AFZ	Institut National de la Recherche Agronomique-Association Française de Zootechnie
Kcal	Kilocalories
Kcal/kg	Kilocalories par kilogramme
Kcal/kg MS	Kilocalories par kilogramme de matière sèche
Kcal/kg MS <sup>0.75</sup> .j	Kilocalories par kilogramme de poids métabolique par jour
Kcal/kg MS <sup>0.75</sup> °C	Kilocalories par kilogramme de poids métabolique par °C
KJ/kg MS <sup>0.75</sup>	Kilopjoules par kilogramme de poids métabolique
Kg	Kilogramme
MAT	Matières azotées totales
MD	Matières grasses
mg	Milligramme
mg/kg MS	Milligramme par cent grammes de matière sèche
ME	Matières minérales
MS	Matière sèche
n	Effectif
N	Azote
NDF	Nitrate détergent fibre
NRC	National Research Council
na	Non mesuré
OFAL	Observatoire des Filières Avicoles
ONAB	Office National des Aliments de Bétail
ONS	Office National des Statistiques
P	Signification statistique
PC	Production de chair
P <sub>100</sub>	Poids métabolique
ppm	Partie par million
PV	Poids vif
°C	Celsius
R <sup>2</sup>	Coefficient de détermination
SEM/FAC	Erreur Standard des moyennes des fibres alimentaires et des cendres
U/kg	Unité par kilogramme
µg	Microgramme

## RESUME

Le profil chimique d'échantillons de sons de blé produits en Algérie a été étudié et des mesures de digestibilité et d'énergie de ce sous-produit ont été réalisées sur le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse. Les performances zootechniques de ces 3 types de volaille alimentés avec des régimes à base de son de blé ont été mesurées.

- Sur le plan chimique les 270 échantillons de sons de blé analysés présentent une teneur relativement élevée en amidon (20,76 % MS) et en énergie brute (4750 kcal / kg MS). Leur composition chimique se caractérise également par une forte variabilité intra et inter moulins.

- Sur le plan nutritionnel, les mesures énergétiques en termes d'énergie métabolisable réelle (EMr) révèlent que la poule pondeuse exploite mieux (2308 kcal /kg MS) que le dindonneau (2203 kcal /kg MS) et le poulet de chair (2158 kcal /kg MS) le potentiel énergétique des sons de blé.

Sur la base des données de la composition chimique moyenne des sons de blé et celles des valeurs EMr mesurées, des modèles de calcul de l'EMr de ce sous-produit ont été établis et les modèles suivants ont été sélectionnés :

Pour le poulet de chair :  $EMr = 3930 - 170,39 CB (\% MS)$  ; ETR : 45,40 ; R = 0,93.

Pour le dindonneau :  $EMr = 3806 - 154,16 CB (\% MS)$  ; ETR : 36,73 ; R = 0,94.

Pour la poule pondeuse :  $EMr = 3949 - 126,09 ADF (\% MS)$  ; ETR : 48,19 ; R = 0,91.

Le calcul de l'énergie métabolisable apparente indique la poule pondeuse valorise mieux (2123 kcal / kg MS) que le dindonneau (1957 kcal / kg MS) et le poulet de chair (1846 kcal / kg MS) l'énergie du son de blé.

La production de chaleur mesurée respectivement chez le poulet de chair et la poule pondeuse par la voie de la thermochimie respiratoire est de 104,83 et 165,33 kcal / kg P<sup>0,75</sup>.J.

La digestibilité des protéines du son de blé est en moyenne de 70, 68 et 66 % respectivement chez le dindonneau, le poulet de chair et la poule pondeuse.

Celle de l'amidon est plus élevée chez la poule pondeuse (64%) en comparaison à celle mesurée chez le dindonneau (55%) et chez le poulet de chair (50%).

L'élévation de la température ambiante (32°C) réduit l'ensemble des paramètres nutritionnels mesurés.

- Les valeurs EMA mesurées chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse deviennent respectivement de l'ordre de 1725, 1839 et 2013 kcal / kg MS.

- La digestibilité de l'amidon mesurée chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse est réduite respectivement de 13, 12 et 7%, tandis que celle des protéines est pour les mêmes volailles, réduite de 12, 7 et 6%.

- La diminution de la production de chaleur du poulet de chair est de l'ordre de 21% tandis que celle de la poule pondeuse n'est que de 18%.

Sur le terrain, la mesure des performances zootechniques des 3 types de volailles a permis de vérifier que la poule pondeuse a une meilleure aptitude que le poulet de chair et le dindonneau à valoriser le son de blé. Les meilleures performances de ponte sont observées avec le régime renfermant 23% de cette issue de meunerie. A partir de 6 semaines d'âge, les meilleures



performances de croissance du dindonneau sont observées avec le régime à base de 18% de son, alors que celles du poulet de chair sont observées avec le régime contenant 13% de ce sous-produit.

**Mots-clefs** : son de blé, poulet de chair, dindonneau, poule pondeuse, digestibilité des protéines, digestibilité de l'amidon, énergie métabolisable, chaleur, production de chaleur.

## ABSTRACT

The chemical feature of Algerian wheat bran was studied and measurements of digestibility and energy were carried out on chickens, turkeys and layers. The results obtained were checked by the measurement of the performances of these 3 types of poultry fed with diets containing wheat bran.

The 270 samples of analyzed bran present a content relatively high of starch (20,76 % ms) and gross energy (4750 kcal/kg MS). Its chemical composition is also characterized by a strong intra and inter mills variability.

In terms of true metabolizable energy (TME), the measurements reveal that the ME availability of bran, is better with layers than turkeys and chickens. The values measured for the 3 types of poultry are respectively: 2308, 2203 and 2158 kcal /kg MS.

Equations of the energy prediction (TME) were developed using the chemical composition of wheat bran and the measured TME value. The most satisfactory models selected were:

For chickens:  $EMr = 3930 - 170,39 \text{ CB (\% MS)}$ ; ETR: 45, 40 ; R = 0,93.

For turkeys:  $EMr = 3806 - 154,16 \text{ CB (\% MS)}$ ; ETR: 36, 73 ; R = 0,94.

For layers:  $EMr = 3949 - 126,09 \text{ ADF (\% MS)}$ ; ETR: 48, 19 ; R = 0,91.

In terms of apparent metabolisable energy (AME), layers derived more AME from wheat bran (2123 kcal/kg MS) than did turkeys (1957 kcal/kg MS) chickens (1846 kcal/kg MS).

Heat production was measured using closed-air-circuit respiration chamber, the values obtained respectively for chicken and layer were 104,83 and 165,33 kcal/kg W<sup>0,75</sup>.d.

Protein digestibilities of the wheat bran were 70, 68 and 66% respectively for the turkey , chicken and layer.

The digestibility of the starch was higher for layers (64%) compared with that measured with turkeys (55%) or chickens (50%).

In conditions of thermal stress (32°C), the digestive and energy use of wheat bran by the 3 types of poultry as their energy metabolism were depreciated:

- The AME values of wheat bran measured with chickens, turkeys and layers are respectively of 1725, 1839 and 2013 kcal/kg MS.

- The starch digestibility measured with chicken, turkey and layer was also reduced respectively by 12, 13 and 8%.

- The proteins digestibility measured with chicken, turkey and layer declined, they became about 60, 65 and 62 %.

- The production of heat of chicken is reduced by 21% while that of layer is reduced only by 18%.

The measurement of the zootechnical performances of chickens, turkeys and layers showed that the layer has a better aptitude than chicken and turkey to valorise the wheat bran.

The best performances of laying are observed with the diet containing 23% of this by-product. From 6 weeks of age, the best performances of growth of turkey are observed with the diet

containing 18% of bran, whereas those of chicken are observed with the diet containing 13% of this by-product.

**Keywords:** wheat bran, chicken, turkey, layer, starch digestibility, protein digestibility, metabolizable energy, heat, heat production.

## صنخل ملام

فمما بدراسة الحاصبة الكيمائية لعينات من نخالة الفمخ في الحرارة، كما قمنا بقياس الهضومية و الطاقة لهذا المنتج النانوي لدى كل من الدجاج المسمن. صغبر الديك الرومي و دجاج البيض.. و قد تك قياس القدرات الاناجية لدى هذه الانواع الثلاثة من الدواجن و التي خصعت لانظمة غذائية اساسها نخالة الفمخ. و من الناحية الكيمائية، نحتوي عينات نخالة الفمخ و النالج عددها 270 عينة نسبة عالية من النشاء (20,76% من المادة الحافة)، و من الطاقة الحافة (4750 كيلوجريده/كع من المادة الحافة). كما نتميز التركيبة الكيمائية لهذا العبات بدرجة نغبر كبيرة في الطاحونة الواحدة و بين الطاحونات. و من الناحية الغذائية، القياسات الطاقوية في ما يخص الطاقة الاستقلابية الحقيقية نبن ان دجاج البيض يستغل الامكانيات الطاقوية لنخالة الفمخ (2308 كيلوجريده/كع المادة الحافة) و الدجاج المسمن (2158 كيلوجريده/كع المادة الحافة). اعتمادا على معطيات التركيب الكيمائي المتوسط لنخالة الفمخ و كذلك على معطيات قيم الطاقة الاستقلابية الحقيقية التي تم قياسها و تم نشاء نماذج لحساب هذه الطاقة لهذا المنتج النانوي. و قد تم اختيار النماذج التالية

$$\begin{aligned} \text{الدجاج المسمن: الطاقة الاستقلابية الحقيقية} &= 3930 - 10.39CB (\%MS) \\ \text{صغبر الديك الرومي: الطاقة الاستقلابية الحقيقية} &= 3806 - 154.16CB (\%MS) \\ \text{دجاج البيض: الطاقة الاستقلابية الحقيقية} &= 3949 - 126.09ADF (\%MS) \end{aligned}$$

بمنظور الطاقة الاستقلابية الظاهرية يكون دجاج البيض النوع الاكثر استغلالا (2123 كيلو حريرة/كع المادة الحافة) لطاقة نخالة الفمخ اكثر من صغبر الديك الرومي (1957 كيلو حريرة/كع المادة الحافة) و الدجاج المسمن (1846 كيلو حريرة/كع المادة الحافة). انماج الحرارة التي تم قياسها عند كل من الدجاج المسمن و دجاج البيض باستخدام طريقة الترموكيمائية التنفسية هو على التوالي: 104.83 و 165.33 كيلو حريرة/كع-الورن الاستقلابي- حول نغبر هضومية بروتينات الفمخ بنموسط 70.68% و 66% لدى صغبر الديك الرومي و الدجاج المسمن و دجاج البيض. اما هضومية النشاء فهي عالية لدى دجاج البيض (64%) مقارنة بالتي وحدت عند صغبر الديك الرومي (55%) و الدجاج المسمن (50%) بنسبتا بارنفاغ درجة الحرارة (32°C) في انحفاظ الاستعمال الهضمي و الطاقوي لدى الانواع الثلاثة من الدواجن من جهة. و من جهة اخرى في انحفاظ الاستقلاب الطاقوي. قيم الطاقة الاستقلابية التي تم قياسها لدى كل من الدجاج المسمن. صغبر الديك الرومي و دجاج البيض نصبح على التوالي 1725-1839-2013 كيلو حريرة/كع المادة الحافة. هضومية النشاء التي تم قياسها لدى الدجاج المسمن. صغبر الديك الرومي و دجاج البيض نخفض الى 6,7,12% على الترتيب

نصل نسبة انخفاض انماج الحرارة لدى الدجاج المسمن الى 21% و لدى دجاج البيض الى 18% و لقد سمح بقياس القدرات الاناجية للانواع الثلاثة من الدواجن في الميدان بالناكيد من ان دجاج البيض بملك قدرة احسن من الدجاج المسمن و صغبر الديك الرومي على استغلال نخالة الفمخ. و لقد سجلت احسن مستويات الاناضة مع النظام الغذائي الذي يحوي 23% من هذا المنتج النانوي. كما سجلت احسن قدرات النمو لدى صغبر الديك الرومي ابتداءا من سن 6 اسابيع مع النظام الغذائي الذي يحوي 18% من نخالة الفمخ. بينما سجلت لدى الدجاج المسمن مع النظام الذي يحوي 13% من هذا المنتج.

الكلمات المفتاحية نخالة الفمخ، الدجاج المسمن، صغبر الديك الرومي، دجاج البيض، هضومية البروتينات، هضومية النشاء، الطاقة الاستقلابية، الحرارة، انماج الحرارة.

---

# INTRODUCTION GENERALE

L'aviculture est en Algérie une pratique ancienne qui, de type fermier durant la période coloniale, a évolué rapidement dès 1988 vers un système de production de type intensif.

Sur la base des données de l'OFAL (2000) et celles de l'ONAB (2004), il est permis de constater que les différentes politiques mises en œuvre par l'état ont permis un fort accroissement de la production de viandes blanches et d'œufs de consommation (respectivement de + 72 % et + 250% entre les années 1980 et 2004).

Par ailleurs, la plus grande disponibilité du produit avicole à longueur d'année sur le marché et son prix plus accessible par rapport à celui des viandes rouges, justifient la plus forte consommation de viande de poulet (253,80 milliers de tonnes) comparée à celles des bovins (178,33 milliers de tonnes) et des ovins (187,94 milliers de tonnes), telle que rapportée par la FAO (2007) pour l'année 2004.

Toutefois, ces performances n'ont été atteintes, qu'au prix d'une forte dépendance des importations d'intrants avicoles. En effet, l'aviculture algérienne est caractérisée par des industries en amont qui sont en très grande partie dépendantes des marchés extérieurs et reproduisent de ce fait, le modèle avicole intensif à l'échelle mondiale. Ainsi, l'aliment volaille fabriqué en Algérie est essentiellement à base de maïs et de tourteau de soja dont la demande de plus en plus importante, est couverte exclusivement par l'importation.

La mobilisation des ressources financières pour les inputs alimentaires est alors passée de 203,6 millions USD en 1986 à 489,5 millions de USD en 2005, soit un taux d'accroissement de 140% (Kaci, 2007). Selon ce même auteur, le maïs et le tourteau de soja ont représenté ces dernières années à eux seuls, jusqu'à 90% de la valeur globale des importations réalisées par les structures en amont de la filière avicole.

De ce fait, l'aviculture en Algérie devient de plus en plus coûteuse en devises et peu intégrée dans l'économie nationale.

Sur le plan alimentaire, dès les années 80, de nombreuses études ont été menées afin de substituer du moins en partie, le maïs et le tourteau de soja par des produits et sous-produits locaux dont, la fèverole (Hamdi, 1981 ; Bellal, 1991), l'orge ( Kouache, 1988; Beha, 1992), les issues de meunerie (Ghaboub et Saïdouni, 1996; Tafer et Zaidi, 1999), le gland (Bouderoua, 1995) et les rebuts de dattes (Benyahia, 1989; Zemouli, 1993) et de nourrir les volailles à moindre coût.

Ces travaux n'ont pas eu l'impact escompté sur le terrain, la situation économique du pays n'étant pas si précaire que celle qui prévaut actuellement. Aujourd'hui, le contexte économique mondial mettant davantage en péril le devenir de la filière avicole algérienne suite à la crise des céréales sur le marché international, le réchauffement climatique, les maladies émergentes et la limitation de certains additifs médicamenteux, la réflexion doit être orientée vers des solutions compatibles avec le développement durable.

Dans cet esprit, les issues de meunerie représentent une solution pratique au problème de l'alimentation avicole car elles peuvent constituer dans l'aliment volaille, un substitut partiel au maïs (Mossab, 1994 ; Mossab et Achouri, 1995 ; Picard et Sauveur, 1997).

A des taux d'incorporation étudiés, leur introduction dans l'aliment destiné aux poulets de chair (Ballam *et al.*, 1984 ; Boros *et al.*, 2004) aux poules pondeuses (Patterson *et al.*, 1988 ; Slominski *et al.*, 2004) et aux dindons (Harm, 1984 ; Sklan *et al.*, 2003a) a permis d'obtenir des performances de production intéressantes.

De plus, elles constituent une alternative intéressante du fait de leur disponibilité constante liée à la prééminence des blés (205 kg / hab/ an) dans le modèle de consommation de l'algérien (Chehat, 2007) d'autant plus que leur utilisation en alimentation animale (y compris celle des volailles) constitue une pratique traditionnelle en Algérie.

Cette solution ne peut cependant avoir un caractère durable que si les contraintes limitant la production de céréales et particulièrement celle des blés (insuffisances d'ordre statutaire, organisationnel, fonctionnel et méthodologique), sont levées.

Afin de soutenir un système de production avicole performant, l'utilisation rationnelle des issues de meunerie dans l'alimentation des volailles doit au même titre que celle des autres matières premières, tenir compte de leur valeur nutritionnelle et des besoins spécifiques du cheptel avicole compte tenu des contraintes biologiques (hétérogénéité du troupeau) et climatiques (stress thermique) auxquelles il est soumis.

C'est dans ce contexte que nous abordons d'une part, l'étude du profil chimique et nutritionnel des sons de blé produits localement et d'autre part, la recherche du type de volaille qui valorise au mieux cette issue de meunerie dans les conditions locales d'élevage qui sont marquées entre autres, par le facteur de stress thermique.

L'étude bibliographique de ce travail est consacrée à la production des issues de meunerie, la composition chimique des sons de blé et leur valeur nutritionnelle chez la volaille. Elle expose également les composantes de la dépense énergétique et les méthodes nécessaires à sa mesure chez la volaille, ainsi que l'effet de la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique des nutriments chez cette espèce animale.

Dans une deuxième partie, les méthodologies utilisées pour les mesures chimiques et nutritionnelles ainsi que celles de l'étude du métabolisme énergétique sont décrites. La description du dispositif construit pour la mesure des échanges gazeux chez la volaille y est également rapportée.

L'ensemble des résultats obtenus sont présentés et analysés. La dernière partie du travail consiste en l'étude comparative des performances zootechniques observées à l'issue de la conduite d'élevages de poulets de chair, de poules pondeuses et de dindonneaux recevant une alimentation à base de son de blé.

Dans la conclusion générale, nous faisons le point des idées acquises au cours de cette thèse et présentons les perspectives qui en découlent.

# PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

## CHAPITRE I LES ISSUES DE MEUNERIE DU BLE : PRODUCTION ET UTILISATION

### I.1. La production mondiale de blé

Les céréales constituent la culture prédominante dans le monde car d'une part, elles peuvent croître dans les sols et sous les climats les plus variés, d'autre part, elles peuvent être entreposées pendant de longues périodes et enfin, elles peuvent être utilisées nature ou être rapidement transformées pour l'alimentation humaine (Boudreau et Menarg 1992).

En 2003, la production mondiale de céréales s'est élevée à 2081 millions de tonnes (tableau1); le riz et le blé en sont les deux principales composantes (tableau 2).

La production mondiale de blé a atteint 562 millions de tonnes en 2003 (tableau 3); cette céréale constitue le principal aliment de base pour près d'un tiers de la population mondiale, y compris dans la plupart des pays développés (FAO, 2005); le blé figure au premier rang dans les régimes alimentaires en Afrique du Nord.

Tableau 1. Production céréalière mondiale (millions de tonnes).

Année	1970	1980	1990	2000	2003
Production	1192,5	1549,9	1951,7	2060,5	2081,0

FAO (2005)

Tableau 2. Production mondiale de blé et de riz (millions de tonnes).

Année	1970	1980	1990	2000	2003
Blé	310,7	440,2	592,3	586,1	560,0
Riz	316,4	396,9	518,2	599,0	583,0

FAO (2005)

Tableau 3. Production mondiale de blé (millions de tonnes)

Année	1990	2000	2002	2003
Monde	561	588	570	562
UE à 15	90	98	104	92
Dont : France	33	35	39	31
Allemagne	15	22	21	19
CE <sup>(1)</sup>	89	73	97	65
dont : Russie	45	38	50	37
Ukraine	-	15	21	4
Chine	95	103	89	86
Inde	53	72	71	69
Alena	95	87	59	86
dont : Etats-Unis	61	59	44	64
Canada	30	25	15	22

(1) URSS jusqu'en 1991 ; - : donnée non disponible.

Agrest statistiques agricoles (2004)

Quant à la production et la consommation des blés durs, elles se sont concentrées dans les régions sèches et chaudes du pourtour du bassin méditerranéen (Gonzalez, 1995); l'utilisation du blé dur est toutefois différente dans les pays européens où il est destiné à la préparation de pâtes et dans les pays de l'Afrique du nord où son utilisation est plus diversifiée (Bozzini, 1988).

La production a aussi gagné l'Amérique du Nord (Ouest du Dakota du Nord et Montana), le sud de l'Alberta et le Canada. L'Europe reste la 1<sup>ère</sup> région productrice des blés durs, particulièrement l'Italie, l'Espagne, la France et la Grèce.

## I.2. La production de blé en Algérie

En Algérie, le blé constitue de loin la céréale la plus cultivée (Benbelkacem et Kellou, 2000).

Selon les dernières statistiques de l'ONS (2007), la surface en blé dur occupait 47 % de la surface consacrée en 1999 aux céréales d'hiver avec une production qui représentait 46 % de celle des céréales d'hiver. La production de blé pour l'année 2005 est estimée par la FAO (2007) à 2,6 millions de tonnes.

La culture des blés durs est, en Algérie, une pratique ancienne; ils constituaient en 1830 la seule variété à être cultivée par les populations locales (Abdelguerfi et Laouar, 2000). Selon ces mêmes auteurs, l'importante diversité de populations de blé dur rencontrée en Algérie et en Afrique du Nord, a amené à considérer cette région comme l'un des principaux centres secondaires d'origine du *Triticum durum*.

Toutefois, malgré une importante capacité de production agricole (Bencharif *et al.*, 1996), les politiques mises en œuvre au lendemain de l'indépendance pour développer l'agriculture n'ont pu permettre un accroissement significatif de la production agricole (Bourenane, 1991), dont la céréaliculture. Celle-ci n'a pu répondre compte tenu de la faiblesse de la production aux besoins sans cesse croissants de la population.

En effet, la couverture de la demande en céréales par la production locale est à peine de 33 % (Adli, 2004), alors que le retrait des subventions et la libéralisation des prix en 1993 ont accéléré davantage le retour en force de cette matière première dans la composition



du régime alimentaire suite à la très forte augmentation des prix des produits alimentaires (viande, œufs, légumes).

En effet, pour la période 2000-2002, les céréales ont représenté 56,6 % de l'apport énergétique du régime de l'algérien (FAO, 2004). De plus, Talamali (2000) a précisé que leur apport protéique y est également important: 75 à 80 %.

Durant la période allant de 1998 à 2001, la consommation globale du blé à l'échelle nationale a été estimée à 30 millions de quintaux (Liams, 2002). Afin de satisfaire les besoins en blés de la population, le gouvernement algérien a eu recours à l'importation qui n'a cessé d'augmenter au fil des années: de 1,53 millions de tonnes en 1972-1975, elle est passée à 4,75 millions de tonnes en 2000, soit un taux d'accroissement de 210 % (Adli, 2004).

En 2015, pour une population locale estimée à 39 millions d'habitants, la demande en blé dur et en blé tendre devrait atteindre respectivement 3,39 et 3,85 millions de tonnes (Chehat, 2007).

Selon ce même auteur, la satisfaction de cette demande sera assurée essentiellement (à hauteur de 72,4%) par les importations (2,1 millions de tonnes de blé dur et 3,1 millions de blé tendre) pour un coût prévisionnel global de 845 millions de dollars US.

Pour l'office national des statistiques, la valeur des importations de céréales en 2003 a été d'environ 1,12 milliards de dollars. Selon les estimations de cette organisation, la quantité de blé dur importé durant 2006 est estimée à 3 millions de tonnes, la quantité produite n'étant que de 3 à 3,5 millions de tonnes.

L'industrie céréalière est, en Algérie, dominée par la première transformation des grains de blé qui génère différents sous-produits dont le plus important est le son de blé: 85 % de la production totale des issues de meunerie (Adli, 2004).

A l'indépendance, la transformation des grains en farine ou en semoule était assurée par les structures héritées de la période coloniale (Bencharif *et al.*, 1996). Le secteur de l'industrie de transformation des grains de céréales a par la suite réalisé d'importants investissements afin de satisfaire une demande sociale en pleine expansion.

Les investissements initialement menés par la SN.SEMPAC ont été poursuivis à partir de 1982 par les 5 entreprises ERIAD. Celles-ci étaient implantées au centre: ERIAD d'Alger, à l'est: ERIAD de Sétif et ERIAD de Constantine et à l'ouest: ERIAD de Tiaret et ERIAD de Sidi Bel Abbès.

Selon Liams (2002), ces complexes agro-industriels produisaient annuellement quelques 15 millions de quintaux de semoule et près de 14 millions de quintaux de farine.

La quantité d'issues de meunerie obtenues à partir du blé dur trituré, varie selon les estimations du CNIS entre 1 et 2 millions de tonnes pour l'année 2006.

### **I.3. Le procédé de transformation du grain de blé**

La mouture des grains de blé consiste à isoler l'albumen amylicé (sans le contaminer par les parties périphériques dont les enveloppes) et le germe, et à réduire l'amande en particules suffisamment fines pour être appelées farine.

Le procédé consiste à ouvrir le grain et à récupérer étape par étape l'albumen amylicé en commençant par extraire les parties les plus internes, pour se rapprocher progressivement de la périphérie du grain (Abecassis, 1991).

Les sons et les remoulages correspondent à l'endocarpe et au tégument séminal du grain de blé tandis que les remoulages et la farine basse correspondent à son assise protéique (Godon, 1998).

L'ensemble des opérations permettant d'obtenir ces différentes issues de blé est défini par le terme diagramme de mouture. Tel que décrit par Fabriani et Lintas (1988), le diagramme de mouture se décompose en 4 étapes distinctes : le broyage, le sassage, le convertissage et le blutage. Elles sont précédées par les opérations de nettoyage et de conditionnement.

Les grains de blé sont nettoyés par passage sur plusieurs et différentes grilles dont les ouvertures présentent des dimensions permettant d'éliminer les grosses impuretés (pierres, graines étrangères, débris d'animaux, etc...), les impuretés légères (poussières, grains cassés ou échaudés, petits grains) et les débris métalliques. Cette opération de nettoyage est réalisée à l'aide de calibreurs, de colonnes d'aspiration, de trieurs à grains et de séparateurs-aspirateurs.

Le conditionnement du grain consiste à mouiller le grain de blé afin de lui conférer une humidité suffisante pour obtenir une bonne séparation du son et de l'amande. Le choix de la teneur en eau des grains est fonction de leur dureté et de leur taux d'humidité initial (Fabriani et Lintas, 1988).

Après le mouillage, une période de repos de 24 à 48 heures selon la dureté des grains est observée. Elle permet une migration correcte de l'eau à l'intérieur des grains (Berot et Godon, 1991).

Les étapes du diagramme de mouture sont les suivantes :

- Le broyage

L'objectif de cette opération est d'obtenir le maximum de gros sons aussi épurés que possible. Le choix de l'appareil de broyage est fonction du degré de réduction souhaité et de la dureté et la friabilité des grains.

Le broyage des grains s'effectue entre des paires de cylindres qui tournent en sens opposé et à une vitesse différente. La surface des rouleaux de rupture est généralement cannelée pour obtenir l'effet d'écrasement du grain par cisaillement. Les cannelures sont caractérisées par leur nombre, leur forme, leur inclinaison et leur position de travail. L'opération de broyage est répétée 5 à 6 fois, les cylindres étant de plus en plus rapprochés et les cannelures de plus en plus fines.

Après chaque passage entre une paire de cylindres de rupture, un calibrage se fait par la combinaison d'un tamisage horizontal et d'une aspiration d'air. Des grains entiers et les gros morceaux de son avec de l'albumen adhérent sont retirés les premiers, et sont envoyés à la prochaine paire de cylindres de broyage. Au dessous des tamis, il n'est récolté que des semoules ou des finots. Le dernier tamis récolte de la farine, et les fines pellicules de son qu'elles renferment sont enlevées par un séparateur à air.

- Le sassage

Cette étape consiste à séparer les parties obtenues par broyage. Elle est réalisée à l'aide de sasseurs munis de tamis animés de mouvements rapides qui permettent de différencier les particules réduites en farines, des autres particules plus grosses (semoules, finots et gruaux). Ces dernières seront soumises à un autre broyage pour réduire leur taille.

- Le convertissage et le blutage

Le convertissage ou réduction en farine des particules d'amande pure en provenance du sassage, se fait par une succession de cylindres lisses. Cette étape vise à écraser les morceaux d'albumen pour les transformer en farine et d'enlever les derniers morceaux de son et de germe. L'opération de convertissage est réalisée en 7 à 8 passages. A chaque paire de cylindres, un ensemble de tamis à bluter (plansichters) à mouvement circulaire ou alternatif, permet de classer les produits en fonction de leur granulométrie.

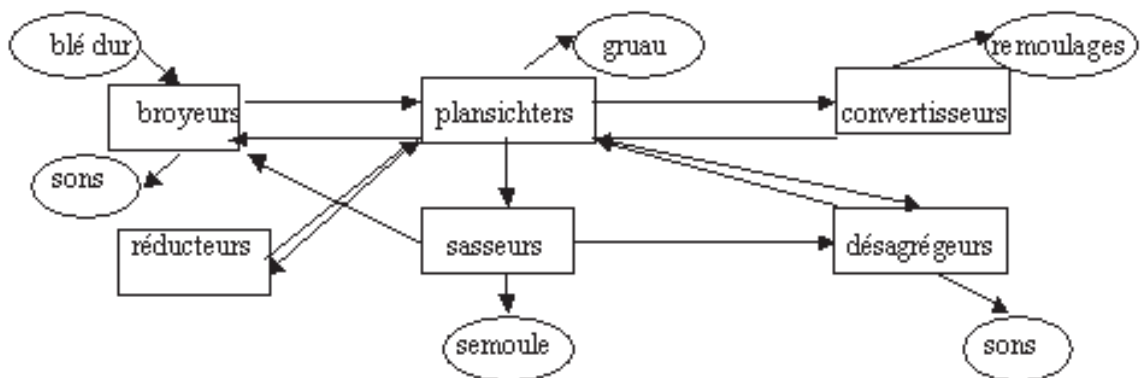
Les premiers passages du broyage et du convertissage fournissent la farine première utilisée pour la fabrication de produits de semoulerie. Les farines produites lors des derniers passages sont plus riches en matières minérales et constituent les gruaux.

Les refus de broyage des derniers passages sont constitués d'une part, par de grosses fractions d'enveloppes appelés « sons gros » et d'autre part, par des particules plus fines: les sons fins.

Par tamisage du son, les repasses ou rebulets sont obtenus. En fin de convertissage, les refus sont représentés par les remoulages.

Le broyage du blé dur requiert 20% de plus d'énergie pour le transformer en semoules que celui des blés tendres en farines (Boudreau et Menarg 1992). Aussi, pour obtenir des semoules de granulométrie relativement uniforme, le moulin de blé dur se différencie du moulin de blé tendre par un nombre plus élevé d'appareils à cylindres de broyage et d'appareils de sassage et par un nombre moindre d'appareils à cylindres lisses de convertissage.

La transformation des grains de blé dur génère une large gamme de produits et de sous-produits de mouture (figure 1). Ces derniers ont une signification économique considérable compte tenu qu'ils représentent 25% du grain (Joindreville *et al.*, 2000).



**Figure 1.** Représentation du diagramme de mouture du blé dur

En moyenne, l'agence nationale de la meunerie française estime que 100 kg de grains de blé mis à la mouture, donnent 77 kg de farine, 17,7 kg de son, 3,5 kg de remoulage, 1,5 kg de farine basse et 0,3 kg de germe. Il est bien évident que la quantité de farine ou de semoule et donc la quantité et la qualité des issues qu'un moulin produit, dépend du réglage des machines et des caractéristiques du blé mis en œuvre (Godon, 1998). De tout temps, les issues de meunerie ont été utilisées en alimentation animale et durant ces 20 dernières années, un intérêt croissant a été porté aux sons de blé non seulement par les fabricants d'aliments pour animaux, mais également par des biochimistes, des nutritionnistes, des physiologistes, des microbiologistes et des médecins (Bartnick et Jakubczyk, 1989).

## I.4. Les sous-produits de blé dans l'alimentation avicole

La substitution partielle des grains de maïs ou de blé de la ration avicole par des sous-produits de blé a fait l'objet de nombreuses études (Hegde *et al.*, 1978 ; Chiou, 1981 ; Ballam *et al.*, 1984 ; Boros *et al.*, 2004).

Dans le contexte algérien les issues de meunerie offrent une solution pratique au problème de l'alimentation avicole car elles peuvent constituer dans l'aliment volaille un substitut partiel au maïs. En effet, Mossab et Achouri (1995), Mossab (1994) n'ont pas observé de modifications de croissance des poulets de chair recevant un régime alimentaire à base d'issues de meunerie à condition toutefois que celles-ci soient couplées à un apport de matières grasses.

Actuellement, en Algérie les sous-produits de blé ont une importance certaine pour l'industrie de la fabrication des aliments composés. A titre d'exemple, 84 000 tonnes ont été utilisées en 2002 par le principal fabricant public d'aliment du bétail (ONAB, 2003) et 105 416 tonnes devaient l'être en 2003 par ce même office. Les issues de meunerie utilisées par l'ONAB sont fournies par les minoteries du secteur public (5 ERIAD) et du secteur privé. Celui-ci investit de plus en plus le marché et devient ainsi un opérateur incontournable dans ce domaine (ONAB, 2003).

Selon Piat (1990), l'inconvénient majeur des sons de blé dans l'alimentation des volailles est leur taux élevé en cellulose brute qui correspond à l'abondance des composés pariétaux qui limitent la digestibilité des nutriments chez cette espèce animale. Aussi, le taux d'utilisation des sons de blé dans les aliments destinés à la volaille est généralement peu élevé.

Les données fournies par l'ONAB (2003) indiquent que l'incorporation du son de blé ne dépasse pas les 10 % (tableau 4) dans la ration du poulet de chair, 22 % dans celle de la poule pondeuse (tableau 5), 25 % dans celle des reproducteurs (tableau 6) et 13 % dans la ration de la dinde (tableau 7). Dans l'aliment destiné aux ruminants, le taux d'incorporation du son est plus élevé. Dans l'aliment cunicole il est introduit à des taux variant entre 5 et 11 % (Berchiche et Lebas, 1990).

Pour peu qu'elles soient disponibles, les issues de meunerie permettent en Algérie d'élaborer des formules alimentaires minimisant les coûts de revient.

Tableau 4. Le son de blé dans l'aliment fabriqué par l'ONAB pour le poulet de chair.

Composant	Démarrage	Croissance	Finition	Finition-retrait
<b>Maïs</b>	60,90	64,80	68,80	69,85
<b>Son de blé</b>	5,90	5,00	6,00	10,00
<b>Tourteau de soja</b>	29,10	27,00	21,80	17,00
<b>Calcaire</b>	0,57	1,20	1,30	1,40
<b>PBC</b>	1,50	1,00	1,10	1,10
<b>Méthionine</b>	0,03	-	-	0,05
<b>Anti stress</b>	1,00	-	-	-
<b>Sel</b>	-	-	-	0,40
<b>CMV D-C</b>	1,00	1,00	-	-
<b>CMV F</b>	-	-	1,00	-

PBC: phosphate bicalcique ; CMV D-C: complément minéral et vitaminique pour les phases de démarrage et de finition ; CMV F: complément minéral et vitaminique pour la phase de finition

Tableau 5. Le son de blé dans l'aliment fabriqué par l'ONAB pour la poule pondeuse.

Composant	PPF1	PPF2	Ponte
Maïs	62,00	63,00	57,20
Son de blé	11,50	19,50	22,00
Tourteau de soja	23,20	14,00	12,00
Calcaire	1,00	1,40	7,50
PBC	1,30	1,10	0,30
CMV	1,00	1,00	-
CMV P	-	-	1,00

PBC: phosphate bicalcique ; CMV: complément minéral et vitaminique ; CMV P: complément minéral et vitaminique ponte ; PPF1: aliment de démarrage des poulettes futures pondeuses ; PPF2: aliment de croissance-finition des poulettes futures pondeuses.

Tableau 6. Le son de blé dans l'aliment fabriqué par l'ONAB pour les reproducteurs.

Composant	Femelle	Mâle
Maïs	64,60	63,00
Son de blé	9,00	25,00
Tourteau de soja	17,00	8,50
Calcaire	7,60	1,10
PBC	0,80	1,40
CMV	1,00	1,00

PBC: phosphate bicalcique ; CMV: complément minéral et vitaminique.

Tableau 7. Le son de blé dans l'aliment fabriqué par l'ONAB pour la dinde.

Composant	Démarrage	Croissance	Finition
Maïs	52,00	58,00	68,00
Son de blé	6,00	-	13,00
Tourteau de soja	36,70	37,00	15,00
Calcaire	1,50	2,00	1,50
PBC	1,80	2,00	1,50
CMV	1,00	1,00	1,00
Anti stress	1,00	-	-

PBC: phosphate bicalcique ; CMV: complément minéral vitaminique.

Tableau 9. Composition chimique des sons de blé présentée par quelques tables de composition chimique des aliments.

Critères analytiques	AEC (1978) %	Abbott Souci (1980) %	FNE* (1986) % MS	AEC (1987) %	Leclercq (1992) %	Larbier et Poulenc (1993) %	Rhône Poulenc (1993) %	NRC (1994) %	INRA (1999) %	AFZ (%)	
Type de son	Son de blé dur	Son de blé	Son de blé	Son de blé	Son fin de blé	Son de blé dur	Son de blé	Son fin de blé	Son de blé dur	Son de blé dur	Son de blé dur
Matière sèche	88,00	88,00	88,50	-	88,00	87,10	88,00	88,00	89,00	88,30	86,6
Matière minérale	4,50	-	6,15	6,00	5,50	-	4,40	5,50	-	4,60	4,9
Protéines brutes	15,00	14,50	16,00	17,00	15,50	15,90	15,60	15,50	15,70	16,30	14,6
Matière grasse	4,00	3,00	4,65	5,00	4,00	4,00	4,70	4,00	3,00	5,90	4,4
Cellulose brute	10,50	11,00	10,50	11,50	10,00	7,80	10,00	10,00	11,00	10,50	10,1
ENA	54,00	-	-	60,50	53,00	-	53,30	-	-	53,30	-
Amidon	-	-	-	15,60	-	-	19,40	-	-	-	19,9
ADF	-	-	-	-	-	-	12,10	-	-	12,10	13,0
NDF	-	-	-	-	-	-	36,90	-	-	36,30	43,2
Calcium	0,15	0,08	-	-	0,15	-	-	-	0,14	0,16	0,14
Phosphore total	1,00	1,15	-	-	1,02	-	-	-	1,15	0,91	0,97
Phosphore assimilable	0,33	0,40	-	-	0,60	-	-	-	-	-	-

FNE\*: Fédération Européenne de nutrition de la World's Poultry Science Association

## CHAPITRE II LA COMPOSITION CHIMIQUE DU SON DE BLE

Le son de blé représente 14,5 % du grain entier (Kent-Jones et Amos, 1967). Il est constitué en grande partie de la couche d'aleurone et renferme de ce fait, une forte concentration d'éléments nutritifs (Mc Masters *et al.*, 1964).

Thomas et Grahn (1978) définissent le son comme un ensemble de fragments issus de différentes parties du grain dont d'une part, le péricarpe, la couche d'aleurone et le germe et d'autre part, l'endosperme du grain de blé, ce qui ne lui confère pas un profil chimique particulier.

Les parts relatives variables d'endosperme, de péricarpe et de germe dans la structure du son, ainsi que leur granulométrie donnent lieu à différentes appellations : son fin, gros son, son entier, son décharné (Fellers *et al.*, 1976).

Le son de blé se distingue des autres fractions du grain de blé (tableau 8) par une teneur élevée en composés pariétaux (53 %).

Tableau 8. Composition chimique (% MS) du grain de blé et de ses différentes fractions.

Nutriments	Grain de blé	Farine	Son	Germe
Protéines	16	13	20	22
Matières grasses	2	1,5	5	7
Glucides	68	82	16	40
Parois	11	1,5	53	25
Matières minérales	1,8	0,5	7,2	4,5
Autres	1,2	1,5	2,8	1,5

(Belderock, 2000)

Comparativement au grain entier de blé, le son renferme 20 % de protéines, 2 fois plus de matières grasses, 4 fois plus de minéraux et 3 à 5 fois plus de vitamines (Thomas et Grahn, 1978). Ce profil chimique résulte de la prédominance de la couche d'aleurone dans la structure du son (Thomas, 1964 ; Lockhart, 1968).

## II.1. La teneur en protéines et en acides aminés du son de blé

L'ensemble des teneurs en protéines du son de blé rapportées par la bibliographie oscille entre 15 et 17 % (tableau 9). La mesure du taux protéique de 26 échantillons de sons gros de blé et de 2755 échantillons de sons fins de blé, a permis d'obtenir respectivement une valeur moyenne de  $17,01 \pm 0,83$  % et de  $17,50 \pm 1,06$  % ( Bonnetti *et al.*, 1994).

Le taux relativement élevé des sons en protéines est étroitement lié à la présence d'endosperme adhérent à la couche d'aleurone (Kent, 1966) et à la variété du grain de blé (Peterson *et al.*, 1983).

La composition des protéines du son de blé en acides aminés est présentée dans le tableau 10. Selon Miladi *et al.*(1972), la valeur nutritive des protéines des sons de blé est intéressante en raison de leur teneur élevée en lysine, acide aminé limitant en alimentation animale.

Comparées aux protéines de l'endosperme, celles du son renferment environ deux fois plus d'alanine, d'arginine, d'asparagine, de glycine et de lysine et autant de thréonine et de tyrosine, mais moins de glutamine, de proline, de phénylalanine et d'acides aminés soufrés.

Tableau 10. Composition du son de blé en acides aminés (g/16g N).

	Hepburn <i>et al.</i> (1960)	Kohler et Palter, (1967)	Miladi <i>et al.</i> (1972)	Hansmeyer <i>et al.</i> (1976)
<b>Alanine</b>	4,65	4,72	5,57	5,57
<b>Arginine</b>	6,60	6,84	7,05	7,51
<b>Acide aspartique</b>	6,64	6,96	7,17	7,85
<b>Cystine</b>	1,52	2,16	1,25	1,25
<b>Acide glutamique</b>	16,20	17,50	18,54	20,52
<b>Glycine</b>	5,12	5,66	6,14	6,14
<b>Histidine</b>	2,22	2,64	2,74	3,07
<b>Isoleucine</b>	3,29	3,32	3,28	3,28
<b>Leucine</b>	5,51	5,87	6,08	6,08
<b>Lysine</b>	3,77	3,69	4,10	4,10
<b>Methionine</b>	1,48	1,49	1,08	1,08
<b>Phénylalanine</b>	3,58	4,12	3,86	3,86
<b>Proline</b>	6,11	5,45	5,63	5,39
<b>Serine</b>	4,58	4,49	4,35	4,17
<b>Thréonine</b>	2,86	3,26	3,29	3,09
<b>Tryptophane</b>	1,58	-	1,92	1,37
<b>Tyrosine</b>	2,82	2,82	3,07	3,07
<b>Valine</b>	4,69	4,69	5,00	5,00

## II.2. La teneur en matières minérales du son de blé

La richesse en minéraux des sons de blé s'explique par la concentration de 80 % des minéraux du grain dans la couche à aleurone et dans le péricarpe. La farine en est relativement dépourvue puisque l'endosperme renferme à peine 20 % de la matière minérale du grain de blé.

Selon Czerniejewski *et al.*(1964), le son de blé dur contient 15 fois plus de minéraux que la farine, 10 fois plus de calcium, de sodium, de cuivre et de molybdène, 13 à 16 fois plus de potassium, de phosphore et de zinc, 19 à 23 plus de fer et de manganèse et 25 à 27 fois plus de magnésium et de cobalt.

Le phosphore est généralement sous forme de phytate de calcium, de phytate de potassium et de phytate de magnésium (Hazell, 1985).

Il est relevé à travers la documentation spécialisée une importante variabilité des teneurs en matières minérales d'un échantillon de son de blé à un autre. Ces différences sont sous l'influence des facteurs environnementaux qui caractérisent la culture du grain et de l'effet variétal du grain de blé (Peterson *et al.*, 1986 ; Bock, 2000).

Le procédé de transformation du grain de blé constitue également une source de variation de la concentration en minéraux des sons (Bartnick et Jakubczyk 1989).

Le tableau 11 présente la teneur des principaux éléments minéraux des sons de blé telle que rapportée par quelques auteurs.

Tableau 11. Teneur du son de blé en quelques éléments minéraux.



Minéral	Czerniejewski <i>et al.</i> (1964)	Waggle <i>et al.</i> (1967)	Fellers <i>et al.</i> (1976)	Peterson <i>et al.</i> (1983)
<b>K mg / 100g</b>	1671	1200 -1900	1022	929-1135
<b>P mg / 100g</b>	1570	900-1500	995	595-741
<b>Mg mg / 100g</b>	688	390-640	478	335-383
<b>Ca mg / 100g</b>	128	57-130	72	63-131
<b>Na mg / 100g</b>	31	5-41	6,5	-
<b>Zn ppm</b>	99	56-141	12	51-81
<b>Fe ppm</b>	141	74-103	11	72-116
<b>Mn ppm</b>	136	72-144	17	105-148
<b>Cu ppm</b>	15	8-17	1,7	7,2-11,9
<b>Mo ppm</b>	0,8	-	-	-
<b>Co ppm</b>	0,11	0,08-0,12	-	-

### II.3. La teneur en composés glucidiques du son de blé

La fraction glucidique du son de blé est composée d'amidon, d'oses simples et de composés pariétaux. Ces derniers sont bien représentés dans le son de blé par rapport au grain entier, à la farine et au germe (tableau 12).

Tableau 12. Composition glucidique du grain, de la farine, du son et du germe de blé (% MS)\*.

Composant	Grain de blé	Farine	Son	Germe
<b>Paroi</b>	11-14,6	2,3-5,6	43-53	13,2-15
<b>Sucres libres</b>	2,1-2,6	1,2-2,1	7,6	16,0
<b>Amidon</b>	59-72	65-74	14,1	28,7

\* compilation de résultats rapportés par Becker et Hanner (1991) et Belderock (2000).

La teneur en parois du son de blé s'élève environ à 45 % (Bach Knudsen 1997). Elle est essentiellement composée de composés insolubles (45,86 %) tandis que les composés solubles ne représentent que 2,80 % (Cui *et al.*, 1999).

Fisher (1973) et Rasper (1979) précisent que la paroi renferme 80% des structures glucidiques du son de blé. Elles sont selon Mongeau et Brassard (1982) ; Southgate *et al.* (1978) et Neukom (1976) sous forme d'hémicelluloses (principal composant), de cellulose, de pectine et de lignine ; la part respective de ces composés dans la structure de la paroi est présentée par le tableau 13.

Tableau 13. Structure de la paroi du son de blé (%).

Composant	Elchalzly et Thomas (1976)	Southgate <i>et al.</i> (1978)	Anderson et Clydesdale (1980)	Jeltema et Zabik (1980)	Mongeau et Brassard (1982)	Kunerth et Kings (1984)
<b>Paroi totale</b>	13 - 22	27,9	44,1	36,1 - 45,1	40,9 - 53,7	34,9 - 42,7
<b>Hémicellulose</b>	7 - 11	-	28,5	24,2 - 30,3	26,4 - 34,9	20,9 - 28,2
<b>Cellulose</b>	3,7 - 8,2	6,4	9,8	5,9 - 9,2	9,8 - 13,9	9,6 - 13,2
<b>Lignine</b>	2,8 - 3,2	2,8	2,9	3,6 - 5,1	3,7 - 5,5	3,3 - 4,5
<b>Pectine</b>	-	-	2,2	0,6 - 1,7	-	-

De nombreux travaux ont été orientés vers la structure et le rôle des fibres solubles et insolubles en nutrition animale.

L'intérêt porté aux fibres solubles est lié à leur effet antinutritionnel car elles augmentent la viscosité dans l'intestin grêle et inhibent de ce fait la digestion et l'utilisation des nutriments (Smiths *et al.*, 1997).

Elles sont également impliquées dans la réduction du transit intestinal qui, à son tour, provoque la prolifération microbienne dans l'intestin (Langhout, 1998).

De plus, la capacité de captation de l'eau par les fibres solubles pose le problème des fientes très humides dans les élevages avicoles.

Quant à la fraction insoluble, elle est présente dans la plupart des matières premières d'origine végétale (Bach- Knudsen, 1997). Son rôle en nutrition animale n'est pas clairement défini.

Selon Carré (1990), les fibres insolubles sont inertes et n'agissent que comme un diluent des nutriments dans l'alimentation des monogastriques. Les travaux d'Edwards, (1995) appuient cette thèse en rapportant que les fibres insolubles telles que la cellulose et le son de blé n'affectent ni la digestion, ni l'absorption des nutriments dans l'intestin.

Par ailleurs, à l'opposé de la fraction des fibres solubles qui affecte considérablement la microflore, les fibres insolubles ne sont pas dégradées à grande échelle par les fermentations bactériennes chez la volaille et ont peu d'influence sur le profil et la masse de la microflore (Choct et Annison, 1990 ; Langhout, 1998).

Cependant, d'autres études ont montré que les fibres insolubles exercent un effet négatif sur la digestion et l'absorption des nutriments chez les poulets (Krogdahl, 1986). Elles enrobent les nutriments et constituent une barrière physique à leur digestion enzymatique. Elles provoquent également un développement du pancréas et par conséquent une augmentation de la sécrétion enzymatique (Kratzer *et al.*, 1967). En revanche, les travaux de Rogel *et al.*(1987) ont montré que les enveloppes d'avoine améliorent la digestibilité de l'amidon du blé et de la pomme de terre et les résultats des études menées par Cao *et al.*(1998) ont rapporté que l'utilisation de l'azote n'est pas diminuée par la dilution de la ration par de la cellulose.

De récentes études norvégiennes (Hetland and Svihus, 2001 ; Hetland *et al.*, 2003) ont montré que les performances des poulets de chair et des pondeuses se maintiennent lorsque les fibres insolubles sont incorporées à des taux modérés dans la ration.

L'importante capacité d'hydratation des sons de blé est liée à la structure chimique de leur fraction hémicellulosique. Celle-ci est selon Brillouet *et al.*(1982), composée en grande partie de xylose et d'arabinose et en quantités moindres de glucose, de galactose et d'acide glucuronique. Définie sous le terme d'arabinoxylane (Amado et Neukom, 1985), cette structure atteint dans le son de blé la proportion de 60 à 69 % (Knudsen et Hansen, 1991). Pour Holloway (1983), les teneurs respectives d'arabinose et de xylose des hémicelluloses du son de blé représentent 32 et 60 % de l'ensemble des structures glucosidiques. La cellulose, principalement localisée à l'origine dans la partie corticale du grain, se retrouve en partie dans les sons. Telle que rapportée dans le tableau 9, la teneur cellulosique des sons de blé oscille entre 10 et 11 %.

Quant à la teneur en amidon des sons de blé, elle dépend de la quantité d'endosperme qui se mélange au son durant le broyage des grains; elle est de ce fait très variable.

Saunders *et al.* (1970) rapportent des concentrations variant de 4 à 15%, alors qu'elles se situent entre 4,5 à 7% pour Farell *et al.* (1967), entre 14 et 19% pour Kunerth et Young (1984) et sont de l'ordre de 22% pour Piat (1990).

Saunders et Walker (1969) évaluent la quantité de sucres libres dans le son de blé à 6% dont 2 % pour le raffinose et le saccharose. Quant à Piat (1990), il rapporte une teneur globale en sucres de l'ordre de 7,4 %.

Les  $\beta$ -glucanes ne représentent que 0,6 % de la matière sèche du son de blé dur (Piat, 1990). La présence de liaisons  $\beta$  1-3 confère à ces structures une configuration spatiale qui favorise leur solubilité dans le milieu aqueux du tube digestif, augmentant ainsi la viscosité du chyme. Ces facteurs affectent négativement la vitesse de transit et l'utilisation des nutriments. En revanche, ce même auteur rapporte que la concentration en pentosanes est relativement plus élevée. La teneur en pentosanes du son de blé serait liée à celle du grain d'origine (Mohammadkhani, 2005).

Au même titre que les  $\beta$ -glucanes, les pentosanes sont solubilisés durant leur passage dans le tube digestif formant un fluide intestinal très visqueux et collant, interférant négativement avec le processus de digestion des glucides, des acides aminés, des minéraux et surtout des lipides (Vanbelle 1990).

La teneur en lignine des sons de blé oscille entre 3 et 7 % (Schwarz *et al.*, 1988). Cette variabilité est selon ces mêmes auteurs, liée d'une part, aux caractères spécifiques de l'échantillon (variété du grain, conditions de culture, conditions de transformation, etc...) et d'autre part, à la méthode de mesure de la lignine.

## II.4. La teneur en matières grasses du son de blé

Les matières grasses du son de blé sont estimées par Burkwall et Glass (1974) et par Nelson *et al.* (1963) à 4 % MS. Ces teneurs se situent dans la gamme des valeurs présentées par les tables d'évaluation chimique des aliments (tableau 9). L'acide linoléique est prédominant, il représente 60 % des acides gras du son de blé tel que l'indique le tableau 14.

Tableau 14. Teneur en acides gras (% total) du grain, du son et de la farine de blé dur.

Acide gras	Grain entier	Son	Farine
Palmitate	24,5	18,3	18,0
Stéarate	1,0	1,1	1,2
Oléate	11,5	20,9	19,4
Linoléate	56,3	57,7	56,2
Linoléinate	3,7	1,3	3,1
Autres	3,0	0,7	2,1

(Nelson *et al.*, 1963).

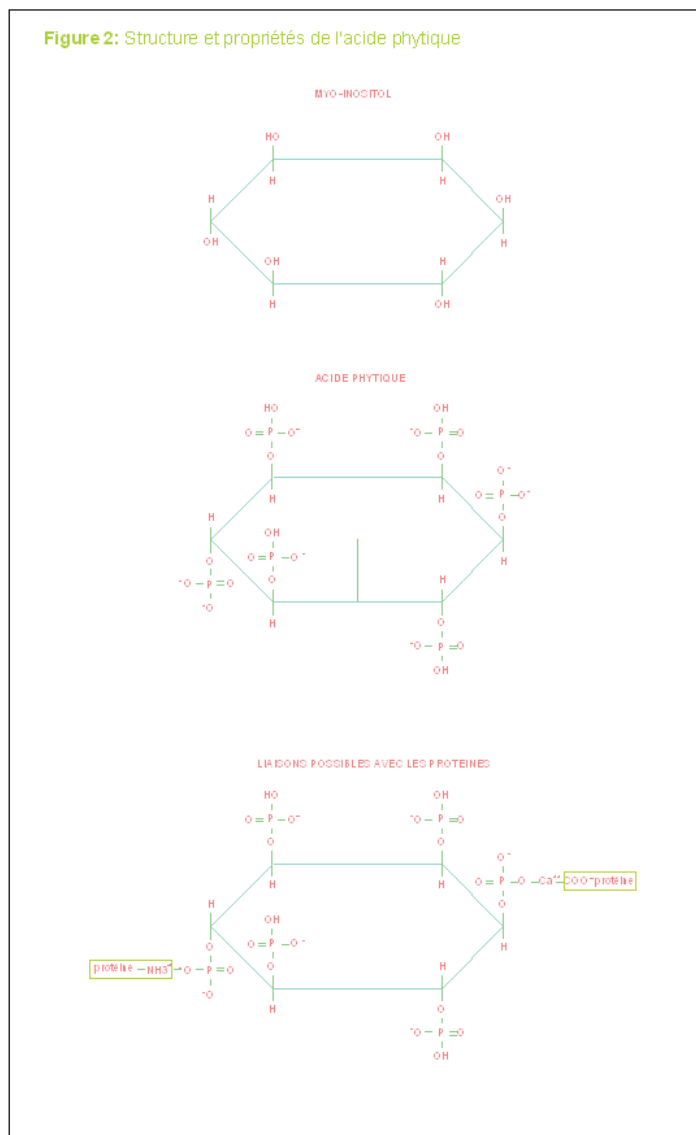


Figure 2 : Structure et propriétés de l'acide phytique

## II.5. La teneur en vitamines du son de blé

De nombreux auteurs ont mis en exergue la richesse du son de blé en vitamines et particulièrement celle du groupe B (Calhoun *et al.*, 1960 et Wagle *et al.*, 1967).

Le son de blé renferme selon Calhoun *et al.*(1960), 50 à 90 % des vitamines du grain de blé. Letableau 15présente les teneurs en vitamines du son de blé, telles que rapportées par différents auteurs.

Vitamine	Calhoun <i>et al.</i> (1960)		Waggle <i>et al.</i> (1967)	
	Son de blé	Farine de blé	Son de blé	Farine de blé
Thiamine	6,29	0,76	5,06-6,95	0,79-1,47
Riboflavine	3,34	0,32	4,33-5,76	0,31-0,37
Niacine	266,0	10,1	249,0-359,0	8,1-11,4
Acide panthoténique	39,10	4,83	23,4-40,6	3,30-5,19
Acide folique	0,88	0,11	0,88-1,42	0,103-0,136
Pyridoxine	-	-	7,24-10,69	0,42-1,36
Biotine	0,44	0,014	-	6
Acide p-aminibenzoïque	14,80	0,33	-	6
Choline*	1,54	1,61	1,74-2,70	0,56-0,98

**Tableau 15.** Concentration vitaminique du son et de la farine de blé ( $\mu\text{g/g}$ ).

\*mg/g

La variété du grain de blé, son lieu de culture et le processus de transformation du grain, sont autant de facteurs de variation de la concentration vitaminique du son de blé (Sampson *et al.*, 1996).

## II.6. Les facteurs antinutritionnels des sons de blé

Dans les structures végétales, le phosphore est en grande partie présent sous forme d'acide phytique (Eeckhout et De Paepe, 1994). La concentration des graines de céréales et d'oléagineuses en acide phytique se situe entre 0,7 et 2 % (Cheryan, 1980); le phosphore de cette molécule représente 50 à 85 % du phosphore total tel que l'indique le tableau 16.

Dans les grains de céréales, la molécule d'acide phytique est principalement concentrée au niveau des couches d'aleurones, du testa et du péricarpe.

L'acide phytique est un dérivé hexaphosphoré du myo-inositol (Maga, 1982) qui comprend 12 atomes d'hydrogène ionisables (figure 2). La perte de ses protons lui confère un haut pouvoir de chélation des ions métalliques et d'interaction avec les acides aminés et les glucides. L'acide phytique forme des complexes binaires avec l'arginine et la lysine sous forme libre ou avec le groupement  $\text{NH}_2$  terminal des protéines (Maenz *et al.*, 1999).

Les chélats formés se trouvent en fonction du pH du milieu, sous forme de complexes solubles ou insolubles (Cheryan *et al.*, 1983 ; Maenz *et al.*, 1999).

L'acide phytique forme également des complexes avec les cations et réduit de ce fait leur absorption au niveau intestinal. Le complexe le plus stable est formé avec le  $\text{Zn}^{++}$ , suivi du  $\text{Cu}^{++}$ , du  $\text{Co}^{++}$ , du  $\text{Mn}^{++}$ , du  $\text{Ca}^{++}$  et du  $\text{Fe}^{++}$  (Maenz *et al.*, 1999).

Dans le tube digestif, ces réactions se déroulent en milieu acide (Sell *et al.*, 2000). Le faible pH du proventricule et du gésier de la volaille favorise la formation de ces complexes. L'hydrolyse des liaisons ester entre les groupements phosphorés et d'inositol est un préalable à la libération du phosphore des phytates et à son absorption au niveau du tractus digestif.

La volaille n'étant pas dotée de phytases endogènes nécessaires à la déphosphorylation des phytates (Ravindran *et al.*, 1999 ; Sell *et al.*, 2000), la

déphosphorylation de l'acide phytique par l'addition de phytases aux régimes destinés à la volaille s'est avérée être un moyen efficace d'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments dont la concentration en acide phytique est relativement élevée (Rutherford *et al.*, 2002).

Cependant, les mécanismes d'amélioration de la digestibilité des protéines ou des acides aminés par l'addition de phytase ne sont pas rigoureusement démontrés (Ravindran *et al.*, 2000 ; Ravindran *et al.*, 2001; Adeola et Sands, 2003).

Les teneurs en phosphore et en phosphore phytique ainsi que l'activité phytasique des graines sont tributaires des conditions pédo-climatiques (Tran et Skiba, 2005). Ces auteurs précisent que les phytases végétales des issues de blé varient de 250 à 1000 U/ kg.

Tableau 16. Teneurs en phosphore total (moyenne et écart-type), rapport phosphore phytique/ phosphore total et activité phytasique de quelques matières premières.

Matière première	P (g/Kg brut)	P phytique/P total (%)	Activité phytasique(U/Kg)
Avoine	3,2 (0,4)	55	40
Blé tendre	3,2 (0, 3)	65	460
Maïs	2,6 (0, 3)	75	20
Orge	3 ,4 (0,3)	55	538
Seigle	3 (0,3)	65	5350
Triticale	3,5 (0,4)	65	770
Farine basse de blé tendre	3,6	80	3080
Remoulage demi-blanc de blé tendre	8,7 (1,4)	80	2590
Son de blé tendre	9,9(1,1)	80	1770
Corn gluen feed	8,9 (1,5)	65	0
Son de riz gras	16,1 (2,1)	85	120
Graine de colza	6,6 (0,9)	70	0
Fèverole à fleurs blanches	4,7 (0,3)	60	50
Lupin blanc	3,8 (0,7)	60	140
Pois	4,0 (0,5)	45	130
Graine de soja extrudée	5,5 (0,5)	60	0
Graine de tournesol	5,4 (0,9)	85	0
Tourteau de colza	11,4 (0,9)	60	10
Tourteau de soja 48	6,2 (0,5)	60	20
Tourteau de tournesol non décortiqué	10,1 (1,4)	85	0
Manioc (amidon 67%)	0,9 (0, 3)	25	0
Mélasses de canne	0,6 (0,3)	10	0
Pulpe d'agrumes déshydratée	0,9 (0,2)	40	0
Pulpe de betterave déshydratée	0,9 (0, 3)	10	0
Luzerne déshydratée	2,4 (0,3)	5	0
Paille de blé	0,7 (0,3)	5	0
Lactosérum acide déshydraté	10,1	0	0

(INRA-AFZ, 2004 et Skiba, données non publiées)

Parmi les sous-produits de blé, il est admis par plusieurs auteurs que l'acide phytique est principalement concentré au niveau du son (Hay, 1942 ; O'Dell *et al.*, 1972 ; Tabekhia et Donnelly, 1982).

Le tableau 17 rapporte la teneur en phytates dans les différentes fractions du blé.

Tableau 17. Teneurs en phytates de la farine, du son et du germe de blé.

Fraction de blé	Teneur en phytates (mg/100g)
Farine	845
Son	3011
Germe	4071

Harland (1993)

Outre l'acide phytique, il est rapporté par Weipert et El Baya (1977), la présence d'alkylresorcinols dans les sons de blé ; leur teneur y est 4 à 5 fois plus élevée que dans le grain et 20 à 30 fois plus élevée que dans la farine (tableau 18).

Tableau 18. Teneurs en alkylresorcinols (mg/100g) du grain, du son et de la farine de blé dur.

Fraction	Verdeal et Lorenz (1977)	Weipert et El Baya (1977)
Grain entier de blé	62 - 65	75 - 103
Farine de blé	3,8	Traces - 8,4
Son de blé	211	385 - 435

Il est également rapporté par Janicki *et al.* (1970) la présence de facteurs antitrypsiques dans le son de blé. Cependant, Boisen et Djurtof (1981) précisent que leur teneur est plus faible (5 à 10 fois) dans le grain de blé par rapport à celui de riz.

Outre les facteurs antinutritionnels, les grains de céréales renferment également au niveau de leurs enveloppes extérieures, différents composés tels que les lignanes, les acides phénoliques et les polyphénols (Scalbert et Williamson, 2000).

L'acide phénolique le plus important est représenté par l'acide férulique qui, lié aux arabinoxylanes, constitue 65 % des constituants pariétaux des cellules à aleurones. L'acide férulique est connu pour être un bon antioxydant (Rice-Evans *et al.*, 1997).

Le son de blé renferme également des proanthocyanidines et des flavonoïdes qui ont des propriétés antioxydantes (Ferguson et Harris, 1999). Les lignanes, dimères phénoliques, sont bien représentés dans le son de blé (Nilsson *et al.*, 1997).

En définitive, la composition chimique du son de blé dépend de nombreux facteurs. En effet, Farrell *et al.* (1967) ; Waggle *et al.* (1967) ; Gasiorowski *et al.* (1976) ; Peterson *et al.* (1983) ; Triboi (1990) ; Colonna et Buleon (1992) et Willm (1995) rapportent que le profil chimique de cette issue de meunerie varie en fonction de la variété des grains triturés ainsi que de leurs conditions de culture.

Les travaux de Chaurand *et al.* (1999) précisent que les paramètres génétiques et agronomiques modifient considérablement les produits de la trituration du blé. Les conditions de mouture du grain représentent un autre facteur de variation de la composition des sons de blé (Leboque *et al.*, 1997 ; Godon, 1998).

Bartnik et Jakubczyk (1989) rapportent que selon le taux d'extraction de farine, 5 à 30 kg de son peuvent être obtenus. Cette large gamme de variation du taux d'extraction, expliquerait l'hétérogénéité de la composition chimique des sons observée à travers la documentation consultée.

Outre la composition chimique, les caractéristiques physiques des sons sont en relation avec la valeur nutritive de ce sous-produit, puisque la taille des particules, leur densité, leur

capacité d'absorption de l'eau, etc... influencent certains processus physiologiques durant la digestion (Bartnick et Jakubczyk, 1989).

## CHAPITRE III LA VALEUR NUTRITIVE DU SON DE BLE CHEZ LA VOLAILLE

En aviculture, l'aliment représente 55 à 60 % du coût de la production (Larbier et Leclercq, 1992) et l'énergie est considérée comme étant le constituant alimentaire le plus onéreux puisque son coût atteint jusqu'à 70 % des dépenses alimentaires.

En Algérie, l'utilisation des produits et sous-produits locaux en alimentation animale est une pratique ancestrale. Toutefois, leur utilisation rationnelle en tant que substituts partiels des sources énergétiques et protéiques importées en fortes quantités (2 378 000 tonnes de maïs et 536 962 tonnes de tourteau de soja en 2005 selon l'office national des douanes), nécessite une évaluation précise de leurs caractéristiques nutritionnelles.

Parmi celles-ci, les teneurs en énergie métabolisable et en protéines digestibles sont les plus couramment mesurées.

### III.1. Mode d'expression de la valeur énergétique des aliments chez la volaille

---

Les premiers travaux concernant l'évaluation énergétique des aliments ont débuté entre 1912 et 1945 aux USA. Durant cette période, plusieurs termes relatifs à l'évaluation énergétique des aliments ont été proposés.

En 1958, les travaux de Hill et Anderson ont démontré que le système EM est d'une meilleure précision par rapport à celui de l'énergie productive pour exprimer le potentiel d'énergie des aliments destinés à la volaille.

L'énergie métabolisable (EM) est définie en 1966 par le National Research Council comme étant la différence entre l'énergie brute ingérée et celle retrouvée dans les excréta. Avec un large consensus, le système EM est devenu en Europe le système énergétique le plus utilisé pour l'évaluation de l'énergie des aliments destinés à la volaille compte tenu d'une part, de la facilité de détermination des valeurs (les fèces étant mélangées aux urines dans le cloaque) et d'autre part, de l'additivité des valeurs EM.

#### III.1.1. Les méthodes de mesure de l'énergie métabolisable

La mesure de l'EM peut être effectuée par les méthodes « in vivo » et par les équations de prédiction.

##### III.1.1.1. Les méthodes « in vivo » de mesure de l'énergie métabolisable

**La collecte totale des excréta** : c'est la méthode la plus utilisée, elle consiste à récolter la totalité des fientes excrétées durant la période de bilan alimentaire et à mesurer l'énergie brute ingérée et excrétée durant cette période. La durée de jeun après la période d'alimentation, constitue une première source d'erreurs dans l'estimation de la valeur EM des aliments. Si elle est trop courte, la quantité des fientes excrétées peut être sous-



estimée, si elle est trop longue, les fientes excrétées sont surestimées (Leclercq, 1985). La deuxième source d'erreurs est liée à la quantité ingérée d'aliment car les incertitudes liées au gaspillage donnent lieu à une surestimation de l'énergie ingérée. Afin de palier à cette situation, les techniques de gavage à sec (Sibbald, 1976) et humide (Lessire, 1990) ont été initiées.

**La méthode du marqueur** : elle consiste à introduire une quantité connue de marqueur dans le régime alimentaire et d'en mesurer la concentration dans les excréta. Le marqueur, substance minérale ou organique doit être inerte et inaltérable. Sa vitesse de transit doit être similaire à celle du bol alimentaire et il ne doit pas être absorbé lors de son passage dans le tractus digestif. Sur la base de ces critères plusieurs marqueurs ont été étudiés : l'oxyde de fer (Bergheim, 1926), le sulfate de baryum (Whitson, 1943), l'oxyde de chrome (Olsson et Kihlen, 1948), le dioxyde de titane (Peddie *et al.*, 1982) et les cendres insolubles dans de l'acide (Scott et Hall, 1998). A ce jour, le marqueur le plus utilisé pour la mesure de l'EM reste l'oxyde de chrome.

### III.1.1.2. Les équations de prédiction de l'énergie métabolisable

La nécessité de mesurer rapidement la valeur EM des aliments a amené les chercheurs à mettre en place des méthodes moins coûteuses et plus rapides que les méthodes directes.

A cet effet, de nombreuses équations de prédiction de l'EM ont été proposées. Elles présentent l'avantage de ne pas utiliser d'animaux et elles résultent de calculs de régression linéaire à une ou plusieurs variables obtenues à l'aide de valeurs EM mesurées « in vivo ».

Selon Carré (1990), la précision des équations de prédiction de l'EM n'a cessé durant ces dernières années d'être améliorée.

En effet, la valeur de  $r^2$  de l'équation de prédiction de l'EM proposée initialement par Mitchell (1942) est passée de 0,83 à 0,997 (Rozo, 1988).

De nombreux travaux ont permis l'élaboration d'équations de prédiction de l'EM des matières premières mais aussi celles de régimes alimentaires.

Parmi les nombreuses variables explicatives introduites dans les équations, les lipides, les protéines, l'amidon et les sucres constituent les principaux paramètres prédictifs de l'EM dans les équations proposées par Carpenter et Clegg (1956), Sibbald *et al.* (1963), Härtel *et al.* (1977) et Fisher (1982).

La forte corrélation établie entre la valeur EM des aliments et leur concentration en composants pariétaux (Sibbald *et al.*, 1980 ; Fisher, 1982 ; Carré *et al.*, 1984 ; Carré et Rozo, 1990) a permis l'établissement de plusieurs équations de prédiction de l'EM basées sur ces composés.

Le prédictif « parois » utilisé par Carré et Brillouet (1990) pour le calcul de l'EM s'est avéré le plus performant car l'écart type résiduel de l'équation n'est que de 47 kcal / kg.

Les matières minérales sont également considérées comme un paramètre prédictif fiable de la valeur EM des aliments compte tenu qu'elles réduisent la digestibilité des matières grasses (Kussaibati *et al.*, 1983a) et donc, celle de la valeur EM.

Les matières minérales sont utilisées dans les modèles de calcul de l'EM proposés par Mitchell (1942), Sibbald *et al.* (1980), Carré *et al.* (1984), Janssen et Carré (1985) et Carré et Brillouet (1989).

Le tableau 19 nous rend compte de quelques équations de prédiction utilisées pour le calcul de l'EM des sous-produits de céréales.

Malgré les avantages qu'elles présentent, les équations de prédiction de l'EM restent à améliorer. Selon Leclercq (1985), leur écart-type résiduel reste assez élevé et la valeur EM calculée n'a qu'un caractère relatif et temporaire, les critères analytiques des modèles mathématiques généralement proposés pouvant être amenés à évoluer.

Par ailleurs, la précision de ces modèles prédictifs gagnerait à être améliorée par l'intégration aux calculs d'autres composants tels que les inhibiteurs tryptiques, le gossypol, les tannins, les phytohémagglutinines, les alcaloïdes et les saponines compte tenu que leurs effets inhibiteurs sur l'utilisation de l'énergie par la volaille sont bien établis (Hughes et Choct 1999).

Enfin, les équations de prédiction de l'EM devraient être spécifiques à l'âge de l'oiseau, la plupart étant établies à partir de données obtenues sur des oiseaux adultes (Fisher et Mc Nab, 1987) dont la physiologie de la digestion n'est pas identique à celle du jeune oiseau.

Tableau 19. Modèles de prédiction de la valeur énergétique des sous- produits de blé chez la volaille

Référence	Equation de prédiction de l'EM des sous - produits de blé
Janssen et Carré (1985)	EMa = 3930 - 182 CB (%)
Janssen (1979)	EMa (kcal / kg MS) = 3985- 20,5 g CB (sous-produit sous forme de farine)
Janssen (1979)	EMa (kcal / kg MS) = 3926 - 18,1 g CB (sous-produit sous forme de granulés)
Carré, Perez et Lebas (1988)	EMa (kcal / kg MS) = 1348 + 32,1 Am EMa (kcal / kg MS) = 31,3 PB + 66,3 L + 39,1 ENA
Rozo (1988)	EM (kcal / kg MS) = - 363,1 + 43,41 Am + 104,9 L + 152,8 S
Janssen <i>et al.</i> (1989)	EMa n (kcal / kg MS) = 36,21 CP (%) + 85,44 EE (%) + 37,26 NFE (%)
Carré (1990)	EMa n (MJ / kg) = 16,25 - 0,217As - 0,157WICW
Carré et Rozo (1990)*	EMa (kcal / kg MS) = 31,3PB + 66,3LIP <sub>A</sub> + 39,1 ENA <sub>PAR</sub>
Nunes <i>et al.</i> (2001)	EMa (kcal / kg MS) = 4910,03 - 47,82 CP - 47,77 NDF
Nunes <i>et al.</i> (2001)	EMa n (kcal / kg MS) = 4754,02 - 48,38 CP - 45,32 NDF

EMa: énergie métabolisable apparente; EMa n: énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul; Am: amidon; As: matières minérales; CB: cellulose brute; MS: matière sèche; CP: protéines brutes; EE: matières grasses; ENA: extractif non azoté; NFE: extractif non azoté; PB: protéines brutes; WICW: paroi cellulaire insoluble dans l'eau; L: Lipides; LIP<sub>A</sub>: Lipides extraits à l'éther de pétrole sans traitement acide. ENA<sub>PAR</sub> (%) = 100 - PB - Lip<sub>A</sub> - Ce - PAR; NDF: neutral detergent fibre, S: sucres

\*équation applicable au gluten de maïs et aux sous- produits de blé tendre.

### III.1.2. Calcul des différentes formes d'expression de l'énergie métabolisable

#### III.1.2.1. Calcul de l'énergie métabolisable apparente (EMa)

Elle est également exprimée par le terme EMc (énergie métabolisable classique); elle est calculée selon l'équation suivante :

$$EMa = \frac{(Qa * EBa) - (Qe * EBe)}{Qa}$$

*EMa : Energie métabolisable apparente (kcal / g)*

*Qa : Quantité d' aliment ingéré (g)*

*EBa : Energie brute de l' aliment (kcal / g)*

*Qe : Quantité de fientes excrétées (g)*

*EBe : Energie brute des fientes excrétées (kcal / g)*

### III.1.2.2. Calcul de l'énergie métabolisable apparente corrigée par rapport au bilan azoté (EMa n)

Les valeurs EMa étant différentes entre le jeune oiseau et l'oiseau âgé du fait de la différence du catabolisme protéique, la correction par rapport à la rétention azotée élimine les processus métaboliques comme source de variation des valeurs énergétiques.

L'acide urique étant le métabolite azoté urinaire résultant du catabolisme protéique de l'oiseau, Hill et Anderson (1958) ont confirmé les résultats des travaux de Armsby et Fries (1918) et ont proposé l'équivalent calorifique de 8,22 kcal / g d'azote retenu.

La forme corrigée de l'EMa par rapport à la rétention azotée nulle (EMa n) est calculée comme suit :

$$EMa n = EMa - 8,22 \frac{(Na - Ne)}{Qa}$$

*EMa n : Energie métabolisable corrigée pour un bilan azoté nul (kcal / g)*

*EMa : Energie métabolisable apparente (kcal / g)*

*Na : Azote ingéré (g)*

*Ne : Azote excrété (g)*

*Qa : Quantité d' aliment ingéré (g)*

La correction par rapport à un bilan azoté nul assure par ailleurs, le principe d'additivité de la valeur énergétique des protéines, indispensable en formulation linéaire. Toutefois, le bilan azoté nul ne correspondant pas aux conditions normales d'exploitation de la volaille, l'application d'une correction azotée par rapport à une rétention de 30 % ( pourcentage moyen des protéines ingérées et stockées durant la phase de croissance des animaux) paraît plus appropriée.

### III.1.2.3. Calcul de l'énergie métabolisable réelle (EMr)

L'expression de l'EMr est apparue après la critique du schéma conventionnel de l'expression énergétique qui ne différencie pas les pertes fécales d'origine alimentaire de celles issues du catabolisme corporel.

En effet, Guillaume et Summers (1970) ont démontré à l'issue de leurs travaux que la fraction d'excreta d'origine endogène est à l'origine de valeurs EM biaisées lorsque les oiseaux consomment moins de 50 grammes d'aliment. Sur cette base, Sibbald (1976) a développé le système de l'énergie métabolisable réelle qu'il a associé au mode d'alimentation des oiseaux par gavage.

La mesure est effectuée sur des coqs gavés à sec avec 35 grammes d'aliment. Les fientes sont collectées sur les 48 heures suivantes. La valeur de l'EM est corrigée par rapport à la fraction endogène des excreta de coqs maintenus à jeun durant 48 heures.

L'EMr s'exprime par l'équation suivante :

$$EMr = EMa + \frac{(Qee * EBee)}{Qa}$$

*EMr* : **Energie métabolisable réelle (kcal / g)**

*EMa* : **Energie métabolisable apparente (kcal / g)**

*Qee* : **Quantité d' excreta d' origine endogène (g)**

*EBee* : **Energie brute des excreta d' origine endogène (kcal)**

*Qa* : **Quantité d' aliment ingéré (g)**

La durée de jeun permettant de collecter les fientes d'origine endogène est variable selon le type d'aliment étudié et les caractéristiques de l'oiseau (Kussaibati *et al.*, 1983b ; Sibbald, 1986). Le jeun varie alors de 24 à 48 heures.

La fraction endogène peut être également récupérée après distribution aux oiseaux de glucose dont l'absorption est supposée être de 100% (Mc Nabb et Blair, 1988).

L'énergie brute des fientes d'origine endogène est déterminée par combustion dans une bombe calorimétrique ou calculée par régression entre l'énergie ingérée et l'énergie excrétée avec extrapolation à un ingéré nul (Kussaibati *et al.*, 1983b).

Les nombreuses critiques de la méthode de mesure de l'EMr telles que préconisée par Sibbald (1976), portent sur le mode d'alimentation utilisé par cet auteur ainsi que sur la mesure de la fraction endogène des excreta. En effet, selon Carré (2001), le gavage sec peut provoquer une vidange incomplète du tube digestif et entraîner de ce fait une surestimation des valeurs EMr. Par ailleurs, les pertes endogènes ne sont pas comparables chez les oiseaux nourris et ceux soumis au jeun. Ces derniers augmentent leur catabolisme protéique (Kussaibati et Leclercq, 1985) et par conséquent, celui de l'excrétion endogène.

Par analogie à l'EMa, l'EMr est également corrigée par rapport à la rétention azotée.

A travers le monde, de nombreux travaux continuent à être menés en vue de préciser la méthodologie de mesure de l'EM des aliments et des matières premières. Dans les stations européennes de recherche avicole, la méthode de récolte totale des excreta est privilégiée.

Les mesures sont menées sur des oiseaux jeunes ou adultes alimentés *ad libitum*.

Le protocole de référence proposé par Bourdillon *et al.*(1990) a été adopté par de nombreux laboratoires. Il consiste à adapter les animaux durant trois jours à l'aliment expérimental puis à les soumettre à un jeun d'une nuit ou de 24 heures selon que les oiseaux soient jeunes ou âgés. Le bilan proprement dit consiste en deux jours d'alimentation *ad libitum* et un jour de jeun. Les excréta sont collectés en totalité pendant les trois jours de bilan.

### **III.1.3. Les facteurs de variation de la valeur l'énergie métabolisable des aliments destinés à la volaille**

La variation de la valeur EM d'un aliment est liée aux caractéristiques de l'aliment, à celles de l'oiseau et aux conditions expérimentales de mesure de l'EM.

#### **III.1.3.1. L'aliment**

Il est admis que le potentiel énergétique d'une matière première est corrélé à ses caractéristiques chimiques et nutritionnelles (Carpenter et Clegg, 1956 ; Guillaume, 1985 ; Wiseman *et al.*, 2000). Par conséquent, tout facteur modifiant le profil chimique d'une matière première, en affecte systématiquement la valeur énergétique. C'est le cas de nombreux facteurs dont le lieu de culture (Choct *et al.*, 1999), la variété ( Dinn *et al.*, 1982), la région de culture du végétal et les amendements qui lui sont apportées (Guillaume, 1985), les conditions de traitement et de conservation de la matière première (Garlich *et al.*, 1976, Mujahid *et al.*, 2004), la présentation de l'aliment (Zelenka, 2003), l'interaction des nutriments énergétiques de l'aliment avec des facteurs antinutritionnels (Cheeke, 1976 ; Fenwick et Curtis, 1980 ; Sukhija *et al.*, 1985) et les interactions entre la matière première considérée avec d'autres matières premières ( Preston *et al.*, 2001).

#### **III.1.3.2. L'oiseau**

L'âge, le génotype et le sexe sont les principales caractéristiques de l'oiseau qui sont à l'origine des variations du potentiel EM des aliments (Yaghoobfar *et al.*, 2000).

##### **\* Effet de l'âge de l'oiseau**

Dès les premières évaluations de la valeur EM des aliments, de nombreux auteurs (Rao et Clandinin, 1960; Renner et Hill, 1960; Lockhart *et al.*, 1963; Bayley *et al.*, 1968; Zelenka, 1968; Petersen *et al.*, 1976; Coates *et al.*, 1977; Plavnik *et al.*, 1997a, 1997b) ont mis en évidence l'effet de l'âge de l'oiseau sur ce paramètre nutritionnel.

L'ensemble des travaux rapportent que la valeur EM des aliments est plus faible chez le jeune oiseau compte tenu de sa moindre capacité de digestion des nutriments comparativement à l'oiseau adulte.

Noy et Sklan (1995) ont expliqué les faibles valeurs EMr par la diminution du temps de transit et d'absorption des nutriments chez le jeune oiseau. Quant à Plavnik *et al.*(2000) et Gabriel *et al.*(2005), ils ont suggéré que la flore microbienne, particulièrement celle du gros intestin, jouerait chez des oiseaux d'âges différents un rôle non négligeable sur l'utilisation des nutriments et donc sur la valeur EMr des aliments.

##### **\* Effet de l'espèce et de la souche de l'oiseau**

Les travaux de Slinger *et al.*(1964), de Bayley *et al.*(1968), de Fisher et Shannon (1973) et de Leeson *et al.*(1974) sont les premiers à avoir montré que l'espèce à laquelle appartient l'oiseau constitue également un facteur de variation de la valeur EM d'un aliment. Cette observation a été confirmée par de nombreuses autres études.

Ainsi, Sugden (1974) a rapporté des différences de valeurs EM d'aliments entre le coq nain et la sarcelle à ailes bleues. Cilliers *et al.*(1999), ont noté que l'autruche et le jeune coq utilisent différemment l'énergie des aliments. Cette observation est retrouvée dans les travaux de Brand *et al.*(2000). Pour El-Talty et Attia (1977), les différences observées entre l'utilisation énergétique des aliments par le canard et par l'oie ne concernent que certains aliments. Ces observations corroborent celles de Petersen *et al.*(1976) qui n'ont pas rapporté de différences entre les valeurs EM des aliments à faible teneur en composés pariétaux lorsqu'elles sont mesurées chez des poules et des poulets, tandis que l'énergie des aliments à teneur moyenne ou élevée en ces composés, est en général mieux utilisée par les poules que par les poulets de chair.

En comparant la rétention protéique, lipidique et énergétique du poulet et du canard, Siregar et Farrell (1980) ont observé que le canard exploite mieux l'énergie des aliments. Les observations de Lessire *et al.*(1995) ont montré également que le coq, modèle généralement utilisé pour la mesure de l'EM, ne reflète pas toujours parfaitement l'utilisation digestive des aliments chez le poulet de chair et les autres espèces aviaires.

De façon plus ciblée, les travaux de Plavnik *et al.*(1977a et 1977b) ont précisé que l'utilisation des matières grasses et des glucides est différente chez le poulet et chez le dindon, de plus, elle évolue en fonction de l'âge de l'oiseau particulièrement chez le dindon (Sklan *et al.*, 2003a).

En revanche, il ne semble pas selon Beguin (1968) et Hoshii *et al.*(1970), que le poulet de chair et la caille métabolisent différemment le potentiel énergétique des aliments.

Contrairement à l'effet « espèce », l'effet « souche » ne semble affecter la valeur EM des aliments, tel que rapporté par plusieurs auteurs dont Sibbald et Slinger (1963, Slinger *et al.* (1964), Foster (1968), Proudman *et al.*(1970) et March et Biely (1971).

Pour Stutz et Matterson (1963), les différences d'utilisation de l'EM des aliments par des volailles de souches différentes, ne sont pas significatives. Toutefois, les travaux de Pym *et al.*(1984) ont clairement démontré que la valeur EM des aliments est plus élevée chez des oiseaux de souche maigre comparativement à ceux de souche lourde.

### \* Effet du sexe de l'oiseau

Le sexe de l'oiseau n'est pas considéré comme un facteur de variation de la valeur EM des aliments (Sibbald et Slinger, 1963 ; Begin, 1967).

### III.1.3.3. Les conditions expérimentales de mesure de l'énergie métabolisable

Lorsque l'acceptabilité d'une matière première est faible, la mesure de sa valeur EM est réalisée soit en l'incorporant à une autre matière ou à une ration de valeur EM connue et supposée constante, soit en l'administrant à l'animal par voie de gavage.

Dans le premier cas, la valeur EM de la matière première analysée est calculée par différence. Selon Sibbald *et al.*(1961) ce procédé expérimental reste discutable car lorsque le taux d'inclusion de la matière première testée augmente, sa valeur EM augmente également.

A l'opposé, Fedde *et al.*(1960) et Olson *et al.*(1961) ont noté une tendance inverse.

Pour Borges *et al.*(2004), le niveau d'ingestion de la matière première testée constitue un facteur de variation significatif de son potentiel énergétique en terme d'énergie métabolisable apparente.

Quant au mode d'alimentation des oiseaux par gavage, il ne semble pas selon McLeod (1991) affecter la valeur EM de l'aliment.

Les informations concernant l'effet de la température ambiante sur la valeur EM classique des aliments sont assez contradictoires. Si pour Lei et Slinger (1970), Olson *et al.* (1972) et El Husseiny et Creger (1980) la température ambiante est sans effet sur les valeurs EM des

Forme d'expression de l'EM	Valeur énergétique du son de blé	Observation	Référence
<b>EMa</b>	1440 kcal / kg	Poulet de chair mâle	Petersen <i>et al.</i> (1976)
	1390 kcal / kg	Poulet de chair femelle	
	1180 kcal / kg	Pondeuse	
	1770 - 2260 kcal / kg	Volaille	Farrell (1978)
	1100 -1590 kcal / kg	Poulet de chair en croissance White Leghorn	Summers <i>et al.</i> (1968)
	1612 kcal / kg	Son non traité	Kuzmicky <i>et al.</i> (1978)
	1659 kcal / kg	Son granulé	
	1645 kcal / kg	Son granulé + Na OH	
	1703 kcal / kg	Son granulé + NH <sub>4</sub> OH	
	1770 kcal / kg	Son granulé + HCl	
	2132 kcal / kg	Son + enzyme cellulolytique	
	1300 kcal / kg	Poulet de chair	De Groot (1974)
	2230 kcal / kg MS	Poulet de chair mâle	Guirgis (1975)
	2220 kcal / kg MS	Poulet de chair femelle	Kiiskinen (1992)
	1487 kcal / kg MS	Poulet de chair	
	2270 kcal / kg	Poulet de chair	Hoshii (1970)
	2250 kcal / kg	Poule	
	1200 - 1810 kcal / kg MS	Poulet de chair	Vohra (1966)
2460 - 2740 kcal / kg MS	Volaille	Sibbald et Slinger (1962)	
1807 -1972 kcal / kg MS	Poulet de chair âgé de 16-24j	Nunes <i>et al.</i> (2001)	
<b>EMa n</b>	1440 ± 23 kcal / kg	Leghorn	Pishnamazi <i>et al.</i> (2005)
	1333 ± 25 kcal / kg	Poulet de chair breeder	Carré (2001)
	2197 kcal / kg	Poulet en croissance	
	1583 kcal / kg	Poulet en croissance	Kiiskinen (1992)
	1454 kcal / kg MS	Poulet de chair	
	1597 kcal / kg	Poulet de chair	
	1758- 1936 kcal / kgMS	Poulet de chair âgé de 16-24j	Nunes <i>et al.</i> (2001)
<b>EMr</b>	1578 kcal / kg MS	Poulet de chair	Kiiskinen (1992)
	1819 kcal / kg MS	Coq	Sibbald (1976)
	1956 kcal / kg MS	Poule pondeuse	
	2128 kcal / kg MS	Poulet de chair	
	1785 kcal / kg MS	Dinde	
<b>EMr n</b>	2844 kcal / kg	Autruche	Cooper et Horbanczuk (2004)
	2042 kcal / kg	Poulet	Kiiskinen (1992)
	1468 kcal / kg MS	Poulet de chair	

**Tableau 20.** Valeurs énergétiques du son de blé chez la volaille.

aliments, Zuprizal *et al.* (1982) ont en revanche observé un effet significatif de la température sur les valeurs EMa n de la farine de colza.

Par ailleurs, Kaisho et Hashizum (1952), Farrell et Swain (1977), Yamazaki et Zi-Yi (1982) ont noté à l'issue de leurs travaux, des valeurs EMr significativement plus élevées lorsque la température ambiante est faible.

La microflore du tube digestif (Gabriel *et al.*, 2005) et la coecotomie de l'oiseau (Ragland *et al.*, 1999) constituent également des paramètres pouvant modifier l'utilisation de l'EM des aliments.

De plus, Cowan *et al.*(2001) notent que la méthode de mesure de l'EM est en elle-même un facteur de variation de la valeur énergétique des aliments puisque Han *et al.*(1976) ont rapporté pour le son de blé une valeur EMa n de  $1,68 \pm 0,09$  kcal / g lorsqu'elle est mesurée selon la méthode de collecte totale des excréta, tandis qu'elle n'est que de  $1,50 \pm 0,18$  kcal / g lorsque la mesure est réalisée par la méthode des marqueurs (l'oxyde de chrome).

### **III.1.4. La valeur de l'énergie métabolisable des sons chez la volaille**

Les valeurs EMa des sons de blé mesurées chez la volaille ne dépassent pas en moyenne les 2000 kcal / kg (tableau 20).

Quoique Slinger *et al.*(1964), Fisher et Shannon (1973), Leeson *et al.*(1974) ont noté que les dindons utilisent mieux que les poulets l'énergie des aliments à concentration élevée en composés pariétaux, Sibbald (1976) ne met pas en évidence une différence significative d'utilisation de l'énergie des sons de blé par différents types de volaille.

L'utilisation différente de l'énergie des sons de blé par différentes espèces aviaires serait selon Sibbald (1982) et Buyse *et al.*(1999) attribuée à la différence des pertes d'énergie d'origine fécale métabolique et endogène urinaire.

Petersen *et al.*(1976) n'ont pas rapporté non plus de différences entre les valeurs EM du son de blé mesurées chez des poulets de sexe mâle et femelle et chez des poules pondeuses.

Compte tenu de la faible valeur EM des sons (Enochian *et al.*, 1972 ; Saunders *et al.*, 1974), des tentatives d'amélioration de leur valeur nutritionnelle ont été menées. Ainsi, Caves *et al.*(1965) ont rapporté que la granulation de cette issue de meunerie augmente de 30% la valeur EM chez le poulet de chair en croissance.

L'effet bénéfique de la granulation des sons de blé sur leur valeur EM est évoqué également par Janssen (1976) ainsi que par Carré *et al.*(1984). Cette amélioration du potentiel énergétique résulte selon Saunders *et al.*(1968) de la meilleure utilisation des nutriments elle-même liée à la rupture des parois cellulaires des aleurones.

Très peu de travaux ont concerné l'impact des phytases additionnées aux régimes alimentaires des volailles sur l'amélioration de leur valeur énergétique (Adeola et Sands, 2003). Toutefois, Liebert *et al.*(2005) n'ont pas relevé de modifications au niveau du bilan azoté, de la rétention de phosphore et des valeurs EMa n mesurées chez la poule pondeuse, suite à l'addition de phytases au régime alimentaire. La même tendance de résultats est relevée avec des régimes pour porcs renfermant du son de blé et des phytases (Liao *et al.*, 2005).

## **III.2. La digestibilité des protéines**

---

Elle constitue un critère intéressant pour apprécier aussi bien l'utilisation de la fraction azotée totale que celle des acides aminés qui la composent.

### **III.2.1. Les méthodes de mesure de la digestibilité des protéines chez la volaille**

De nombreux travaux (Green *et al.*, 1987 ; King *et al.*, 1997 ; Hong *et al.*, 2001) ont été menés afin de mettre au point des méthodes de mesure de la digestibilité des protéines chez la volaille et d'en améliorer la précision.



En général, la digestibilité des protéines est obtenue soit par la mesure directe sur l'animal, soit par calcul à l'aide d'équations de prédiction.

La mesure « in vivo » de la digestibilité protéique nécessite la mise en cage individuelle des oiseaux et la collecte des excréta durant le bilan alimentaire à l'issue duquel, la quantification des protéines est réalisée sur l'aliment ou la matière première étudiée et sur les excréta.

La mesure de l'azote fécal chez la volaille est délicate compte tenu qu'elle nécessite préalablement de séparer les matières fécales des matières urinaires. A cette fin, trois méthodes ont été développées : celle de la séparation mécanique des urines et des excréta, celle de la pose d'un cathéter au niveau des uretères ou d'un anus artificiel (Paraschtschck, 1902) et celle de la séparation chimique des composés azotés d'origine urinaire et fécale.

La séparation mécanique mise au point par Heller et Morris (1928) n'est pas jugée satisfaisante car sous-estimant les valeurs de digestibilité (Hartfiel, 1963).

Dès 1909, Voltz a souligné le stress des animaux qui subissent la pose de l'anus artificiel et a relevé une forte mortalité après l'intervention chirurgicale. Par la suite, Newborne *et al.* (1957) et Akester *et al.* (1967) ont rapporté des troubles de transit digestif et de réabsorption de l'eau dans le cloaque lorsque un cathéter ou un anus artificiel sont posés. Ces troubles modifient la digestion des nutriments dont celle de l'azote et interfèrent sur leur utilisation (Sykes, 1971).

Les méthodes chimiques de séparation de l'azote fécal et urinaire se sont avérées être les plus intéressantes. Elles s'apparentent à deux groupes: celui des méthodes directes qui consistent à mesurer directement l'azote fécal (Lossel, 1924 ; Diakow, 1932) et celui des méthodes indirectes qui permettent d'apprécier l'azote fécal par différence entre l'azote total excrété et celui retrouvé dans les urines (Brown, 1924 ; Kalugin, 1924).

La méthode la plus utilisée est celle de Terpstra et de Hart (1974) qui consiste à précipiter les protéines fécales par une solution d'acétate de plomb.

La digestibilité protéique apparente est calculée selon l'équation suivante :

$$CUDp: \frac{(Pi - Pf)}{Pi} * 100$$

***CUDp: Digestibilité apparente des protéines (%)***

***Pi: Protéines ingérées (g)***

***Pf: Protéines fécales (g)***

La digestibilité des protéines des régimes alimentaires ou des matières premières peut être également calculée à partir de leur composition chimique tel que l'indique le tableau 21.

Pour les sous-produits d'orge, de blé et de riz, la prédiction de la digestibilité des protéines est améliorée lorsque la concentration en cellulose brute est considérée.

Matière première	Equation de prédiction des protéines digestibles	Erreur standard résiduelle
Farine de soja	$DP = - 64 + 1,00 P$	11,8
Sous-produits d'orge	$DP = - 11,3 + 0,79 P$	2,2
	$DP = 98,3 - 0,07 F$	34,1
	$DP = - 8,7 + 0,78P - 0,02 F$	1,5
Sous-produits de blé	$DP = - 51,0 + 1, 04 P$	9,7
	$DP = 184,2 - 0,45 F$	13,4
	$DP = 85,6 - 1,15 F (\%)$ ,	1,58
	$DP = 29,3 + 0,71 P - 0,24F$	2,6
Sous-produits de riz	$DP = 44,0 + 0,35 P$	6,2
	$DP = - 10,5 + 1,22P - 0,0032P^2$	3,6
	$DP = - 33,0 + 1,57 P - 0,27 F - 0,0041P^2 + 0,0012 F^2$	1,6

**Tableau 21.** Equations de prédiction des protéines digestibles chez la volaille de quelques matières premières.

Terpstra (1979)

DP: protéines digestibles (g / kg de produit); P: protéines brutes (g/kg de produit); F: cellulose brute (g / kg de produit).

Par ailleurs, Janssen et Carré (1985) proposent l'équation suivante pour le calcul de la digestibilité des protéines (CUD) des sous-produits de blé :

$$CUD (\%) = 85, 6 - 1, 15 CF (\%), r = 0, 97; rsd = 1, 58$$

CF: crude fiber; rsd: residual standard deviation.

### III.2.2. Les facteurs de variation de la digestibilité des protéines

#### III.2.2.1. L'aliment

De nombreux paramètres tels que l'espèce, le génotype, le stade de maturité, le lieu de culture, la saison de culture, l'année de culture et les conditions de stockage d'une matière première affectent la digestibilité de ses protéines (Borin *et al.*, 2002).

Il est également établi que la digestibilité des protéines est réduite par la présence de facteurs antinutritionnels (Liener, 1980). Les plus couramment rencontrés dans les aliments sont représentés par les glucosinolates, les inhibiteurs trypsiques, les hémagglutinines et les tanins (Gilani *et al.*, 2005).

Dans le cas particulier des céréales et de leurs dérivés, les phytates constituent les facteurs antinutritionnels les plus importants. Ils forment des complexes avec les protéines (Cheryan, 1980) et avec les protéases (Singh et Krikorian, 1982) telles que la trypsine et la pepsine. Ces complexes sont à l'origine des faibles digestibilités protéiques.

Selon Ravindran *et al.*(2001), l'addition de phytases au régime alimentaire de la volaille a amélioré la digestibilité de l'azote et celle des acides aminés, ce qui confirme la corrélation négative et significative observée par Chitra *et al.*(1995) entre l'acide phytique et la digestibilité « in vitro » des protéines.

Toutefois, les essais menés par Snow *et al.*(2003) et par Boling-Frankenbach *et al.* (2001) sur poulets de chair, n'ont pas montré d'amélioration de l'utilisation digestive de l'azote après addition au régime alimentaire de phytases.

Les céréales renferment également des polysaccharides non amylacés qui génèrent une forte viscosité dans le milieu intra luminal. Ces conditions sont défavorables à la digestion des nutriments (Bedford, 1996 ; Smiths *et al.*, 1997), dont celle de l'azote.

Différents traitements ont été mis au point pour améliorer chez la volaille la digestibilité des protéines. La granulation (Zelenka, 2003) et les traitements technologiques qui réduisent l'activité des facteurs antinutritionnels (Alka-Sharma et Kapoor, 1996) se sont avérés les plus satisfaisants.

### III.2.2.2. l'oiseau

Plusieurs études dont celle de Sorensen *et al.*(1983), Leenstra et Pit (1988 ), Jorgensen *et al.*(1990), ont mis en évidence l'effet du génotype animal sur la digestibilité des nutriments. Quant aux résultats relatifs à l'influence de l'âge sur la digestibilité des protéines, ils semblent assez controversés. En effet, si pour Mc Nab et Shannon (1972), Chwalibog *et al.*(1978), Sorensen *et al.*(1983) ce facteur n'a aucune influence sur la digestibilité des composants de la ration, pour Wallis et Balnave (1984) et Carré *et al.*(1991), les digestibilités protéiques augmentent avec l'âge des oiseaux tandis que Fonolla *et al.*(1972), Hakansson et Eriksson (1974), Mahagna *et al.*(1995) ont observé la tendance inverse.

Contrairement aux travaux de Doeschate *et al.*(1993) qui ont précisé que la digestibilité des protéines est significativement plus élevée chez les oiseaux de sexe femelle, Chwalibog *et al.*(1978), Sorensen *et al.*(1983), Wallis et Balnave (1984), Leenstra et Pit (1988), Gruhn et Zander (1989) n'ont noté aucun effet significatif du sexe des volailles sur la digestibilité des nutriments.

Le profil de la flore bactérienne au niveau des différents étages du tube digestif constitue lui aussi, un facteur de variation de la digestibilité protéique chez la volaille (Fruse *et al.*, 1985). Selon Salter (1973) la microflore digestive améliore la digestibilité protéique du régime lorsque les protéines sont de mauvaise qualité. En revanche, lorsqu'elles sont de bonne qualité, la flore est sans effet sur leur utilisation digestive (Gabriel *et al.*, 2005).

### III.2.2.3. Les conditions de mesure de la digestibilité des protéines

La méthode d'alimentation des oiseaux (*ad libitum* ou par gavage humide) ne modifie pas la digestibilité des nutriments (Lessire, 1990). Par ailleurs, Zuprizal *et al.*(1992) ne rapportent pas de différence de digestibilité des protéines chez le coq, lorsque des méthodes différentes de récolte des excréta sont utilisées.

Quant aux températures ambiantes élevées (d'environ 32°C), il est rapporté par Bonnet *et al.* (1997) et Larbier *et al.*(1993) qu'elles réduisent la digestibilité des protéines chez les oiseaux.

### III 2.3. La valeur de la digestibilité protéique du son de blé chez la volaille

Très peu d'informations bibliographiques se rapportent à cette donnée, nous citons toutefois celles rapportées par Kiiskinen, (1992) et par Larbier et Leclercq, (1992) qui sont respectivement de  $58 \pm 12,7$  % et de 77, 26 %.

## CHAPITRE IV LA PRODUCTION DE CHALEUR CHEZ LA VOLAILLE

### IV.1. Les composantes de la dépense énergétique

---

La production de chaleur par les animaux et par l'Homme a été prouvée d'une part, par l'existence d'une température au niveau central supérieure à celle de la température ambiante, et d'autre part, par la mesure de la chaleur perdue.

La déperdition de chaleur se fait essentiellement à travers la peau par les processus de rayonnement, de conduction, de convection et par évaporation de la sueur pour les animaux dotés de glandes sudoripares. Les poumons, les urines et les fèces participent également à ce flux thermique.

La production de chaleur par l'organisme animal est en relation avec sa masse corporelle et les caractéristiques de l'ingéré alimentaire (quantité et qualité). De ce fait, les composantes classiques de cette thermogenèse sont représentées par les dépenses énergétiques liées au métabolisme dit « de base » chez l'animal à jeun, au repos et dans la zone de neutralité thermique, auxquelles s'ajoutent celles liées à l'activité physique et à la thermogénèse alimentaire.

Le métabolisme de base correspond aux dépenses d'entretien irréductibles, assurant la vie cellulaire (70 à 75 %) et la permanence des grandes fonctions (25 à 30 %). Il dépend en grande partie de la masse corporelle compte tenu du coût énergétique associé au renouvellement des protéines (Reeds *et al.*, 1982), mais également de l'âge, de la souche, du sexe, de l'état physiologique et de la santé de l'organisme animal (Close, 1990).

La méthode de détermination de la mesure ainsi que la composition corporelle de l'animal peuvent constituer également des facteurs de variation de la production de chaleur liée au métabolisme de base (Koong *et al.*, 1982 ; Armstrong et Blaxter, 1984).

Chez les oiseaux, l'activité physique constitue une production de chaleur principalement liée à l'acte alimentaire et dont le coût énergétique représente selon Wenk et Van Es (1976) 7 à 10% de l'EM ingérée en conditions *ad libitum* d'alimentation ; il peut atteindre jusqu'à 25% de la production de chaleur globale.

En revanche, le gavage réduit la dépense énergétique liée à la prise alimentaire, l'extrachaleur est réduite environ de 15 % chez des coqs gavés 2 fois par jour (Mc Leod *et al.*, 1982).

Sur des poulets de chair en croissance, Apeldoorn *et al.* (1999) ont noté que l'éclairage discontinu entraîne une diminution de l'activité physique de poulets de chair en croissance, une meilleure métabolisabilité des aliments et donc un meilleur indice de consommation. De plus, l'addition de mélatonine aux régimes de ces oiseaux, réduisait leur activité physique durant le jour, et leur production de chaleur en abaissant leur température corporelle (Zeman *et al.*, 2001).

L'oiseau maintient sa température interne constante à 41- 42°C (Freeman, 1983) grâce à la thermogenèse de thermorégulation qui correspond à la production de chaleur par l'animal, suite aux processus d'adaptation engagés lorsqu'il est soumis à des températures qui sont hors de la zone de neutralité thermique.

---

Dans la zone de neutralité thermique, cette production de chaleur est minimale. Elle augmente lorsque la température ambiante évolue vers les zones critiques inférieures ou supérieures.

L'adaptation rapide aux températures élevées s'accompagne de modifications des voies d'élimination de la chaleur corporelle (Van Kampen, 1984).

L'exposition des oiseaux aux températures basses s'accompagne d'une thermogénèse de frissons (Hart, 1962).

La thermogénèse alimentaire constitue le coût énergétique des phénomènes de digestion, d'absorption, du transit, des transformations biochimiques et du stockage des nutriments.

Elle évolue en fonction de la quantité d'aliment ingéré et de la composition du régime alimentaire (Tasaki et Kushima, 1979 ; Mc Leod, 1985). En début de repas, la production de chaleur augmente de 40 à 80 % au delà de celle du niveau de base (Close, 1990); cette élévation est attribuée au coût énergétique de l'alimentation *per se* et varie selon la composition de la ration (Curtis, 1983).

Les activités de digestion et d'absorption représentent 50 % de ce coût énergétique (Webster, 1989). Il est rapporté respectivement par Abdelsamie *et al.*(1983) et Geraert *et al.*(1996a) que la température ambiante et l'origine génétique des animaux contribuaient à modifier la quantité de chaleur liée à la thermogénèse. Siregar et Farrell (1980) ont évalué la thermogénèse alimentaire chez le poulet et le canard recevant un régime alimentaire classique à 15-30 % de l'énergie métabolisable.

## **IV.2. Les méthodes de mesure de la dépense énergétique**

---

L'ensemble des méthodes utilisées à cette fin se rapporte à la calorimétrie directe ou indirecte.

### **IV.2.1. Mesure de la dépense énergétique par la calorimétrie directe**

En calorimétrie directe, le principe des nombreux appareils mis au point est de mesurer la chaleur produite par le sujet expérimental à travers l'élévation de la température d'un corps donné (glace, eau).

Le premier appareil conçu à cet effet a été le calorimètre à glace de Lavoisier (1779). Il fut suivi par de nombreux autres dispositifs dont le calorimètre à eau de Dulong et Petit, le calorimètre à eau compensateur de Arsonval (1886), l'anémocalorimètre de Arsonval (1886) et le calorimètre différentiel de Noyons (1937).

L'intérêt de la mesure de la dépense d'énergie par la calorimétrie directe est la simplicité du principe sur lequel elle repose.

### **IV.2.2. Mesure de la dépense énergétique par la calorimétrie indirecte**

La calorimétrie indirecte, moins précise mais plus rapide et pratique que la calorimétrie directe est plus couramment utilisée. Elle est basée sur la mesure des modifications chimiques de l'organisme animal lors de l'oxydation des nutriments ingérés ou celle de ses réserves corporelles.

La calorimétrie indirecte se base sur 2 groupes de méthodes: la méthode des bilans et celle des échanges respiratoires.

#### IV.2.2.1. La méthode des bilans

La méthode des bilans a permis de démontrer le principe de conservation de l'énergie. Elle permet de mesurer la dépense énergétique comme suit, par différence entre l'énergie métabolisable ingérée et la variation de l'énergie des réserves.

$$PC = EMi - ER$$

*PC* : Production de chaleur (kcal)

*EMi* : Energie métabolisable ingérée (kcal)

*ER* : Energie retenue (kcal)

C'est une méthode fastidieuse nécessitant l'établissement du bilan énergétique et l'analyse de la composition corporelle par la technique des abattages.

Parmi les méthodes de mesure de l'énergie retenue, celle du bilan de l'azote et du carbone et celle des abattages comparés sont les plus utilisées.

- La méthode du bilan de l'azote et du carbone permet de calculer l'énergie retenue par les équations ci-dessous proposées respectivement par Blaxter (1962) et Brouwer (1965a).

$$ER = 12,55 * C \text{ retenu} - 6,90 * N \text{ retenu}$$

$$ER = 12,388 * C \text{ retenu} - 4,636 * N \text{ retenu}$$

*ER* : Energie retenue (kcal)

*C* : Carbone (g)

*N* : Azote (g)

- La méthode des abattages, permet de mesurer l'énergie retenue par différence entre l'énergie retenue par les animaux abattus en fin d'expérience et celle des animaux abattus en début d'expérience. L'énergie des carcasses peut être mesurée directement par la combustion d'un échantillon représentatif de la carcasse dans une bombe calorimétrique ou indirectement. En effet, compte tenu qu'il est admis en nutrition animale que l'énergie de la carcasse est sous forme de protéines et de lipides, elle peut donc être calculée comme suit, par l'équation de Fraps (1946) et repropoosée par Fuller *et al.*(1983)

$$ER(kcal) = \text{Gain de protéines (g)} * 5,66 + \text{Gain de lipides (g)} * 9,35$$

Elle est également calculée selon le modèle ci-dessous proposé par Brouwers (1965b) :

$$ER(kcal) = \text{Gain de protéines (g)} * 23,7 + \text{Gain de lipides (g)} * 39,2$$

#### IV.2.2.2. La méthode des échanges respiratoires

Il est admis en thermochimie respiratoire, la proportionnalité directe entre l'énergie libérée et la quantité consommée d'oxygène pour oxyder totalement une quantité de substance.

L'énergie libérée est calculée selon l'équation suivante :

$$Q = cVO_2$$

*Q* : *Energie libérée (kcal)*

*c* : *Coefficient thermique de l'oxygène (kcal par litre d'oxygène utilisé)*

*VO<sub>2</sub>* : *Volume d'oxygène utilisé lors de l'oxydation des nutriments (l)*

Par analogie à ce principe, la mesure de la dépense énergétique est calculée en prenant en considération le volume de CO<sub>2</sub> dégagé et celui d'oxygène consommé.

Pour la mesure de la production de chaleur chez les mammifères, les premiers modèles de calcul ont été proposés par Brouwer (1958), le plus utilisé étant le suivant :

$$T = 3,869 O_2 + 1,195 CO_2 - 0,227 P$$

*T* : *Production de chaleur (kcal)*

*O<sub>2</sub>* : *Consommation d'oxygène (litre)*

*CO<sub>2</sub>* : *Production de dioxyde de carbone (litre)*

*P* : *Azote urinaire \* 6,25 (g)*

Dans le cas de la volaille, la dépense énergétique est couramment calculée par le modèle de calcul suivant proposé par Romijn et Lokhorst (1961).

$$T = 3,869 O_2 + 1,195 CO_2$$

*T* : *Production de chaleur (kcal)*

*O<sub>2</sub>* : *Consommation d'oxygène (litre)*

*CO<sub>2</sub>* : *Production de dioxyde de carbone (litre)*

Selon Géraert (1989), l'analyse des échanges respiratoires est actuellement la technique la plus répandue pour déterminer la production de chaleur. Cette méthode nécessite l'emploi de chambres respiratoires; celles-ci sont de trois types :

La chambre respiratoire à confinement, utilisée la première fois par Lavoisier (1779), elle est représentée par une enceinte hermétiquement fermée dans laquelle est enfermé un animal durant une courte période. La quantification des gaz se fait par des méthodes gravimétriques (Crovetto, 1983) ou par des méthodes physiques (Farrell, 1988).

Cette méthode de mesure des gaz est très simple et permet des déterminations précises du quotient respiratoire (QR).

- La chambre respiratoire à circuit fermé est une enceinte close et hermétique dans laquelle le CO<sub>2</sub> dégagé par l'animal est absorbé par de la potasse. Le système a été mis au point pour la première fois par Regnault et Reiset (1849).
- La chambre respiratoire à circuit ouvert conçue par Pettenkofer (1892) est ventilée par un débit d'air mesuré avec précision. La consommation d'oxygène correspond à la différence de volume d'oxygène de l'air entrant et de l'air sortant.

## CHAPITRE V LE STRESS THERMIQUE CHEZ LA VOLAILLE

L'Algérie se situe dans un étage bioclimatique sub humide à hiver doux à chaud (Emberger, 1955). Cette situation expose les élevages et particulièrement l'élevage avicole à une importante contrainte qui est la chaleur.

La concentration des élevages avicoles dans la partie nord du pays, ne leur épargne pas cette contrainte naturelle puisqu'ils subissent non seulement l'effet prolongé des hausses de température mais également les coups de chaleur suite à un stress thermique de courte durée. A titre d'exemple, dans le périmètre de la Mitidja, les relevés de température réalisés par l'ANRH de Blida sur une période de 17 ans (1989 à 2005) indiquent que les températures moyennes sont durant 5 mois sur 12 (de juin à octobre) supérieures à 21°C, oscillant entre 22 et 29,5°C. Durant le mois d'août, la valeur moyenne des températures atteint 36°C, ce qui suppose des températures extrêmes allant au-delà de cette valeur.

Dans les locaux d'élevage situés au nord de l'Algérie, les températures ambiantes peuvent atteindre 40°C et jusqu'à 45°C pour ceux qui sont au sud (Boukhelifa, 1987). Dans ces conditions d'élevage, l'exposition des volailles à des températures ambiantes élevées entraîne significativement l'augmentation de leur température corporelle qui, chez l'oiseau adulte est de l'ordre de 41- 42°C à température ambiante tempérée (Donkoh, 1989). En l'absence de mesures adéquates, l'élévation de la température ambiante constitue alors, une contrainte sérieuse en production avicole. En Algérie, elle se traduit par une importante chute des performances zootechniques des volailles dont le taux de mortalité peut atteindre les 60%.

La synthèse des données bibliographiques relatives au stress thermique permet de distinguer 2 formes : le stress aigu et le stress chronique.

Le premier appelé également « coup de chaleur », se manifeste lorsque la température ambiante dépasse les 35°C durant une courte période. Dans cette situation, des mortalités importantes peuvent être enregistrées si des mesures appropriées et urgentes ne sont pas prises. Elles sont de nature techniques et consistent en une gestion adaptée des principales composantes de l'ambiance du local d'élevage telles que la température, l'hygrométrie et la ventilation.

Le stress chronique s'étale davantage dans le temps (quelques jours à quelques semaines), il se caractérise par une alternance de températures ambiantes élevées pendant le jour (entre 29 et 35°C) et de températures ambiantes plus fraîches durant la nuit. Cette situation amène l'oiseau à s'adapter physiologiquement à son nouvel environnement (acclimatation). Le recours à des moyens nutritionnels et génétiques est apparu le moyen approprié pour atténuer les effets néfastes de la chaleur dans ces conditions.



## V.1. Effet de la chaleur sur les performances zootechniques de la volaille

Dès le début des années 50, de nombreux travaux ont été orientés vers l'étude de l'effet du stress thermique sur les performances zootechniques des volailles (Cooper et Washburn, 1998).

Cet intérêt s'explique d'une part, par le fait que la sélection génétique orientée vers la production des poulets à croissance rapide ait abouti à des souches très sensibles au stress thermique (Deeb et Cahaner, 2002) et d'autre part, par le fait que la chaleur constitue un des plus importants stress auxquels peuvent être soumises les volailles (Lin *et al.*, 2006).

Il est actuellement admis que les performances maximales du poulet de chair en croissance sont obtenues dans des conditions optimales de température variant entre 18 et 20°C (Yalcin *et al.*, 2001). Toutefois, selon Reece et Deaton (1971), l'exploitation optimale des aliments chez le poulet de chair serait obtenue à des températures ambiantes de l'ordre de 21°C.

La poule pondeuse optimise quant à elle ses performances à 21°C (Emmans et Charles, 1977). Aussi, quelque soit le type de volaille considéré, elles réagissent toutes à l'exposition aux températures élevées (constantes ou cycliques) par une chute de leurs performances de production.

Le poulet de chair a fait l'objet de nombreux travaux relatifs à l'effet du stress thermique du fait qu'il y soit plus sensible que les autres oiseaux à croissance plus lente (Garriga *et al.*, 2005), particulièrement en phase de finition (Géarert *et al.*, 1996a).

L'ensemble des études réalisées à cet effet ont montré que la chaleur affecte fortement les performances de ce type d'oiseau quelque soit son stade de croissance (Austic, 1985; Aoyaggi *et al.*, 1988; Géarert, 1991; Hayashi *et al.*, 1992; Géarert *et al.*, 1996a; Yuniyanto *et al.*, 1997 et Abu-Dieyeh, 2006).

La réponse de la volaille à l'élévation des températures se matérialise par la réduction de l'énergie métabolisable et celle de l'ingéré alimentaire décrites par de nombreux auteurs (Adams *et al.*, 1962; Austic, 1985; Howliger et Rose, 1987; Géarert, 1991; Ain Baaziz *et al.*, 1996; Temim *et al.*, 2000; Oskan, 2003a, Ozbey *et al.*, 2004; Balnave et Brake, 2005 et Ziad, 2006).

La réduction de la consommation d'aliment est estimée par Freeman (1983) entre 1,1 et 1,6 % par degré d'augmentation de la température ambiante de 10 à 34°C. Chez la poule pondeuse, l'ingestion décroît de façon de curvilinéaire entre 15 et 30°C (Marsden *et al.*, 1987). Smith et Oliver (1972) ont proposé comme modèle de calcul de l'ingéré énergétique de la poule pondeuse, la fonction quadratique suivante établie sur la base de données obtenues entre 26,5 et 35°C.

$$Y = -1364 + 162,764 T - 3,0375 T^2$$

*Y* : *Energie métabolisable ingérée (kJ / kg<sup>0,75</sup> / j)*

*T* : *Température ambiante (°C)*

A l'opposé de Cerniglia *et al.*(1983) qui n'ont pas relevé d'effet de la chaleur selon le sexe de l'oiseau, Howliger et Rose (1987) et Osman *et al.*(1989) ont noté que la croissance des mâles est plus fortement affectée que celle des femelles par l'augmentation de la température.

Par ailleurs, il est observé par Aïn Baziz (1990) que le gain de poids est plus sévèrement diminué au-delà de 30°C: 2 % par degré d'élévation de la température ambiante.

Lin *et al.*(2004b) ont conclu à l'issue de leurs travaux que la sensibilité des poulets aux fortes températures augmente avec leur poids vif.

L'augmentation de l'indice de consommation sous l'effet de la chaleur rapportée par l'ensemble des travaux, n'est que la résultante de la détérioration de la consommation d'aliment et de celle du gain de poids par l'oiseau.

Chez les pondeuses, la réduction de la production tant quantitative que qualitative des œufs est également observée (Wolfenson *et al.*, 1979; Marsden *et al.*, 1987; Peguri et Coon, 1991; Al-Saffar, 2002). Il en est de même pour la caille (Ozbey *et al.*, 2004).

La chaleur affecte également la qualité de la carcasse du poulet de chair qui devient plus grasse (Wiernusz, 1998 ; Carmen *et al.*, 1991) particulièrement au niveau sous-cutané (Tesseraud et Temim, 1999).

Sur le plan sanitaire, Guo *et al.*(1988) ont noté qu'avec l'élévation de la température, les organes immunitaires chez le poulet ont un faible développement. Oskan *et al.*(2003a) ont confirmé ce résultat en observant sur des poulets de chair une détérioration de l'état de santé tandis que Lin *et al.*(2002) ont rapporté une chute de la réponse immunitaire chez les poules pondeuses exposées à une température d'élevage de 31,5°C.

Chez l'ensemble des oiseaux soumis au stress thermique, il est observé une forte consommation d'eau (Savory, 1986) et un taux de mortalité élevé (Ozbey et Ozceilik, 2004). L'hyperventilation qui s'installe en réponse à l'élévation de la température ambiante, entraîne une alcalose qui déprécie la croissance des poulets et la qualité de la coquille de l'œuf (Lin *et al.*, 2006).

### V.2. Effet de la chaleur sur la physiologie de la volaille

---

Les multiples réactions des oiseaux au stress thermique traduisent des modifications qui s'opèrent au sein de l'organisme animal tant au niveau physiologique que métabolique (Lin *et al.*, 2004a ; Gonzalez-Esquerra et Leeson, 2006).

L'exposition des poulets à la chaleur se traduit par plusieurs modifications physiologiques. Ainsi, Donkoh (1989) a rapporté qu'à une température ambiante de 35°C, la température rectale des poulets de chair augmentait; elle entraînait alors l'augmentation du taux de glucose sanguin tandis que le nombre de globules rouges, la teneur en hémoglobine et la concentration des protéines plasmatiques diminuaient.

A une température ambiante de 38°C, Altan *et al.*(2003) ont signalé une réduction de l'hématocrite tandis que Toyomizu *et al.* (2005) ont noté des modifications de l'équilibre acido-basique du sang chez le poulet de chair.

Les fonctions physiologiques de la poule pondeuse sont également modifiées par la chaleur (Sadercock *et al.*, 2006). Chez celle-ci, en conditions de stress thermique, Şahin et Küçük (2001) ont noté une diminution des taux d'urée, d'acide urique, d'albumine, des tryglycérides, du cholestérol et des ions Ca, P, Na et K au niveau sérique. Ils ont également observé une réduction des activités de l'amylase et de l'alkaline phosphatase.

Des températures de l'ordre de 34°C entraînent chez la caille l'augmentation de la concentration des produits de peroxydation des lipides dans le sérum et le foie et diminuent

---

en revanche, le taux de vitamines antioxydantes dans le sérum et les tissus (Şahin *et al.*, 2002).

La fonction reproductrice des oiseaux n'échappe pas non plus à l'effet des températures élevées: la production de la semence est dans ces conditions, réduite (Payne, 1966; Wilson *et al.*, 1972 ; Karoca *et al.*, 2002).

Par ailleurs, plusieurs travaux ont fait état de l'augmentation du taux de prolactine et la diminution de la concentration des gonadotropines (LH et FSH) chez le dindon (Opel et Proudman, 1982) et la poule pondeuse (Johnson, 1981) lorsque ces deux volailles sont exposées à des températures élevées.

Sur le plan nutritionnel, l'impact de la chaleur sur les modifications de la physiologie digestive a donné lieu depuis une vingtaine d'années à de nombreuses études. Toutefois, les résultats obtenus sont parfois contradictoires (Har *et al.*, 2000) et les mécanismes d'action des phénomènes qui s'instaurent suite à ce stress ne sont pas tous clairement élucidés.

Une des premières conséquences de la chaleur sur la sphère digestive de la volaille, est la diminution du flux sanguin des capillaires de l'appareil digestif (Wolfenson, 1986). Cette réduction n'est pas sans conséquences sur la fonction digestive et absorbative dont les activités sont réduites suite à un moindre apport en glucose sanguin (Bonnet, 1990).

En effet, Wolfensen *et al.*(1987) ont observé chez de jeunes dindonneaux exposés au stress thermique, la diminution de la surface des villosités intestinales et celle du flux sanguin gastro intestinal.

Sengupta et Sharma, (1993) ont rapporté également la réduction de la hauteur des villosités et de la profondeur des cryptes chez la volaille. A l'opposé, chez le jeune poulet de chair, Garriga *et al.*(2005) ont noté une augmentation de la hauteur des microvillosités et celle de la surface de la bordure en brosse de la membrane chez le jeune poulet.

Par ailleurs, il est observé *in vivo* (Mitchell et Carlisle, 1992) et *in vitro* (Mitchell *et al.*, 1995), une augmentation de l'absorption du galactose et de la méthionine par les entérocytes sans pour autant que les mécanismes de cette adaptation à la chaleur *per se* ne soient clairement établis; ces modifications compenseraient les réductions respectives de 22 et 5 % du poids frais et de la longueur du jéjunum.

Ces observations confirment celles de Bonnet (1990) qui a observé une réduction significative du poids sec (31 %) et du poids humide (31 %) par unité de longueur de l'anse jéjunale.

En revanche, la diminution de la taille de l'intestin n'est pas relatée par Savory (1986), Mitchell et Carlisle (1992) et Sengupta et Sharma (1993) respectivement chez la poule pondeuse, le poulet et le rat exposés à la chaleur.

Les travaux de Uni *et al.*(2001) ont permis d'établir une relation étroite entre l'élévation de la température et la diminution de la concentration plasmatique de la triiodothyronine (T3). Il en résulte une réduction de la prolifération cellulaire des cryptes, une diminution du volume de la villosité et une moindre activité enzymatique de la bordure en brosse. Selon ces mêmes auteurs, ces modifications seraient à l'origine d'une moindre capacité de croissance et d'absorption au niveau cellulaire.

A l'échelle macroscopique, la réduction du poids du proventricule et du gésier chez la poule pondeuse exposée à la chaleur et celle des caeca du poulet de chair évoluant dans les mêmes conditions d'élevage, sont signalées par Savory (1986). Ce même auteur

a noté chez la volaille soumise à la chaleur, une augmentation du temps de transit dans les différents compartiments digestifs.

La faible croissance et la moindre efficacité alimentaire observées chez les poulets soumis au stress thermique, ne s'expliquent pas uniquement par les modifications physiologiques au niveau de l'appareil digestif, mais résultent également de la nature des réponses endocrines et métaboliques observées dans ces conditions (Lin *et al.*, 2004b).

### V.2.1. Influence de la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique des protéines

La digestibilité des protéines et des acides aminés des régimes (Wallis et Balnave, 1984) ainsi que celles des matières premières (Zuprizal *et al.*, 1992) a tendance chez le poulet, à diminuer avec la chaleur. Toutefois, cette réduction varie en fonction du type de protéines (tableau 22). En effet, Zuprizal *et al.*(1993) ont observé une diminution de 12 % pour la digestibilité du tourteau de colza alors que celle du tourteau de soja n'est réduite que de 2 %.

Tableau 22.Effet de la chaleur sur la digestibilité des protéines chez le poulet de chair.

Matière première	Digestibilité des protéines 21°C 32°C
Tourteau de soja	84,4 80,9
Tourteau de colza entier	70,6 61,6
Tourteau de colza dépelliculé	76,8 67,4

(Zuprizal *et al.*, 1993)

Selon Savory (1986), la diminution de la digestibilité des protéines serait en rapport avec la diminution de poids du proventricule et du gésier. Pour Dibner *et al.*(1992), elle est liée à l'inhibition par la chaleur des activités enzymatiques dans le tube digestif, tandis que Mitchell et Carlisle (1992) l'expliquent par la faible absorption des nutriments.

Quant à la digestibilité des acides aminés, Wallis et Balnave (1984) ont rapporté une plus faible digestibilité de la thréonine, de l'alanine, de la méthionine, de l'isoleucine et de la leucine chez des poulets élevés à 31°C, en comparaison à celle mesurée chez des poulets maintenus en conditions classiques d'élevage (21°C). Toutefois, cet effet est plus drastique chez les femelles que chez les mâles (tableau 23).

Les travaux de Koelkebeck *et al.*(1998) sur poule pondeuse ont indiqué qu'à l'exception de la lysine et de l'histidine dont la digestibilité augmente, le stress thermique n'induit pas d'effet significatif sur la digestibilité des autres acides aminés.

Pour certains auteurs tels que Alleman et Leclercq (1997)etBrake *et al.*(1998),la chaleur entraînerait chez la volaille une modification de leur besoins en acides aminés. Ainsi, selon Brake *et al.*(1998),le besoin en arginine des poulets de chair en croissance est accru et sa disponibilité réduite au chaud.

Dans la même optique, Balnave et Brake (2005) ont préconisé une augmentation du rapport arginine/lysine lorsque la température ambiante augmente, du fait d'une malabsorption de l'arginine au niveau intestinal.

Acide aminé	Digestibilité			
	21°C		32°C	
	mâle	fémele	mâle	fémele
Ac aspartique	0,688	0,717	0,685	0,677
Thréonine	0,708	0,742	0,703	0,677
Serine	0,775	0,790	0,765	0,773
Acide glutamique	0,858	0,879	0,861	0,865
Glycine	0,715	0,729	0,735	0,738
Alanine	0,786	0,803	0,774	0,780
Valine	0,740	0,829	0,776	0,756
Méthionine	0,926	0,926	0,892	0,877
Isoleucine	0,930	0,853	0,816	0,805
Leucine	0,794	0,813	0,782	0,787
Tyrosine	0,800	0,804	0,786	0,771
Phénylalanine	0,786	0,832	0,814	0,817
Histidine	0,796	0,808	0,795	0,801
Lysine	0,845	0,829	0,827	0,823
Arginine	0,819	0,855	0,835	0,823
Moyenne	0,791	0,814	0,790	0,785

**Tableau 23.** Effet de la chaleur sur la digestibilité iléale des acides aminés chez le poulet.

(Wallis et Balnave, 1984)

Selon Lin *et al.*(2005), l'apport idéal d'acides aminés en conditions chaudes n'est pas encore précisé et les différentes études jusque là menées aussi bien sur poulet de chair (Mendes *et al.*, 1997; Rose et Uddin, 1997; Corzo *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2005) que sur dindons (Veldkamp *et al.*, 2000) ont abouti à des résultats contradictoires.

Les conclusions des travaux menés par Geraert *et al.*(1996b), Tesseraud et Temim (1999) ont indiqué que la dépression de la croissance chez le poulet de chair soumis au stress thermique est en relation avec la réduction de la synthèse protéique suite à des modifications métaboliques et endocrines.

Les premières études orientées dans cette voie (Yunianto *et al.*, 1997; Şahin et Küçük, 2001; Lin *et al.*, 2004a) ont effectivement montré que le stress thermique est à l'origine de l'augmentation du taux de la corticostérone et de la chute de la concentration de triiodothyronine (T3) dans le plasma. Ces hormones sont impliquées dans le dépôt des protéines chez la volaille et chez d'autres espèces animales (Grizard *et al.*, 1995 ; Deyhim et Teeter, 1995).

Par ailleurs, Temim *et al.*(1999) ont précisé que la chaleur réduit chez les poulets en finition la protéosynthèse particulièrement au niveau du *Pectoralis major* comparativement au *Gastrocnemius* et au *Sartorius*.

En conditions de température ambiante élevée, la plus faible synthèse des protéines musculaires peut aussi résulter selon Tesseraud et Temim (1999) d'un défaut d'apport énergétique au muscle.

Quant à Mujahid *et al.*(2005), ils considèrent que la chute du poids vif des volailles soumises au stress thermique, s'expliquerait par l'augmentation de la production de radicaux superoxydes dans les mitochondries des muscles pectoraux. Mujahid (2006) juge

que ce cas de figure est probablement lié à une moindre régulation de la teneur des protéines non couplées.

### **V.2.2. Influence de la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique des glucides**

La diminution de l'activité enzymatique de la maltase et de la sucrase chez les poules pondeuses soumises au stress thermique a été observée par Yamazaki et Zhang (1982). Cependant, Osman et Tanios (1983) ont précisé que l'activité de l'amylase et de la maltase n'est modifiée que lorsque les oiseaux sont soumis à une intense chaleur de courte durée.

En conditions *in vitro*, Dibner *et al.*(1992) ainsi que Mitchell et Carlisle (1992) ont noté une plus forte absorption du glucose et du galactose par la membrane intestinale. Ce résultat est confirmé par des mesures *in vivo* menées par Garrigua *et al.*(2005) qui ont conclu qu'en conditions de stress thermique, la muqueuse du jéjunum du poulet de chair présentait une plus grande capacité d'absorption du glucose.

Ils expliquent cette observation d'une part, par l'augmentation de la longueur des microvillosités qui détermine à son tour l'accroissement de la surface de la bordure en brosse et d'autre part, par l'augmentation de 50 % de l'activité du transporteur Na dépendant du glucose (SGLT1).

Ces observations confirment celles rapportées précédemment par Levin (1994) et par Tur *et al.*(1987).

En revanche, Lambert *et al.*(2002) notent une diminution de la multiplication des entérocytes sous l'effet du stress thermique. Cette modification est liée au faible taux d'hormones thyroïdiennes et de cortisone dans le plasma entraînant la réduction de la longueur et du poids du jéjunum (Garrigua *et al.*, 2005).

Dans le même sens, les travaux de Padilha (1995) et de Géraert *et al.*(1996a) ont montré que le poulet exposé au chaud présente à jeun une diminution de la réponse à l'insuline sans modification de la glycémie et de l'insulinémie basales.

### **V.2.3. Influence de la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique des lipides**

Il est observé en conditions d'élévation de chaleur, une augmentation de l'activité lipasique dans les milieux pancréatique et intestinal de la poule pondeuse et du dindon (Osman et Tanios, 1983). Il est également mentionné l'amélioration de l'absorption des acides gras de dindonneaux âgés de 8 semaines (Wolfenson *et al.*, 1987).

La tendance de ces résultats ne s'accorde pas avec la diminution chez le poulet de la digestibilité des lipides sous l'effet de la chaleur, observée par Bonnet *et al.*(1997). Ces derniers précisent par ailleurs, que la digestibilité des lipides d'origine végétale est moins affectée par la chaleur que celle des lipides d'origine animale.

L'adiposité accrue des poulets est observée lorsqu'ils sont soumis au stress thermique (Kubena *et al.*, 1972; Chwalibog et Thorbek, 1989). Les lipides totaux de la carcasse et la graisse abdominale augmentent de 0,8 et de 1,6 % respectivement pour une élévation d'un degré de la température (Howliger et Rose, 1987).

Selon Ain Baziz (1996), l'importance du dépôt de gras varie en fonction des tissus; le gras sous-cutané est plus modifié à 32°C que le gras cutané et la concentration en acides gras saturés des dépôts lipidiques augmente également.

Dès 1988, Decuyper et Buyse avaient rapporté que le dépôt de gras était favorisé par la diminution de la concentration de la T3. Il ne résulte pas d'une lipogénèse importante mais plutôt d'une utilisation plus faible des réserves lipidiques pour la couverture des besoins énergétiques lorsque les poulets sont exposés à la chaleur. En effet, Géraert *et al.* (1996b) ont noté une diminution des taux circulants d'acides gras libres et du glycérol tandis que Ain Baziz (1996) a rapporté la diminution de la concentration plasmatique de  $\beta$ -hydroxybutyrate et une faible activité au niveau musculaire de la  $\beta$ -hydroxy-acyl-déshydrogénase, enzyme impliquée dans la dégradation des acides gras.

Outre les modifications induites par la chaleur sur l'utilisation par la volaille des glucides, protéines et lipides de la ration, les travaux d'El Husseiny et Creger (1980) ainsi que ceux de Smith et Teeter (1987) et de Siegel (1995) ont également mis en relief la diminution de la rétention minérale lors d'élevages en conditions de températures élevées.

Les modifications induites par la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique des lipides et des glucides retentissent sur la capacité de la volaille à exploiter l'énergie des régimes alimentaires.

### V.3. Effet de la chaleur sur le métabolisme énergétique des volailles

Lorsque la température ambiante s'élève dans les limites de la thermoneutralité, les oiseaux régulent leur température corporelle en augmentant les pertes de chaleur sensible sans retentissements sur la croissance ou sur la production d'œufs.

En revanche, lorsque le stress thermique est sévère, les oiseaux minimisent leur production de chaleur pour maintenir l'homéothermie.

Les mesures énergétiques (tableau 24) réalisées par Smith et Oliver (1972) sur la poule pondeuse exposée à différentes températures confirment cette observation.

**Tableau 24. Effet de la température ambiante sur l'ingéré énergétique et la production de chaleur de la poule pondeuse.**

Température ambiante (°C)	EM ingérée (kJ)	Production de chaleur (kJ)	EM pour la production d'œufs (kJ)
26,5 29,5 32,0 35,0	1216 1184 1083	906 886 821 711	310 298 262 200

(Smith et Oliver, 1972)

Les travaux de Farrell et Swain (1977) ont précisé par la suite que la production de chaleur des poulets de chair alimentés ou soumis au jeun, diminue lorsque la température augmente de 2 à 30°C et se stabilise entre 30 et 35°C.

Chez le dindon, Hurwitz *et al.* (1980) ont également observé une diminution de la production de chaleur. Chez la poule pondeuse, cette diminution est de l'ordre de 0,20 kJ / kg P<sup>0,75</sup> pour une augmentation de 1°C (Li *et al.*, 1992) et résulterait de la diminution des besoins énergétiques d'entretien (Sykes, 1977).

L'étude des mécanismes permettant la diminution de la thermogénèse a montré que l'ensemble de ses composantes est modifié par l'élévation de la température ambiante.

En effet, en condition de stress thermique, la production de chaleur basale diminue avec l'augmentation de la température (Farrell, 1988; Li *et al.*, 1992; Tesseraud et Temim, 1999). Selon Géraert *et al.* (1996a), la réduction du métabolisme de base de poulets de

chair en finition maintenus dans des conditions thermiques de 32°C est de 20 % et chez les poulets alimentés, la réduction de la production de chaleur observée est de l'ordre de 16 % à 32°C (tableau 25).

Tableau 25. Bilan énergétique (kJ / kg P<sup>0,75</sup>) des poulets de chair en finition alimentés *ad libitum* et soumis à des températures de 22 et 32°.

Traitement	22°C Moyenne SEM	32°C Moyenne SEM
Energie métabolisable ingérée (EMi)	1097a 44 353a	828b 47 286b
Production de chaleur des poulets à jeun	5 501a 8 148	8 417b 6 131
Production de chaleur des poulets alimentés	8 0,135a 0,005	7 0,164b 0,003
Extrachaleur (% EMi)		

(Geraert et al., 1996a)

Sur une même ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes à  $P < 0,05$  ; SEM : erreur standard.

Le besoin énergétique d'entretien qui inclue au-dessus du métabolisme de base une partie de l'activité physique et de l'utilisation de l'aliment est également réduit en conditions chaudes chez le poulet de chair (Géraert, 1990).

Selon ce même auteur, la production de chaleur liée à l'activité physique s'accroît en conditions chaudes suite à l'augmentation de la fréquence respiratoire.

Toutefois, l'augmentation de la dépense énergétique dans ces conditions serait selon Hilman *et al.* (1985) peu importante, étant compensée par la diminution de la demande énergétique des autres tissus.

L'extra-chaleur est quant à elle, significativement augmentée au chaud conduisant à une diminution des rendements de transformation de l'EM ingérée pour l'entretien ou la croissance (Geraert *et al.*, 1996a).

L'effet de la chaleur sur les modifications de la dépense énergétique des volailles ainsi que sur la détérioration de leurs performances de croissance et de production, a orienté la recherche vers de nouvelles stratégies nutritionnelles adaptées à l'élevage des poulets en climats chauds.

Dans cette optique, plusieurs études ont été orientées vers la proposition de régimes spécifiques pour pallier à la baisse d'ingéré des poulets.

Les lipides ayant l'extrachaleur la plus basse des trois catégories de nutriments, une première piste a consisté à augmenter la densité énergétique de l'aliment par addition de lipides. Cependant, les résultats obtenus par Padilha (1995) ont indiqué que l'augmentation de 5 à 10 % du taux de lipides dans l'aliment sans modification de la concentration énergétique, n'augmentait pas la consommation alimentaire au chaud et n'améliorait pas significativement les performances de croissance.

La même tendance des résultats est rapportée par Aïn Baziz (1996) et Bouvarel *et al.* (1977).

La réduction du taux protéique des régimes et leur rééquilibrage en acides aminés n'a pas non plus amélioré les performances des volailles élevées en conditions de températures élevées (Alleman et Leclercq, 1997; Faria Filho, 2003). Non seulement cette pratique



n'atténue pas les effets néfastes de la chaleur, mais elle risque également de détériorer davantage les performances animales (Alleman et Leclercq, 1997).

Il est même observé par Buyse *et al.*(1992) et Nieto *et al.*(1997) une augmentation de la production de chaleur avec la diminution de la concentration protéique des régimes.

Aussi, tel que préconisé par Aïn Baziz (1996) et Geraert (1996a), en augmentant à 25% le taux protéique du régime du poulet élevé à 32°C, il est observé par Tesseraud *et al.*(1999) une amélioration significative du gain de poids et de l'efficacité alimentaire et celle légère du dépôt protéique corporel des poulets.

Toutefois, ces résultats restent discutables car variables selon le génotype du poulet (Cahaner *et al.*, 1995) et de la qualité des protéines (Picard *et al.*, 1993).

Quant à l'utilisation métabolique de l'énergie de la ration par la volaille en conditions de stress thermique, elle reste assez controversée.

En effet, si à travers les conclusions de la plupart des travaux menés (Lei et Slinger, 1970; Farrell et Swain, 1977; El Hussein et Creger, 1980; Wallis et Balnave, 1984; Schoenherr *et al.*, 1989 et Li *et al.*, 1992) l'énergie métabolisable reste significativement inchangée, elle est en revanche réduite selon les observations de Yamazaki et Zi-Yi (1982) et voire même augmentée selon celles de Keshavarz et Fuller (1980).

Ces résultats contradictoires s'expliquent en grande partie par la diversité des conditions de mesure de l'effet de la chaleur sur l'EM: caractéristiques des oiseaux et des matières premières utilisées (Bonnet *et al.*, 1997).

En effet, tel que le montre le tableau 26, la chaleur affecte différemment la valeur EM des matières premières.

Matières premières	Température constante	
	21°C	32°C
<b>Tourteau de soja</b>		
EMa	1991	2037
EMa n	2027	1998
<b>Tourteau de colza entier</b>		
EMa	1140	1115
EMa n	1282	1174
<b>Tourteau de colza dépelliculé</b>		
EMa	1433	1366
EMa n	1619	1408

**Tableau 26.** Effet de la chaleur sur l'énergie métabolisable (kcal / kg) de quelques matières premières chez le poulet de chair âgé de 6 semaines.

(Zuprizal *et al.*, 1993)

Pour les aliments complets, les résultats sont également controversés: chez le poulet âgé de moins de 5 semaines, la chaleur n'a pas d'effet significatif sur l'énergie métabolisable quelques soient les caractéristiques des régimes (tableau 27), tandis que chez les sujets âgés entre 4 et 8 semaines, l'EM augmente à la chaleur quelque soit les caractéristiques de l'aliment (concentration en lipides et en protéines) et de l'oiseau (sexe, souche).

Les mesures de l'énergie métabolisable réalisées par Yamazaki et Zi-Yi (1982) et rapportées par le tableau 28 indiquent une tendance à la baisse des valeurs de l'énergie

métabolisable (EMa n et EMr n) chez le coq âgé de 13 mois recevant un régime à base maïs-tourteau de soja-farine de poisson.

Matières premières	Température constante	
	21°C	32°C
<b>Tourteau de soja</b>		
EMa	1991	2037
EMa n	2027	1998
<b>Tourteau de colza entier</b>		
EMa	1140	1115
EMa n	1282	1174
<b>Tourteau de colza dépelliculé</b>		
EMa	1433	1366
EMa n	1619	1408

**Tableau 27.** Effet de la chaleur sur l'énergie métabolisable (EMa n en kcal / kg MS) des régimes chez le poulet de chair âgé de 4 semaines.

Auteurs	teneur en lipides	teneur en protéines	20-32°C	26,5-40,5°C
Olson <i>et al.</i> , 1972	3,1%	21%	2870	2880
	7%	21%	3200	3220
	11%	21%	3670	3710
Lei et Slinger, 1970	niveau énergétique			
	faible	7,6% de protéines/Mcal	3000	3000
	fort	7,6% de protéines/Mcal	3550	3530

**Tableau 28.** Effet de la chaleur sur l'énergie métabolisable (kcal / kg) chez le coq Yamazaki et Zi-Yi (1982)

Au terme de cette étude bibliographique, il apparaît que la forte variabilité du profil chimique et nutritionnel du son de blé est liée aux caractéristiques propres au grain de blé (variété et conditions culturales), au diagramme de mouture du grain et aux méthodes expérimentales utilisées pour la mesure des composants chimiques et de la valeur nutritionnelle de ce sous-produit.

Les données bibliographiques relatives à la valeur protéique de cette issue de meunerie chez la volaille sont rares et celles relatives à son potentiel énergétique sont le plus souvent incomplètes (méthode de mesure de l'EM, caractéristiques de l'oiseau, mode de présentation du son, caractéristiques physiques du son et conditions d'ambiance).

Par ailleurs, la littérature ne signale aucun travail précis et complet sur les modifications qu'entraîne l'élévation de la température sur l'utilisation digestive et métabolique du son de blé chez la volaille.

Compte tenu que dans le contexte algérien ce sous-produit est un composant classique des rations destinées à la volaille, nous nous sommes assignés comme objectif de contribuer à son utilisation rationnelle par l'apport dans une première étape d'informations supplémentaires relatives à son profil chimique et nutritionnel.

---

# PARTIE EXPERIMENTALE

## CHAPITRE I ETUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES SONS DE BLE PRODUITS EN ALGERIE

### I.1. Objectifs

---

Cet essai s'assigne comme objectifs de définir le profil chimique moyen des sons de blé produits en Algérie et d'en étudier les facteurs de variabilité.

### I.2. Matériel et méthodes

---

#### 1.2.1. Echantillons de sons de blé

Les échantillons de son de blé étudiés correspondent à la mouture de grains de blé dur, ils ont été collectés durant 3 années consécutives: 1994, 1995 et 1996 auprès de 9 unités industrielles de semoulerie rattachées aux ERIAD du centre (unités 1, 2 et 3), de l'est (unités 4, 5, et 6) et de l'ouest (unités 7, 8 et 9) du pays.

Chaque année, 10 échantillons (1 échantillon par mois durant 10 mois) sont prélevés auprès de chacune des 9 unités de première transformation des grains de blé.

#### 1.2.2. Mesures analytiques

La détermination de la teneur des échantillons de son de blé en matière sèche, en matière minérale, en protéines brutes, en cellulose brute, en matière grasse et en amidon a été réalisée selon les méthodes décrites par l'Association Française de Normalisation (AFNOR, 1985).

Avant toute analyse, le son de blé est broyé dans un broyeur de laboratoire type IKA ayant un tamis de sortie avec une ouverture de maille de 0,5 mm.

- La teneur en matière sèche (MS)

Elle a été déterminée après passage de l'échantillon dans une étuve ventilée pendant 24 heures et à 103°C, suivi d'un refroidissement au dessiccateur.

- La matière minérale (MM)

Elle est mesurée après une incinération au four à 250°C pendant 1 heure, puis à 550°C durant 5 heures.

- La teneur en protéines brutes (MAT)

Elle a été déterminée selon la méthode Kjeldhal. Elle consiste à minéraliser l'échantillon à analyser par de l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur. L'alcalinisation des produits de la réaction est suivie de leur distillation et du titrage de l'ammoniac libéré. Le

calcul de la teneur en azote permet en multipliant ce résultat par le facteur conventionnel 6,25 d'obtenir la teneur en protéines.

- La teneur en matières grasses (MG)

Elle a été déterminée par extraction dans le dispositif Soxhlet par de l'éther de pétrole et sans hydrolyse préalable.

- La teneur en cellulose brute (CB)

Elle a été mesurée par la méthode WEENDE après une double hydrolyse des constituants non cellulose respectivement dans une solution acide (12,5g H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> / l) et dans une solution basique (12,5g Na OH / l). Après neutralisation et filtration, le résidu insoluble est lavé puis convenablement séché à poids constant à 105°C. Après pesée, le produit est incinéré à 600°C dans un four à mouffles. Le résidu est repesé en fin d'incinération.

- La teneur en amidon

Elle a été déterminée par la méthode polarimétrique qui comprend une double détermination. Dans la première, l'échantillon est traité à chaud par l'acide chlorhydrique dilué. Après défécation et filtration, le pouvoir rotatoire de la solution est mesuré par polarimétrie. Dans la seconde, l'échantillon est extrait par l'éthanol à 40 %. Après acidification du filtrat par l'acide chlorhydrique, défécation et filtration, le pouvoir rotatoire est mesuré dans les mêmes conditions que lors de la première détermination.

La teneur en amidon de l'échantillon correspond au produit de la différence des mesures optiques des 2 solutions par un facteur connu (182,7).

- Les fibres au détergent neutre (NDF) et au détergent acide (ADF)

Par convention, le NDF représente l'ensemble de la cellulose, des hémicelluloses, de la lignine et une partie des pectines. Quant à la fraction ADF, elle représente théoriquement la somme des polymères cellulose et lignine. Elles ont été respectivement mesurées selon la méthode de Van Soest (1963) et celle de Van Soest et Wine (1967).

L'échantillon sans traitement au préalable est attaqué par une solution au détergent neutre, le laury sulfate de sodium. Le résidu insoluble obtenu après filtration et lavage est séché jusqu'à poids constant. Il est ensuite hydrolysé par la solution au détergent acide (le cétyl triméthyl ammonium bromure), filtré, lavé et séché comme précédemment.

La teneur approximative en hémicellulose des sons de blé a été estimée par différence entre leurs valeurs NDF et ADF.

- L'extractif non azoté (ENA)

L'ENA est déduit par différence entre la matière organique et la fraction composée des matières azotées totales, de la matière grasse et de la cellulose brute.

Toutes les mesures analytiques sus mentionnées ont été réalisées en triple.

### 1.2.3. Analyses statistiques des résultats

Les résultats des analyses chimiques ont été soumis à l'analyse de variance à un et à deux critères de classification suivie de comparaisons de moyenne (test de Newman et Keuls) et à l'analyse de variance à mesures répétées.

Afin de représenter de façon synthétique la variabilité « multi-critère » de la population des sons de blés étudiés, une analyse en composantes principales (ACP) a été menée; de nouvelles variables, les composantes principales ont été calculées comme des combinaisons linéaires des variables de départ.

La signification des résultats est exprimée en fonction de la probabilité P ( $\square$  5% ou  $\square$  5%,  $\square$  1% ou  $\square$  0,1%).

L'ensemble des analyses a été réalisé par le logiciel Statistica version 6.

### 1.3. Résultats

Les teneurs moyennes en différents nutriments de l'ensemble des échantillons de son de blé analysés sont rapportées dans le tableau 29.

La valeur moyenne de la matière sèche est de 87,98 %; bien qu'elle varie de 87 à 90 %, elle reste comparable à celle rapportée par les données bibliographiques (AEC, 1987; Bourdon *et al.*, 1984).

En revanche, elle apparaît faible comparée à celle rapportée par Muñoz (1991) dans une étude du CIHEAM: 89,69 % avec une gamme de valeurs allant de 88,00 à 93,43 %.

Tableau 29. Composition chimique moyenne des sons de blé étudiés

Composant chimique	Moyenne % MS	Ecart-type	Valeur minimale	Valeur maximale	Coefficient de variation en %
Matière sèche	87,98	0,55	87,04	89,91	0,60
Matière minérale	4,92	0,85	3,28	7,09	17,40
Matière azotée totale	15,88	0,95	13,24	21,53	6,00
Matière grasse	4,48	0,74	2,90	6,48	16,50
Cellulose brute	10,59	0,67	8,86	13,87	6,40
Amidon	20,76	1,34	15,73	23,42	6,50
ADF	13,25	0,79	11,17	16,08	6,00
NDF	41,68	3,42	31,80	50,48	8,10
Hémicellulose	28,42	2,87	20,39	34,78	10,20
ENA	53,45	1,80	48,39	59,47	3,40

Quant à la teneur moyenne des sons en cendres (4,92 % MS), elle est affectée du plus haut coefficient de variation (17,4 %); elle est de même ordre de grandeur que celles rapportées par Bourdon *et al.* (1984) et Muñoz (1991), mais semble être relativement faible par rapport à celles mesurées par Bakhella (2005): 7,5% MS, par Hubbell (1980): 7,95 % et par Farrell *et al.* (1967): 8,82 %.

En ce qui concerne le taux de protéines de nos échantillons, sa valeur moyenne de 15,88 % MS se situe au-delà de la gamme de valeurs observées par Mac Masters *et al.* (1978): 11,8 à 14,5 % MS, par Pomeranz (1988): 11 à 14,8 % MS et par Hosenay (1986): 14,50 % MS.

En revanche, elle apparaît assez faible comparée à celles publiées par d'autres auteurs dont Hubbell (1980), Chyr (1987) et Muñoz (1991) qui rapportent respectivement des teneurs de 16,47, 18,46 et 16,62 % MS.

Pour ce qui est du taux moyen des matières grasses, il est de 4,48 % MS. Il se situe dans la gamme de valeurs rapportées par Thomas et Grahn (1978): 3,34 à 6,70 % MS et par

Mac Masters *et al.*(1978): 3,10 à 4,82 % mais reste élevé en comparaison à celui observé par Hosenev (1986): 3,3 % MS.

Le coefficient de variation des taux de matières grasses mesurés est assez élevé; il est de l'ordre de 16,6 %. La variabilité des teneurs en matières grasses du son de blé observée dans la bibliographie s'explique en partie par leur mode d'extraction. A cet effet, Mac Master *et al.*(1978) rapportent une gamme de valeurs allant de 3,10 à 6,33 % de matières grasses dans le son de blé selon la nature des solvants utilisés pour la délipidation.

Cellulose brute (hypothèse 87% MS)	INFIC	AAFCO	CFA	WINBURNE (1962)	PICCIONI (1965)	ANMF	Directive 77/101/ CEE
14,5	son	son	son	son	son	son	son
12,5							
11,5	standards middlings	standards middlings	standards middlings	standards middlings	reboulets/ recoupes	remoulage	remoulage
10,9							
10							
9,8							
9,2							
8,6							
8	shorts	shorts	shorts	shorts	remoulage	remoulage	remoulage
7,5							
6							
5,2							
5	red dogs	red dogs	red dogs	red dogs	firme basse	remoulage	firme basse
4,6							
4							
2,3	feed flour	feed flour	feed flour	white shorts/ middlings	remoulage	remoulage	remoulage
1,7							
		feed flour		low feed grade flour			

**Tableau 30.** Désignation des issues de blé dans différentes publications.

INFIC: International feed nomenclature, Agricultural UNIVERSITY OF Utah State Department, CFA: Canadian Feed Act

AAFCO : Association of American Feed Control Officials ; ANMF : Association Nationale de la Meunerie Française. En ce qui concerne la teneur en cellulose brute, nos échantillons de son s'avèrent en être plus pauvres (10,59 % MS) comparés à ceux analysés par Farrell *et al.*(1967): 11,8 % MS, par Kiiskinen (1992): 14,1 % MS et par Bakhella (2005): 12,3 % MS .

Les sons de blé produits localement semblent également pauvres en cellulose brute en comparaison à ceux présentés dans les tables Rhône Poulenc (1993) et ceux ayant servi à l'établissement des tables de l'AEC (1987) dont la teneur moyenne en ce nutriment est pour les 2 tables de composition, d'environ 11,36 % MS.

La teneur en cellulose brute de nos échantillons est néanmoins comparable à celle mesurée par Carré et Brillouet (1986). En revanche, comparées aux teneurs en amidon rapportées par les tables d'alimentation et qui varient entre 13,5 et 15,5 % MS, celles de nos échantillons sont nettement plus élevées et sont comprises entre 15,73 et 23,42 % MS avec une valeur moyenne de 20,76 % MS. Elles sont affectées d'un faible coefficient de variation (6,5%).

Contrairement aux teneurs en amidon, celles de la fraction NDF des sons de blé locaux ont une valeur moyenne de 41,67 % MS qui est bien plus faible que celle rapportée par Foy *et al.* (1981) qui est de 50,4 % MS et par Muñoz (1991) qui signale une concentration de 47,49 % MS. Ce dernier auteur rapporte en revanche, une concentration en ADF des sons de blé voisine à celle que nous avons déterminée (13,54 *versus* 13,25 % MS).

La teneur moyenne calculée en ENA est de l'ordre de 53 % MS et les valeurs extrêmes s'écartent de 11 points : 48 à 59 %.

## 1.4. Discussion

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude descriptive des sons de blé nous interpellent sur deux aspects: l'un, lié à la définition des sons de blé produits localement et l'autre, lié à leur profil chimique. Comparativement à la désignation des issues de blé adoptée par les auteurs et les organismes rapportée par le tableau 30, les échantillons de sons de blé locaux présentent une limite inférieure de cellulose brute qui les inclue dans la catégorie des « standard middlings ».

Par rapport aux normes de l'ANMF et de la directive française 77/101/CEE, ils s'apparentent respectivement aux remoulages bis et aux remoulages.

En considérant les normes de composition des issues de blé indiquées par l'ANMF (tableau 31), nos échantillons de son de blé sont relativement moins riches en cellulose brute et en matières minérales que le son gros et le son fin produits en France: une moyenne de 10,5 % MS de cellulose brute et de 5 % MS de matière minérale pour nos échantillons contre environ 12,5 % MS de cellulose brute et 6 à 8 % MS de cendres pour les 2 types de sons français.

La teneur en cendres des échantillons de sons locaux les rapproche davantage des remoulages bis dont la concentration en cendres est de 4,5 %.

En revanche, sur le plan de la concentration en amidon, les sons de blé produits localement (16 à 23 % MS) s'apparentent aux sons fins français (15 à 27 % MS).

**Tableau 31.** Normes de composition des issues de blé indiquées par l'ANMF (1992)

Produit	CB (% MS)	Cendres (% MS)	Amidon (% MS)
Son gros	Environ 12,5	6 - 8	14 - 22
Son fin	Environ 12,5	6 - 8	15 - 27
Remoulage bis	< 10	4,5 □ 0,3	19 - 47
Remoulage blanc	< 5	3 □ 0,3	20 - 54

Cet ensemble de comparaisons montrent que la désignation des sous-produits de meunerie et leurs caractéristiques moyennes prises comme références varient bien comme rapporté par Bonetti *et al.* (1994) d'un pays à un autre.

En effet, le son de blé produit en Algérie correspondrait davantage au mélange français de remoulages bis et de sons fins.

Cette situation n'est pas sans conséquences puisque dans plusieurs pays, dont l'Algérie, la formulation des régimes alimentaires destinés aux animaux est réalisée sur la base de données puisées à partir de tables étrangères (généralement françaises) de composition chimique et de valeur nutritionnelle. Or, dans ces tables, les sous-produits notamment de meunerie apparaissent sous des désignations données en fonction d'un profil chimique bien déterminé qui n'est pas systématiquement présenté par les issues de meunerie produites localement et ce, en dépit d'une même appellation.

Dans ces conditions, l'élaboration d'une formule alimentaire risque d'être fortement entachée d'erreurs.

Sur le plan de la structure chimique, les échantillons étudiés se distinguent comparativement à ceux présentés dans les tables d'alimentation consultées, par une concentration en amidon relativement élevée. En revanche, les teneurs des autres composants du péricarpe des grains sont globalement faibles.

Telles que indiquées par Bartnik et Jakubczyk (1989) et par Chasseray (1991), ces différences peuvent être liées à de nombreux facteurs qui se rapportent aux grains de blé, à la conduite technique de la mouture et aux types de diagramme de mouture des moulins industriels considérés.

Une concentration élevée des issues de meunerie en amidon, tel que le cas des échantillons de sons analysés, peut avoir diverses causes. Elle peut être attribuée aux conditions agro climatiques au cours du remplissage du grain de blé (Triboi, 1990), au génotype du grain (Colonna et Buleon, 1992), mais également aux conditions de mouture du grain (Leboque *et al.*, 1997).

Nous n'avons pas eu suffisamment d'informations pour vérifier rigoureusement les 2 premières hypothèses.

Toutefois, la conduite de la mouture des grains de blé, telle que menée dans les unités ciblées par cette étude, semble expliquer la teneur élevée de nos échantillons en amidon.

En effet, les données recueillies auprès des unités de production indiquent que dans l'ensemble, les taux d'extraction des semoules sont faibles, ce qui entraîne le mélange de résidus amylacés aux enveloppes du grain.

Les taux d'extraction respectivement observés dans les unités 1 à 3, 4 à 6 et 7 à 9, sont en moyenne de 67,82, 65,55 et 66,12 % soit un taux d'extraction global moyen de 66,49 %.

La plus grande sur utilisation des machines et un plus faible système de maintenance dans les unités 4 à 9 relativement aux trois premières expliquent entre autres, la faiblesse du taux d'extraction observé au niveau de ces 6 dernières semouleries.

De façon générale, les faibles taux d'extraction des semoules pratiqués en Algérie résultent selon Adli (2004) de la libéralisation de la législation sur l'extraction des farines et des semoules, de l'existence d'un marché important rénumérateur et non réglementé pour les sous-produits de la minoterie, ainsi que du renchérissement des prix des aliments du bétail pour toutes sortes d'animaux.



Outre le taux d'extraction, Godon (1998) rapporte que la teneur élevée en amidon des sons est également liée à d'autres paramètres techniques, dont la conduite du mouillage des grains et les repos correspondants qui conditionnent tous deux le comportement du grain de blé lors de la mouture.

Le mauvais tamisage des sons ou même l'absence de cette opération, leur

composant	année	unite1	unite2	unite3	unite4	unite5	unite6	unite7	unite8	unite9
MS	1994	88.42±0.90ab	88.67±0.39a	88.22±0.69abc	87.79±0.27cd	87.70±0.42d	88.10±0.33bcd	87.88±0.27cd	87.75±0.66d	87.79±0.29cd
	1995	88.30±0.81a	88.23±0.74ab	87.99±0.55abc	87.79±0.39bc	88.12±0.41ab	87.61±0.36cd	87.33±0.27d	87.95±0.24abc	88.23±0.31ab
	1996	88.27±0.48ab	88.10±0.53bc	88.56±0.54a	87.88±0.35c	87.96±0.3bc	87.88±0.21c	87.20±0.17d	87.81±0.37c	88.11±0.22bc
MM	1994	4.39±1.06ef	4.9±0.79bcd	5.89±0.73a	4.68±0.40cde	5.75±0.23a	4.47±0.24de	5.08±0.40bc	4.02±0.38f	5.19±0.32b
	1995	3.63±0.36d	5.29±0.71b	3.89±0.30d	5.33±0.13b	5.69±0.33a	4.51±0.11c	5.74±0.35a	4.01±0.44d	6.02±0.35a
	1996	4.43±1.14cd	5.59±0.63a	5.81±0.87a	5.55±0.42a	5.26±0.47ab	4.68±0.41c	3.94±0.52d	4.03±0.31d	4.96±0.35bc
MAT	1994	15.46±0.73d	15.46±0.95d	16.1±0.64abc	15.46±0.48cd	15.85±0.34abcd	16.17±0.34ab	15.90±0.52abcd	15.77±0.55bcd	16.31±0.35a
	1995	15.42±0.71cd	15.72±0.42bc	15.73±0.40bc	15.6±0.24bc	15.56±0.44bc	15.92±0.54ab	16.27±0.65a	15.10±0.40d	16.19±0.53a
	1996	15.83±0.83bcd	15.43±0.33d	19.09±1.23a	15.45±0.61d	15.56±0.22cd	16.11±0.32bc	15.63±0.64cd	15.83±0.39bcd	16.25±0.65b
MG	1994	3.87±0.43c	3.68±0.41c	4.6±0.67b	3.98±0.56c	4.63±0.34b	4.69±0.42ab	4.93±0.44ab	3.95±0.26c	5.27±0.39a
	1995	4.12±0.60d	4.61±0.68c	4.63±0.54c	3.42±0.13e	4.88±0.24bc	5.09±0.52ab	4.99±0.31bc	3.77±0.37de	5.42±0.35a
	1996	4.21±0.30d	3.92±0.29de	4.04±0.40de	4.71±0.40c	4.67±0.47c	5.89±0.31a	3.84±0.51de	3.86±0.15de	5.45±0.57b
CB	1994	10.55±0.85cd	11.64±1.22a	10.07±0.45d	10.3±0.41d	10.87±0.49bcd	10.08±0.51d	10.32±0.50d	11.00±0.64bc	11.19±0.30ab
	1995	10.94±0.95a	9.89±0.43c	10.08±0.57c	10.3±0.27bc	10.20±0.22bc	10.53±0.39ab	10.53±0.52ab	10.87±0.51a	10.77±0.26a
	1996	10.49±0.46cd	11.04±1.12ab	10.39±0.71cd	10.82±0.31abc	10.58±0.22bcd	10.76±0.22abc	10.51±0.49cd	10.24±0.49d	11.12±0.31a
Amid	1994	19.22±1.15e	18.93±0.86e	20.51±0.79c	20.83±0.33bc	21.59±0.95a	21.47±0.59ab	21.60±0.70a	21.58±0.96a	21.48±0.87ab
	1995	19.09±0.85f	20.17±1.11de	20.02±0.68e	21.98±0.31a	21.38±0.81ab	21.74±0.61ab	21.29±0.59bc	20.70±0.71cd	21.45±0.67ab
	1996	17.52±1.39d	19.82±1.84c	20.22±0.58bc	20.95±0.97ab	21.35±0.67a	21.61±0.83a	20.92±1.06ab	21.44±0.57a	21.78±0.57a
ADF	1994	13.21±1.1bcd	13.38±1.33abcd	12.66±0.55e	13.04±0.56cde	13.65±0.61abc	12.69±0.63de	12.99±0.62cde	13.84±0.79ab	14.06±0.36a
	1995	13.39±1.11ab	12.8±0.79cd	12.47±0.70d	12.97±0.34bcd	12.84±0.27bcd	13.25±0.48abc	13.25±0.64abc	13.68±0.63a	13.55±0.32a
	1996	12.83±0.66c	13.77±1.43ab	13.05±0.91bc	13.61±0.38ab	13.28±0.23bc	13.53±0.27ab	13.22±0.61bc	12.89±0.61c	13.99±0.38a
HDF	1994	40.95±3.01b	37.89±3.89c	36.01±1.48c	42.03±1.56b	44.17±1.86a	41.23±1.92b	42.09±1.94b	44.68±2.41a	45.33±1.11a
	1995	40.42±3.05bc	37.35±1.16e	36.99±1.93e	41.91±1.08bc	41.67±0.82bc	42.91±1.45ab	42.89±1.94ab	44.20±1.91a	43.82±0.96a
	1996	36.99±1.20e	44.87±4.25ab	36.46±2.41e	43.99±1.15abc	43.09±0.83bcd	43.76±0.83abc	42.86±1.81cd	41.77±1.87d	45.15±1.15a
HC	1994	27.74±2.08c	24.52±2.69d	23.36±1.08d	29.02±1.03bc	30.52±1.25ab	28.54±1.29c	27.77±3.67c	30.85±1.62a	31.26±0.75a
	1995	27.05±2.73c	24.51±0.74d	24.42±1.41d	28.94±0.79b	28.83±0.55b	29.66±0.97ab	29.63±1.30ab	30.53±1.27a	30.28±0.63a
	1996	24.17±1.35d	31.1±2.85a	23.41±1.57d	30.39±0.77ab	29.81±0.61bc	30.23±0.55ab	29.64±1.21bc	28.89±1.26c	31.16±0.77a
EHA	1994	54.14±2.10a	52.98±1.61b	51.55±1.11d	53.37±0.79ab	50.6±0.71de	52.69±0.41bc	51.64±1.40cd	53.02±1.46ab	49.84±1.03e
	1995	54±0.93a	52.72±1.70c	53.67±0.78ab	53.14±0.39bc	51.80±0.63d	51.56±0.68d	49.80±0.70e	54.19±1.36a	49.84±0.58e
	1996	53.31±1.92a	52.12±1.40bcd	49.22±1.27ef	51.35±1.20de	51.89±0.80cd	50.44±0.72e	53.30±1.58a	53.85±0.76a	50.32±1.06e

**Tableau 32. Composition chimique moyenne (% MS) des sons de blé des différentes unités de production (1)**

(1) : moyenne de trois déterminations ; a,b,c,d : sur une même ligne, les valeurs affectées de lettres différentes sont statistiquement différentes (P < 0,05).

mélange à des issues de meunerie récupérées en queue de claquage (remoulage bis) et de convertissage (remoulage blanc) dont la teneur amyliacée atteint jusqu'à 24 % (Bakhella 2005), constituent autant de facteurs explicatifs de la richesse des sons de blé locaux en amidon.

Par ailleurs, compte tenu d'une part que les blés réceptionnés par les ERIAD ont des origines diverses (Djermoune, 1994) et que d'autre part, les grains de blé tendre soient plus riches en amidon : jusqu'à 21,5 % pour les sons fins et 19,5 % pour les sons gros (Piat, 1990), il est possible alors que les échantillons analysés ne résultent pas de la transformation des grains de blé dur uniquement mais plutôt de celle d'un mélange de grains de blé dur et de grains de blé tendre (hard ou soft). Nous n'avons pu vérifier ces hypothèses, fautes d'informations suffisantes.

L'analyse des résultats de la composition chimique des sons indiqués dans le tableau 32, a révélé des différences entre les unités de minoterie ciblées par cette étude durant les trois années de mesures.

Ces différences très hautement significatives ( $P \leq 0,001$ ) tel que le rapporte l'analyse de variance à mesures répétées (tableau 33) sont vraisemblablement à mettre en relation avec l'origine différente des grains qui arrivent aux moulins.

Tableau 33. Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées

Test	MS	MM	MAT	MG	Ami	CB	ADF	NDF	HC	ENA
Lambda de Wilks	0,27	0,04	0,14	0,04	0,09	0,28	0,41	0,06	0,03	0,09
R/ Rao (24,229)	5,45	20,06	9,18	18,14	12,44	5,19	3,41	15,24	21,13	12,5
Signification	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

\*\*\* :effet très hautement significatif ( $P \leq 0,1\%$ )

En effet, les blés durs triturés au niveau des unités sont d'origines diverses: soit importés notamment de France, des Etats Unis et du Canada, soit d'origine locale, soit encore sous forme d'un mélange de blés importés et locaux et de variétés différentes.

Or, plusieurs auteurs dont Farrell *et al.*(1967), Waggle *et al.*(1967), Gasiorowski *et al.* (1976), Peterson *et al.*(1986) et (Willm,1995) rapportent que la composition chimique des issues de meunerie de blé, dont les sons, varie en fonction de la variété du grain trituré ainsi que de ses conditions de culture.

Leboque *et al.*(1997) précisent quant à eux, que les caractéristiques physiques et chimiques des issues de meunerie peuvent également présenter une variabilité importante intra moulin.

Nous avons effectivement révélé par l'analyse de variance (tableau 34), que le facteur «prélèvement» au sein de la même unité exerce un effet très hautement significatif ( $P \leq 0,001$ )sur l'ensemble des composants chimiques des sons de blé analysés même s'il n'explique qu'une faible part (un coefficient de variation moyen de 5%) de la variabilité de leur profil chimique, tel que rapporté par le tableau 35.

Le tableau 34 indique également que l'effet du facteur «prélèvement» s'exerce globalement sur l'ensemble des paramètres chimiques de façon comparable.

Composant chimique	Source de variation	ddl	SS	MS	F	Signification
MS	Totale	809	313,67	0,38		
	Unité (1)	8	58,55	7,32	57,01	***
	Prélèvement (2)	29	13,07	0,45	3,51	***
	Interaction (1*2)	232	172,73	0,74	5,80	***
	Erreur	540	69,32	0,13		
MM	Totale	809	646,91	0,80		
	Unité (1)	8	204,72	25,59	232,26	***
	Prélèvement (2)	29	15,49	0,53	4,85	***
	Interaction (1*2)	232	367,20	1,58	14,37	***
	Erreur	540	59,50	0,11		
MAT	Totale	809	951,43	1,18		
	Unité (1)	8	175,59	21,95	176,53	***
	Prélèvement (2)	29	41,40	1,43	11,48	***
	Interaction (1*2)	232	667,30	2,88	23,13	***
	Erreur	540	67,14	0,12		
MG	Totale	809	500,37	0,62		
	Unité (1)	8	216,57	27,07	335,06	***
	Prélèvement (2)	29	16,64	0,57	7,10	***
	Interaction (1*2)	232	223,53	0,96	11,93	***
	Erreur	540	43,63	0,08		
CB	Totale	809	433,01	0,54		
	Unité (1)	8	46,41	5,80	52,25	***
	Prélèvement (2)	29	35,89	1,24	11,15	***
	Interaction (1*2)	232	290,77	1,25	11,29	***
	Erreur	540	59,95	0,11		
Amidon	Totale	809	1636,05	2,02		
	Unité (1)	8	780,56	97,57	301,13	***
	Prélèvement (2)	29	61,80	2,13	6,58	***
	Interaction (1*2)	232	618,72	2,67	823,00	***
	Erreur	50	174,97	0,32		
ADF	Totale	809	609,16	0,75		
	Unité (1)	8	65,65	8,19	41,73	***
	Prélèvement (2)	29	40,77	1,41	7,16	***
	Interaction (1*2)	232	396,80	1,71	8,71	***
	Erreur	540	106,04	0,20		
NDF	Totale	809	10438,80	12,90		
	Unité (1)	8	4717,67	589,71	352,71	***
	Prélèvement (2)	29	400,42	13,81	826	***
	Interaction (1*2)	232	4417,88	19,04	11,39	***
	Erreur	540	902,84	1,67		
Hémicellulose	Totale	809	7271,13	8,99		
	Unité (1)	8	3927,46	490,93	519,74	***
	Prélèvement (2)	29	209,45	7,22	7,65	***
	Interaction (1*2)	232	2624,16	11,31	11,97	***
	Erreur	540	510,07	0,94		
Extractif non azoté	Totale	809	4235,92	5,23		
	Unité (1)	8	563,72	70,46	116,81	***
	Prélèvement (2)	29	518,94	17,89	29,66	***
	Interaction (1*2)	232	2827,51	12,19	20,20	***
	Erreur	540	325,75	0,60		

**Tableau 34.** Résultats de l'analyse de variance à 2 critères de classification

ddl : degré de liberté ; SS : Somme des carrés des écarts ; MS : Carrés moyens

\*\*\*: effet très hautement significatif ( $P \leq 0,1\%$ ).

De façon similaire à l'effet «prélèvement», celui de l'«unité industrielle» est hautement significatif ( $P \leq 0,001$ ).

En revanche, cet effet est à l'origine d'une part relativement importante de la variabilité de la composition chimique des échantillons analysés. En effet, la valeur moyenne du coefficient de variation de l'effet «unité industrielle» indiquée par le tableau 35 est de 28 □ 16 %. Cet effet a une action particulièrement drastique sur la teneur des sons de blé en hémicellulose (54 %), en amidon (48 %) et en fraction NDF (45 %).

La composition chimique des échantillons étudiés est également soumise de façon significative ( $P \leq 0,001$ ) à l'interaction «unité de production x prélèvement». Le pourcentage de variation contrôlé par cette interaction est, quelque soit le composant chimique considéré, élevé (de l'ordre de 38 à 70 %) comme indiqué par le tableau 35.

L'impact des facteurs non mesurés est loin d'être négligeable, puisque hautement significatif ( $P \leq 0,001$ ) et caractérisé par un coefficient de variation de 11,5 % (tableau 35).

Constituant chimique	Effet « prélevement » (F1)		Effet « unité industrielle » (F2)		Interaction (F1*F2)		Erreur (facteurs méconnus)	
	D° S	% VC	D° S	% VC	D° S	% VC	D° S	% VC
MS	***	4,17	***	18,67	***	55,07	***	22,01
MM	***	2,39	***	31,65	***	56,76	***	9,20
MAT	***	4,35	***	18,47	***	70,14	***	7,06
MG	***	3,32	***	43,28	***	44,67	***	8,72
CB	***	8,29	***	10,72	***	67,15	***	13,85
Amidon	***	3,78	***	47,71	***	37,82	***	10,69
ADF	***	6,69	***	10,78	***	65,14	***	17,41
NDF	***	3,83	***	45,19	***	43,32	***	8,65
HC	***	2,89	***	54,00	***	36,09	***	7,01
ENA	***	12,25	***	13,31	***	66,75	***	7,69
Valeur moyenne		5,43 ± 2,86		27,64 ± 16,00		55,50 ± 12,52		11,41 ± 4,57

**Tableau 35.** Pourcentage de variation contrôlée par les différents critères de variation inclus dans l'analyse de variance

D°S: degré de signification ; %VC: % de variation contrôlé ; \*\*\*: effet très hautement significatif ( $P \leq 0,1\%$ ).

En définitive, ces premiers résultats montrent que les sons de blé étudiés constituent dans les conditions de notre expérimentation une population hétérogène de par leur composition chimique.

L'irrégularité de la qualité des produits dérivés du blé en Algérie est liée d'une part, à la diversité des origines d'importation et l'inadaptation de la réglementation régissant les céréales et d'autre part, à la diversité des technologies utilisatrices (Sadli, 2000).

Cette situation ne facilite pas l'utilisation rationnelle des issues de meunerie en alimentation animale puisque leur identification tant sur le plan technologique que chimique n'est pas définie de façon précise.

Nous avons alors tenté par le biais d'une analyse en composantes principales, de déterminer les caractéristiques chimiques qui doivent permettre d'identifier de la façon la plus évidente les sons de blé locaux.

Au préalable à l'analyse proprement dite, se sont les résultats significatifs du test de sphéricité de Bartlett (tableau 36) et ceux de la corrélation entre les données (tableau 37) qui nous ont permis de procéder à la mise en facteurs des données de départ.

Valeur observée de $\chi^2$	8119,866
Valeur P	< 0,0001
Seuil de signification	0,050
Valeur critique du $\chi^2$ (ddl=36)	50,998
Le test étant unilatéral, la P value est comparée au seuil de signification : alpha=	
	0,050

**Tableau 36.** Test de sphéricité de Bartlett**Tableau 37.** Matrice des corrélations entre les composants chimiques des sons de blé analysés

	MS	MM	MAT	MG	CB	Amidon	ADF	NDF	HC
MS	1	0,108	0,091	-0,074	0,095	-0,218	0,033	-0,188	-0,233
MM	0,108	1	0,221	0,215	0,002	0,139	0,045	-0,001	-0,014
MAT	0,091	0,221	1	0,132	-0,041	0,086	-0,016	-0,146	-0,170
MG	-0,074	0,215	0,132	1	0,074	0,272	0,148	0,214	0,215
CB	0,095	0,002	-0,041	0,074	1	-0,095	0,923	0,657	0,520
Amidon	-0,218	0,139	0,086	0,272	-0,095	1	0,051	0,337	0,388
ADF	0,033	0,045	-0,016	0,148	0,923	0,051	1	0,753	0,613
NDF	-0,188	-0,001	-0,146	0,214	0,657	0,337	0,753	1	0,981
HC	-0,233	-0,014	-0,170	0,215	0,520	0,388	0,613	0,981	1

En gras, les valeurs sont significatives au seuil alpha de 0,05 (test bilatéral)

Les facteurs 1, 2 et 3 dont la valeur propre est supérieure à 1 ont été fixés pour l'analyse des données. En effet, le pourcentage de variabilité représenté par les 2 premiers facteurs n'étant que de 55 %, (tableau 38) l'affichage des données sur F1 comme axe horizontal et F2 comme axe vertical ne suffit pas pour l'interprétation des données. Par conséquent, le facteur 3 a été intégré à l'analyse des données.

**Tableau 38.** Valeurs propres et variabilité entre facteurs quantitatifs

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valeur propre	3,370	1,569	1,404	0,801	0,731	0,701	0,360	0,064	0,001
% variance	37,439	17,438	15,600	8,897	8,120	7,786	3,999	0,713	0,007
% cumulé	37,439	54,877	70,477	79,374	87,495	95,281	99,280	99,993	100,000

L'histogramme des données de valeurs propres (figure 3) conforte ce choix, les valeurs propres de F1, F2 et F3 se trouvant à gauche du point d'inflexion.

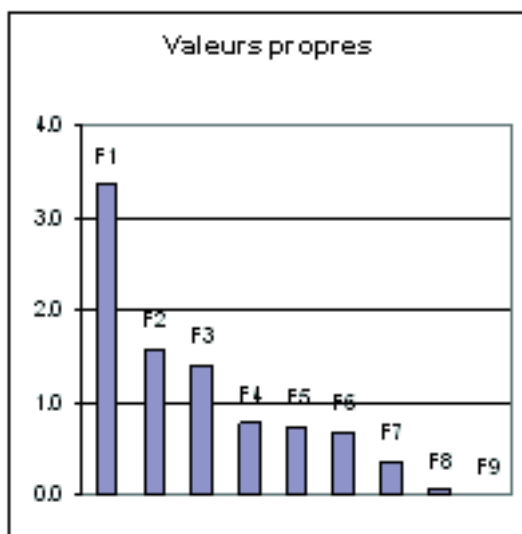


Figure 3. Histogramme des valeurs propres

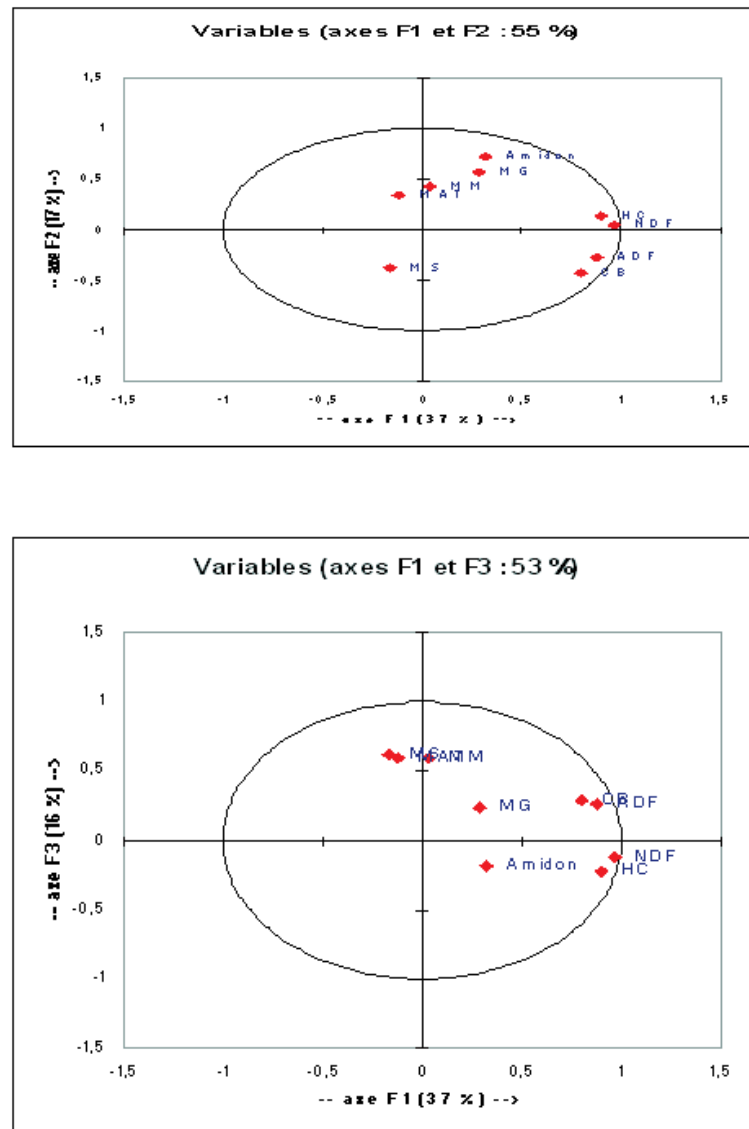
La projection des variables sur un plan à 2 dimensions constitué par les 2 premiers facteurs a permis de représenter les cercles de corrélations illustrés par la figure 4. Ces illustrations ainsi que les données du tableau 39 indiquent que les variables CB, ADF, NDF et HC qui représentent la paroi sont fortement liées au facteur 1, tandis que la matière grasse et l'amidon sont liées au facteur 2.

Tableau 39. Valeurs de Cos<sup>2</sup>

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
<b>MS</b>	0,026	0,137	0,387	0,128	0,011	0,302	0,008	0,000	0,000
<b>MM</b>	0,001	0,184	0,353	0,130	0,102	0,228	0,001	0,000	0,000
<b>MAT</b>	0,014	0,116	0,359	0,481	0,003	0,010	0,017	0,000	0,000
<b>MG</b>	0,082	0,326	0,057	0,041	0,489	0,005	0,000	0,000	0,000
<b>CB</b>	0,636	0,180	0,083	0,009	0,004	0,008	0,049	0,030	0,000
<b>Amidon</b>	0,101	0,529	0,036	0,001	0,099	0,136	0,098	0,000	0,000
<b>ADF</b>	0,765	0,079	0,067	0,009	0,001	0,004	0,044	0,032	0,000
<b>NDF</b>	0,929	0,002	0,014	0,000	0,008	0,002	0,044	0,000	0,000
<b>HC</b>	0,814	0,016	0,048	0,002	0,013	0,005	0,099	0,001	0,000

En effet, les constituants de la paroi (CB, ADF, NDF et HC) et l'amidon sont les 2 variables sur lesquelles la variance de la population globale est la plus importante. Elles sont très bien représentées par la première composante principale qui exprime 37% de la variance globale. Ces 2 composants chimiques représentent finalement, les caractéristiques sur lesquelles la variabilité inter-classes de sons est la plus forte.

On peut attribuer une signification technologique à la première composante qui oppose l'amidon d'une part aux structures de la paroi, alors que la seconde composante qui oppose les teneurs en cellulose brute à tous les autres constituants chimiques, aurait plutôt une signification nutritionnelle.



**Figure 4.** Cercles de corrélations

## I.5. Conclusion

L'analyse chimique de l'échantillonnage de sons de blé dur ciblés par notre étude a révélé que leur structure chimique ne répond pas aux normes de composition des sons de blé indiquées par différentes publications.

Ce constat nous amène à déduire que le procédé d'obtention des sons de blé s'éloigne de celui observé dans d'autres pays et/ou que les sons produits localement ne représenteraient pas un seul sous-produit de la minoterie, mais plutôt un mélange d'issues de meunerie.

Face à cette situation, il y a nécessité d'une cohérence entre la désignation du sous-produit retrouvé sur le marché et son profil chimique, afin d'éviter des erreurs lors de l'établissement des formules alimentaires, celles-ci étant basées généralement sur les informations rapportées par les tables étrangères de composition chimique des aliments.

Par ailleurs, les sons de blé produits localement se singularisent de ceux décrits par les tables de composition chimique des aliments par leur richesse relative en amidon et par leur moindre teneur en composés pariétaux.

De plus, leur profil chimique des sons de blé présente une forte variabilité non seulement entre les moulins où ils sont produits mais également au sein d'un même moulin. Cette variabilité liée à de nombreux facteurs attribue aux sons de blé produits localement un caractère chimique et nutritionnel relatif et temporaire qui ne les apprête pas à une identification précise et soutenue dans le temps.

Par conséquent, ces premiers résultats nous amènent à considérer avec prudence les informations chimiques des sons de blé rapportées par les tables d'alimentation, car s'éloignant du profil chimique réel des sons de blé locaux, elles peuvent biaiser sérieusement la qualité nutritionnelle de la ration ainsi établie.

Cette étude a fait également apparaître que le critère « composés pariétaux » constitue la meilleure caractéristique qui permette de distinguer les sous-populations de sons de blé produites localement.

## CHAPITRE II ETUDE DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES SONS DE BLE LOCAUX- PROPOSITION D'UN MODELE DE PREDICTION

### II.1. Objectifs

---

Les objectifs de cet essai visent à :

- mesurer chez le poulet de chair, la poule pondeuse et le dindonneau en croissance la valeur de l'énergie métabolisable réelle du son de blé produit localement.
- proposer pour chaque type d'oiseau un modèle de prédiction de l'EM du son de blé à partir des résultats de la composition chimique de ce sous-produit.

### II.2. Matériel et méthodes

---

#### II.2.1. Echantillons

La mesure de la composition chimique et de l'énergie métabolisable réelle a été réalisée sur 18 échantillons de sons de blé produits en Algérie et collectés auprès de différentes unités industrielles de semoulerie.

Chaque échantillon de son de blé a été finement broyé (0,5 mm de diamètre des particules) avant d'être soumis aux différentes analyses chimiques et d'être humidifié pour gaver les oiseaux.

#### II.2.2. Les animaux

L'énergie métabolisable des sons de blé a été mesurée chez 3 types de volaille: des poulets de chair de souche ISA 5 non sexés âgés de 28 jours, des dindonneaux de souche BUT



---

9 non sexés de 4 semaines d'âge et des poules pondeuses de souche ISABROWN âgées de 20 semaines

A cette fin, la valeur EMr de chacun des 18 échantillons de son de blé a été mesurée sur 30 poulets de chair répartis en 2 séries de 15 oiseaux chacune, une série de 10 dindonneaux en croissance et une série de 10 poules pondeuses.

### **II.2.2.1. Les poulets de chair**

L'élevage des poussins jusqu'à l'âge de 24 jours a été mené au poulailler de l'INA où les opérations de nettoyage, de désinfection, de chaulage et de vide sanitaire ont été effectuées classiquement avant la réception des poussins d'un jour. Ces derniers proviennent du couvoir de Dar El Beida avec lequel un programme de réception de 9 lots de 50 poussins à raison d'un lot tous les 10 jours a été convenu.

Dès leur arrivée au poulailler, les poussins non sexés ont été triés et seuls, ceux ne présentant pas d'anomalies anatomiques ont été retenus. Ils ont été installés dans une cellule paillée de 5 m<sup>2</sup> desurface et réchauffée 24 heures avant l'arrivée des poussins.

Des mangeoires et des abreuvoirs de premier âge ont été également disposés au niveau du parquet avant la réception des animaux. Durant toute la durée d'élevage, l'éclairage du bâtiment a été permanent avec une intensité lumineuse moyenne de 10 lux.

La température ambiante de départ de 32°C a été progressivement réduite jusqu'à atteindre au bout de 3 semaines une température de 21°C. L'humidité ambiante a été fixée aux alentours de 60 %.

Dans ces conditions d'élevage, les jeunes poulets ont reçu à volonté de l'eau et un aliment commercial non granulé qui renferme 3000 kcal d'EM / kg et 21% MAT. Durant cette période d'élevage, le matériel (nombre et type de mangeoires et d'abreuvoirs) a été adapté à l'âge des oiseaux. Ces derniers ont été soumis au programme prophylactique classiquement préconisé par les services de santé animale.

### **II.2.2.2. Les dindonneaux**

L'élevage des dindonneaux et les bilans digestifs ont été menés au niveau d'un bâtiment d'élevage avicole situé à Beni Slimane. Le bâtiment est construit en dur avec une toiture en éternite et faux plafond en contre-plaqué. Il est divisé en 10 parquets de 5 m<sup>2</sup> desurface chacun.

Les opérations de nettoyage, de désinfection, de chaulage et de vide sanitaire ont été effectuées classiquement avant la réception des oiseaux dans le poulailler.

Le renouvellement de l'air a été assuré par des ouvertures murales (0,84 m<sup>2</sup> de section) et par des ventilateurs d'évacuation de l'air par dépression. La température dans l'aire de vie au niveau des parquets a été assurée par des radiants suspendus au plafond et dont la hauteur est réglée en fonction de la température sous radiant. Celle-ci a été contrôlée par des thermomètres.

Durant les 2 premiers jours d'élevage, l'éclairage du bâtiment a été permanent avec une intensité lumineuse moyenne de 20 lux. A partir du 3<sup>ème</sup> jour, le programme lumineux a consisté en des cycles de 3 heures d'éclairage et de 1 heure d'obscurité.

Trois cent soixante dindonneaux de souche BUT 9 non sexés et d'un jour d'âge ont été réceptionnés à raison de 60 animaux tous les 10 jours pendant 2 mois.

Dès leur arrivée, les sujets de poids extrêmes et ceux présentant des anomalies anatomiques ont été écartés. Ceux qui ont été sélectionnés, ont été élevés classiquement au sol sur litière paillée ; la disposition de radiants à gaz à l'intérieur du parquet a permis de maintenir la température à 35°C durant la première semaine, puis elle a été amenée progressivement à 29°C vers la 5<sup>ème</sup> semaine. La température ambiante du local a été en moyenne de 24°C durant les 3 premières semaines d'élevage et de 21°C de la 4<sup>ème</sup> à la 15<sup>ème</sup> semaine. L'humidité relative a été maintenue aux alentours de 68%.

A partir de la 2<sup>ème</sup> semaine d'élevage, une ventilation de type statique a été assurée.

L'éclairage a été continu durant les premières 48 heures (7,5 watts /m<sup>2</sup>). L'intensité et la durée d'éclairage ont été par la suite progressivement réduites.

Jusqu'à 2 semaines d'âge, la densité animale observée a été de 40 sujets / m<sup>2</sup> puis de 20 sujets / m<sup>2</sup> entre la 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> semaine d'âge.

Durant les 4 premières semaines d'élevage, les dindonneaux ont reçu un aliment de démarrage de type commercial non granulé (2900 kcal / kg et 28% MAT). Durant cette période le matériel d'élevage (nombre et type de mangeoires et d'abreuvoirs) a été adapté à l'âge des oiseaux.

Le programme prophylactique conforme aux consignes données par la direction de la santé animale pour l'élevage des dindons a été suivi.

### **II.2.2.3. Les poules pondeuses**

Les bilans digestifs ont été réalisés dans le même bâtiment avicole que celui où a été conduit l'élevage des dindons. Les opérations de nettoyage, de désinfection, de chaulage et de vide sanitaire ont été effectuées classiquement avant la réception des poules dans le poulailler.

Les poules de souche ISABROWN au nombre de 180 sont réceptionnées à l'âge de 19 semaines à raison de 30 poules tous les 10 jours pendant 2 mois.

Elles ont été installées en batterie de type californienne à raison d'une poule par cage et ont reçu *ad libitum* un aliment non granulé renfermant 14% de protéines et 2600 kcal d'EM / kg. L'eau a été disponible à volonté grâce à un système d'abreuvement automatique.

Durant les mesures du bilan digestif, l'humidité relative des cellules conditionnées a été maintenue à 60% et la durée d'éclairage de 12 heures à la 19<sup>ème</sup> semaine a été progressivement augmentée à 16 heures à la 25<sup>ème</sup> semaine.

La température ambiante du local a été maintenue aux alentours de 21°C.

### **II.2.3. Méthodes de mesure**

#### **II.2.3.1. Analyses chimiques**

La détermination de la teneur en matière sèche, en matière minérale, en matière azotée totale, en cellulose brute, en matière grasse, en amidon, en ADF et NDF et en hémicellulose

des sons de blé a été réalisée selon les méthodes précédemment décrites dans la première étude expérimentale.

La mesure de la concentration en acide phytique des échantillons de son de blé a été réalisée par HPLC selon la méthode de Tangendjaja *et al.* (1980). L'extraction est réalisée sur 1 gramme de son de blé dans 25 ml d'acide trichloroacétique à 3 % durant 30 minutes à température ambiante. Une centrifugation de 20 minutes à 40 000 g permet de récupérer le surnageant qui est filtré sur millipors (0, 22  $\mu$ ). 25 ml sont injectés sur une colonne HPLC Bondapak C18 (30cm \* 4mm) avec comme solvant d'élution de l'acétate de sodium (0,005M) à un débit de 2 ml / minute. La détection est réalisée à l'aide d'un réfractomètre différentiel.

Le temps de rétention du pic de l'acide phytique est de 2 minutes.

La teneur en énergie brute des sons de blé dur et celle des fientes ont été mesurées par leur combustion totale en présence d'oxygène dans un calorimètre adiabatique de type Calorimeter IKA C400. La mesure de l'élévation de température produite lors de l'oxydation a permis de calculer la quantité d'énergie contenue par gramme d'échantillon.

Les mesures analytiques mentionnées ci-dessus ont été réalisées en triple sur des échantillons de son de blé et /ou de fientes finement broyés (0,5 mm de diamètre).

### II.2.3.2. Mesure de l'énergie métabolisable réelle des sons de blé

Pour les trois types d'oiseaux, l'énergie métabolisable réelle (EMr) des échantillons de sons de blé a été déterminée par la méthode de collecte totale des excréta après distribution du sous-produit de meunerie par gavage. Cette méthode d'alimentation a été adoptée suite au faible niveau d'ingestion des sons de blé par les oiseaux, lorsqu'ils sont incorporés à des taux élevés dans la ration (50 ou 75 %) et lorsque ils constituent le seul composant de la ration.

Le gavoir consiste en une tige creuse en plastique souple adaptée à l'embout d'un entonnoir. Une autre tige en plastique dur et munie d'une butée permet de faire coulisser l'aliment déposé dans le gavoir.

Les différentes parties du gavoir ont été conçues en fonction des mensurations (longueur et diamètre) de l'oesophage de l'oiseau. Plusieurs essais préliminaires ont été réalisés afin d'opter pour le modèle le plus adéquat à chacun des trois types de volailles.

La valeur EM de chaque échantillon de son de blé a été mesurée sur 30 poulets de chair répartis en 2 séries de 15 poulets chacune, sur une série de 10 dindonneaux en croissance et une série de 10 poules pondeuses.

Pour chaque type d'oiseau, le protocole expérimental de mesure de l'EM présenté par le schéma 1 a été suivi.

Les animaux sélectionnés sur la base d'un poids vif homogène ont été placés dans des cages individuelles en grillage métallique de 35 x 26 x 38 cm, disposées sur deux étages. Elles sont munies d'un abreuvoir et d'un plateau coulissant permettant de collecter les fientes.



**Schéma 1.** Protocole expérimental de mesure de l'énergie métabolisable réelle.

Les 3 premiers jours (A1, A2 et A3) constituent une période d'adaptation des oiseaux à la cage. Durant cette période, ils reçoivent un aliment de type commercial correspondant à leur stade de production et dont 50 % sont constitués par du son de blé.

A l'issue de la phase d'adaptation, 24 heures de jeun (J1) devant assurer la vacuité du tube digestif sont observées.

Le bilan digestif proprement dit consiste en 2 jours de gavage (G1 et G2). Le gavage est réalisé selon la méthode de gavage humide (Lessire, 1990).

Lepoulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse ont été respectivement gavés avec 25, 40 et 50 grammes de son de blé durant chaque jour de la période de gavage. Les quantités ont été limitées à ce niveau, afin d'éviter les regurgitations chez les oiseaux.

Au lendemain d'un jour de jeun (J2) pratiqué après la période de gavage, l'ensemble des résidus alimentaires de l'ingéré précédant sont collectés. Les oiseaux sont soumis à un deuxième jour de jeun (J3) qui permettra de collecter 24 heures après, les excreta d'origine endogène (Ee).

Les fientes d'origine alimentaire (Ea) de chaque oiseau ont été soigneusement collectées à l'issue de la période de gavage et du premier jour de jeun qui le précède. Elles ont été débarrassées des duvets et des desquamations puis cumulées dans des barquettes tarées. Les fientes d'origine endogène de chaque oiseau ont été également collectées, nettoyées et mises en barquettes.

Les opérations de gavage des oiseaux et de collecte des fientes ont débuté à 9 heures et ont été réalisées à chaque fois dans le même ordre de cages.

Après dessiccation pendant 48 heures dans une étuve portée à 50°C, les fientes ont été laissées 24 heures à l'air libre afin d'équilibrer leur humidité avec celle de l'air ambiant. Elles ont été par la suite pesées et broyées (0,5 mm de diamètre) et conservées en vue d'analyses chimiques.

Echantillon	MS	MM	MAT	MG	CB	Asaites	ADF	NDF	HC	Ac P	EB
1	88,57 ± 0,13	4,11 ± 0,02	15,11 ± 0,09	3,71 ± 0,13	10,36 ± 0,08	19,40 ± 0,25	13,48 ± 0,23	43,20 ± 0,30	28,82 ± 0,99	1011,8 ± 16,28	4588 ± 32
2	87,58 ± 0,06	4,19 ± 0,08	16,34 ± 0,09	3,90 ± 0,04	10,18 ± 0,07	19,15 ± 0,11	12,37 ± 0,08	38,83 ± 1,52	26,49 ± 1,44	952,59 ± 12,74	4620 ± 67
3	88,43 ± 0,19	4,12 ± 0,04	16,70 ± 1,11	3,58 ± 0,11	9,47 ± 0,03	19,51 ± 0,03	11,54 ± 0,03	37,83 ± 1,33	26,29 ± 1,30	894,22 ± 8,37	4602 ± 59
4	87,75 ± 0,06	3,9 ± 0,08	14,49 ± 0,19	4,86 ± 0,20	12,23 ± 0,15	19,93 ± 0,67	14,83 ± 0,18	39,46 ± 0,66	24,63 ± 0,30	1087,8 ± 14,92	4671 ± 37
5	89,04 ± 0,66	3,48 ± 0,05	15,94 ± 0,14	4,13 ± 0,12	10,31 ± 0,31	18,17 ± 0,87	12,64 ± 0,27	37,12 ± 1,92	24,48 ± 1,79	283,47 ± 11,93	4655 ± 52
6	88,44 ± 0,05	4,36 ± 0,26	16,47 ± 0,37	4,21 ± 0,28	10,25 ± 0,13	19,16 ± 0,45	12,35 ± 0,45	35,21 ± 1,50	22,86 ± 1,37	986,34 ± 22,39	4630 ± 71
7	87,65 ± 0,33	4,22 ± 0,30	15,73 ± 0,48	3,37 ± 0,12	10,30 ± 0,22	21,21 ± 0,16	15,54 ± 1,03	42,04 ± 0,82	28,50 ± 1,15	1024,4 ± 21,75	4577 ± 90
8	87,66 ± 0,45	4,82 ± 0,44	14,77 ± 0,53	3,27 ± 0,11	9,70 ± 0,45	20,37 ± 0,18	12,21 ± 0,56	39,77 ± 1,71	27,56 ± 1,15	976,13 ± 25,58	4520 ± 62
9	88,00 ± 0,43	5,23 ± 0,05	16,08 ± 0,12	3,50 ± 0,22	10,39 ± 0,21	22,15 ± 0,45	13,08 ± 0,26	40,94 ± 1,63	27,86 ± 1,54	1027,6 ± 38,40	4541 ± 42
10	87,60 ± 0,27	5,33 ± 0,24	15,42 ± 0,21	3,35 ± 0,09	10,11 ± 0,18	22,26 ± 0,88	12,72 ± 0,23	41,31 ± 0,70	28,59 ± 0,47	975,37 ± 15,88	4514 ± 72
11	88,05 ± 0,09	5,14 ± 0,14	14,61 ± 0,08	4,15 ± 0,12	10,86 ± 0,26	19,79 ± 0,68	13,66 ± 0,32	44,16 ± 0,97	30,50 ± 0,65	1030,6 ± 21,93	4562 ± 36
12	88,00 ± 0,11	5,22 ± 0,11	16,69 ± 0,61	5,16 ± 0,15	10,24 ± 0,11	22,42 ± 0,40	12,90 ± 0,14	41,84 ± 0,42	28,94 ± 0,28	966,16 ± 21,15	4652 ± 82
13	87,65 ± 0,26	5,29 ± 0,13	15,60 ± 0,35	4,33 ± 0,07	9,75 ± 0,29	22,35 ± 0,34	12,28 ± 0,36	39,56 ± 1,24	27,27 ± 0,97	912,61 ± 23,19	4577 ± 72
14	87,48 ± 0,47	5,23 ± 0,13	17,13 ± 0,16	5,10 ± 0,79	11,12 ± 0,16	21,07 ± 0,77	13,98 ± 0,20	45,10 ± 0,60	31,12 ± 0,40	1182,7 ± 45,96	4511 ± 57
15	87,27 ± 0,22	6,06 ± 0,05	17,20 ± 0,17	4,42 ± 0,23	10,36 ± 0,08	22,01 ± 0,60	13,04 ± 0,10	42,25 ± 0,30	29,09 ± 0,15	1041,9 ± 53,14	4580 ± 37
16	87,86 ± 0,23	5,69 ± 0,47	17,34 ± 0,51	5,47 ± 0,52	10,67 ± 0,09	20,48 ± 0,37	13,42 ± 0,13	43,44 ± 0,34	30,02 ± 0,21	1054,7 ± 60,88	4662 ± 104
17	87,22 ± 0,27	4,15 ± 0,12	15,19 ± 0,18	3,52 ± 0,23	9,82 ± 0,16	20,08 ± 0,48	12,37 ± 0,20	40,23 ± 0,60	27,86 ± 0,40	916,85 ± 7,86	4578 ± 69
18	87,58 ± 0,45	5,13 ± 0,18	17,16 ± 0,35	4,45 ± 0,35	11,10 ± 0,77	21,84 ± 0,63	13,96 ± 0,95	45,05 ± 2,90	31,09 ± 1,95	1063,9 ± 8,86	4630 ± 78
Valeur moyenne	87,87 ± 0,48	4,96 ± 0,70	15,99 ± 0,93	4,14 ± 0,68	10,40 ± 0,64	20,64 ± 1,32	13,03 ± 0,81	40,96 ± 2,74	27,33 ± 2,64	1000,03 ± 69,52	4579 ± 103
Valeur maximale	89,04	6,06	17,24	5,47	12,23	22,42	14,83	45,10	31,09	1092,79	4671
Valeur minimale	87,22	3,48	14,69	3,27	9,47	18,17	11,54	35,31	24,32	894,22	4511

**Tableau 40. Composition chimique\*(moyenne et écart-type) des 18 échantillons de sons de blé**

\* MM, MAT, MG, CB, ADF, NDF, HC sont exprimés en % MS.

EB est exprimée en kcal / kg MS.

Ac P est exprimé en mg / 100g MS.

Les résultats (EMr) sont exprimés en kcal / kg MS. La formule suivante a été utilisée :

$$EMr = \frac{EB \text{ ingérée} - (EB \text{ excreta d'origine alimentaire} - EB \text{ excreta d'origine endogène})}{Ingéré}$$

où:

*EMr* : Energie métabolisa ble réelle

*EB* : Energie brute

### II.2.3.3. Analyse statistique des résultats

Les résultats obtenus ont été soumis à l'analyse de variance factorielle, les valeurs moyennes ont été comparées par le test de Newman et Keuls.

La relation entre les valeurs d'énergie métabolisable des sons de blé mesurées *in vivo* chez les 3 volailles et leurs composantes chimiques a été établie à l'aide de la régression multiple pas à pas (backward selection) basée sur le modèle théorique :

$$Y_i = B_0 + B_1 x_{1i} + B_2 x_{2i} + B_3 x_{3i} + B_4 x_{4i} + u_i \quad i = (1, n)$$

$Y_i$  :  $EMr_i$  : valeur de l'énergie métabolisable réelle mesurée "in vivo"

$x_1, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}$  : variables indépendantes représentées par les données analytiques

$u_i$  : terme aléatoire

On suppose que les variables aléatoires  $u_i$  sont de distribution normale, indépendantes, de moyenne nulle et de même variance. Dans ces conditions, la méthode des moindres carrés permet d'obtenir la droite ajustée :

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_4$$

L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé avec le logiciel Statistica version 6. Le seuil de probabilité de 95p 100 et de 99p 100 a été considéré comme risque d'erreur maximum toléré respectivement dans l'analyse du degré de signification des équations de prédiction et celle des effets des différents facteurs de variation.

## II.3. Résultats

### II.3.1. Composition chimique des sons de blé analysés

La composition chimique de chaque échantillon de son de blé figure dans le tableau 40. Les caractéristiques chimiques de l'ensemble de l'échantillonnage des sons de blé analysés sont rassemblées dans le tableau 41.

Les corrélations entre les paramètres analytiques des sons de blé sont présentées dans le tableau 42. Il apparaît que les corrélations entre les différentes variables explicatives sont faibles, les seules corrélations élevées sont celles qui relient la matière sèche à la matière minérale, l'amidon à la matière minérale, la cellulose brute à l'acide phytique, la fraction ADF à l'acide phytique, l'hémicellulose à la matière minérale et les composés pariétaux entre eux.

Composant chimique *	Moyenne et écart-type % MS	Valeur minimale	Valeur maximale	Signification statistique
				Effet de l'échantillon
MS	87,87 ± 0,48	87,22	89,04	***
MM	4,76 ± 0,70	3,48	6,06	***
MAT	15,99 ± 0,93	14,49	17,24	***
MG	4,14 ± 0,68	3,27	5,47	***
CB	10,40 ± 0,64	9,47	12,23	***
Amidon	20,64 ± 1,32	18,17	22,42	***
ADF	13,02 ± 0,81	11,54	14,83	***
NDF	40,96 ± 2,74	35,21	45,10	***
HC	27,33 ± 2,64	21,12	31,09	***
Ac P	1000,03 ± 60,52	894,22	1082,79	***
EB	4570 ± 103	4311	4671	***

**Tableau 41. Caractéristiques chimiques moyennes de l'ensemble des sons de blé analysés**

\* MM, MAT, MG, CB, ADF, NDF, HC sont exprimées en % MS.

EB est exprimée en kcal / kg MS.

Ac P est exprimé en mg / 100g MS.

\*\*\* : P < 0,001.

**Tableau 42. Matrice de corrélations entre les caractéristiques analytiques des sons de blé**

	EB	MS	MM	MAT	MG	CB	Ami	ADF	NDF	HC	AcP
EB	1,00	0,24	-0,31	0,06	0,25	0,10	-0,35	0,00	-0,32	-0,39	-0,05
MS	0,24	1,00	-0,61	-0,21	-0,26	-0,14	-0,51	-0,22	-0,48	-0,52	-0,24
MM	-0,31	-0,61	1,00	0,41	0,36	0,02	0,76	0,13	0,57	0,65	0,27
MAT	0,06	-0,21	0,41	1,00	0,48	-0,06	0,24	-0,09	0,16	0,25	0,13
MG	0,25	-0,26	0,36	0,48	1,00	0,56	0,12	0,48	0,31	0,22	0,47
CB	0,10	-0,14	0,02	-0,06	0,56	1,00	-0,01	0,93	0,39	0,14	0,85
Ami	-0,35	-0,51	0,76	0,24	0,12	-0,01	1,00	0,15	0,48	0,54	0,12
ADF	0,00	-0,22	0,13	-0,09	0,48	0,93	0,15	1,00	0,62	0,38	0,90
NDF	-0,32	-0,48	0,57	0,16	0,31	0,39	0,48	0,62	1,00	0,96	0,58
HC	-0,39	-0,52	0,65	0,25	0,22	0,14	0,54	0,38	0,96	1,00	0,37
AcP	-0,05	-0,24	0,27	0,13	0,47	0,85	0,12	0,90	0,58	0,37	1,00

Valeurs en gras : (P < 0,05).

Echantillon de son de blé	Oiseau	n	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Erreur-type	Ecart-type
1	PC	30	2178 <sup>a</sup>	2076	2258	10,03	54,96
	D	10	2201 <sup>a</sup>	2127	2280	15,23	48,16
	P	10	2283 <sup>b</sup>	2207	2397	17,61	55,68
2	PC	30	2226 <sup>a</sup>	2104	2359	11,76	64,44
	D	10	2253 <sup>a</sup>	2163	2359	18,56	58,70
	P	10	2357 <sup>b</sup>	2298	2454	16,20	51,23
3	PC	30	2410 <sup>a</sup>	2190	2643	22,81	124,92
	D	10	2433 <sup>a</sup>	2205	2596	43,19	136,6
	P	10	2584 <sup>b</sup>	2460	2689	16,39	51,83
4	PC	30	1895 <sup>a</sup>	1746	2054	15,59	85,39
	D	10	1956 <sup>a</sup>	1825	2098	26,92	85,13
	P	10	2053 <sup>b</sup>	1943	2202	26,11	82,57
5	PC	30	2203 <sup>a</sup>	2017	2405	18,75	102,70
	D	10	2232 <sup>a</sup>	2128	2322	22,09	69,9
	P	10	2301 <sup>a</sup>	2154	2447	28,29	89,45
6	PC	30	2201 <sup>a</sup>	1987	2364	19,83	108,62
	D	10	2290 <sup>a</sup>	2087	2354	31,31	99
	P	10	2387 <sup>b</sup>	2239	2580	36,20	114,46
7	PC	30	2165 <sup>a</sup>	2022	2268	11,65	63,79
	D	10	2196 <sup>a</sup>	2031	2280	22,60	71,48
	P	10	2214 <sup>a</sup>	2031	2310	23,89	75,56
8	PC	30	2206 <sup>a</sup>	2037	2482	18,38	101,77
	D	10	2246 <sup>a</sup>	2110	2398	26,78	84,70
	P	10	2310 <sup>b</sup>	2128	2488	33,66	106,44
9	PC	30	2165 <sup>a</sup>	2025	2339	14,83	81,23
	D	10	2227 <sup>a</sup>	2042	2350	29,88	94,49
	P	10	2372 <sup>b</sup>	2253	2599	31,14	98,49
10	PC	30	2211 <sup>a</sup>	2058	2375	15,04	82,38
	D	10	2215 <sup>a</sup>	2121	2362	24,64	77,93
	P	10	2328 <sup>b</sup>	2137	2507	37,11	117,33
11	PC	30	2107 <sup>a</sup>	1937	2281	13,88	76,00
	D	10	2119 <sup>a</sup>	2013	2281	24,40	77,15
	P	10	2237 <sup>b</sup>	2098	2427	37,79	119,50
12	PC	30	2216 <sup>a</sup>	2053	2343	13,96	76,46
	D	10	2221 <sup>a</sup>	2116	2329	20,62	65,20
	P	10	2320 <sup>b</sup>	2152	2584	43,83	138,60
13	PC	30	2257 <sup>a</sup>	2068	2374	14,20	77,77
	D	10	2318 <sup>a</sup>	2200	2456	26,61	84,15
	P	10	2414 <sup>b</sup>	2286	2525	26,47	83,71
14	PC	30	2000 <sup>a</sup>	1827	2173	19,48	106,69
	D	10	2080 <sup>a</sup>	1929	2271	38,00	120,30
	P	10	2183 <sup>b</sup>	2003	2432	42,67	134,90
15	PC	30	2095 <sup>a</sup>	1882	2253	15,03	82,34
	D	10	2162 <sup>a</sup>	2064	2268	21,15	66,88
	P	10	2306 <sup>b</sup>	2122	2528	43,49	137,50
16	PC	30	2034 <sup>a</sup>	1798	2269	24,52	134,30
	D	10	2118 <sup>a</sup>	2030	2241	20,21	63,91
	P	10	2226 <sup>b</sup>	2075	2519	39,31	124,29
17	PC	30	22,56 <sup>a</sup>	20,89	2464	14,73	80,67
	D	10	2313 <sup>a</sup>	2218	2464	27,02	85,43
	P	10	2401 <sup>b</sup>	2234	2596	41,62	131,63
18	PC	30	2022 <sup>a</sup>	1852	2230	19,48	106,71
	D	10	2113 <sup>a</sup>	2025	2230	23,58	74,56
	P	10	2264 <sup>b</sup>	2028	2545	56,13	177,49

**Tableau 43. Valeurs EMr des sons de blé (18 échantillons) mesurées chez le poulet de chair (PC), le dindonneau (D) et la poule (P).**

a,b,c : pour un même échantillon de son, les valeurs affectées de lettres différentes, sont statistiquement différentes (P < 0,05).

### II.3.2. Valeur énergétique (EMr) des sons de blé

La valeur EMr de chacun des 18 sons de blé est, pour les 3 types de volailles, signalée dans le tableau 43.

Les valeurs EMr du son de blé mesurées chez le dindonneau et le poulet de chair sont globalement comparables tandis qu'il apparaît que la poule pondeuse exploite mieux que les 2 autres volailles le potentiel énergétique de ce sous-produit.

Les valeurs moyennes EMr PC, EMr D et EMr P pour l'ensemble des échantillons de son de blé sont rapportées dans le tableau 44.



Oiseau	n	EMr moyenne	EMr minimale	EMr maximale	Erreur -type	Signification statistique		
						Effet série (1)	Effet échantillon (2)	(1)+(2)
PC	540	2158 <sup>a</sup>	1746	2643	6,27	NS	***	***
D	180	2203 <sup>b</sup>	1825	2596	9,67	-	***	-
PP	180	2308 <sup>c</sup>	1943	2689	11,28	-	***	-

**Tableau 44.** Valeur moyennes des EMr (kcal / kg MS) du son de blé mesurées chez le poulet de chair, dindonneau et poule pondeuse.

a,b,c : les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ).

NS : non significatif, \*\*\* :  $P < 0,001$  ; - : effet non recherché.

La valeur EMr PC moyenne du son de blé calculée à partir des 540 mesures est de l'ordre de 2158 kcal / kg MS, les valeurs minimales et maximales sont respectivement de 1746 et 2643 kcal / kg MS.

Nous n'avons pas observé un effet « série de mesures » sur les valeurs EMr PC du son de blé alors que celles-ci sont soumises à l'effet très significatif ( $P < 0,001$ ) de l'échantillon et de l'interaction série \*échantillon (tableau 44).

La valeur EMr du son calculée chez le dindonneau est statistiquement supérieure ( $P < 0,05$ ) à celle mesurée chez le poulet de chair (2203 *versus* 2158 kcal / kg MS). Toutes 2 sont toutefois faibles ( $P < 0,05$ ) comparées à la valeur EM du son de blé calculée chez la poule pondeuse qui est de l'ordre de 2308 kcal / kg MS, avec une plage de valeurs allant de 1943 à 2689 kcal / kg MS (tableau 44).

De façon similaire à l'étude statistique réalisée sur le poulet de chair et le dindonneau (tableau 44), il apparaît que la valeur EMr du son de blé mesurée chez la poule pondeuse est soumise de façon très significative ( $P < 0,001$ ) à l'effet « échantillon ».

Dans le tableau 45 nous rapportons les corrélations entre les valeurs EMr PC, EMr D et EMr P des sons de blé et leurs composantes chimiques.

**Tableau 45.** Corrélations entre les valeurs EMr (kcal / kg MS) des sons de blé calculées pour les trois types de volaille et leurs caractéristiques chimiques (% MS)

Corrélation	EB	MS	MM	MAT	MG	CB	Ami	ADF	NDF	HC	Ac P
EMr PC	0,01	0,37	-0,26	-0,04	-0,60*	-0,93*	-0,13	-0,92*	-0,52*	-0,30*	-0,93*
EMr D	0,01	0,28	-0,21	-0,07	-0,56*	-0,94*	-0,09	-0,94*	-0,52*	-0,29	-0,92*
EMr P	0,01	0,26	-0,07	0,21	-0,46	-0,86*	-0,03	-0,91*	-0,48*	-0,25	-0,85*

\* :  $< 0,05$ .

Pour les 3 types de volaille, les valeurs EMr des sons sont fortement et significativement ( $P < 0,05$ ) corrélées avec la concentration de ce sous-produit en cellulose brute, en ADF et en acide phytique. Les corrélations liant cet ensemble d'indicateurs aux valeurs EMr PC et EMr D sont d'une part, de même ordre de grandeur et d'autre part, relativement élevées par rapport à celles observées dans le cas des EMr P.

### II.3.3. Prédiction de la valeur EMr des sons de blé

Dans le tableau 46, nous avons réuni les équations de prédiction de l'EM à 1 et 2 variables, calculées à partir des valeurs EMr calculées « in vivo » pour chaque type de volaille. La sélection des équations est effectuée sur la base du coefficient de corrélation le plus élevé et de l'erreur type de l'estimation la plus faible.

Oiseau	N°	Variable explicative		a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R	ETR (kcal)	P
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>						
Poulet de chair	1	Ac P	-	4061	- 1,90	-	0,93	43,50	***
	2	CB	-	3930	- 170,39	-	0,93	45,40	***
	3	ADF	-	3907	- 134,33	-	0,92	46,86	***
	4	CB	Ac P	414	- 88,87	-1,06	0,97	32,12	***
	5	MM	CB	4108	- 39,66	- 169,32	0,96	36,32	***
	6	MG	Ac P	4013	- 35,75	- 1,71	0,95	38,75	***
Dindonneau	7	CB	-	3806	- 154,16	-	0,94	36,73	***
	8	ADF	-	3795	- 122,00	-	0,94	36,53	***
	9	Ac P	-	3881	- 1,68	-	0,92	41,56	***
	10	CB	Ac P	3968	- 92,11	- 0,81	0,97	28,00	***
	11	MM	CB	3929	- 27,48	- 153,41	0,96	32,13	***
	12	MM	ADF	3839	-13,27	- 120,81	0,95	36,23	***
Poule pondeuse	13	ADF	-	3949	- 126,09	-	0,91	48,19	***
	14	CB	-	3867	- 149,92	-	0,86	59,60	***
	15	MS	ADF	2739	13,49	-124,15	0,91	49,20	***
	16	MM	ADF	3923	- 8,06	- 126,90	0,91	49,41	***
	17	MAT	Ac P	3421	38,89	- 1,74	0,91	49,61	***

**Tableau 46.** Equations de prédiction de l'EMr PC, EMr D et EMr P (kcal /kg MS) avec 1 et 2 variables explicatives \*

$$(EMr = a + b_1x_1 ; EMr = a + b_1x_1 + b_2x_2)$$

\* CB, ADF, MM, MG et MAT sont exprimées en % MS, Ac P est exprimé en mg / 100g MS et EMr PC, EMr P et EMr D sont exprimées en kcal / kg MS ; ETR : erreur type de l'estimation ; \*\*\* P < 0,001.

## II.4. Discussion

### II.4.1. Caractéristiques chimiques des échantillons de son de blé

Constituant un ensemble de l'échantillon de sons de blé étudiés dans la première expérience, ceux analysés dans cette deuxième partie du travail présentent comme signalé dans le tableau 40, globalement les mêmes caractéristiques chimiques: une richesse relative en amidon et une moindre teneur en composés pariétaux comparativement aux sons de blé décrits dans les tables étrangères de composition chimique des matières premières utilisées en alimentation animale.

Le potentiel en énergie brute des sons étudiés (tableau 41) est en moyenne de 4570 kcal / kg MS; il est comparable à celui rapporté par la table de composition INRA-AFZ (2004) et par Piat (1990) ainsi que celui mesuré par Kiiskinen (1992). Il est en revanche relativement

élevé à celui présenté par les tables de l'AEC (1978): 4400 kcal / kg MS et par celle éditée par Souci (1981): 3741 kcal / kg MS.

La différence de composition chimique entre nos échantillons de son de blé et ceux rapportés par la bibliographie est à l'origine de l'écart observé entre leurs potentiels EB respectifs. Or, comme précédemment discutée, la composition chimique des sous-produits de meunerie est soumise à plusieurs facteurs de variation dont les caractéristiques du grain de blé (Triboi, 1990 ; Colonna et Buleon, 1992), les conditions de culture du blé (Chaurand *et al.*, 1999) et les conditions de transformation du grain de blé en son (Godon, 1998).

La teneur moyenne d'acide phytique des sons de blé locaux est de 1000 mg / 100 g MS. Exprimée par rapport à la matière fraîche (879 mg / 100g), elle est de même ordre que celle rapportée par Harland et Oberlas (1977) et par Bartnik et Jakubczyk (1989). En revanche, elle est relativement faible comparée aux teneurs de 3011 et 3330 mg / 100 g rapportées respectivement par Hartland (1993) et Tabekhia et Donnelly (1982) et s'éloigne considérablement de celle mesurée par Camire et Clydesdale (1982) qui atteint 6888 mg / 100g.

La méthode de mesure de l'acide phytique que nous avons utilisée explique en partie les écarts de valeurs observés par rapport aux données bibliographiques. En effet, nous avons observé une interférence du pic de solvant avec celui de l'acide phytique qui a pu biaiser les mesures.

Les résultats de l'analyse de variance rapportés par le tableau 41, indiquent que la concentration des son locaux en acide phytique est très variable ( $P < 0,01$ ) d'un échantillon à un autre.

Cette variabilité classiquement rencontrée est, selon Tabekhia et Donnelly (1982), liée à plusieurs facteurs dont le degré de maturité du grain de blé, la variété, les conditions de culture du blé (qualité du sol, disponibilité de l'eau, l'année et le lieu de culture) et surtout le procédé de transformation technologique utilisé.

Les corrélations élevées et significatives entre les teneurs en cellulose brute et en acide phytique ( $R = 0,85$ ) d'une part, et entre ADF et l'acide phytique ( $R = 0,90$ ) d'autre part, (tableau 42) sont intéressantes à considérer car les analyses de la cellulose brute et d'ADF étant routinières comparées à la mesure de l'acide phytique, elles peuvent alors constituer indirectement des critères d'appréciation de la concentration en acide phytique des sons de blé locaux.

Dans nos conditions expérimentales, les modèles de calcul de la concentration de l'acide phytique (mg / 100g MS) que nous proposons à partir de la teneur en cellulose brute ou celle de la fraction ADF des échantillons de sons de blé sont les suivants :

$$Ac\ Phytique = 200,09 + 78,86\ CB(\% MS); R = 0,85; R^2 = 0,73.$$

*Erreur type de l'estimation 29,25*

$$Ac\ Phytique = 163,17 + 64,25\ ADF(\% MS); R = 0,90; R^2 = 0,81.$$

*Erreur type de l'estimation: 24,45*

#### II.4.2. Valeurs EMr des échantillons de son de blé

Les résultats consignés dans le tableau 43 indiquent qu'à l'exception des sons de blé N° 5 et 7 dont le potentiel énergétique est exploité de façon similaire ( $P > 0,05$ ) par les 3 volailles et des échantillons 16 et 17 dont la valeur EMr est comparable ( $P > 0,05$ ) pour le dindonneau et la poule pondeuse, l'ensemble des autres échantillons est mieux valorisé ( $P < 0,05$ ) sur le plan énergétique par la poule pondeuse que par le poulet de chair et le dindonneau.

En effet, comme indiquée dans le tableau 44, la valeur moyenne EMr P (2308 kcal / kg MS) du son de blé est supérieure respectivement de 7 et de 5% aux valeurs moyennes EMr PC (2158 kcal / kg MS) et EMr D (2203 kcal / kg MS).

Par ailleurs, la valeur EMr du son de blé mesurée chez les dindonneaux est significativement ( $P < 0,05$ ) élevée (+ 2 %) par rapport à celle obtenue avec des poulets de chair de même âge.

Ces différences se révèlent significatives (tableau 44) contrairement aux conclusions de Sibbald (1976) dont les travaux ne montrent pas de différences significatives entre les valeurs EMr du son de blé mesurées chez le coq, la poule pondeuse et le poulet de chair.

Le tableau 44 permet de noter également que la valeur EMr du son de blé est quelque soit le type d'oiseau considéré, très significativement différente ( $P < 0,001$ ) d'un échantillon à un autre. Ce résultat était prévisible, compte tenu que la variable EM est corrélée à la composition chimique des matières premières et qu'une forte variabilité du profil chimique des sons de blé étudiés a été mise en évidence précédemment (tableau 41).

Ces différences d'EM telles que observées par Shivazad (2002) notamment pour les sons de blé sont expliquées en partie par le lieu de culture différent des blés et des conditions culturelles et de traitement du grain. De plus, leurs propriétés physiques telles que la taille des particules, leur densité et leur capacité de rétention d'eau sont autant de facteurs qui agissent sur les différents phénomènes de la digestion et déterminent ainsi le degré d'utilisation de leurs principes nutritifs.

La valeur EMr PC des sons de blé locaux se situe dans la gamme de valeurs mesurées par Borges *et al.* (2003) avec des poulets de chair de souche Hubbard après gavage et qui varient de 2084 à 2459 kcal / kg MS.

Rapportée au produit brut (1894 kcal / kg), la valeur EMr PC se rapproche de celles établies par Han *et al.* (1976) et qui sont comprises entre 1740 et 1870 kcal / kg mais s'éloigne respectivement de + 480 et + 280 kcal de celles rapportées par Petersen (1976) et Kuzmicky *et al.* (1978).

Quant à la valeur EMr P du son de blé local (2026 kcal / kg), exprimée par rapport au produit brut, elle est de même ordre de grandeur que celle mesurée par Sibbald (1976): 1956 kcal / kg.

Elle s'éloigne en revanche de +100 kcal de celles de la gamme de valeurs EM (1732 à 2199 kcal / kg MS) de 4 échantillons de son de blé de provenances différentes et mesurées sur coqs par Carré *et al.* (1988).

Faute de données bibliographiques, nous n'avons pu comparer les valeurs EMr du son de blé mesurées avec le dindonneau avec celles rapportées par d'autres auteurs.

La supériorité de la valeur moyenne EMr D des sons de blé locaux par rapport à celle mesurée chez le poulet de chair, confirme les conclusions de plusieurs travaux (Slinger *et al.*, 1964; Fisher et Shannon, 1973 ; Leeson *et al.*, 1974) qui notent une meilleure utilisation ( $P < 0,05$ ) de l'énergie des matières premières fibreuses chez le dindonneau comparé au

---

poulet de chair en croissance. Plavnik *et al.*(2000) relie ces observations à la différence de population microbienne, particulièrement dans le colon de ces 2 types d'oiseau.

Quant à l'utilisation de l'énergie du son de blé par la poule et le poussin, elle semble assez controversée. En effet, Hoshii (1970) considère que l'EMa n du son de blé mesurée sur la poule (2270 kcal / kg) est comparable à celle obtenue chez le jeune poulet de chair (2250 kcal / kg) alors que Petersen (1975) relève que la valeur EMa n du son de blé chez le poulet de chair est significativement réduite (-16,5 %) comparativement à celle mesurée chez la poule pondeuse.

Par la suite, les travaux de Petersen *et al.*(1976) précisent que la poule valorise mieux que le poulet l'énergie (EMa n) du son de blé du maïs et de l'orge. Boldadji *et al.*(1981) et Spratt et Leeson (1987) généralisent cette conclusion à l'ensemble des matières premières.

Nos résultats relatifs à la valeur EMr du son de blé vont dans ce sens, la valeur EMr P étant supérieure à celle mesurée avec le poulet de chair.

Par ailleurs, l'effet âge pourrait contribuer à cette différence puisqu'il est clairement établi que la valeur EM des matières premières augmente avec l'âge de l'oiseau (Sibbald, 1980), or les poules utilisées dans notre expérience sont âgées de 19 semaines alors que les poulets n'ont que 4 semaines d'âge.

La comparaison des valeurs EMr du son de blé mesurées dans notre étude avec celles relatées par la bibliographie est difficile compte tenu d'une part, que cette information n'est pas courante et que d'autre part, il y a un manque de précisions concernant les mesures rapportées (type et âge de l'oiseau, la méthode de mesure, le système énergétique retenu, le mode d'alimentation de l'oiseau).

De plus, lorsque les valeurs EM sont exprimées en termes d'énergie métabolisable réelle, il est rarement précisé le mode d'évaluation de l'énergie endogène. Or, les pertes endogènes ne sont pas systématiquement les mêmes selon qu'elles soient déterminées chez des oiseaux à jeun (Sibbald, 1986) ou des oiseaux nourris avec une solution de glucose (Mc Nab et Blair, 1988) ou évaluées par calcul à partir de la droite de régression exprimant l'énergie excrétée en fonction de l'ingéré alimentaire, les valeurs étant obtenues par extrapolation à l'ingéré nul (Kussaibati *et al.*, 1983b).

En définitive, les valeurs EMr PC et EMr P mesurées apparaissent globalement comparables ou plus élevées, par rapport à celles présentées par la bibliographie.

Cette observation est liée d'une part, au profil chimique des sons de blé locaux et d'autre part, à la méthodologie de mesure des valeurs EMr.

En effet, tel que présenté dans les conclusions de la première étude de ce travail, le profil chimique des sons de blé locaux se distingue par une teneur relativement faible en composés pariétaux couplée à une forte teneur en amidon.

Ce double avantage est en faveur d'une meilleure utilisation du potentiel énergétique du son de blé par les oiseaux puisque d'une part, l'amidon des céréales est le principal apport énergétique pour les oiseaux et que d'autre part, la part relativement faible des composés de la paroi améliore la digestion de la fraction amyliacée des sons et de ce fait, sa valeur énergétique (Carpenter et Clegg, 1956 ; Carré et Brillouet, 1989 ; Carré, 1990).

Sur le plan méthodologique, les quantités relativement faibles de son utilisées pour le gavage des oiseaux ont certainement biaisé les valeurs EMr obtenues, compte tenu de leur impact sur la fraction endogène excrétée.

De plus, le son a été réduit après broyage en fines particules afin de faciliter l'opération de gavage des oiseaux. Il en résulte de ce traitement une meilleure digestion par l'oiseau de leurs contenus intacellulaires (Saunders *et al.*, 1969) ce qui concourt à l'augmentation de leur valeur énergétique.

Par ailleurs, par la méthode du gavage humide les fines particules de son sont mélangées à de l'eau. Dans ces conditions expérimentales, elles sont considérées comme suivre quasiment la fraction liquide lors du transit digestif (Carré, 2000).

Celles-ci pénètrent dans les caeca entraînant les fines particules, alors que très peu de particules de taille moyenne y séjournent (Björnhag et Sperber, 1977). Il en résulte selon le dernier auteur, un temps de séjour moyen dans le tractus digestif plus long, favorable à une meilleure digestion des particules et une utilisation ultérieure plus importante de leur potentiel énergétique.

Les valeurs EMr mesurées doivent être également considérées avec prudence car Yaghoobar (2003) rapporte que par gavage, les valeurs EMr sont plus élevées que celles obtenues par la méthode classique d'alimentation.

De plus, la taille des particules de son de blé utilisé dans les essais a pu biaiser les valeurs EM.

Toutefois, la méthodologie de mesure de l'EMr des sons de blé suivie étant la même pour les 3 types de volailles, il apparaît clairement à travers les premiers résultats obtenus, que l'on ne peut retenir pour le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse, la même valeur EM pour cette issue de meunerie lorsqu'elle figure dans les formules alimentaires.

### **II.4.3. Proposition de modèles de prédiction de la valeur EM des sons de blé locaux**

Pour les 3 oiseaux, les corrélations les plus élevées et significatives ( $P < 0,05$ ) sont observées entre les constituants de la paroi (CB et ADF) et les valeurs EMr ainsi qu'entre l'acide phytique et les valeurs EMr du son de blé (tableau 45).

La forte relation entre la valeur EM et les composés pariétaux est classique et couramment observée depuis les travaux de Mitchell (1942).

En revanche, très peu de travaux se sont intéressés à l'effet de l'acide phytique sur l'utilisation énergétique des aliments. Seul, Chitra *et al.* (1995) signalent une corrélation négative entre ce composant et la digestibilité « in vitro » des protéines.

Il est intéressant de noter que les coefficients de corrélation calculés entre CB et EMr P, ADF et EMr P et Ac P et EMr P sont relativement faibles comparés à ceux observés chez les oiseaux en croissance (poulet de chair et dindonneaux). Cela traduirait que la poule pondeuse est moins sujette que les 2 autres volailles à l'effet inhibiteur des composés pariétaux et de l'acide phytique sur l'utilisation de l'énergie du son de blé. Cette différence est-elle imputable uniquement au jeune âge des poulets de chair et des dindonneaux expérimentaux du fait de l'immaturité de leur système digestif ou à un effet « type d'oiseau » ?

Les données bibliographiques consultées ne nous renseignent pas de façon tranchée sur cette question, mais il est bien établi que la valeur énergétique des aliments est différente selon l'âge de l'oiseau (Petersen *et al.*, 1976 ; Fisher et Mc Nab, 1987) quoique son incidence soit variable.

La recherche d'un modèle de prédiction de l'EM des sons locaux indique que l'ensemble des coefficients affectés aux variables des modèles de prédiction de l'EMr que nous avons retenus (tableau 46) est statistiquement différent de zéro ( $P < 0,01$ ).

Parmi les modèles de prédiction à une seule variable, les équations 7 (où % CB représente x1) et 13 (où % ADF représente x1) respectivement établies pour le calcul de l'EMr D et l'EMr P sont satisfaisantes du fait de leur coefficient  $R^2$  élevé et de leur faible écart-type résiduel.

Pour le calcul de l'EMr PC, il convient de retenir l'équation 2 (où % CB représente x1) au lieu de l'équation 1 (où % acide phytique représente x1), du fait que la mesure de la cellulose brute soit une analyse routinière et moins coûteuse comparée à celle de l'acide phytique ; les 2 modèles présentant par ailleurs un coefficient de détermination et un écart résiduel de même ordre de grandeur.

Ces premières données indiquent que la cellulose brute et la fraction ADF constituent de bons prédicteurs de l'EMr et que ces 2 composés permettent de prédire l'EMr avec une précision comparable.

Ces résultats ne sont pas surprenants compte tenu que parmi les premières équations de prédiction de la valeur nutritive des matières premières destinées à la volaille, figure celle établie par Mitchell (1942) qui met en évidence la forte relation entre la cellulose brute (% MS) et la métabolisabilité (%) de l'énergie brute.

Par ailleurs, l'un des premiers modèles de calcul de l'EM des sous-produits de blé a été établi par Carpenter et Clegg (1956), où la teneur en cellulose brute y figure comme seul prédicteur.

Encore récemment, le modèle ci-dessous établi par Borges *et al.* (2003) avec des valeurs obtenues sur des poulets de chair, met en relation l'EMr des sous-produits de blé avec leur teneur en cellulose brute.

$$\text{EMr (kcal / kg MS)} = 3833,8 - 165,3 (\text{CB \% MS}) \text{ avec } R^2 = 0,79.$$

En appliquant cette équation à nos données analytiques de cellulose brute, nous obtenons une valeur EMr comparable à la valeur EMr PC mesurée *in vivo* : 2115 *versus* 2158 kcal / kg MS.

L'intégration d'une deuxième variable (x2) aux modèles de prédiction de l'EMr à une variable (x1), améliore la précision du calcul de EMr PC et EMr D mais ne modifie pas celle de EMr P où  $R^2$  et l'écart-type résiduel restent inchangés.

Ce résultat est en faveur de l'adoption de l'équation 13 pour l'estimation de l'EMr du son de blé chez la poule pondeuse, car elle ne repose que sur un seul critère (% ADF) tout en permettant le calcul de l'EMr P avec autant de précision que celle permise avec les équations 15, 16 et 17 à 2 variables.

Les équations 4, 5 et 6 à 2 variables sélectionnées pour l'estimation de l'EMr du son de blé chez le poulet de chair présentent respectivement des coefficients de détermination (0,97, 0,96 et 0,95) et des erreurs-type de l'estimation (32, 36 et 39 kcal) peu différents.

Ce cas de figure donne l'avantage à l'équation 5 d'être sélectionnée, les paramètres CB et MM étant plus rapides et moins coûteux à déterminer que les composants Ac P, MG et MAT.

De façon similaire aux équations à 2 variables établies pour calculer l'EMr PC, celles mises au point pour le dindonneau (10, 11 et 12), ne montrent pas de fortes différences dans la précision du calcul qu'elle permettent.

De ces 3 modèles, celui intégrant les critères MM et CB pour le calcul de l'EMr, semble le plus intéressant compte tenu de la faisabilité d'analyse des concentrations de CB et de MM comparativement à celles de l'acide phytique et de la fraction ADF.

En définitive, le calcul de l'EMr du son de blé pour le poulet de chair et le dindonneau peut être effectué avec une bonne précision par un modèle de prédiction où le paramètre CB est la seule variable explicative.

Plusieurs travaux rapportent un tel modèle, toutefois, la valeur EM (calculée en général sur des coqs) est exprimée dans le système de l'énergie métabolisable apparente.

En utilisant le facteur de conversion (1,097) de l'EMa en EMr tel que préconisé par Sibbald (1980), nous avons calculé par les équations suivantes la valeur EMr des sons de blé locaux.

$$(1) \text{ EMa (kcal / kg MS) = } 3985 - 20,5 \text{ g CB Janssen (1979)}$$

$$(2) \text{ EMa (MJ / kg MS) = } 16,539 - 0,769 \text{ CB (\%) Janssen } et \text{ al. (1989)}$$

$$(3) \text{ EMa (kcal / kg MS) = } 3930 - 182 \text{ CB (\%) Janssen et Carré (1985)}$$

$$(4) \text{ EMa (kcal / kg MS) = } 3639 - 167 \text{ CB (\%) Carré, Perez et Lebas (1988)}$$

Les valeurs EMr calculées avec les équations 1, 2, 3, et 4 sont respectivement de l'ordre de 2035, 2232, 2235 et 2159 kcal / kg MS. Celles obtenues avec les modèles théoriques 2 et 3 sont comparables à celles que nous avons mesurées « *in vivo* » sur dindonneaux (en moyenne 2203 kcal / kg MS).

Avec l'équation 4, nous obtenons une valeur EMr de même ordre de grandeur que celle mesurée sur le poulet de chair (2159 *versus* 2158 kcal / kg MS). En revanche aucun des 4 modèles théoriques n'a permis d'observer une valeur EMr du son de blé proche de celle mesurée *in vivo* sur la poule pondeuse.

Ces premiers résultats indiquent que les 4 modèles ci-dessus, établis à partir de valeurs obtenues sur coq sous estiment la valeur énergétique des sons de blé locaux destinés à la pondeuse.

## II.5. Conclusion

---

Les résultats de l'analyse chimique des sons étudiés se distinguent de ceux rapportés par la littérature internationale par des concentrations relativement élevées en amidon et faibles en cellulose brute.

Ces deux caractéristiques expliquent en grande partie le potentiel EM des sons de blé locaux relativement élevé par rapport à la plupart des données publiées. Ce résultat nous amène à considérer avec prudence les informations rapportées par les tables étrangères de composition chimique et de valeur nutritionnelle des aliments.

Les mesures énergétiques effectuées sur les 3 types de volaille indiquent que l'énergie de ce sous-produit est significativement ( $P < 0,05$ ) mieux utilisée par la poule pondeuse que par la volaille en croissance (poulet de chair et dindonneau). De plus, à âge égal, le dindonneau valorise mieux que le poulet de chair l'énergie du son de blé.



La recherche d'un modèle de calcul de la valeur énergétique du son de blé chez la volaille a permis de faire ressortir que le critère analytique « ADF » serait un bon prédicteur de la valeur EMr du son de blé chez la pondeuse ( $R= 0,91$ ;  $rsd= 48$  kcal / kg MS).

Il n'en est pas de même pour le poulet de chair et le dindonneau pour lesquels la valeur EMr de ce sous-produit peut être prédite avec grande précision à partir de leur teneur en cellulose brute.

## **CHAPITRE III ETUDE DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES SONS DE BLE LOCAUX**

### **III.1. Objectif**

---

Cette étude a pour but d'étudier l'effet de la température élevée (32°C) sur la valeur de l'énergie métabolisable et de la digestibilité des protéines et de l'amidon du son de blé, mesurées chez le poulet de chair, la poule pondeuse et le dindonneau en croissance.

### **III.2. Matériel et méthodes**

---

#### **III.2.1. L'échantillon de son de blé**

Le son de blé dur sur lequel ont été réalisées les différentes mesures provient de l'unité industrielle de semoulerie d'El Harrach. Le son a été finement broyé (0,5 mm de diamètre des particules) avant d'être soumis aux analyses chimiques et d'être humidifié pour le gavage des oiseaux.

#### **III.2.2. Les animaux et conditions d'élevage**

Les mesures ont été réalisées sur des poulets de chair, des poules pondeuses et des dindonneaux, compte tenu que l'élevage de ces volailles est prédominant en Algérie.

Les 3 types d'élevage se sont déroulés successivement dans un bâtiment avicole construit en dur avec une toiture en éternite et un faux plafond en contre-plaqué. La partie du local où les élevages et les essais ont été réalisés comprend 4 parquets de 5m<sup>2</sup> de surface chacun.

Deux de ces parquets ont été aménagés en cellules climatiques afin de réaliser des mesures dans des conditions de température différentes (21 et 32°C).

La température de 21°C constitue le degré thermique pour lequel le poulet de chair et la poule pondeuse optimisent le mieux leur alimentation (Yalcin *et al.*, 2000 ; Emmans et Charles, 1977). Pour le dindonneau en début de croissance, une température de 21°C constitue également une condition importante pour cette phase d'élevage. Quant à la température de 32°C, elle constitue un seuil au-delà duquel la thermoneutralité est perturbée chez plusieurs espèces d'oiseaux (Aïn Baziz, 1990).

La conception des 2 cellules climatiques a pris en considération le coefficient d'isolation des parois de la cellule, le nombre et l'âge des oiseaux, la capacité de production de chaleur des radiants et le débit de ventilation de l'air assuré par des ventilateurs d'évacuation d'air par dépression. Les ventilateurs ont été disposés sur une des parois latérales de la cellule donnant à l'extérieur.

La température dans l'aire de vie au niveau des parquets a été assurée par des radiants suspendus au plafond et dont la hauteur a été réglée en fonction de la température sous radiant; celle-ci est contrôlée par des thermomètres.

Après chaque élevage, les opérations de nettoyage, de désinfection, de chaulage et de vide sanitaire ont été classiquement effectuées.

### III.2.2.1. Les poulets de chair

Cent vingt poussins non sexés de souche ISA 15 sont réceptionnés à l'âge d'un jour au poulailler. Après pesée, 100 poussins de poids vif moyen de l'ordre de 42,04 ± 3,92 g et ne présentant pas d'anomalies anatomiques ont été retenus. Ils ont été répartis en deux lots de 50 poussins chacun et installés jusqu'à l'âge de 27 jours dans deux cellules paillées de 5 m<sup>2</sup> de surface, chauffées 24 heures avant l'arrivée des poussins et dans lesquelles abreuvoirs et mangeoires ont été disposés.

Dans la première cellule, la température ambiante de départ de 32°C a été progressivement réduite jusqu'à atteindre au bout de 3 semaines une température de 21°C.

Dans la seconde cellule, la température a été maintenue dès le début de l'expérience à 32°C. L'humidité ambiante est fixée dans les 2 cellules à 60 %.

Dans ces conditions d'élevage, les deux lots de poulets ont reçu à volonté de l'eau et un aliment commercial qui renferme 3000 kcal / kg et 21 % MAT. Durant cette période le matériel d'élevage (nombre et type de mangeoires et d'abreuvoirs) a été adapté à l'âge des oiseaux. Ces derniers ont été soumis au programme prophylactique classiquement recommandé par les services de la santé animale.

A l'âge de 28 jours, 15 poulets sélectionnés sur la base d'un poids vif homogène ont été prélevés de chaque cellule climatisée et ont été transférés en batterie de cages à métabolisme individuelles disposées dans 2 cellules maintenues l'une dans des conditions de température ambiante de 21°C et l'autre de 32°C.

### III.2.2.2. Les poules pondeuses

Cinquante poules pondeuses de souche ISABROWN ont été réceptionnées à l'âge de 19 semaines. Elles ont été installées en cages de batterie de type californienne à raison d'une poule par cage et ont reçu *ad libitum* un aliment non granulé renfermant 14 % de protéines et 2600 kcal / kg. L'eau est disponible à volonté grâce à un système d'abreuvement automatique.

A l'âge de 20 semaines, les poules ont été réparties en deux lots. Celles du premier lot ont été élevées classiquement à terre dans la cellule où la température ambiante est maintenue constante à 21°C tandis que celles du second lot ont évolué dans la cellule où la température ambiante est de 32°C.

A l'âge de 24 semaines, 15 poules de chaque lot ont été sélectionnées sur la base d'un poids vif comparable et ont été réparties dans des cages à métabolisme individuelles installées dans deux cellules où la température ambiante est respectivement de 21 et 32°C.

Durant toute la période d'élevage et de mesures, l'humidité relative des cellules conditionnées a été maintenue à 60 % et l'éclairage a été assuré en continu.

### III.2.2.3. Les dindonneaux

Cent dindonneaux de souche B.U.T 9 non sexés ont été réceptionnés à l'âge de 1 jour. Dès leur arrivée, les sujets de poids extrêmes ont été écartés et ceux sélectionnés sur la base d'un poids vif homogène ont été élevés classiquement au sol sur litière paillée.

Ils ont été divisés en 2 lots et élevés jusqu'à l'âge de 4 semaines dans deux parquets où les conditions thermiques sont différentes.

Les dindonneaux du 1<sup>er</sup> lot ont été de la 1<sup>ère</sup> à la 4<sup>ème</sup> semaine, regroupés sous des radiants à gaz sous lesquels la température durant la première semaine a été maintenue à 35°C, puis amenée progressivement à 21°C vers la fin de la 5<sup>ème</sup> semaine.

Les dindonneaux installés dans la deuxième cellule ont été de la 1<sup>ère</sup> à la 5<sup>ème</sup> semaine soumis à une température de 35°C.

La température ambiante du local a été en moyenne de 24°C durant les 3 premières semaines d'élevage et de 21°C à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine. L'humidité relative a été maintenue aux alentours de 68 %.

A partir de la 2<sup>ème</sup> semaine d'élevage, une ventilation de type statique a été assurée.

L'éclairage a été continu durant les premières 48 heures (7,5 watts / m<sup>2</sup>). L'intensité et la durée d'éclairage ont été par la suite progressivement réduites.

Jusqu'à 2 semaines d'âge, la densité animale observée a été de 40 sujets / m<sup>2</sup> puis de 20 sujets / m<sup>2</sup> entre la 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> semaine d'âge.

Durant les 5 premières semaines d'élevage, les dindonneaux ont reçu un aliment de démarrage de type commercial non granulé (2900 kcal / kg et 28 % MAT). Durant cette période, le matériel d'élevage (nombre et type de mangeoires et d'abreuvoirs) a été adapté à l'âge des oiseaux.

A l'âge de 6 semaines, 15 dindonneaux de chaque lot ont été sélectionnés sur la base d'un poids vif comparable et ont été répartis dans des cages à métabolisme individuelles installées dans deux cellules où la température ambiante est respectivement de 21 et 32°C.

Le programme prophylactique suivi a été conforme à celui recommandé par la direction de la santé animale pour l'élevage des dindons.

### III.2.3. Méthodes de mesure

#### III.2.3.1. Mesure de l'énergie métabolisable apparente

La valeur énergétique du son de blé a été mesurée chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse exposés aux températures ambiantes de 21 et 32°C.

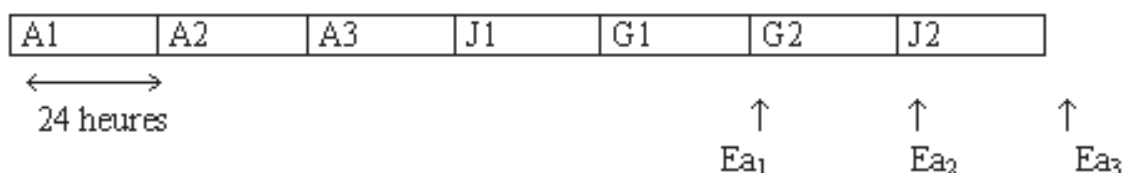
Pour les 3 types de volaille, les mesures ont été effectuées sur 15 sujets sélectionnés sur la base d'un poids vif comparable. Les oiseaux sont installés dans des cages individuelles à métabolisme faites en grillage métallique de 35 x 26 x 38 cm et disposées

sur deux étages. Elles sont munies d'un abreuvoir et d'un plateau coulissant permettant de collecter les fientes.

Les animaux ont été gavés avec une seringue prolongée d'un tuyau souple en caoutchouc de longueur et de diamètre correspondant à ceux de leur oesophage. Des tests préalables ont été menés afin de sélectionner le prototype définitif du dispositif de gavage adapté à chaque type d'oiseau.

La technique du gavage humide de Lessire (1990) a été adoptée; les poulets de chair, les dindonneaux et les poules pondeuses ont été gavés respectivement avec 60, 70 et 100 g de son de blé par jour. Ces quantités étant proches de celles observées en conditions *ad libitum*, les valeurs EMA peuvent alors être calculées sans être biaisées par la fraction énergétique d'origine endogène qui est relativement importante lorsque les ingérés sont faibles.

Nous avons suivi le protocole représenté par le schéma suivant pour la mesure de l'EMA du son de blé.



**Schéma 2.** *Protocole expérimental de mesure de l'énergie métabolisable apparente*

A1, A2 et A3 constituent les 3 jours d'adaptation des oiseaux à la cage à métabolisme. Durant cette période, ils reçoivent à volonté un aliment de type commercial correspondant à leur stade de production et dont 50 % sont constitués de son de blé.

A l'issue de cette période, 24 heures de jeun (J1) devant assurer la vacuité du tube digestif des oiseaux sont observées. Le bilan digestif proprement dit consiste en 2 jours de gavage (G1 et G2) durant lesquels les oiseaux reçoivent une fois par jour du son de blé.

Cette période d'alimentation est suivie par un jour de jeun (J2) à l'issue duquel l'ensemble des résidus alimentaires de l'ingéré précédant sont collectés.

Les fientes de chaque oiseau (Ea<sub>1</sub>, Ea<sub>2</sub> et Ea<sub>3</sub>) ont été soigneusement collectées à l'issue de la période de gavage et du jour de jeun qui la précède. Elles ont été débarrassées des duvets et des desquamations puis cumulées dans des barquettes tarées.

Après dessiccation pendant 48 heures dans une étuve portée à 50°C, les fientes ont été laissées 24 heures à l'air libre afin d'équilibrer leur humidité avec celle de l'air ambiant. Elles ont été par la suite pesées et broyées (0,5 mm de diamètre) et conservées en vue d'analyses chimiques.

Les opérations de gavage des oiseaux et de collecte des fientes débutent à 9 heures et sont réalisées à chaque fois dans le même ordre de cages.

Les calculs de l'EMA sont exprimés en kcal / kg MS, ils sont réalisés selon la formule suivante:

$$EMa = \frac{EB \text{ ingérée} - EB \text{ excreta}}{\text{Ingéré}}$$

où :

*EMa*: Energie métabolisable apparente

*EB*: Energie brute (kcal)

### III.2.3.2. Mesure de la digestibilité de l'azote

La mesure de la digestibilité apparente des protéines du son de blé a été réalisée chez les 3 volailles simultanément à la mesure des valeurs EMA.

Le bilan digestif est réalisé sur un effectif de 8 poulets de chair, 8 dindonneaux et 8 poules pondeuses.

La digestibilité des protéines du son de blé est obtenue par différence entre la quantité de protéines ingérées et la quantité de protéines fécales, rapportée à la quantité de protéines ingérées.

La quantité de protéines ingérées est le résultat du produit de la quantité de son de blé introduite dans le tube digestif de l'oiseau par la teneur en protéines de ce sous-produit de blé.

Pour chaque oiseau, les protéines fécales sont analysées sur le mélange des excreta collectés après gavage et après jeun ( $Ea_1$ ,  $Ea_2$  et  $Ea_3$ ).

La quantité de protéines fécales représente le produit de la quantité d'excreta par leur teneur en protéines fécales.

Le dosage des protéines fécales est effectué par la méthode de Terpstra et de Hart (1974) qui consiste à solubiliser l'azote urique (composé essentiel de l'azote urinaire) des excreta à l'aide d'une solution de formaldéhyde en milieu acétique (pH de 4,7). Cette étape est suivie de la précipitation des protéines fécales à l'aide d'une solution d'acétate de plomb, puis de leur dosage par la méthode de Kjeldhal.

Pour chaque oiseau, le dosage des protéines fécales est effectué en double.

Le calcul de la digestibilité apparente des protéines (CUDp) est réalisé selon l'équation suivante :

$$CUDp = \frac{\text{protéines ingérées (g)} - \text{protéines fécales (g)}}{\text{protéines ingérées (g)}} \times 100$$

### III.2.3.3. Mesure de la digestibilité de l'amidon

La mesure de la digestibilité de l'amidon du son de blé a été réalisée chez les 3 volailles simultanément à la mesure des valeurs EMA. Pour chaque type de volaille, cette mesure est réalisée sur 3 oiseaux.

La digestibilité de l'amidon représente la différence entre la quantité d'amidon ingérée et la quantité d'amidon retrouvée dans les excreta, rapportée à la quantité de protéines ingérées.

Le calcul de la digestibilité de l'amidon (CUDam) est réalisé selon l'équation suivante :

$$CUD_{\text{am}} = \frac{\text{amidon ingéré (g)} - \text{amidon excrété (g)}}{\text{amidon ingérée (g)}} * 100$$

### III.2.4. Analyses chimiques

La détermination de la teneur en matière sèche, de la matière azotée totale, de la matière grasse, des composés pariétaux (cellulose brute, fractions ADF et NDF) des sons de blé a été réalisée selon les méthodes précédemment décrites dans la première étude expérimentale.

La méthode de détermination de l'acide phytique du son de blé a été décrite dans la deuxième expérience.

Le dosage de l'amidon est réalisé selon la méthode de Carré *et al.*(1991). Après solubilisation pendant 5 minutes à 100°C de l'amidon dans du diméthylsulfoxyde (DMSO), le mélange est refroidi dans une solution tampon (pH 4,6). L'amidon en suspension est hydrolysé par de l'amyloglucosidase en glucose qui rompt les liaisons -□ (1-6) et -□ (1-4).

Après centrifugation, le D-glucose contenu dans le surnageant est phosphorylé en glucose-6-phosphate (G-6-P) par de l'hexokinase. En présence de la glucose-6-phosphate-déshydrogénase (G6P-DH), le G-6-P est oxydé par la nicotinamide-adénine dinucléotide phosphate (NADP) en gluconate-6-phosphate avec formation de nicotinamide-adénine dinucléotide phosphate réduite (NADPH). Le taux de NADPH formé dans cette réaction est stoechiométrique avec le taux de D-glucose.

L'absorbance du NADPH est mesurée au spectrophotomètre à 340 nm ; elle représente la quantité de D-glucose dans le surnageant.

La quantité d'amidon est déduite en multipliant le taux de glucose par 0,9 afin de prendre en considération la fixation d'une molécule d'eau par molécule de glucose lors de l'hydrolyse de l'amidon.

La valeur de l'énergie brute des sons de blé et celle des fientes ont été mesurées par leur combustion totale en présence d'oxygène dans un calorimètre adiabatique de type Calorimeter IKA C400.

A l'exception du dosage de l'amidon et celui des protéines fécales qui ont été réalisés en double sur les excreta, les mesures analytiques mentionnées ci-dessus ont été réalisées en triple sur les échantillons de son de blé et /ou de fientes finement broyés (0,5mm de diamètre).

	Poulet de chair		Dindonneau		Poule pondeuse		Signification statistique		
	21°C	32°C	21°C	32°C	21°C	32°C	Effet Oiseau (1)	Effet Température (2)	Interaction (1*2)
EMa	1846 <sup>a</sup> ± 53	1725 <sup>b</sup> ± 40	1957 <sup>a</sup> ± 56	1839 <sup>b</sup> ± 53	2123 <sup>a</sup> ± 68	2013 <sup>b</sup> ± 64	***	***	NS
CUDp	68,35 <sup>a</sup> ± 1,45	59,67 <sup>b</sup> ± 1,29	70,36 <sup>a</sup> ± 1,82	64,66 <sup>b</sup> ± 1,35	65,73 <sup>a</sup> ± 1,60	61,72 <sup>b</sup> ± 1,89	***	***	***
CUDami	50,08 <sup>a</sup> ± 1,23	43,68 <sup>b</sup> ± 1,00	54,84 <sup>a</sup> ± 0,62	48,11 <sup>b</sup> ± 0,39	64,00 <sup>a</sup> ± 1,86	59,25 <sup>b</sup> ± 0,86	***	***	NS

**Tableau 48.** Valeurs de l'énergie métabolisable et de digestibilité des protéines et de l'amidon (moyenne et écart-type) du son de blé mesurées à 21 et 32°C chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse.

EMa: énergie métabolisable apparente (kcal / kg MS).

CUDp: Digestibilité apparente des protéines (%).

CUDami: Digestibilité de l'amidon (%).

a,b : pour un même oiseau et sur une même ligne, les valeurs moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes (P<0,05).

\*\*\* : (P < 0,001).

NS : (P > 0,05).

### III.2.5. Analyses statistiques des résultats

Les résultats obtenus ont été soumis à l'analyse de variance à un et deux facteurs de classification (température et /ou oiseau). Les valeurs moyennes ont été comparées entre elles par le test de Newman et Keuls.

L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé avec le logiciel Statistica version 6.

## III.3. Résultats

### III.3.1. Composition chimique du son de blé

Les teneurs moyennes des composants chimiques et de l'énergie brute du son de blé analysé, sont présentées dans le tableau 47.

**Tableau 47.** Composition chimique (% MS) et valeur d'énergie brute (kcal / kg MS) du son de blé analysé.

MS	MM	MAT	MG	CB	Ami	ADF	NDF	AcP*	EB
88,00 ± 0,43	5,33 ± 0,24	6,05 ± 0,32	50 ± 0,22	10,39 ± 0,22	21,15 ± 0,45	45,08 ± 0,26	94 ± 1,60	27 ± 3,40	41 ± 4,61

\*teneur exprimée en mg / 100g MS.

Les effets de la température et du type de volaille sur les valeurs moyennes d'EMa (kcal / kg MS), de digestibilité des protéines et celle de l'amidon du son de blé sont signalés dans le tableau 48.

### III.3.2. Valeurs énergétiques (EMa) du son de blé

La valeur EMa moyenne du son de blé est respectivement de l'ordre de 1846, 1957 et 2123 kcal / kg MS lorsqu'elle est mesurée chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse. Ces valeurs sont significativement différentes entre elles ( $P < 0,001$ ).

A la température ambiante de 32°C, les valeurs EMa du son de blé deviennent respectivement pour le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse de l'ordre de 1725, 1839 et 2013 kcal / kg MS. Elles sont d'une part, statistiquement différentes l'une de l'autre et d'autre part, faibles ( $P < 0,05$ ) comparées à celles mesurées à 21°C.

La température telle que indiquée par le tableau 48, a effectivement un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) sur la capacité de l'oiseau à métaboliser l'énergie du son de blé.

En revanche, nous n'avons pas observé d'interaction « type d'oiseau\* température » sur les valeurs EMa du son de blé.

### **III.3.3. Digestibilité des protéines du son de blé**

Les valeurs de digestibilités des protéines du son de blé (tableau 48) sont chez les poulets de chair, les dindonneaux et les poules pondeuses exposés à une température de 21°C, respectivement de 68, 70 et 66 %.

Elles sont sous l'influence ( $P < 0,001$ ) du facteur « type d'oiseau » et de l'effet température puisque à 32°C, elles diminuent respectivement de -12, -7 et -6 % étant de l'ordre de 60, 65 et 62 % pour le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse.

Il est à noter que la digestibilité des protéines du son de blé est quelque soit la température ambiante, plus élevée chez les oiseaux en croissance (poulet de chair et dindonneau) que chez l'oiseau adulte (poule pondeuse).

### **III.3.4. Digestibilité de l'amidon du son de blé**

Telle que indiquée par le tableau 48, la digestibilité de l'amidon du son de blé est plus élevée ( $P < 0,05$ ) chez la poule pondeuse (64 %) comparée à celles mesurées chez le poulet de chair et le dindonneau (50 et 55 %).

Le type d'oiseau exerce un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) sur ce critère. Il en est de même pour la température qui, de l'ordre de 32°C, réduit quelque soit l'oiseau considéré la digestibilité de l'amidon. Celle-ci est réduite respectivement de -13, -12 et -7 % lorsqu'elle est mesurée en conditions chaudes chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse.

## **III.4. Discussion**

---

### **III.4.1. Composition du son de blé analysé**

Comparés aux informations présentées par les tables de composition chimique et de valeurs nutritionnelles des matières premières utilisées en alimentation animale, les résultats d'analyses chimiques du son de blé étudié révèlent un sous-produit de meunerie relativement riche en amidon et faible en cellulose brute. Par ailleurs, ses caractéristiques chimiques en font un échantillon très représentatif de la population des sons de blé étudiés dans la deuxième expérience de ce travail (tableau 40).



### III.4.2. Utilisation de l'énergie, des protéines et de l'amidon du son de blé par le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse exposés à la température de 21°C

Sur le plan énergétique, le son de blé étudié a une valeur EMa de l'ordre de 1850 kcal / kg MS lorsqu'elle est mesurée chez le poulet de chair élevé en conditions classiques (21°C). Cette valeur est relativement importante lorsqu'elle est comparée aux valeurs rapportées par Summers *et al.*(1968), Petersen *et al.*(1976), Kuzmicky *et al.*(1978).

Toutefois elle apparaît faible comparée aux valeurs EMa mesurées par Hoshii (1970): 2270 kcal / kg MS et par (Guirguis, 1975): 2220 kcal / kg MS.

Elle se situe néanmoins dans la gamme des valeurs rapportées par Nunes *et al.*(2001) et qui varient de 1807 à 1972 kcal / kg MS pour des oiseaux de même type et de même âge.

Dans les mêmes conditions de température (21°C), la valeur EMa du son de blé mesurée chez la poule pondeuse est de 2120 kcal / kg MS. Elle est comparable à celle obtenue par Sibbald (1976) dont l'ordre de grandeur est de 1956 kcal / kg MS, mais elle apparaît faible en comparaison à la valeur rapportée par Hoshii *et al.*(1970) qui atteint 2586 kcal / kg MS.

La valeur EMa du son de blé mesurée à 21°C chez le dindonneau (1950 kcal / kg MS) se situe entre celle mesurée chez le poulet de chair et la poule pondeuse. Les résultats de l'analyse de variance des valeurs EMa mesurées à 21°C montrent clairement que la valeur EMa du son de blé est différente d'un type de volaille à un autre. En effet, la poule utilise mieux ( $P < 0,05$ ) que le dindonneau (+ 8,5 %) et le poulet de chair (+ 15 %) le potentiel énergétique du son de blé.

Le dindonneau utilise également mieux ( $P < 0,05$ ) que le poulet de chair, le potentiel énergétique du son de blé; l'écart observé entre les 2 valeurs est d'environ 100 kcal.

Conformément à nos résultats, Bayley *et al.*(1968) ont indiqué que les oiseaux adultes tels que les coqs, utilisent mieux que des poulets de chair en croissance l'énergie des sons de blé.

Buyse *et al.*(1999) expliquent les différentes valeurs EM entre différents types d'oiseaux pour un même aliment par les pertes énergétiques urinaires et fécales métaboliques qui sont plus élevées chez les oiseaux en croissance par rapport à celles observées chez les oiseaux adultes.

Sur le plan physiologique, Boros *et al.*(2004) précisent que la moindre utilisation énergétique des matières premières fibreuses par les jeunes oiseaux comparativement aux oiseaux adultes, est également liée à la faible fermentation des structures glucidiques chez les premiers.

Pour notre part, nous expliquons l'écart observé entre les valeurs EM du son avec les 3 types d'oiseau par le facteur âge des oiseaux et la capacité différente des oiseaux à dégrader l'amidon.

En effet, l'âge avancé des poules (24 semaines) comparativement à celui des poulets (4 semaines), et des dindonneaux (6 semaines), pourrait expliquer la différence d'utilisation de l'énergie du son de blé notée entre ces types d'oiseaux, d'autant plus que Sibbald (1976) signale que le paramètre âge constitue un important facteur de variation de l'énergie métabolisable apparente des aliments.

Par ailleurs, la valeur énergétique de l'aliment étant étroitement corrélée au degré de dégradation de l'amidon qu'il renferme (Wiseman *et al.*, 2000), cela vérifie la meilleure

utilisation de l'énergie du son de blé que nous observons chez la poule, puisque quelque soit la température ambiante, la digestibilité de l'amidon de ce sous-produit est plus élevée ( $P < 0,05$ ) chez ce type d'oiseau que chez les 2 autres.

En effet, à 21 et 32°C, l'écart observé entre les CUD de l'amidon mesurés chez la poule et le poulet de chair est respectivement de -22 et -26 %. Ces écarts sont moins élevés lorsqu'ils sont calculés entre les CUD de l'amidon mesurés chez la poule et le dindonneau. Ils sont de -14 et -18 % respectivement à 21 et 32°C.

Sklan *et al.* (2003a) expliquent la faible digestibilité de l'amidon chez les jeunes volailles par rapport à celle mesurée chez des volailles plus âgées, par une moindre efficacité des enzymes impliquées dans cette dégradation.

En conditions de température de 21°C, la digestibilité des protéines du son de blé mesurée chez les 3 oiseaux est meilleure chez les oiseaux en croissance (poulet de chair et dindonneaux) que chez l'oiseau plus âgé (la poule pondeuse). Ce résultat est en accord avec les conclusions des travaux de Fonolla *et al.* (1972), Carré *et al.* (1991) et Angel (1993) mais ne concorde pas aux résultats rapportés par Doeschate *et al.* (1993) qui traduisent une augmentation de la digestibilité protéique avec l'âge de l'oiseau.

Les différences de méthodologie utilisées lors des essais peuvent expliquer ces divergences.

Il est admis en nutrition avicole que la digestibilité des protéines et de l'amidon des aliments est affectée par de nombreux facteurs antinutritionnels. Dans le cas particulier du son de blé, l'acide phytique et les constituants pariétaux constituent les principaux facteurs antinutritionnels.

Selon Maenz (1999), l'acide phytique forme chez les oiseaux des complexes avec les protéines qui ne peuvent alors, être dégradées. Ce phénomène est lié à l'absence de phytases endogènes nécessaires à la déphosphorylation des phytates (Sell *et al.*, 2000).

Peu de travaux ont été orientés vers l'effet de l'acide phytique sur la dégradation de l'amidon chez la volaille. Toutefois, Cowieson *et al.* (2004) rapportent la possible formation d'un complexe minéraux-phytates-amidon qui réduirait la digestibilité de l'amidon. Ces auteurs évoquent également l'inhibition des minéraux cofacteurs de l'activité de l'amylase pancréatique (tel que le calcium), suite à leur chélation par l'acide phytique.

Il est intéressant de noter que quoique la quantité d'acide phytique présente dans le tractus digestif des dindonneaux (0,63mg / j) soit plus importante que celle administrée aux poulets de chair (0,54mg / j), la digestibilité des protéines et de l'amidon du son est meilleure chez les dindonneaux. Ce résultat suggérerait que l'effet de l'acide phytique est moins sévère sur la dégradation des protéines et de l'amidon chez le dindonneau que chez le poulet de chair.

Parmi les composés pariétaux, les polyholosides non amylacés (PNA) sous leur forme soluble (PNAs) et insoluble (PNAins) jouent un rôle non négligeable dans l'utilisation de plusieurs nutriments par la volaille. En effet, il est rapporté par Coen *et al.* (1996) qu'ils réduisent la digestibilité des protéines et de l'amidon chez les oiseaux, ce qui explique qu'ils soient négativement corrélés à la valeur EM des aliments chez la volaille (Choct *et al.*, 1999).

Les PNAs (essentiellement sous forme d'arabinoxylanes dans les sons de blé) forment quant à eux dans la lumière intestinale de la volaille, des solutions visqueuses qui réduisent la digestion et l'absorption des nutriments (Krogdahl, 1986 ; Angkanaporn *et al.*, 1994). Cette action résulte de l'accélération du transit et de l'élévation des pertes endogènes qu'ils provoquent.

Bedford (1996) précise que la viscosité induite par les PNA agit indirectement sur la digestibilité des protéines chez la volaille en perturbant le turn-over des entérocytes, la synthèse des enzymes digestives et celle de la population microbienne.

Quant aux PNAins, ils sont faiblement dégradés chez la volaille et également impliqués dans la rapidité du transit intestinal (Payler *et al.*, 1975 ; Hetland et Svihus, 2001).

Ils exercent par ailleurs, un effet abrasif sur la paroi intestinale qui endommage les structures cellulaires et réduit la digestion des nutriments (Hedge *et al.*, 1982). Le poulet de chair ayant un tractus digestif plus court que celui dindonneau et de la poule, l'effet des composés pariétaux du son de blé sur la muqueuse intestinale serait plus marqué. La moindre digestibilité de l'amidon et la moindre utilisation de l'énergie du son que nous avons observées chez le poulet de chair comparativement aux 2 autres volailles vont dans le sens de cette hypothèse.

De plus, la différence d'utilisation de l'énergie, de l'azote et de l'amidon entre les 3 types d'oiseaux que nous avons notée, est à relier selon Leenstra et Pit (1988) et Kaminiska (1979) aux différences d'anatomie et de physiologie du tube digestif des oiseaux, particulièrement celles du poids du gésier et de la longueur de l'intestin grêle. En effet, un gésier plus lourd et un intestin plus long (cas de la poule comparée aux 2 autres volailles) augmentent le broyage des aliments et la capacité d'absorption du tractus digestif.

Enfin, la meilleure utilisation de l'énergie et de l'amidon du son de blé par la poule, comparée à celles observées chez les 2 autres oiseaux, est en accord avec les travaux de Johnson (1987) et Jeroch (1987) dont les conclusions indiquent que les céréales et leurs sous-produits sont mieux utilisés par les oiseaux adultes que par les jeunes. Ils attribuent ce résultat à la meilleure tolérance des oiseaux adultes vis-à-vis des PNA, tandis que Annison (1991) et Choct et Annison (1992) précisent que c'est les pentosanes qui exercent un effet plus sévère chez les jeunes oiseaux en comparaison avec les oiseaux adultes.

#### **III.4.3. Utilisation de l'énergie, des protéines et de l'amidon du son de blé par le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse exposés à la température de 32°C**

En conditions de température élevée (32°C), l'utilisation la plus intéressante de l'énergie du son de blé est observée avec la poule pondeuse. Les écarts respectifs entre la valeur EMaP et EMaD et EMaPC sont significatifs ( $P < 0,05$ ) et atteignent + 9 et + 17 %.

La valeur EMa mesurée chez le dindonneau est également plus élevée ( $P < 0,05$ ) que celle mesurée avec le poulet de chair; une différence de 100 kcal est notée entre les 2 valeurs.

Pour les 3 types d'oiseau, l'analyse de variance (tableau 49) indique que l'effet exercé par la température ambiante sur les valeurs EMa du son de blé est très hautement significatif

( $P < 0,001$ ). L'utilisation de l'énergie du son de blé par la poule, le dindonneau et le poulet à 32°C est significativement plus faible ( $P < 0,05$ ) que celle observée à 21°C.

L'écart observé entre les valeurs EMa du son de blé mesurées dans les deux situations de température ambiante est de - 5 % pour le poulet de chair, de - 6,5 % pour la poule pondeuse et de - 6 % pour le dindonneau.

Peu d'informations bibliographiques concernent l'effet de la chaleur sur la valeur EM des matières premières chez la volaille et celles rapportées sont assez controversées à ce sujet. En effet, nos résultats s'alignent sur ceux rapportés par Yamazaki et Zi-Yi (1982) et

Zuprizal *et al.*(1993). Ces derniers signalent des réductions de valeurs de l'EM de 1,8, 8,5 et 13 % respectivement pour le tourteau de soja, le tourteau de colza entier et le tourteau de colza décortiqué.

En revanche, nos observations sont contradictoires par rapport à celles mentionnées par Geraert *et al.*(1992), El Hussein et Creiger (1980), Keshavarz et Fuller (1980) et Wallis et Balnave (1984) qui sont en faveur d'une augmentation de l'EM des matières premières et des aliments en conditions chaudes.

Bonnet *et al.*(1997) attribuent ces différences à plusieurs facteurs dont la nature de l'aliment, la quantité d'aliment ingéré, le génotype, le sexe et l'âge de l'oiseau.

En conditions de chaleur (32°C), la digestibilité protéique du son de blé mesurée chez le poulet de chair devient faible comparativement à celle mesurée chez la poule (environ 60 *versus* 62 %) tandis que le dindonneau présente une meilleure digestibilité des protéines du son que la poule (environ 65 *versus* 62 %).

En comparant la capacité de digestion des protéines du son de blé par les 3 types d'oiseaux mis en conditions d'ambiance différentes, celle du poulet de chair est plus sévèrement affectée par l'élévation de la température (-12 %) que celle de la poule (- 6 %) et du dindonneau (- 7 %).

La réduction de la digestibilité protéique du son de blé observée chez le poulet de chair exposé à la chaleur est conforme aux observations de Zuprizal *et al.*(1993) et Wallis et Balnave (1984). Ces auteurs précisent par ailleurs que le degré de diminution de la digestibilité protéique varie selon le type de ration et le type de matière première considérée.

Zuprizal *et al.*(1993) observent en effet une diminution de la digestibilité des protéines du tourteau de colza et de tourteau de soja, respectivement de 12 et 4 %. La tendance des ces résultats est, selon Dibner *et al.*(1992) , Mitchell et Carlisle (1992) liée à des modifications de la physiologie digestive des oiseaux induites par la chaleur. Celles-ci seraient à l'origine de la diminution de la digestibilité des composants du régime (Bonnet *et al.*, 1997).

Pour Wolfenson(1986), la réponse à l'hyperthermie se traduit au niveau du tractus digestif par une réduction des activités enzymatiques et spécialement celles de type protéolytique. Peu de données bibliographiques concernent l'effet de la chaleur sur la digestibilité des nutriments chez la poule pondeuse. Alors que nous notons un effet réducteur de l'élévation de la température sur la digestibilité des protéines et de l'amidon du son de blé chez la poule pondeuse, Koelkebeck *et al.*(1998), ne rapportent pas de modification sensible de la digestibilité des acides aminés lorsque les poules pondeuses sont soumises à des changements cycliques de température (29 à 35°C). Le protocole d'exposition des animaux à la chaleur étant différent, il peut être à l'origine des écarts entre les résultats obtenus.

Quant à la réduction de l'utilisation des protéines et de l'amidon du son de blé par le dindonneau que nous observons à l'issue de nos mesures, elle est également rapportée par Musharaf et Latshaw (1999). Elle est liée selon Bottje et Harrison (1987) à la réduction des activités des enzymes protéolytiques et amylolytiques en réponse à une moins bonne irrigation sanguine de la partie proximale du système digestif.

### III.5. Conclusion

---

---

A l'issue de ces essais, il apparaît que dans le contexte algérien, les sons de blé renferment un potentiel énergétique exploitable en alimentation aviaire.

Par ailleurs, quelque soit la température ambiante (21 ou 32°C), l'amidon et l'énergie des sons de blé sont mieux valorisés par la poule que par le dindonneau et le poulet de chair. En revanche, en conditions normales de température (21°C), le poulet de chair et le dindonneau utilisent mieux que la poule les protéines du son de blé.

L'effet de la température élevée réduit chez les 3 types de volaille leur capacité de dégradation des protéines et de l'amidon du son de blé ainsi que l'utilisation du potentiel énergétique de ce sous-produit de blé.

L'activité digestive de la poule est toutefois moins affectée par la chaleur que celle des dindonneaux et des poulets de chair. Entre ces deux derniers, le dindonneau montre sur le plan digestif, une meilleure résistance à la chaleur.

Ces sources de variation devraient être prises en considération par les fabricants d'aliments de volailles qui devraient privilégier l'utilisation du son de blé dans l'alimentation de la poule pondeuse, et adopter des valeurs EM différentes pour le son de blé selon que l'aliment à base de ce sous-produit soit utilisé en saison chaude ou tempérée.

## **CHAPITRE IV EFFET DU STRESS THERMIQUE SUR LA DEPENSE ENERGETIQUE DE LA VOLAILLE**

### **IV.1. Objectifs**

---

A travers cette étude, nous cherchons à comparer la production de chaleur du poulet de chair et de la poule pondeuse lorsqu'ils sont en conditions de température élevée et alimentés avec un régime renfermant du son de blé.

Les mesures ont été réalisées au laboratoire d'aviculture du département de production animale de l'INA d'Alger. Elles ont nécessité dans un premier temps la conception et la construction d'une chambre respiratoire (Trabzi, 1997), puis la mise au point et le fonctionnement du dispositif construit (Ziki, 1998).

Dans le cadre du projet de recherche financé en 2000 par l'ANDRU, la chambre respiratoire a été dotée d'un système d'analyse de gaz qui a permis d'apporter une plus grande précision aux mesures de production de chaleur.

La validité des mesures de production de chaleur réalisées en chambre respiratoire a été vérifiée par celles obtenues sur poulet de chair par la méthode de l'analyse des carcasses (Trabzi, 1997, Felkai, 2003).

### **IV.2. Conception et construction d'une chambre respiratoire**

---

#### **IV.2.1. Objectif**

La construction d'une chambre respiratoire s'est avérée indispensable pour la réalisation des mesures calorimétriques envisagées, d'autant plus qu'aucun laboratoire n'en dispose à l'échelle nationale.

Elle permet d'une part, d'obtenir par le biais du quotient respiratoire des informations sur le métabolisme des nutriments et d'autre part, de déterminer la production de chaleur de l'animal placé dans des conditions expérimentales déterminées.

La mesure de la production de chaleur par calorimétrie indirecte en chambre respiratoire présente par rapport à celle mesurée par la méthode de référence (abattages comparés), des avantages certains, compte tenu qu'elle est moins longue et moins lourde.

### **IV.2.2. Matériel et méthodes**

La réalisation du dispositif s'est déroulée en 2 étapes. Dans un premier temps nous avons opté pour une chambre respiratoire à confinement car celle-ci est basée sur un principe de fonctionnement simple.

Dans un deuxième temps, des modifications ont été apportées en vue de la transformation du dispositif en chambre respiratoire à circuit fermé.

Le volume de la chambre respiratoire a été raisonné de telle manière à permettre des mesures aussi bien sur une volaille que sur un groupe de volailles.

L'aménagement de la chambre a été conçu d'une part, pour assurer le confort des animaux et d'autre part pour coupler la mesure de la production de chaleur à celle de l'énergie métabolisable.

Par ailleurs, afin de réduire le coût du dispositif et de la construction nous avons opté pour des matériaux disponibles sur le marché national.

La chambre respiratoire réalisée a un volume interne de 837,5 litres qui permet de couvrir largement les besoins en oxygène de 6 poulets de 1,5 kg de poids vif.

Elle est conçue en un seul bloc et repose à 10 cm du sol sur des pieds en bois. La figure 5 présente une vue en perspective du dispositif dont la conception a été largement inspirée des travaux de Farrell (1972), Vermorel *et al.* (1973), Boshouwers et Nicaise (1981), Johnson et Farrell (1983) et Boshouwers et Nicaise (1985) orientés vers l'étude des outils de mesure du métabolisme énergétique des animaux domestiques.

Après confection de la maquette du dispositif, sa réalisation a été confiée à une entreprise nationale spécialisée dans la fabrication du matériel avicole. Les principaux matériaux de construction sont le bois rouge, le plexiglass et la tôle galvanisée. Le bois rouge est utilisé pour la charpente du dispositif dont le revêtement est constitué par de la tôle galvanisée.

Les faces latérales du dispositif sont en plexiglass (figures 6, 7, 8 et 9). L'une de ces faces présente une porte constituée d'un cadre en inox et d'un panneau en plexiglass.

Le plancher du dispositif (figure 10) est constitué d'une tôle galvanisée de 1m<sup>2</sup> surmontée d'un plateau coulissant construit avec le même matériau. Il est recouvert d'un cadre grillagé dont les mailles ont un diamètre de 5,5 cm. Le plateau coulissant permet de collecter les fientes des animaux lors des mesures.

La toiture du dispositif (figure 11) est en plexiglass renforcé par une latte en bois.

La chambre respiratoire a été équipée d'un dispositif de chauffage électrique couplé à un ventilateur fabriqué sur la base de nos orientations par une entreprise nationale. Le module de chauffage est placé dans le bloc de climatisation ; il est contrôlé par des sondes de type thermocouple.

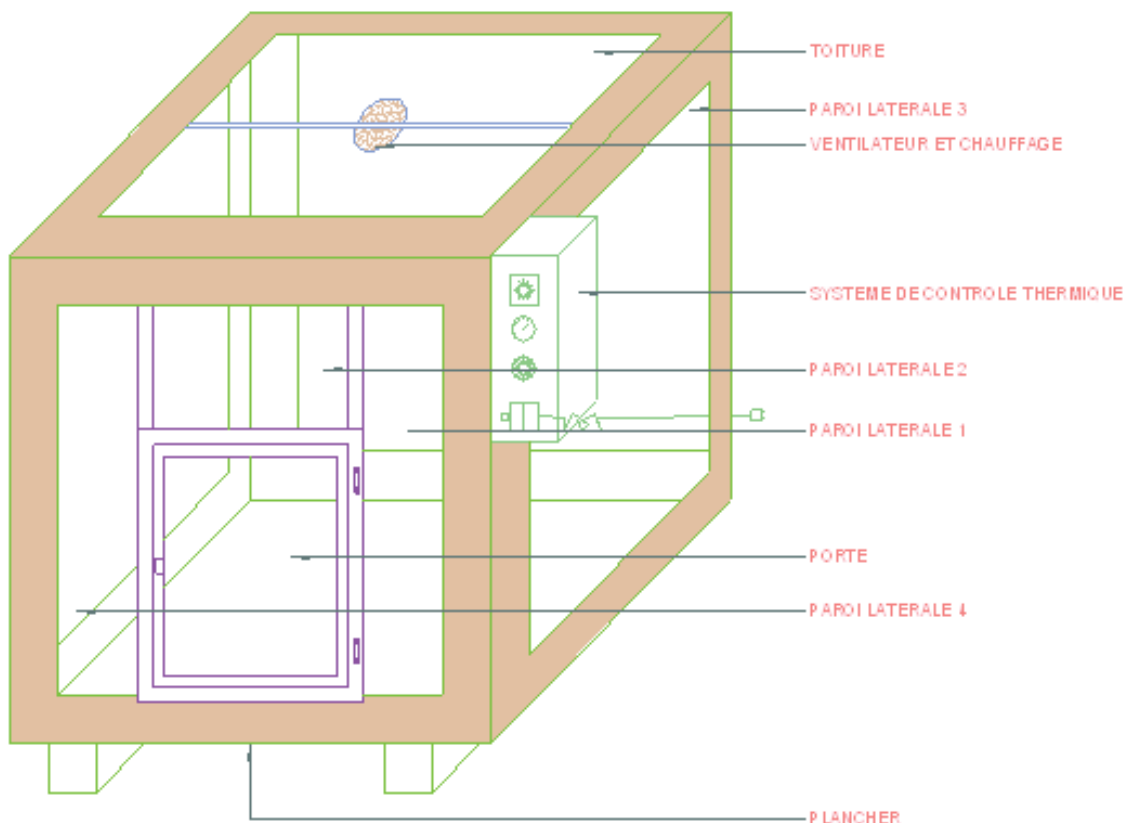
Dans le bloc de mesures, un système d'alimentation et d'abreuvement des oiseaux a été installé. Les détails techniques de la chambre respiratoire sont présentés dans l'étude réalisée par Trabzi (1997).

Des modifications du dispositif ont été apportées par la suite par Ziki (1998). Elles ont consisté en l'amélioration de l'étanchéité de la cage respiratoire et du système de contrôle de la température et de l'humidité à l'intérieur de la chambre respiratoire ainsi que l'installation d'un système d'alimentation automatique en oxygène qui fonctionne en continu grâce à une pompe. Cette dernière modification qui permet la mesure de la production de chaleur en système fermé (schéma 3), a été apportée suite aux limites qu'impose le confinement lors de la mesure des gaz respiratoires.

Le dispositif d'alimentation en oxygène de la chambre respiratoire est inspiré de celui rapporté par Farrell (1972). Il comprend un manomètre en U muni de contacts électriques permettant le contrôle de la pression régnant dans la chambre respiratoire, un bloc de commande électronique, une électrovanne et un débitmètre à flotteur.

Les concentrations d'oxygène sont saisies sur ordinateur après installation du logiciel PM-COM Data Download Software.

Le système de fixation du CO<sub>2</sub> est assuré par 2 flacons remplis de KOH à 40 % dans lesquels barbote l'air prélevé de la chambre respiratoire grâce à la pompe à membrane. Le premier flacon assure la fixation de la plus grande partie du CO<sub>2</sub> tandis que le deuxième en absorbe le CO<sub>2</sub> résiduel.



**Figure 5 :** Vue en perspective de la chambre respiratoire

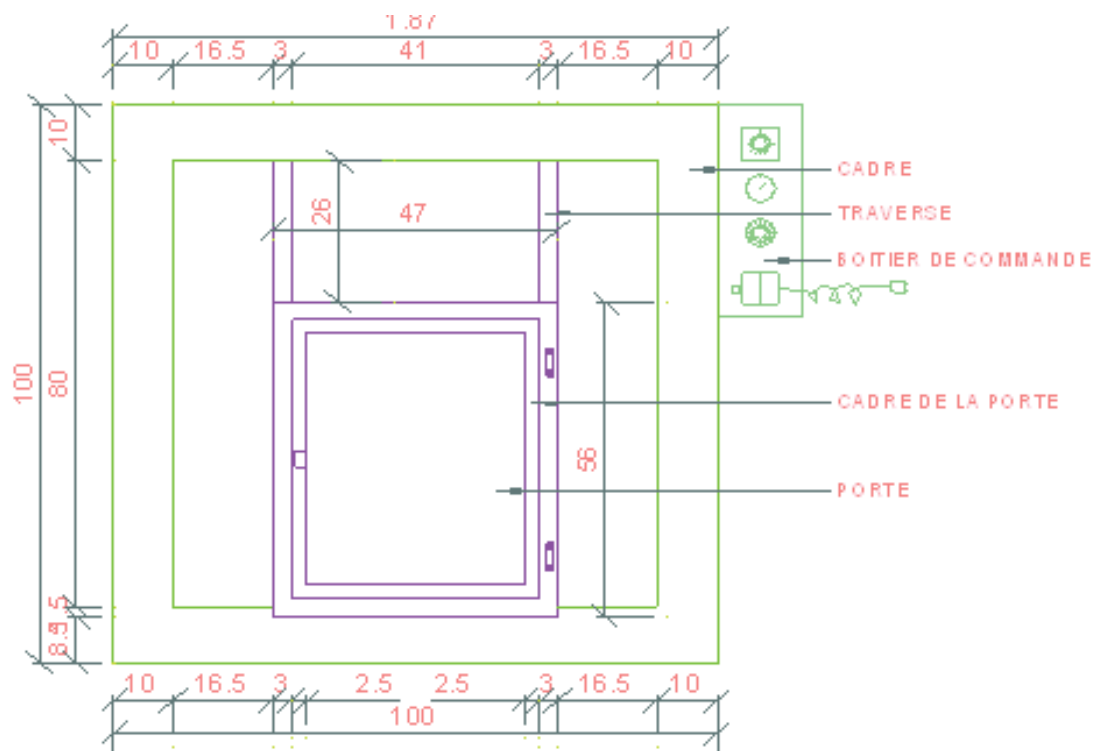


Figure 6 : Caractéristiques de la paroi latéral 1

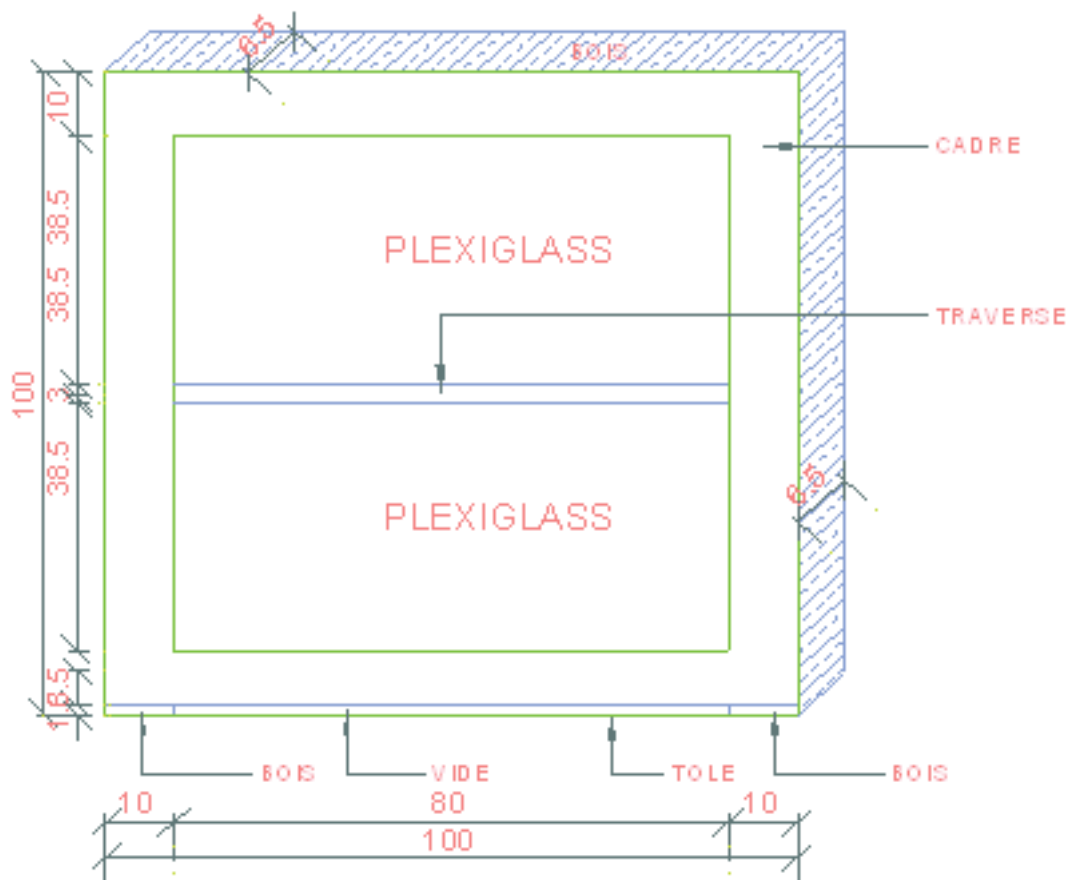
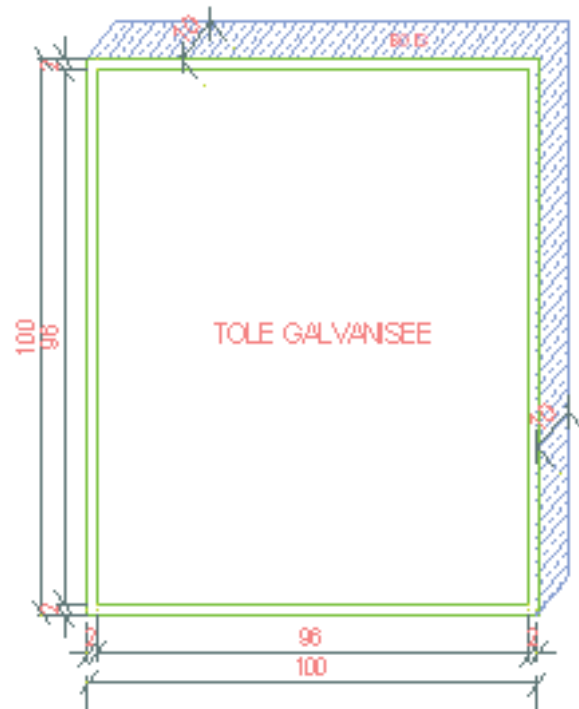
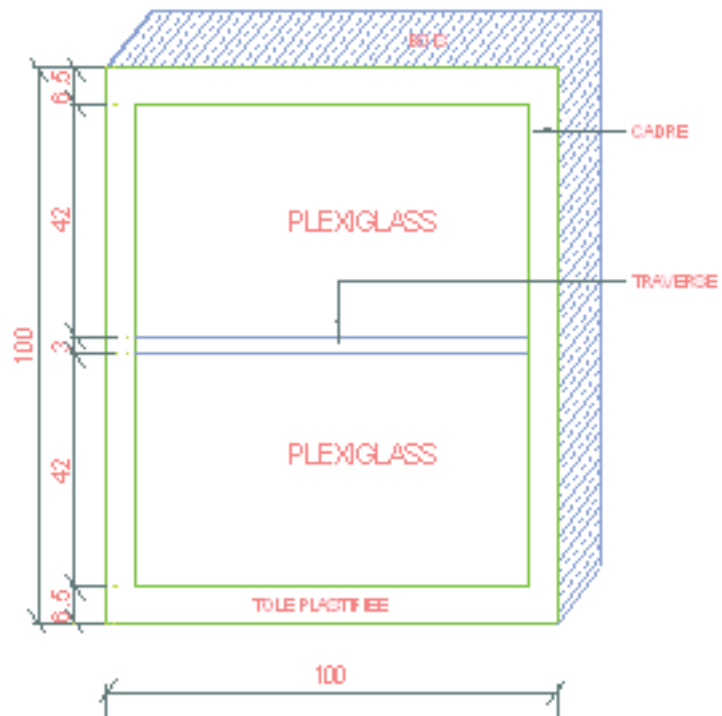


Figure 7 : Caractéristiques de la paroi latéral 2





**Figure 8 :** Caractéristiques de la paroi latéral 3



**Figure 9 :** Caractéristiques de la paroi latéral 4

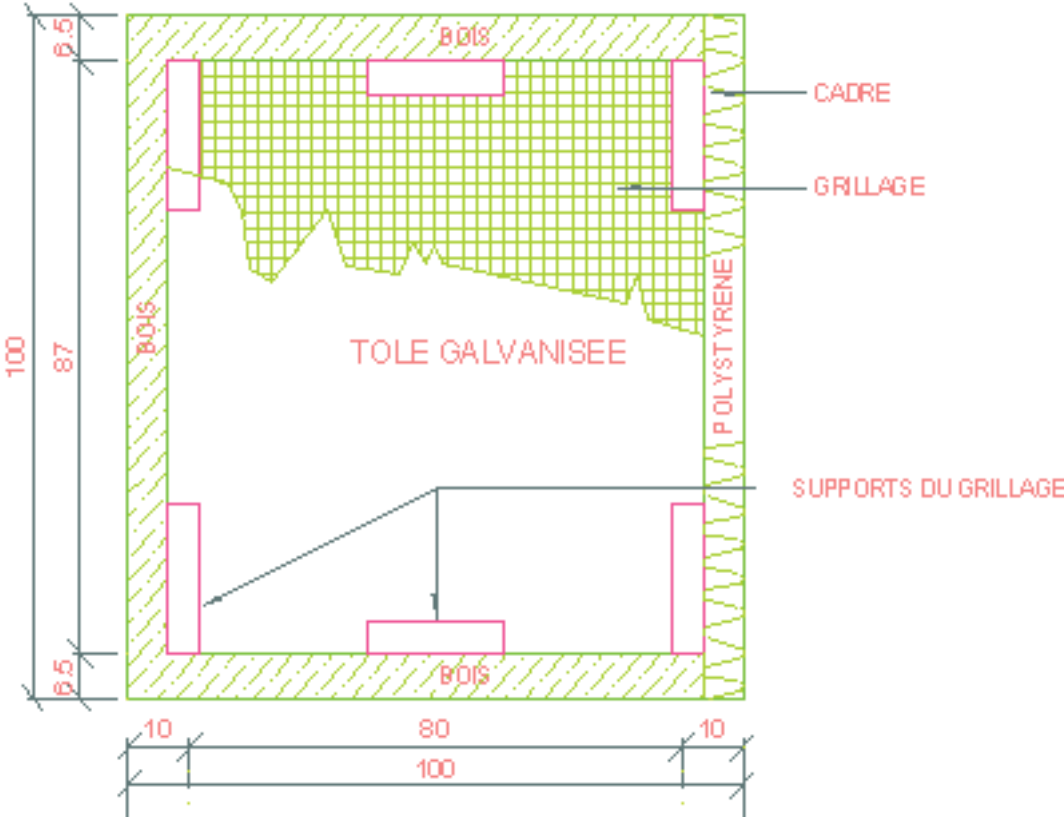


Figure 10 : Caractéristiques du plancher de la chambre respiratoire

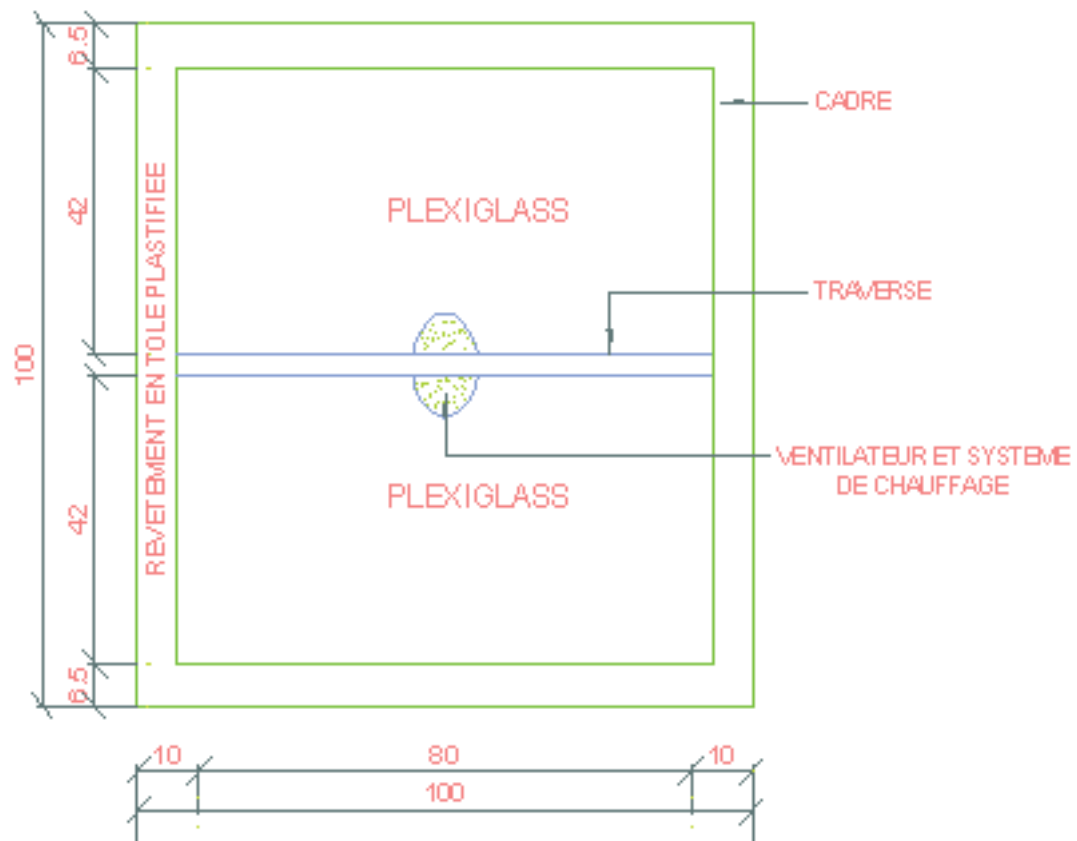


Figure 11 : Caractéristiques de la toiture de la chambre respiratoire

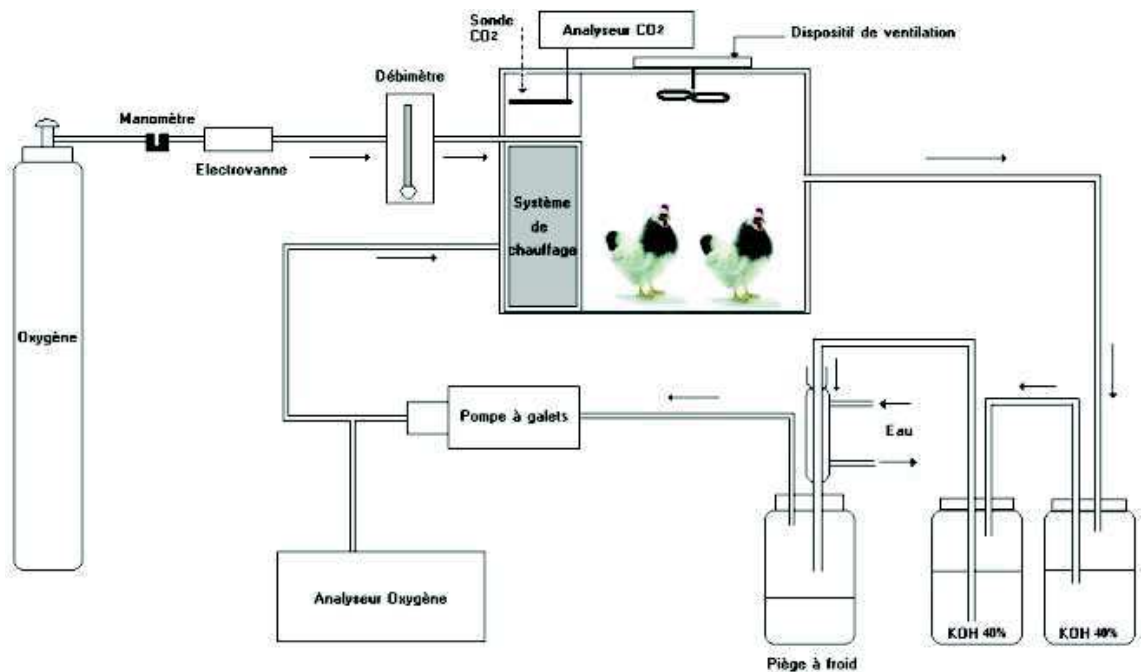


Schéma 3 : Dispositif expérimentale pour la mesure des gaz respiratoires

### **IV.3. Mesure de la production de chaleur chez la poule pondeuse et le poulet de chair recevant des rations à base de son de blé et exposés à la chaleur**

---

#### **IV.3.1. Matériel et méthodes expérimentales**

##### **IV.3.1.1. Les animaux et conditions d'élevage**

###### **IV.3.1.1.1. Les poules de chair en croissance**

Deux lots de poussins de souche ISA 15 âgés d'un jour ont été constitués. Ils ont été élevés classiquement au sol jusqu'à l'âge de 24 jours.

Les poussins du 1<sup>er</sup> lot ont été exposés durant toute la période d'élevage et de mesures à une température ambiante de 32°C. Ceux du deuxième lot ont été en début d'élevage, installés dans un espace où la température ambiante initialement de 32°C, est progressivement réduite pour être maintenue à partir de 21 jours à 21°C.

L'humidité relative a été maintenue à 60 % environ. Jusqu'à l'âge de 16 jours, les animaux des 2 lots ont reçu un aliment de type démarrage-croissance renfermant 2900 kcal / kg et 21 % protéines. A partir du 17<sup>ème</sup> jour d'élevage, et de façon progressive, les jeunes poulets ont reçu le même aliment mais dont 30 % ont été substitués par du son de blé.

La mesure de la production de chaleur a été réalisée sur des poulets de poids moyen de  $483 \pm 20$  g et âgés de 25 jours.

###### **IV.3.1.1.2. Les poules pondeuses**

La production de chaleur de la poule pondeuse en conditions de température classique (21°C) et de température élevée (32°C) a été mesurée sur des poules de souche ISABROWN âgées de 19 semaines.

Dès leur réception à l'âge de 18 semaines, 12 poules ont été réparties en 2 lots et installées à raison de 3 par cage, en conditions de températures différentes (21 et 32°C) et de 60 % d'humidité. L'aliment distribué est un aliment ponte dont 30 % sont représentés par du son de blé. Le poids moyen des poules utilisées dans l'essai est de  $1420 \pm 63$  g.

La quantité d'aliment ingéré par les 2 types de volailles durant les mesures est calculée par différence entre les quantités d'aliment distribué et récupéré dans les mangeoires à l'issue des mesures.

##### **IV.3.1.2. La mesure de la production de chaleur**

###### **IV.3.1.2.1. Les systèmes d'analyse**

La composition de l'air est analysée à l'aide d'un analyseur d' O<sub>2</sub> paramagnétique (Rank Brother) et d'un analyseur de CO<sub>2</sub> par infrarouge (Baccharach de type 2820).

La mesure du débit d'air traversant la chambre respiratoire est assurée par un débitmètre massique (modèle 50).

Une pompe péristaltique à galets (Masterflex L/S de type EASY-LOAD II) permet le prélèvement régulier et continu de l'air circulant dans la chambre.

Faute d'un refroidisseur de gaz de type Pelletier, l'air extrait de la chambre est asséché au moyen d'un piège à froid classique où l'eau envoyée par un système de réfrigération, circule à une température basse.

L'oxymètre détermine la teneur en oxygène de l'air prélevé de la chambre respiratoire grâce à une cellule de mesure en continu. La précision de l'analyseur d'oxygène est de 0,015 %. Ce module est composé d'une partie qui regroupe les commandes des différents réglages (alimentation électrique, vitesse d'agitation, tension de polarisation, réglage du zéro et sélecteur d'affichage) et une autre qui représente la chambre d'incubation à électrode d'oxygène.

Lorsque la cathode est polarisée (- 0,6 Volts), chaque molécule d'oxygène provenant du milieu étudié est réduite en eau. Le courant établi entre les 2 électrodes est proportionnel à la pression partielle en oxygène du système testé et l'oxymètre convertit alors le courant en pourcentage de saturation en oxygène.

L'analyseur de CO<sub>2</sub> avec pompe intégrée indique la teneur en ce gaz avec une précision de 0,01 %. Son fonctionnement est basé sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge. Un rayonnement électromagnétique est produit à partir d'une source de chaleur puis capté par une cellule d'absorption. Le gaz à analyser circule entre ces 2 modules; le rayonnement est alors absorbé proportionnellement à la quantité de CO<sub>2</sub>.

L'étalonnage du débitmètre est réalisé avec un débit d'air stable équivalent à 30 L /mn en conditions de débits standards (20°C et 760 mm Hg). Après la purge de l'ensemble des canalisations avec de l'air comme gaz d'étalonnage, le potentiomètre de réglage est ajusté pour fournir la sortie de tension sur 2,95 volts.

L'analyseur de CO<sub>2</sub> est calibré avec de l'azote (N<sub>2</sub>) à un débit de 120 cc / mn (pression équivalente de 2 psi).

La sensibilité de l'électrode d'oxygène est ajustée avec un échantillon aqueux saturé en air pour obtenir une lecture de 100 (100 % de saturation). Dans ces conditions, la pression en oxygène est équivalente à 0,2095 atm, soit une concentration de 8 mg.dm<sup>-3</sup>.

#### **IV.3.1.2.2. Calcul de la production de chaleur**

Pour chaque type de volailles, les sujets sont placés par paire dans la chambre respiratoire pour réduire le stress lié à l'isolement visuel et acoustique (Savory et Mc Leod, 1980). Ils ont été abreuvés et alimentés à volonté.

Dans les 2 conditions de température, les mesures de production de chaleur ont été réalisées sur des périodes de 7 heures, puis extrapolées par calcul à 24 heures. L'essai est lancé à 9 heures puis est arrêté à 17 heures. La première heure de mesure n'est pas comptabilisée afin que les volailles puissent s'adapter aux conditions environnementales qui prévalent à l'intérieur de la chambre expérimentale. L'éclairage est assuré en continu tout au long des mesures.

La production journalière de chaleur correspond à la moyenne des valeurs obtenues à l'issue de mesures effectuées en triple.

Les animaux ont été pesés puis introduits en même temps que l'analyseur de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte après stabilisation des lectures de l'oxymètre à 20,8 %. L'air extrait de la cage a été analysé toutes les 30 minutes durant les mesures.

Le calcul de la production de chaleur (PC) est réalisé à partir des résultats de l'analyse des échanges respiratoires de l'oiseau. Nous avons utilisé la formule suivante de Romjin et Lockhorst (1961), basée sur la mesure des volumes d'O<sub>2</sub> consommés et de CO<sub>2</sub> rejetés sans correction par rapport à l'excrétion azotée.

$$PC(kcal) = 3,871 O_2 + 1,194 CO_2$$

Où :

*O<sub>2</sub> : volume d'oxygène consommé en litres*

*CO<sub>2</sub> : volume de gaz carbonique rejeté en litres*

Le volume d'oxygène consommé par l'oiseau durant la période de mesure est calculé comme suit :

$$VO_2 = (\% \text{ initial en } O_2 - \% \text{ final en } O_2) * V CR$$

Où :

*V CR : volume d'air de la chambre respiratoire (litres)*

*V CR : Vtotal - V'*

*Vtotal : volume total de la chambre respiratoire*

*V' : volume occupé par les accessoires suivants dans la chambre respiratoire :*

*- analyseur de CO<sub>2</sub>*

*- plancher*

*- système d'abreuvement et d'alimentation*

*- système de chauffage*

Le volume de gaz carbonique rejeté par l'oiseau durant la période de mesure est calculé comme suit :

$$VCO_2 = (\% \text{ final en } CO_2 - \% \text{ initial en } CO_2) * V CR$$

Où :

*VCO<sub>2</sub> : volume de CO<sub>2</sub> dégagé (litres)*

*VCR : volume d'air de la chambre respiratoire (litres)*

Les calculs sont exprimés en kcal et rapportés en kg de poids métabolique et par jour (kcal / kg P<sup>0,75</sup> . jour).

#### IV.3.1.3. Analyse statistique des résultats

La mise en évidence des effets de la température et du type d'oiseau sur la production de chaleur a été permise par l'analyse de variance. Elle nous a permis également de rechercher d'éventuelles interactions entre les différents facteurs testés.

Les valeurs moyennes ont été comparées entre elles par le test de Newman et Keuls.

L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé avec le logiciel Statistica version 6.

### IV.3.2. Résultats

#### IV.3.2.1. La composition du régime alimentaire des animaux

Les régimes expérimentaux distribués aux 2 types d'oiseaux ont la même composition : 50 % de maïs, 16 % de tourteau de soja 48, 30 % de son de blé et 4 % de complément minéral vitaminique. Leurs teneurs énergétique et protéique du régime ont été calculées sur la base des valeurs de composition chimique et nutritionnelle des tables françaises (Larbier et Leclercq, 1992). Le régime du poulet de chair et de la poule pondeuse sont caractérisés respectivement par une teneur énergétique de 2624 et 2664 kcal d'EM / kg et par une teneur protéique comparable de 19,5 %.

#### IV.3.2.2. La consommation alimentaire

Le tableau 49 rapporte la consommation des régimes par le poulet de chair et par la poule pondeuse dans les 2 conditions de température.

Pour le poulet de chair, la consommation diminue significativement ( $P < 0,05$ ) de 23 % en température ambiante de 32°C en comparaison avec celle enregistrée à la température de 22°C.

La diminution significative ( $P < 0,05$ ) de la consommation en température de 32°C par rapport à 22°C est également observée chez la poule pondeuse. Elle est toutefois moins drastique que celle observée chez le poulet de chair (16,40 *versus* 23 %).

L'exposition au chaud entraîne également la réduction de l'EM ingérée: -23 % pour le poulet de chair et -16 % pour la poule pondeuse.

Tableau 49. Effet de la température sur la production de chaleur du poulet de chair et de la poule pondeuse recevant un aliment à base de son de blé.

Oiseau	Température (°C)	Aliment ingéré (g / j)	EM ingérée (kcal)	PC (kcal / kg P 0,75 . j)	PC/EM ingérée (%)
Poulet de chair	21	62,83 ± 4,88 <sup>a</sup>	164,87	104,83 ± 11,57 <sup>a</sup>	63,58
Poulet de chair	32	48,33 ± 5,65 <sup>b</sup>	126,82	82,66 ± 8,45 <sup>b</sup>	65,18
Poule pondeuse	21	102,67 ± 9,66 <sup>a</sup>	273,51	165,33 ± 9,71 <sup>a</sup>	60,44
Poule pondeuse	32	85,83 ± 8,06 <sup>b</sup>	228,65	135,83 ± 8,26 <sup>b</sup>	59,40

a,b : Pour un même type de volaille et sur une même colonne, les valeurs sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ).

#### IV.3.2.3. La production de chaleur

Les résultats des mesures de production de chaleur consignés dans le tableau 49, indiquent que l'élévation de la température entraîne aussi bien chez le poulet de chair et la poule pondeuse une réduction significative ( $P < 0,05$ ) de la dépense énergétique. Cette diminution est plus importante chez le poulet de chair (21 %) que chez la poule pondeuse (18 %).

Exprimée par rapport à l'énergie ingérée, la PC est faiblement modifiée chez les 2 types de volaille : elle tend à augmenter (+ 2,5 %) chez le poulet de chair, tandis que chez la poule pondeuse, la tendance est à la baisse (- 1,7 %).

### IV.3.3. Discussion

Les conditions expérimentales que nous avons observées pour la mesure de la PC du poulet de chair et de la poule pondeuse sont délibérément caricaturales. En effet, ni la température constante de 32°C ni le profil nutritionnel du régime alimentaire distribué ne reflètent la pratique de l'élevage avicole sur le terrain.

Par ailleurs, le calcul de la PC par extrapolation des valeurs enregistrées sur une durée de 7 heures à une durée de 24 heures a sûrement biaisé les résultats compte tenu de l'existence chez la volaille d'un rythme circadien de la température corporelle dont l'amplitude varie en fonction des paramètres environnementaux (Refenetti et Menaker, 1992).

Aussi, la mesure de la production de chaleur aurait gagné en précision avec un dispositif de mesure en circuit ouvert qui aurait permis des mesures sur de longues périodes (jusqu'à une semaine).

Toutefois, celui-ci exige un système de contrôle plus rigoureux de la température et de l'humidité, et un banc d'analyse qui permette alternativement les mesures de gaz sur des volumes d'air extrait de la chambre, de l'air de référence (prélevé à l'extérieur du bâtiment de mesures) et des gaz étalons (azote, gaz carbonique à 1 %).

Malgré ces limites d'ordre technique et méthodologique, le protocole expérimental mis en place a permis la manifestation par les 2 types de volaille de réponses spécifiques intéressantes à prendre en considération pour mettre au point des stratégies nutritionnelles adaptées au contexte algérien.

La diminution de la consommation alimentaire que nous avons observée chez les 2 types de volailles lors de l'élévation de la température est une réponse de l'organisme animal pour réduire la composante « thermogénèse alimentaire » de la production de chaleur (Geraert, 1991). Toutefois, nous avons noté que ce comportement n'est pas de même envergure chez les 2 gallinacés.

Conformément aux résultats rapportés par Adams *et al.* (1962), Austic (1985) et Aïn Baziz (1990), nous observons que l'ingéré alimentaire du poulet de chair diminue de 2,1 % par degré d'élévation de la température ambiante. La tendance à la réduction de la consommation alimentaire lors de l'augmentation de la température est moins forte chez la poule puisque elle n'est que de 1,5 % / °C ; elle est de même ordre de grandeur que celle rapportée par Smith et Oliver (1972) et par Sykes (1976) et qui est de 1,6 % / °C lorsque la température s'élève au-delà de 20°C.

La moindre diminution de la consommation alimentaire que nous avons observée chez la poule par rapport au poulet, confirme les résultats de Meltzer (1985) qui traduisent une moindre tolérance à la chaleur des poulets de souche chair par rapport aux individus de souche ponte.

La sensibilité des poulets de chair commerciaux au stress thermique a été accrue par la forte progression de la vitesse de croissance qui a fait augmenter plus rapidement leur production de chaleur métabolique que leur capacité de dissipation de la chaleur corporelle (De Basilio, 2002). De plus, il apparaît à travers la réduction de la consommation d'aliment



que la capacité d'acclimatation aux températures élevées des poules pondeuses par rapport aux poulets de chair est plus importante.

La réduction de l'EM ingérée observée chez les deux types de volaille exposées à la chaleur, est la résultante de 2 processus : la diminution de la consommation alimentaire (tableau 49) et celle de leurs capacités digestives et métaboliques. Cette dernière a été vérifiée en partie par la moindre digestibilité des protéines et de l'amidon ainsi que de l'énergie métabolisable du son de blé, aussi bien chez la poule que le poulet de chair soumis à des conditions de température élevée (tableau 48).

Dans nos conditions expérimentales, la production de chaleur est réduite lorsque les 2 types de volailles sont exposés à la chaleur. Des observations similaires sont rapportées par Van Kampen (1984) pour la poule pondeuse et par Farrell et Swain (1977) pour le poulet de chair.

La diminution de la dépense énergétique plus élevée chez le poulet de chair que chez la pondeuse, traduit la différence de tolérance à la chaleur entre ces 2 oiseaux.

Pour la poule pondeuse, la diminution atteint environ  $1,6 \text{ kcal / kg P}^{0,75}$  par ° C. Ce résultat s'éloigne respectivement de 0,50 et 0,46 points des valeurs rapportées par Davis *et al.*(1973) et par Li *et al.*(1992); ces écarts s'expliquent toutefois par des conditions de mesures différentes ( qualité nutritionnelle des aliments et température ambiante).

La réduction de la production de chaleur avec l'augmentation de la température résulte de la diminution bien établie de la chaleur basale (Farrell, 1988 ; Tesseraud et Temim, 1999).

Par ailleurs, le besoin énergétique d'entretien qui inclue au dessus du métabolisme de base une partie de l'activité physique et de l'utilisation de l'aliment serait aussi réduit (Sykes, 1977) afin d'assurer plus d'énergie à la production et de permettre le maintien de l'homéothermie.

Faute de mesures du coût énergétique lié à l'activité physique, il est difficile d'apprécier dans nos conditions expérimentales, la part de celle-ci dans la réduction de la dépense énergétique des 2 types de volailles exposées à la chaleur. Selon Hillman *et al.*(1985), elle semblerait négligeable puisque d'une part, la PC s'élèverait suite à une augmentation du halètement (Barrott et Pringle, 1946), mais que d'autre part, l'accroissement de la demande énergétique par les autres tissus serait réduit. Cependant, Mc Leod *et al.*(1982) ont précisé dans leurs travaux que l'activité physique des poules pondeuses n'est significativement réduite qu'à partir de 34°C.

En définitive, il apparaît à travers les observations relevées au terme de cet essai, que la thermogénèse alimentaire constitue la composante de la dépense énergétique du poulet de chair et de la pondeuse, qui soit la plus affectée par la chaleur.

L'accroissement de l'extrachaleur chez le poulet de chair en croissance soumis au stress thermique est en effet, rapporté par Mc Leod (1992) et par Tesseraud et Temim (1999).

Quoique les régimes distribués aux 2 types de volaille aient la même composition (80 % de céréales dont 30 % de son de blé) et que les quantités ingérées par la poule soient dans les 2 conditions de température plus élevées par rapport à celles calculées chez le poulet, la PC exprimée par rapport à l'EM ingérée est plus importante chez le poulet de chair.

Ce résultat semble tel que rapporté par Buyse *et al.*( 1992) et Nieto *et al.*(1997), lié à la faible concentration protéique du régime distribué au poulet de chair. En effet cette dernière

est de 19,5 % au lieu des 20 à 22 % classiquement apportés dans les régimes du poulet de chair en croissance.

### III.3.4. Conclusion

L'élévation de la température ambiante de 11°C réduit chez la poule pondeuse et le poulet de chair la consommation d'aliment. Cet effet est de moindre intensité chez la poule pondeuse par rapport au poulet de chair (1,5 *versus* 2,1 % /°C).

Par ailleurs, la production de chaleur calculée pour les 2 types de volailles est affectée négativement lorsque la température évolue de 21 à 32°C: -21 % et -18 % respectivement chez le poulet de chair et la poule pondeuse .

Compte tenu des interactions entre les composants de la ration, il est difficile dans nos conditions de mesure d'apprécier et de quantifier de façon précise la part du son de blé aux modifications du métabolisme énergétique que nous avons observées.

Il serait intéressant de poursuivre cette approche en réalisant des mesures comparatives de PC après distribution de régimes renfermant des taux différents de son de blé.

Du point de vue méthodologique, la mesure de la production de chaleur sur des périodes plus longues permettrait de compléter et préciser ces premiers résultats. Néanmoins dans le contexte algérien de l'élevage avicole, ces premiers résultats dégagent des perspectives intéressantes d'utilisation du son de blé dans l'alimentation de la poule pondeuse.

## CHAPITRE V PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DES POULETS DE CHAIR, DES DINDONNEAUX ET DES POULES PONDEUSES ALIMENTES AVEC DU SON DE BLE

Cette partie regroupe 3 études expérimentales réalisées en conditions d'exploitation réelle du poulet de chair, du dindonneau et de la poule pondeuse.

Les performances réalisées par ces volailles en réponse à l'introduction de son de blé dans leurs régimes alimentaires ont pour but de vérifier d'une part, la validité des résultats observés précédemment (digestibilités et potentiel énergétique du son de blé) et d'autre part, de dégager le type de volaille qui valorise le mieux le son de blé

Le son de blé est testé comme substitut partiel à la combinaison maïs-tourteau de soja; il est introduit à différents taux dans les rations expérimentales.

Les performances zootechniques obtenues après distribution des différents régimes aux 3 types de volaille sont comparées entre elles.

Les matières premières utilisées pour fabriquer les aliments ont été fournies par l'ONAB de Kouba, tandis que le son de blé utilisé a été fourni par l'entreprise ERIAD d'Alger (El Harrach).

Les 3 élevages se sont déroulés successivement dans le bâtiment avicole décrit dans la 3<sup>ème</sup> partie expérimentale du présent travail.

Avant l'arrivée des oiseaux, le local a été classiquement préparé : nettoyage, désinfection, mise en place de la litière et du matériel de chauffage, d'alimentation et d'abreuvement, fumigation et aération.

## **V.1. ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DU DINDONNEAUX EN CROISSANCE RECEVANT DES RATIONS A BASE DE SON DE BLE**

### **V.1.1. Objectif**

L'expérience a pour but de mesurer et de comparer les performances zootechniques de dindonneaux en croissance alimentés avec des rations renfermant du son de blé aux taux d'incorporation de 4, 12 et 18 % respectivement lors de la première (5 à 8 semaines d'âge) et de la deuxième phase de croissance (9 à 12 semaines d'âge).

### **V.1.2. Matériel et méthodes**

#### **V.1.2.1. Les animaux et conditions d'élevage**

L'élevage a été mené sur 350 dindonneaux de souche B.U.T. 9 réceptionnés à l'âge de un jour et installés aléatoirement dans des loges grillagées et paillées offrant des conditions d'ambiance comparables.

Un premier tri a été effectué afin d'éliminer les sujets de faible poids et ceux qui ont présenté des anomalies anatomiques. Durant les 15 premiers jours d'élevage, la densité animale observée a été de 40 sujets / m<sup>2</sup>; elle a été réduite à 20 sujets / m<sup>2</sup> lors de la 3<sup>ème</sup> et de la 4<sup>ème</sup> semaine d'élevage.

De la 1<sup>ère</sup> à la 8<sup>ème</sup> semaine, les dindonneaux ont été regroupés sous des radiants à gaz sous lesquels la température a été maintenue à 35°C durant la première semaine; elle a été amenée progressivement autour de 24°C vers la 8<sup>ème</sup> semaine.

La température ambiante du local a été en moyenne de 24°C durant les 3 premières semaines d'élevage et de 21°C de la 4<sup>ème</sup> à la 15<sup>ème</sup> semaine. L'humidité relative a été stabilisée aux environs de 68 %.

Durant la première semaine d'élevage, la poussinière n'a pas été ventilée, ce n'est qu'à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine d'élevage qu'une ventilation de type statique a été observée. Elle a été assurée par une ouverture latérale de 0,72 m<sup>2</sup> de section.

L'éclairage des parquets a été assuré en continu durant les premières 48 heures (7,5 watts / m<sup>2</sup>) grâce à 10 lampes de 4 watts à incandescence. L'intensité et la durée d'éclairage ont été par la suite progressivement réduites.

Durant les 4 premières semaines d'élevage considérées comme constituant la période pré-expérimentale de l'essai, les dindonneaux ont reçu un aliment de démarrage de type

commercial non granulé (2900 kcal / kg et 28 % MAT). L'aliment a été distribué dans des assiettes de premier âge disposées à raison d'une mangeoire pour 40 sujets, de façon régulière sur la litière. L'eau a été distribuée dans des abreuvoirs de premier âge (1 pour 50 dindonneaux).

A l'issue de la période pré-expérimentale, les dindonneaux ont été pesés après 14 heures de jeun.

Sur la base d'un poids vif homogène ( $759 \pm 12\text{g}$ ), 16 lots de 12 dindonneaux ont été constitués et répartis aléatoirement dans des loges grillagées et paillées offrant des conditions d'ambiance comparables. Pour l'ensemble des lots, la température ambiante fixée à 21°C durant la 5<sup>ème</sup> semaine a été réduite d'un degré chaque semaine pour être maintenue à 16°C à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine d'élevage. Durant les 2 périodes de croissance, la densité de 6 dindonneaux / m<sup>2</sup> a été observée.

### V.1.2.2. Les régimes alimentaires

Quatre régimes ont été testés au cours des deux périodes de croissance des dindonneaux (tableau 50). Celles-ci s'étalent respectivement de la 5<sup>ème</sup> à la 8<sup>ème</sup> semaine d'âge et de la 9<sup>ème</sup> à la 12<sup>ème</sup> semaine d'âge des oiseaux.

L'aliment témoin de croissance 1 (R0) est classique: de type maïs-soja et correspond aux normes utilisées par l'ONAB: 2900 kcal / kg et 23 % MAT.

Les 3 régimes expérimentaux diffèrent entre eux par leur concentration en son de blé (4, 12 et 18 %) et celle en huile de soja (0, 3 et 3,5 %).

L'aliment témoin de croissance 2 (R0) est également à base de maïs et de soja et répond aux caractéristiques énergétiques (2900 kcal) et protéiques (19 %) de l'aliment croissance 2 commercialisé par l'ONAB. Les 3 autres régimes expérimentaux (R4, R12 et R18) de la deuxième phase de croissance renferment du son de blé à raison de 4, 12 et 18 %. Ils sont iso énergétiques et isoprotéiques.

Lors des deux périodes de croissance, chaque régime alimentaire a été distribué à 4 lots de 12 dindonneaux. Les aliments n'ont pas été granulés et ont été présentés à volonté dans des trémies de croissance. L'eau a été distribuée dans des abreuvoirs automatiques linéaires.

### V.1.2.3. Conduite des travaux d'élevage

Le matériel d'abreuvement et d'alimentation a été nettoyé quotidiennement, le pédiluve installé à l'entrée du bâtiment a été renouvelé tous les matins et les températures ambiantes et extérieures au local d'élevage ont été relevées tous les jours.

Le programme prophylactique suivi a été celui recommandé par les services vétérinaires. Les mortalités dans chaque lot ont été relevées quotidiennement.

Matières premières	Aliment de croissance 1 (5 à 8 semaines d'âge)				Aliment de croissance 2 (9 à 12 semaines d'âge)			
Maïs (%)	59,50	56,20	46,00	42,00	67,00	66,0	57,0	52,0
Tourteau de soja (%)	36,50	36,00	35,00	33,50	27,00	26,0	25,0	24,0
Son de blé dur (%)	0	4,00	12,00	18,00	0	4,00	12,0	18,0
Huile de soja (%)	0	0	3,00	3,50	0	0	2,00	3,00
Phosphate bicalcique (%)	1,70	1,80	1,50	1,00	2,50	1,80	1,50	1,00
Calcaire (%)	1,30	1,00	1,50	1,00	2,50	1,20	1,50	1,00
CMV (%)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
EM (kcal / kg)	2897	2837	2873	2835	2902	2902	2884	2875
MAT (%)	22,87	22,96	22,82	22,66	19,0	19,0	19,0	19,0
Lysine (%)	1,27	1,27	1,27	1,24	0,99	0,98	0,98	0,97
Méthionine (%)	0,44	0,44	0,43	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
Calcium (%)	1,13	1,05	1,18	0,90	1,80	1,13	1,18	0,88
Phosphore (%)	0,73	0,78	0,78	0,75	0,89	0,78	0,77	0,71
Cellulose brute (%)	2,46	2,82	3,40	3,86	2,39	2,73	3,30	3,76

**Tableau 50.** Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux distribués aux dindonneaux en phases de croissance 1 et 2.

CMV: complément minéral vitaminique.

Supplémentation par kg d'aliment: 9800 UI Vit A; 1430 UI Vit D3; 10 mg riboflavine; 7 mg niacine; 1mg pyridoxine; 20 mcg Vit B12; 0,3 mg Ac folique; 1,5 mg biotine; 1,5 mg Vit K; 14 mg Vit E; 45 mg d'oxyde de Mn; 46 mg d'oxyde de Zn; 7,6 mcg de sulfate de Cu; 76 mg de Fe; 0,03 mg Se; 125 mg d'antioxydant; 2 ppm de Flavomycine.

#### V.1.2.4. Méthodes de mesures

Pour l'ensemble des régimes alimentaires expérimentaux, le poids vif des dindonneaux, l'ingéré cumulé et l'indice de consommation ont été mesurés. Ces performances zootechniques ont été évaluées en fin de chaque semaine de croissance.

La consommation alimentaire a été déduite par différence entre la quantité distribuée et celle refusée.

Le poids de chaque oiseau a été évalué après un jeun de 10 heures et l'indice de consommation est calculé par le rapport aliment consommé sur le poids vif du dindonneau.

Régime	Age des dindonneaux											
	5 semaines			6 semaines			7 semaines			8 semaines		
	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC
<b>R0</b>	1121 ± 108 <sup>a</sup>	2149 ± 42 <sup>a</sup>	1,92 ± 0,04 <sup>a</sup>	1446 ± 131 <sup>a</sup>	3020 ± 164 <sup>a</sup>	2,08 ± 0,11 <sup>a</sup>	1958 ± 153 <sup>a</sup>	4650 ± 203 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,13 <sup>a</sup>	2496 ± 127 <sup>a</sup>	6066 ± 249 <sup>a</sup>	2,43 ± 0,1 <sup>a</sup>
<b>R4</b>	1048 ± 97 <sup>b</sup>	2259 ± 16 <sup>a</sup>	2,15 ± 0,16 <sup>b</sup>	1593 ± 68 <sup>b</sup>	3586 ± 187 <sup>b</sup>	2,24 ± 0,11 <sup>b</sup>	2002 ± 86 <sup>a</sup>	4766 ± 113 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,05 <sup>a</sup>	2576 ± 113 <sup>b</sup>	6378 ± 212 <sup>b</sup>	2,47 ± 0,08 <sup>a</sup>
<b>R12</b>	979 ± 79 <sup>c</sup>	1893 ± 87 <sup>b</sup>	2,24 ± 0,11 <sup>b</sup>	1531 ± 108 <sup>c</sup>	3476 ± 94 <sup>b</sup>	2,27 ± 0,06 <sup>b</sup>	2176 ± 117 <sup>b</sup>	4827 ± 83 <sup>a</sup>	2,22 ± 0,04 <sup>b</sup>	2774 ± 128 <sup>c</sup>	6472 ± 160 <sup>b</sup>	2,33 ± 0,06 <sup>b</sup>
<b>R18</b>	842 ± 112 <sup>d</sup>	1895 ± 11 <sup>b</sup>	2,24 ± 0,14 <sup>b</sup>	1463 ± 97 <sup>a</sup>	3325 ± 137 <sup>b</sup>	2,28 ± 0,09 <sup>b</sup>	2139 ± 100 <sup>b</sup>	4816 ± 71 <sup>a</sup>	2,25 ± 0,03 <sup>b</sup>	2846 ± 83 <sup>d</sup>	6577 ± 118 <sup>b</sup>	2,31 ± 0,04 <sup>b</sup>

**Tableau 51.** Performances moyennes des dindonneaux recevant durant la première période de croissance, des régimes à base de son de blé dur.

a-d : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes (P < 0,05).

### V.1.2.5. Analyse statistique des résultats

Les valeurs de consommation d'aliment, du poids vif et d'indice de consommation obtenues à l'issue de cet essai, sont traitées statistiquement par une analyse de variance. Les moyennes ont été comparées entre elles par le test de Newman et Keuls.

L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé avec le logiciel Statistica version 6.

### V.1.3. Résultats

#### V.1.3.1. Performances zootechniques des dindonneaux de la 5<sup>ème</sup> à la 8<sup>ème</sup> semaine de croissance

Les ingérés moyens, les poids vifs et les indices de consommation calculés lors de cette période de croissance sont signalés dans le tableau 51.

Les dindonneaux alimentés avec le régime R0 ont présenté à tous les âges des performances inférieures à celles préconisées par le guide d'élevage des dindons de souche B.U.T 9. En effet, leurs poids respectifs à 5 et 6 semaines ont été plus faibles d'environ 20 et 27 %, tandis que les indices de consommation calculés aux mêmes âges, ont été majorés respectivement de 24 et 27 %.

A l'âge de 5 semaines, l'analyse de variance des performances réalisées par les dindonneaux, a montré que le régime alimentaire a un effet marqué (P < 0,01) sur le niveau d'ingestion, ainsi que sur le poids vif et l'indice de consommation des oiseaux.

Telle que rapportée par le tableau 51, la consommation des régimes R0 et R4 par les dindonneaux a été comparable (P > 0,05). L'introduction de son de blé aux taux de 12 et 18 % a réduit significativement la prise alimentaire à cet âge (P < 0,05).

Les 3 régimes à base de son de blé ont entraîné chez les oiseaux un indice de consommation de même ordre de grandeur, mais significativement élevé (P < 0,05) lorsqu'il est comparé à celui du régime R0. Ils ont entraîné en outre, une diminution significative (P < 0,05) du poids vif des animaux. La chute pondérale a été particulièrement sévère pour les animaux recevant le régime R18.

A 6 semaines, les oiseaux ont consommé les régimes R4, R12 et R18 de manière comparable (P < 0,05) sans toutefois entraîner des gains de poids vifs similaires. Le meilleur

gain de poids vif a été en faveur du régime R18 (620 g en moyenne contre 545 et 552 g respectivement pour R4 et R12).

Par ailleurs, les indices de consommation des régimes renfermant 4, 12 et 18 % de son de blé ont été comparables ( $P > 0,05$ ) entre eux, mais restent statistiquement faibles ( $P < 0,05$ ) lorsqu'ils sont comparés à l'IC obtenu avec le régime sans son de blé.

A l'âge de 7 semaines, les oiseaux ont consommé de façon comparable ( $P > 0,05$ ) les 4 régimes expérimentaux. Toutefois, l'efficacité alimentaire et les gains de poids les plus élevés ( $P < 0,05$ ) ont été en faveur des régimes R12 et R18.

A l'issue de la 8<sup>ème</sup> semaine d'élevage, les meilleures performances de poids et de conversion alimentaire ont été obtenues avec le régime R18.

Régime	Age des dindonneaux											
	9 semaines			10 semaines			11 semaines			12 semaines		
	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC	Poids vif (g)	Ingéré cumulé (g)	IC
<b>R0</b>	3254 ± 212 <sup>a</sup>	8167 ± 256 <sup>a</sup>	2,51 ± 0,06 <sup>a</sup>	4103 ± 322 <sup>a</sup>	11037 ± 304 <sup>a</sup>	2,69 ± 0,09 <sup>a</sup>	4847 ± 354 <sup>a</sup>	14202 ± 203 <sup>a</sup>	2,93 ± 0,10 <sup>a</sup>	5427 ± 398 <sup>a</sup>	16389 ± 401 <sup>a</sup>	3,02 ± 0,12 <sup>a</sup>
<b>R4</b>	3392 ± 196 <sup>a</sup>	8446 ± 184 <sup>b</sup>	2,49 ± 0,09 <sup>b</sup>	4210 ± 287 <sup>b</sup>	11282 ± 298 <sup>ab</sup>	2,68 ± 0,10 <sup>a</sup>	4913 ± 297 <sup>a</sup>	14297 ± 113 <sup>a</sup>	2,91 ± 0,15 <sup>a</sup>	5528 ± 301 <sup>a</sup>	16805 ± 237 <sup>b</sup>	3,04 ± 0,09 <sup>a</sup>
<b>R12</b>	3629 ± 129 <sup>b</sup>	8600 ± 93 <sup>b</sup>	2,37 ± 0,05 <sup>b</sup>	4537 ± 312 <sup>b</sup>	11342 ± 100 <sup>b</sup>	2,50 ± 0,03 <sup>b</sup>	5482 ± 189 <sup>b</sup>	15459 ± 103 <sup>b</sup>	2,82 ± 0,03 <sup>b</sup>	6182 ± 354 <sup>b</sup>	18051 ± 243 <sup>c</sup>	2,92 ± 0,10 <sup>b</sup>
<b>R18</b>	3710 ± 137 <sup>b</sup>	8644 ± 105 <sup>b</sup>	2,33 ± 0,04 <sup>b</sup>	4700 ± 124 <sup>c</sup>	11656 ± 387 <sup>c</sup>	2,48 ± 0,02 <sup>b</sup>	5634 ± 127 <sup>c</sup>	15944 ± 164 <sup>b</sup>	2,83 ± 0,03 <sup>b</sup>	6420 ± 368 <sup>c</sup>	18682 ± 201 <sup>d</sup>	2,91 ± 0,11 <sup>b</sup>

**Tableau 52.** Performances moyennes des dindonneaux recevant durant la deuxième période de croissance, des régimes à base de son de blé dur.

a-d : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes ( $P < 0,05$ )

### V.1.3.2. Performances zootechniques des dindonneaux de la 9<sup>ème</sup> à la 12<sup>ème</sup> semaine de croissance

Les performances moyennes des dindonneaux obtenues à l'issue de cette seconde étape de croissance sont regroupées dans le tableau 52.

En fin de la 9<sup>ème</sup> semaine d'élevage, les dindonneaux recevant les régimes R12 et R18 ont présenté les meilleures performances de poids et d'efficacité alimentaire ( $P < 0,05$ ). A partir de la 10<sup>ème</sup> semaine d'élevage, le régime R18 s'est distingué significativement

( $P < 0,05$ ) des trois autres par les meilleures performances qu'il a permis chez les oiseaux.

### V.1.4. Discussion

Les faibles performances du régime R0 observées à tous les âges comparativement à celles du guide d'élevage de la souche B.U.T 9 sont imputées essentiellement à 2 facteurs : la qualité nutritionnelle du régime R0 et son mode de présentation.

En effet, l'analyse critique de l'aliment R0 a montré d'une part, une carence en lysine (-21 %) et en méthionine (-32 %), tous deux, acides aminés limitants chez le dindon (Waldroup *et al.*, 1997 ; Proudfoot et Hulan, 1982) et d'autre part, un rapport EM / MAT légèrement supérieur à celui préconisé par le guide d'élevage : 127 *versus* 115 à 124.

La diminution de l'ingéré qui a résulté de ce dernier déséquilibre a entraîné la sous consommation de l'ensemble des nutriments du régime et par conséquent, une réduction du développement pondéral des oiseaux.

Quant au mode de présentation de l'aliment, il est préconisé par les services techniques d'élevage des dindons de la souche B.U.T 9, la distribution d'un aliment granulé, alors que nos conditions de travail ne nous ont pas permis de répondre à cette consigne. Or, il a été clairement démontré à travers de nombreux travaux (Hamilton, 1997 ; Afsharmanesh *et al.*, 2006 ; Lentle *et al.*, 2006) que la taille des particules alimentaires a une incidence sur les performances zootechniques chez la volaille.

Ne présentant pas alors les caractéristiques recommandées par le guide d'élevage, le régime R0 ne peut être donc considéré comme un régime témoin. Toutefois, dans le cadre de cet essai, il constitue un régime de référence car le son de blé ne rentre pas dans sa composition, mais en revanche, il se distingue par des caractéristiques nutritionnelles comparables à celles des régimes R4, R12 et R18 qui renferment du son de blé.

A l'issue de la 5<sup>ème</sup> semaine, nous expliquons la meilleure consommation des régimes R0 et R4 relativement aux régimes R12 et R18 par le picorage des oiseaux à la recherche des grosses particules alimentaires qui sont plus nombreuses dans les 2 premiers régimes.

Ce tri particulière favorisé par l'aspect pulvérulent de l'aliment est un des éléments explicatifs de la forte variabilité ( $P < 0,05$ ) du développement pondéral observé chez les dindonneaux.

Par ailleurs, l'introduction du son de blé dans les régimes alimentaires en augmente la teneur en fibres insolubles (Lairon, 1991), connues pour exercer un effet inhibiteur sur la croissance des jeunes oiseaux (Choct et Annison, 1992) en réduisant l'activité enzymatique digestive (Saki, 2005).

Au terme de la 6<sup>ème</sup> semaine d'essai, les gains de poids réalisés par les dindonneaux recevant les régimes R4, R12 et R18 ont été meilleurs que ceux calculés en fin de la 5<sup>ème</sup> semaine. Ces résultats font apparaître que le dindonneau âgé de 6 semaines utilise mieux que celui âgé de 5 semaines, les nutriments d'une ration renfermant du son de blé.

Lors de notre essai, il semblerait que la distribution des régimes expérimentaux lors de la 5<sup>ème</sup> semaine ait constitué une étape d'adaptation des oiseaux aux régimes expérimentaux distribués lors des semaines suivantes. Durant cette étape de transition, Bedbury et Duke, (1983) et Duke *et al.* (1984) rapportent que chez les dindonneaux, des modifications de l'activité cellulolytique de la flore microbienne des coeca ont lieu. Elles permettent par la suite, une meilleure utilisation de l'énergie de la ration, telle que nous l'observons à partir de la 6<sup>ème</sup> semaine d'élevage à travers les meilleures performances des dindonneaux recevant les régimes R12 et R18.

Les meilleurs IC et la plus forte prise pondérale observés à partir de la fin de la 7<sup>ème</sup> semaine chez les dindonneaux recevant les régimes R12 et particulièrement le régime R18, sont à relier à 2 facteurs : la matière grasse et les composés pariétaux du régime .

En effet, les effets bénéfiques des matières grasses du régime sur les performances du dindon ont été mis en évidence depuis près d'un demi-siècle par plusieurs travaux (Sell *et al.*, 1986). Il est bien connu aujourd'hui, qu'elles améliorent le gain de poids vif et les indices de consommation chez les dindonneaux en croissance (Kagan, 1981).



Cependant, Sell et Owing (1984) rapportent que les matières grasses ne sont utilisées efficacement par les dindonneaux que vers l'âge de 6 à 8 semaines. Cette observation est liée selon Krogdahl et Sell (1989) au fait que l'activité de la lipase pancréatique chez les dindonneaux ne soit optimale qu'à partir de l'âge de 8 semaines. Ces données justifient les résultats de notre essai qui montrent à partir de la 8<sup>ème</sup> semaine d'âge, d'intéressantes performances chez les dindonneaux recevant les régimes R12 et R18.

Par ailleurs, Leeson et Atteh (1995) signalent que l'apport d'acides gras insaturés assuré par les huiles, améliore la rétention azotée chez le dindonneau.

Quant à l'impact des composés pariétaux du régime sur les performances des dindonneaux, Douglas *et al.*(1993) précisent qu'à partir de l'âge de 8 semaines, les dindonneaux sont moins sensibles aux effets anti-nutritionnels exercés par les fibres alimentaires. Ces dernières en augmentant la longueur et le poids des intestins (Abdelsamie *et al.*, 1983), améliorent la digestibilité des nutriments et par conséquent la prise pondérale chez les oiseaux.

La tendance générale des performances observées durant les 8 semaines d'élevage concordent avec les résultats rapportés par Zubair *et al.*(1996) qui enregistrent également de bonnes performances de croissance chez les dindonneaux âgés de 6 à 10 semaines lorsque ces derniers reçoivent des rations à teneurs élevées en cellulose brute et en matières grasses.

Wallis et Balnave (1984), Ten Doeschate *et al.*(1993) expliquent ces résultats par une meilleure métabolisabilité de l'énergie chez les dindonneaux âgés. Plavnick *et al.*(2000) précisent que la meilleure utilisation de l'énergie des céréales et de leurs sous-produits par les dindonneaux augmente de la 4<sup>ème</sup> à la 8<sup>ème</sup> semaine et particulièrement de la 8<sup>ème</sup> à la 12<sup>ème</sup> semaine d'âge. Cette observation est confirmée par Palander *et al.*(2001) qui lie la meilleure valorisation de l'énergie de ce type de ration, à l'aptitude plus élevée des dindonneaux à dégrader l'amidon.

### **V.1.5. Conclusion**

Dans nos conditions expérimentales, la distribution de régimes alimentaires à base de son de blé (4,12 et 18 % d'incorporation) à des dindonneaux âgés de 4 semaines ne permet pas d'obtenir des performances intéressantes. L'effet inhibiteur du son de blé sur la croissance des dindonneaux s'estompe à partir de la 6<sup>ème</sup> semaine d'âge. C'est à 8 semaines d'âge que les dindonneaux valorisent mieux les rations où l'apport de son de blé est couplé à celui de matières grasses (R12 et R18). De la 10<sup>ème</sup> semaine à la 12<sup>ème</sup> semaine d'élevage, les meilleures performances zootechniques sont obtenues avec le régime renfermant le taux le plus élevé de son de blé (18 %).

## **V.2. ETUDE DES PERFORMANCES DU POULET DE CHAIR RECEVANT EN PERIODE DE CROISSANCE ET DE FINITION DES RATIONS A BASE DE SON DE BLE**

### **V.2.1. Objectif**

Cette expérience vise à mesurer et à comparer les performances zootechniques de poulets de chair en phase de croissance (14 - 42 jours) et de finition (43-56 jours) lorsqu'ils sont alimentés avec des rations renfermant du son de blé aux taux d'incorporation de 13, 22 et 32 %.

### **V.2.2. Matériel et méthodes**

#### **V.2.2.1. Les animaux et conditions d'élevage**

Quatre cent poussins non sexés et de souche ISA ont été réceptionnés à l'âge d'un jour. Les sujets de poids extrêmes et ceux présentant des anomalies anatomiques ont été écartés ; le reste des oiseaux a été réparti au hasard dans des loges grillagées et paillées offrant des conditions de température d'environ 32°C assurées par des radiants. L'humidité ambiante a été maintenue au voisinage de 60 %. La température a été par la suite progressivement réduite jusqu'à atteindre au bout de 3 semaines une température de 21°C.

Durant les premières 48 heures, l'éclairage des parquets a été assuré en continu par deux néons de 40 watts. Par la suite, ce type d'éclairage a été remplacé par des lampes à incandescence permettant une intensité lumineuse de 4 watts/m<sup>2</sup>.

Durant toute la période d'élevage, une ventilation de type statique a été observée. Elle a été assurée par des ouvertures latérales de 0,72 m<sup>2</sup> de section et par des extracteurs.

Durant les 13 premiers jours d'élevage qui constituent la période pré-expérimentale de l'essai, les oiseaux ont reçu à volonté de l'eau et un aliment commercial (3000 kcal d'EM / kg et 21 % MAT). Le nombre et le type de mangeoires et d'abreuvoirs a été adapté à l'âge des oiseaux.

Durant cette étape d'élevage, la densité animale observée a été de 40 sujets / m<sup>2</sup>; elle a été réduite à 20 sujets / m<sup>2</sup> lors de la période de finition.

A l'issue de la période pré-expérimentale, les poulets ont été pesés après 12 heures de jeun. Sur la base d'un poids vif comparable (259 ± 10 g), ils ont été répartis au hasard en 12 lots de 15 poulets dans des loges grillagées et paillées offrant des conditions d'ambiance comparables.

Chacun des régimes expérimentaux (R0, R13, R22 et R32) présentés dans le tableau 53 a été distribué à 3 lots de poulets de chair durant la période de croissance (14 à 42 jours d'âge). En période de finition (43 à 56 jours d'âge) les poulets ont reçu les régimes finition R0, R13, R22 et R32. L'ensemble des régimes alimentaires ont été granulés et distribués à volonté aux oiseaux.

#### **V.2.2.2. Les régimes alimentaires**

La composition et les caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux testés, figurent dans le tableau 53. Les régimes sont distribués en phase de croissance (14 - 42 jours) et en phase de finition (43 - 56 jours).

MATIERES PREMIERES	Aliment de croissance (14 – 42 jours)				Aliment de finition (43 – 56 jours)			
	R0	R13	R22	R32	R0	R13	R22	R32
Mais (%)	55,00	53,00	45,00	39,00	57,00	54,8	46,5	41,8
Tourteau de soja (%)	26,00	26,50	25,50	22,50	26,00	25,2	23,5	14,7
Son de blé dur (%)	0	13,00	22,00	32,00	0	13,0	22,0	32,0
Huile de soja (%)	1,50	1,50	3,00	4,00	2,00	2,00	3,50	4,00
Farine de luzerne (%)	14,50	-	-	-	10,00	-	-	4,50
Phosphate bicalcique (%)	1,50	3,00	1,50	1,00	2,50	2,50	1,50	1,00
CMV (%)	1,50	3,00	3,00	1,50	2,50	2,50	3,00	2,00
EM (kcal / kg)	2843	2858	2842	2839	2908	2929	2899	2884
MAT (%)	19,66	19,46	19,55	19,47	19,08	19,00	18,82	18,95
Lysine (%)	1,17	1,16	1,16	1,11	1,14	1,12	1,00	1,44
Méthionine (%)	0,35	0,35	0,35	0,34	0,35	0,34	0,34	0,41
Cellulose brute (%)	6,35	3,70	4,48	5,32	5,15	3,72	4,44	6,34

**Tableau 53.** Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux distribués aux poulets de chair en phases de croissance et de finition

L'aliment témoin de croissance (R0) est classique: il est de de type maïs–soja et répond aux normes utilisées par l'ONAB : 2800 kcal / kg et 19,5 % MAT.

Les 3 régimes expérimentaux diffèrent entre eux par leur concentration en son de blé (13, 22 et 32 %) et celle en huile de soja (1,5, 3 et 4 %).

L'aliment témoin finition (R0) est également à base de maïs et de soja et répond aux caractéristiques énergétiques (2900 kcal / kg) et protéiques (19 %) de l'aliment finition commercialisé par l'ONAB.

Les 3 autres régimes expérimentaux (R13, R22 et R32) distribués durant la période de finition renferment du son de blé à raison de 13, 22 et 32 %. Ils sont iso énergétiques et isoprotéiques.

### V.2.2.3. Conduite des travaux d'élevage

Le nettoyage du matériel d'abreuvement et d'alimentation, le renouvellement du pédiluve, l'enregistrement des températures ambiantes et extérieures au local d'élevage ont été réalisés tous les jours.

Les poulets ont été soumis aux différentes vaccinations conformément au programme prophylactique recommandé par la direction de la santé animale. Les mortalités dans chaque lot ont été relevées quotidiennement.

#### V.2.2.4. Méthodes de mesures

Pour l'ensemble des régimes alimentaires expérimentaux, le poids vif des poulets, l'ingéré cumulé et l'indice de consommation ont été mesurés. Ces performances zootechniques sont évaluées en fin de chaque période d'élevage (14 à 42 jours et 43 à 56 jours), ainsi que pour toute la durée d'élevage (14 à 56 jours).

Le poids de chaque oiseau est évalué après un jeun de 10 heures et l'indice de consommation est calculé par le rapport aliment consommé sur le poids vif de l'oiseau.

Régime alimentaire	Poids vif (g)	Gain de poids vif (g)	Consommation (g/sujet)	IC	Signification statistique			
					Poids vif	Gain de poids vif	Consommation	IC
R0	1602 ± 110 <sup>a</sup>	1345 ± 101 <sup>a</sup>	3124 ± 166 <sup>a</sup>	2,32 ± 0,05 <sup>a</sup>	***	***	NS	**
R13	1575 ± 157 <sup>a</sup>	1312 ± 144 <sup>a</sup>	3150 ± 145 <sup>a</sup>	2,42 ± 0,36 <sup>a,b</sup>				
R22	1221 ± 80 <sup>b</sup>	965 ± 90 <sup>b</sup>	3051 ± 45 <sup>a</sup>	3,18 ± 0,34 <sup>b</sup>				
R32	978 ± 100 <sup>c</sup>	719 ± 108 <sup>c</sup>	3007 ± 96 <sup>a</sup>	4,26 ± 0,74 <sup>c</sup>				

**Tableau 54.** Performances zootechniques moyennes du poulet de chair recevant en phase de croissance (14-42jours) des régimes à base de son de blé

a,b,c, Sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes (P < 0,05).

NS : P > 0,05 ; \* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01 ; \*\*\* : P < 0,001

Régime alimentaire	Poids vif (g)	Gain de poids vif (g)	Consommation (g/sujet)	IC	Signification statistique			
					Poids vif	Gain de poids vif	Consommation	IC
R0	2484 ± 103 <sup>a</sup>	882 ± 178 <sup>a</sup>	2293 ± 135 <sup>a</sup>	2,67 ± 0,57 <sup>a</sup>	***	**	NS	*
R13	2404 ± 100 <sup>a</sup>	829 ± 111 <sup>a</sup>	2251 ± 111 <sup>a</sup>	2,74 ± 0,30 <sup>a</sup>				
R22	1725 ± 52 <sup>b</sup>	505 ± 65 <sup>b</sup>	2304 ± 172 <sup>a</sup>	4,63 ± 0,88 <sup>b</sup>				
R32	1509 ± 68 <sup>c</sup>	531 ± 127 <sup>b</sup>	2342 ± 135 <sup>a</sup>	4,62 ± 1,35 <sup>b</sup>				

**Tableau 55.** Performances zootechniques moyennes du poulet de chair en phase de finition (43-56jours) des régimes à base de son de blé

a,b,c, Sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes (P < 0,05).

NS : P > 0,05 ; \* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01 ; \*\*\* : P < 0,00

#### V.2.2.5. Analyse statistique des résultats

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica version 6. Les valeurs de consommation d'aliment, du poids vif et d'indice de consommation obtenues à l'issue de chaque période d'élevage, ont été traitées statistiquement par l'analyse de la variance (ANOVA). Les différences entre les moyennes des traitements ont été évaluées par le test de comparaison des moyennes de Newman et Keuls

#### V.2.3. Résultats

##### V.2.3.1. Performances zootechniques des poulets de chair en phase de croissance

Les performances animales observées à l'issue des 28 jours de croissance des poulets sont consignées dans le tableau 54. Le niveau de consommation des 4 régimes par les oiseaux est comparable ( $P > 0,05$ ).

Telle que l'indique les résultats de l'analyse de variance (tableau 54), l'introduction de son de blé aux taux expérimentaux est sans incidence statistique sur la consommation par les jeunes poulets.

En revanche, l'effet « nature du régime » est très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) d'une part, sur le poids et le gain de poids vif des oiseaux et d'autre part, très significatif ( $P < 0,01$ ) sur l'efficacité alimentaire calculée.

En effet, les performances de poids et d'efficacité alimentaire sont comparables ( $P > 0,05$ ) chez les poulets alimentés avec les régimes R0 et R13 et plus intéressantes ( $P < 0,05$ ) par rapport à celles calculées chez les poulets recevant les régimes R22 et R32.

Le régime R32 a entraîné comparativement aux 3 autres les plus mauvaises ( $P < 0,05$ ) performances.

### **V.2.3.2. Performances zootechniques des poulets de chair en phase de finition**

A la fin de la période de finition, les mesures réalisées ont permis de calculer les performances animales signalées dans le tableau 55.

La tendance des résultats observée durant la période de croissance se maintient. L'analyse de variance des résultats obtenus (tableau 55) indique que le facteur régime n'a pas d'effet statistique ( $P > 0,05$ ) sur la quantité d'aliment ingéré par les oiseaux puisque que celle-ci est comparable entre les 4 régimes ( $P > 0,05$ ). Cependant, l'introduction du son de blé dans les régimes a un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) sur le poids vif des oiseaux, et significatif ( $P < 0,05$ ) sur l'indice de consommation et le gain de poids vif des poulets.

Les régimes R0 et R13 permettent de meilleures performances ( $P < 0,05$ ) de poids et d'efficacité alimentaire en comparaison avec celles observées avec les régimes R22 et R32. Toutefois, le même niveau de performances ( $P > 0,05$ ) est obtenu chez les poulets alimentés avec les régimes R22 et R32.

### **V.2.3.3. Performances zootechniques des poulets de chair de la phase de croissance à la phase de finition**

Les performances de poids et d'indice de consommation atteintes durant les 6 semaines d'élevage apparaissent dans le tableau 56. Telle que révélée par l'analyse de variance des résultats, l'incorporation de son de blé aux taux observés dans cet essai a une incidence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) sur le gain de poids vif des oiseaux et sur l'indice de consommation. En revanche, le niveau d'ingestion des régimes expérimentaux n'est pas soumis à ce facteur de variation ( $P > 0,05$ ).

L'ordre de grandeur des gains de poids, de la consommation et de l'indice de consommation est, durant toute la durée de l'élevage comparable ( $P > 0,05$ ) chez les oiseaux recevant les régimes R0 et R13. Les performances réalisées avec ces 2 régimes alimentaires sont statistiquement supérieures ( $P < 0,05$ ) à celles permises par les régimes à plus fort taux d'incorporation de son de blé (22 et 32 %).

Le gain de poids vif et l'indice de consommation des poulets alimentés avec le régime R32 sont statistiquement plus mauvais ( $P < 0,05$ ) que ceux calculés pour les oiseaux recevant le régime R22.

MATIERES PREMIERES	Aliment ponte (23 – 30 semaines)			
	R0	R13	R23	R35
Mais (%)	64,00	60,00	53,50	42,00
Tourteau de soja (%)	15,50	15,00	15,00	12,00
Son de blé dur (%)	0	13,00	23,00	35,00
Huile de soja (%)	-	-	2,00	4,00
Farine de luzerne (%)	14,00	5,50	-	-
Phosphate bicalcique (%)	0,65	0,65	0,65	0,65
CMV (%)	2,35	2,35	2,35	2,85
Ca CO 3	3,50	3,50	3,50	3,50
EM (kcal/kg)	2722	2708	2787	2712
MAT (%)	15,33	15,47	15,66	15,19
Lysine (%)	0,71	0,82	0,83	0,63
Méthionine (%)	0,29	0,29	0,29	0,27
Cellulose brute (%)	6,00	4,90	4,40	5,30

*Tableau 56. Performances zootechniques moyennes du poulet de chair recevant en phases de croissance à la phase de finition (14-56 jours) des régimes à base de son de blé.*

a,b,c, Sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ).

NS :  $P > 0,05$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$ .

#### V.2.4. Discussion

De l'essai mené sur les poulets de chair, il en résulte que quelque soit la période d'élevage, le régime R13 permet des performances statistiquement comparables à celles permises par le régime témoin. De plus, les performances animales obtenues avec ces 2 régimes sont significativement meilleures ( $P < 0,05$ ) que celles enregistrées avec les régimes R22 et R32.

L'efficacité alimentaire des poulets de chair recevant le régime témoin est légèrement plus intéressante par rapport à celle notée dans la plupart des élevages avicoles en Algérie. Nous expliquons ce résultat par l'utilisation d'un aliment granulé lors de notre essai, alors que dans les élevages avicoles la granulation de l'aliment n'est pas encore une pratique courante.

Nous notons par ailleurs que les performances que nous avons enregistrées avec le régime R13 sont comparables à celles obtenues après distribution de régimes ne renfermant pas de son de blé, mais de la farine basse aux taux de 5 % (Mossab et Achouri, 1995).

Les faibles performances des poulets de chair recevant les rations à taux relativement élevés de son de blé (22 et 32 %) sont similaires à celles observées dès 1947 par Carrick et Roberts pour des rations renfermant 20 % de son de blé.

De telles performances sont sans doute liées à l'action combinée des fibres solubles et insolubles que renferme cette issue de meunerie. En effet, selon Choct et Annison (1992) les pentosanes exercent un effet inhibiteur sur l'utilisation digestive des lipides, des protéines et de l'amidon. Le mécanisme de cette action inhibitrice des fibres solubles n'est pas encore totalement élucidé quoique Langhout (1998) incrimine la prolifération de la flore microbienne du tractus digestif dans l'effet anti-nutritionnel observé.

Par ailleurs, quoique Krogdahl (1986) rapporte un effet indésirable des fibres insolubles sur la digestion et l'absorption des nutriments chez la volaille, Carré (1990); Angkanaporn *et al.*(1994) précisent qu'elles n'interfèrent pas dans ces processus.

### **V.2.5. Conclusion**

Chez le poulet de chair en période de croissance, les meilleures performances sont observées avec le régime témoin et le régime R13. Le gain de poids vif des poulets et la quantité d'aliment ingéré par les oiseaux recevant les régimes R 22 et R 32 sont comparables ( $P > 0,05$ ) mais relativement faibles ( $P < 0,05$ ) par rapport aux performances observées avec les régimes R0 et R 13.

En période de finition, c'est encore les régimes R0 et R13 qui permettent les meilleures performances. Pour l'ensemble de la période expérimentale, le régime R13 se distingue des régimes renfermant du son de blé par les meilleures performances zootechniques qu'il permet ( $P < 0,05$ ) et qui sont comparables ( $P > 0,05$ ) à celles obtenues avec le régime témoin.

L'introduction du son de blé à raison de 13 % dans les régimes destinés aux poulets de chair, n'a pas d'incidence sur leurs performances zootechniques aussi bien en phases de croissance que de finition. En revanche, avec des aliments renfermant des taux de son de blé de 22 et 32 %, les performances chutent fortement quelque soit l'âge de l'animal.

## **V.3. ETUDE DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE LA POULE PONDEUSE RECEVANT DES RATIONS A BASE DE SON DE BLE**

### **V.3.1. Objectif**

L'expérience a pour objectif de mesurer et de comparer les performances zootechniques de poules pondeuses en début de cycle de production (de la 23<sup>ème</sup> à la 30<sup>ème</sup> semaine) lorsqu'elles reçoivent des régimes alimentaires renfermant du son de blé aux taux de 13, 23 et 35 %.

### **V.3.2. Matériel et méthodes**

#### **V.3.2.1. Les animaux et conditions d'élevage**

Des poules de souche ISABROWN au nombre de 80 ont été réceptionnées à l'âge de 18 semaines. Elles ont été installées en batterie de type californienne à raison de 3 poules par cage et ont reçu *ad libitum* un aliment renfermant 14 % de protéines et 2600 kcal d'EM / kg.

A la 19<sup>ème</sup> semaine la transition alimentaire a été effectuée comme suit :

19<sup>ème</sup> semaine : 75 % de l'aliment poulette mélangés à 25 % de l'aliment ponte.

20<sup>ème</sup> semaine : 50 % de l'aliment poulette mélangés à 50 % de l'aliment ponte.

21<sup>ème</sup> semaine : 25 % de l'aliment poulette mélangés à 75 % de l'aliment ponte.

22<sup>ème</sup> semaine : 100 % de l'aliment ponte.

L'approvisionnement des poules en eau a été assuré à volonté grâce à un système d'abreuvement automatique.

Durant toute la période d'élevage, l'humidité relative du bâtiment a été maintenue à 60 % et la durée d'éclairage initialement de 12 heures à la 19<sup>ème</sup> semaine a été progressivement augmentée à 16 heures à la 25<sup>ème</sup> semaine. Ce rythme lumineux a été maintenu les semaines suivantes. La température ambiante du local a été de l'ordre de 21°C.

Les poules ont été soumises aux différentes vaccinations tel que le stipule le programme prophylactique recommandé par la direction de la santé animale.

A l'issue de la 23<sup>ème</sup> semaine d'élevage, l'ensemble des poules a été pesé après 12 heures de jeun. Sur la base d'un poids vif comparable ( $1625 \pm 125$  g), 48 poules ont été sélectionnées puis réparties aléatoirement dans des cages d'une batterie. Chaque cage a abrité 3 poules et chaque lot de poules appartenant à 4 cages a reçu le même régime alimentaire.

### V.3.2.2. Les régimes alimentaires

La composition et les caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux testés, figurent dans le tableau 57. Les régimes sont distribués sous forme de granulés durant les 8 semaines d'élevage.

L'aliment témoin de croissance (R0) est classique: de type maïs-soja et correspond aux normes utilisées par l'ONAB : 2700 kcal / kg et 15-16 % MAT. Les 3 régimes expérimentaux diffèrent entre eux par leur concentration en son de blé (13, 23 et 35 %) et celle en huile de soja (2 et 4 % respectivement pour R23 et R35). Les régimes alimentaires sont iso énergétiques et isoprotéiques.



MATIERES PREMIERES	Aliment ponte (23 – 30 semaines)			
	R0	R13	R23	R35
Maïs (%)	64,00	60,00	53,50	42,00
Tourteau de soja (%)	15,50	15,00	15,00	12,00
Son de blé dur (%)	0	13,00	23,00	35,00
Huile de soja (%)	-	-	2,00	4,00
Farine de luzerne (%)	14,00	5,50	-	-
Phosphate bicalcique (%)	0,65	0,65	0,65	0,65
CMV (%)	2,35	2,35	2,35	2,85
Ca CO <sub>3</sub>	3,50	3,50	3,50	3,50
EM (kcal / kg)	2722	2708	2787	2712
MAT (%)	15,33	15,47	15,66	15,19
Lysine (%)	0,71	0,82	0,83	0,63
Méthionine (%)	0,29	0,29	0,29	0,27
Cellulose brute (%)	6,00	4,90	4,40	5,30

*Tableau 57. Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux distribués aux poules pondeuses de la 23<sup>ème</sup> à la 30<sup>ème</sup> semaine de production.*

CMV: complément minéral vitaminique.

Supplémentation par kg d'aliment: 9800 UI Vit A; 1430 UI Vit D3; 10 mg riboflavine; 7 mg niacine; 1 mg pyridoxine; 20 mg Vit B12; 0,3 mg Ac folique; 1,5 mg biotine; 2,5 mg Vit K; 14 mg Vit E ; 45 mg d'oxyde de Mn; 46 mg d'oxyde de Zn; 0,9 mg Co; 0,98 mg I; 25 mg Mg; 7,6 mg de sulfate de Cu; 76 mg de Fe; 0,03 mg Se; 125 mg d'antioxydant; 2 ppm de Flavomycine.

### V.3.2.3. Conduite des travaux d'élevage

L'inspection des animaux a été quotidienne, elle a permis d'effectuer les différentes opérations suivantes :

- La distribution des aliments (R0, R13, R23 et R35) préalablement pesés à 9 heures et selon le même ordre de cages.
- La collecte des oeufs au niveau de chaque cage, leur identification et leur pesée. Le nombre d'œufs cassés est également noté.
- Le contrôle du matériel d'abreuvement et d'alimentation.
- Le relevé des températures ambiantes et extérieures au local d'élevage.
- Le relevé des mortalités pour chaque lot.

Pour l'ensemble des cages, le refus d'aliment a été pesé en fin de chaque semaine d'élevage et les mangeoires ont été aussitôt nettoyées.

### V.3.2.4. Méthodes de mesures

Pour l'ensemble des régimes alimentaires expérimentaux, les paramètres zootecniques suivants ont été calculés.

Age (semaines)	Paramètre	Régime R0	Régime R13	Régime R23	Régime R35	Signification statistique			
						Consom-mation	Taux de ponte	IC	Poids des oeufs
23	Consommation	298 ± 78 <sup>a</sup>	332 ± 62 <sup>a</sup>	380 ± 80 <sup>a</sup>	362 ± 47 <sup>a</sup>	NS	***	***	NS
	Taux de ponte	93,9 ± 1,46 <sup>a</sup>	94,11 ± 1,95 <sup>ab</sup>	96,66 ± 1,84 <sup>b</sup>	89,67 ± 1,83 <sup>c</sup>				
	IC	2,11 ± 0,13 <sup>a</sup>	2,30 ± 0,17 <sup>ab</sup>	2,52 ± 0,13 <sup>b</sup>	2,79 ± 0,14 <sup>c</sup>				
	Poids des oeufs	50,15 ± 2,30 <sup>abc</sup>	51,06 ± 0,87 <sup>abc</sup>	52,00 ± 2,76 <sup>b</sup>	48,10 ± 1,19 <sup>c</sup>				
24	Consommation	313 ± 79 <sup>a</sup>	350 ± 89 <sup>a</sup>	353 ± 97 <sup>a</sup>	374 ± 53 <sup>a</sup>	NS	**	***	**
	Taux de ponte	94,37 ± 1,25 <sup>ab</sup>	94,12 ± 2,18 <sup>a</sup>	97,16 ± 1,87 <sup>b</sup>	90,07 ± 2,34 <sup>c</sup>				
	IC	2,17 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,39 ± 0,17 <sup>a</sup>	2,26 ± 0,16 <sup>a</sup>	2,89 ± 0,16 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	50,99 ± 1,40 <sup>a</sup>	51,94 ± 1,07 <sup>a</sup>	53,70 ± 2,68 <sup>a</sup>	47,93 ± 1,84 <sup>b</sup>				
25	Consommation	323 ± 83 <sup>a</sup>	356 ± 81 <sup>a</sup>	366 ± 90 <sup>a</sup>	370 ± 57 <sup>a</sup>	NS	**	***	***
	Taux de ponte	94,11 ± 1,73 <sup>a</sup>	95,31 ± 2,39 <sup>a</sup>	96,84 ± 2,04 <sup>a</sup>	89,96 ± 2,54 <sup>b</sup>				
	IC	2,19 ± 0,15 <sup>a</sup>	2,39 ± 0,11 <sup>a</sup>	2,32 ± 0,17 <sup>a</sup>	2,90 ± 0,17 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	51,95 ± 1,48 <sup>a</sup>	52,15 ± 1,28 <sup>a</sup>	54,38 ± 2,39 <sup>a</sup>	47,26 ± 1,45 <sup>b</sup>				
26	Consommation	329 ± 85 <sup>a</sup>	370 ± 78 <sup>a</sup>	377 ± 85 <sup>a</sup>	382 ± 67 <sup>a</sup>	NS	***	***	***
	Taux de ponte	94,75 ± 2,06 <sup>a</sup>	95,58 ± 2,45 <sup>a</sup>	97 ± 1,02 <sup>a</sup>	89,96 ± 1,59 <sup>b</sup>				
	IC	2,20 ± 0,11 <sup>a</sup>	2,45 ± 0,20 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,18 <sup>a</sup>	2,95 ± 0,20 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	52,50 ± 1,60 <sup>a</sup>	52,64 ± 0,85 <sup>a</sup>	54,48 ± 2,33 <sup>a</sup>	48,06 ± 1,39 <sup>b</sup>				
27	Consommation	346 ± 73 <sup>a</sup>	376 ± 73 <sup>a</sup>	369 ± 98 <sup>a</sup>	390 ± 75 <sup>a</sup>	NS	**	***	**
	Taux de ponte	95,11 ± 2,09 <sup>a</sup>	95,44 ± 2,09 <sup>a</sup>	97,34 ± 1,22 <sup>a</sup>	91,13 ± 2,08 <sup>b</sup>				
	IC	2,24 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,42 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,25 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,97 ± 0,15 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	53,51 ± 1,64 <sup>a</sup>	54,19 ± 1,71 <sup>a</sup>	56,17 ± 3,40 <sup>a</sup>	48,10 ± 1,26 <sup>b</sup>				
28	Consommation	349 ± 72 <sup>a</sup>	384 ± 68 <sup>a</sup>	387 ± 95 <sup>a</sup>	395 ± 76 <sup>a</sup>	NS	***	***	***
	Taux de ponte	95,24 ± 1,47 <sup>a</sup>	95,64 ± 1,84 <sup>a</sup>	97,04 ± 0,84 <sup>a</sup>	90,64 ± 1,59 <sup>b</sup>				
	IC	2,23 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,40 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,23 ± 0,14 <sup>a</sup>	3,08 ± 0,15 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	54,77 ± 1,02 <sup>a</sup>	55,84 ± 0,58 <sup>a</sup>	59,48 ± 1,57 <sup>b</sup>	47,13 ± 1,15 <sup>c</sup>				
29	Consommation	357 ± 70 <sup>a</sup>	393 ± 72 <sup>a</sup>	391 ± 89 <sup>a</sup>	404 ± 71 <sup>a</sup>	NS	***	***	***
	Taux de ponte	95,27 ± 1,04 <sup>a</sup>	96,24 ± 1,79 <sup>a</sup>	97,24 ± 1,75 <sup>a</sup>	91,02 ± 1,46 <sup>b</sup>				
	IC	2,25 ± 0,16 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,15 <sup>a</sup>	2,19 ± 0,18 <sup>a</sup>	3,10 ± 0,21 <sup>b</sup>				
	Poids des oeufs	55,42 ± 1,00 <sup>a</sup>	56,57 ± 0,84 <sup>a</sup>	61,13 ± 1,95 <sup>b</sup>	47,66 ± 0,93 <sup>c</sup>				
30	Consommation	366 ± 62 <sup>a</sup>	402 ± 77 <sup>a</sup>	405 ± 84 <sup>a</sup>	421 ± 76 <sup>a</sup>	NS	**	***	***
	Taux de ponte	95,42 ± 2,02 <sup>a</sup>	96,69 ± 0,91 <sup>a</sup>	97,04 ± 2,49 <sup>a</sup>	91,36 ± 1,76 <sup>b</sup>				

**Tableau 58.** Valeurs moyennes hebdomadaires de consommation(g/ cage), du taux de ponte (%) de l'indice de consommation et du poids des œufs (g) calculées pour les régimes R0, R13, R23 et R35.

abc : Sur une même ligne, les valeurs affectées d'une lettre différente, sont statistiquement différentes (P < 0,05) ; NS : P > 0,05 ; \* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01 ; \*\*\* : P < 0,001.

#### V.3.2.4.1. L'ingéré alimentaire (I)

---

Il a été obtenu par différence entre la quantité d'aliment distribué et celle de l'aliment refusé.

$$I \text{ (g)} = \text{Aliment distribué (g)} - \text{aliment refusé (g)}$$

#### **V.3.2.4.2. Le taux de ponte**

Il représente le pourcentage d'œufs pondus rapportés au nombre de journées pondeuses

$$\text{Taux de ponte (\%)} = (\text{Nombre d'œufs pondus} / \text{Nombre de journées pondeuses}) \times 100$$

#### **V.3.2.4.3. L'indice de consommation**

$$\text{IC} = \text{Quantité d'aliment ingéré} / (\text{nombre d'œufs} \times \text{poids moyen de l'œuf})$$

#### **V.3.2.4.4. Le poids moyen de l'œuf**

$$\text{Poids moyen de l'œuf (g)} = \text{Poids des œufs (g)} / \text{Nombre d'œufs}$$

#### **V.3.2.4.5. Le taux de casse**

$$\text{Taux de casse (\%)} = (\text{Nombre d'œufs cassés} / \text{Nombre d'œufs pondus}) \times 100$$

### **V.3.2.5. Analyse statistique des résultats**

Les valeurs de consommation d'aliment, du poids vif et d'indice de consommation obtenues à l'issue de chaque période d'élevage, ont été traitées statistiquement par une analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification à l'aide du logiciel Statistica version 6. Les différences entre les moyennes des traitements ont été évaluées par le test de comparaison des moyennes de Newman et Keuls.

### **V.3.3. Résultats**

Les valeurs moyennes des critères zootechniques calculés pour chaque régime et pour chacune des 8 semaines d'élevage des poules pondeuses, sont rassemblées dans le tableau 58.

Celui-ci indique que les poules de même âge ont un niveau d'ingestion comparable ( $P > 0,05$ ) quelque soit le taux de son de blé que les régimes alimentaires renferment.

Les niveaux d'ingestion moyenne par poule durant la 23<sup>ème</sup>, 24<sup>ème</sup>, 25<sup>ème</sup>, 26<sup>ème</sup>, 27<sup>ème</sup>, 28<sup>ème</sup>, 29<sup>ème</sup>, et 30<sup>ème</sup> semaine sont respectivement de 115, 116, 118, 122, 123, 126, 129 et 133 g.

En revanche, il apparaît dans le même tableau que les paramètres de taux de ponte, d'indice de consommation et de poids des œufs sont soumis à l'effet plus ou moins drastique du niveau d'incorporation du son de blé dans le régime alimentaire des poules pondeuses.

En effet, l'analyse de variance à un facteur (régime) révèle que le taux de ponte est très fortement réduit ( $P < 0,001$ ) par la nature du régime chez les poules âgées de 23, 26, 28 et 29 semaines. Cet effet est moins sévère ( $P < 0,01$ ) à la 24, 25, 27, 29 et 30<sup>ème</sup> semaine d'élevage.

Paramètre zootechnique	Période d'élevage (semaines)	Régime R0	Régime R13	Régime R23	Régime R35	Signification statistique
Ingéré moyen (g/j/ 3 poules)	23 <sup>ème</sup> - 26 <sup>ème</sup>	316±74 <sup>a</sup>	352±71 <sup>ab</sup>	369±80 <sup>b</sup>	372±51 <sup>c</sup>	NS
	27 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	354±63 <sup>a</sup>	389±66 <sup>a</sup>	388±83 <sup>a</sup>	403 ± 68 <sup>a</sup>	NS
	23 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	335±70 <sup>a</sup>	370±70 <sup>b</sup>	379±81 <sup>b</sup>	387±61 <sup>b</sup>	*
Taux de ponte (%)	23 <sup>ème</sup> - 26 <sup>ème</sup>	94,28±1,52 <sup>a</sup>	94,80±2,13 <sup>a</sup>	96,92±1,57 <sup>b</sup>	90,60±3,33 <sup>c</sup>	***
	27 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	95,26±1,53 <sup>a</sup>	96,00±1,62 <sup>a</sup>	97,16±1,52 <sup>b</sup>	91,04±1,60 <sup>c</sup>	***
	23 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	94,77±1,58 <sup>a</sup>	95,40±1,96 <sup>a</sup>	97,04±1,52 <sup>b</sup>	90,82±2,58 <sup>c</sup>	***
Indice de consommation	23 <sup>ème</sup> - 26 <sup>ème</sup>	2,17±0,13 <sup>a</sup>	2,38±0,16 <sup>bc</sup>	2,37±0,17 <sup>c</sup>	2,88±0,16 <sup>d</sup>	***
	27 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	2,25±0,13 <sup>a</sup>	2,41±0,13 <sup>b</sup>	2,22±0,14 <sup>a</sup>	3,08±0,17 <sup>c</sup>	***
	23 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	2,21±0,13 <sup>a</sup>	2,40±0,15 <sup>b</sup>	2,29±0,17 <sup>c</sup>	2,98±0,19 <sup>d</sup>	***
Poids de l'œuf (g)	23 <sup>ème</sup> - 26 <sup>ème</sup>	51,40±1,80 <sup>a</sup>	51,95±1,10 <sup>a</sup>	53,61±2,50 <sup>b</sup>	47,84±1,37 <sup>c</sup>	***
	27 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	54,85±1,36 <sup>a</sup>	55,94±1,48 <sup>a</sup>	59,91±3,21 <sup>b</sup>	47,80±1,15 <sup>c</sup>	***
	23 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	53,12±2,35 <sup>ac</sup>	53,95±2,40 <sup>a</sup>	56,76±4,27 <sup>b</sup>	47,82±1,25 <sup>c</sup>	***
Taux de casse (%)	23 <sup>ème</sup> - 26 <sup>ème</sup>	1,74± 0,76 <sup>ab</sup>	2,11 ± 0,84 <sup>ab</sup>	1,33 ± 0,12 <sup>ab</sup>	2,78 ± 1,14 <sup>ac</sup>	NS
	27 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	3,52± 2,53 <sup>ac</sup>	2,36 ± 1,98 <sup>ab</sup>	1,61 ± 0,59 <sup>ab</sup>	6,48 ± 2,08 <sup>c</sup>	*
	23 <sup>ème</sup> - 30 <sup>ème</sup>	2,82 ± 2,06 <sup>ac</sup>	2,23 ± 1,41 <sup>ac</sup>	1,47 ± 0,42 <sup>a</sup>	3,81 ± 2,36 <sup>c</sup>	NS

**Tableau 59.** Valeurs moyennes de consommation (g/cage), du taux de ponte (%) de l'indice de consommation et du poids des œufs (g) calculées pour les régimes R0, R13, R23 et R35 durant les 2 mois de production.

abc : sur une même ligne, les valeurs affectées d'une lettre différente, sont statistiquement différentes (P < 0,05).

\* : P < 0,05 ; \*\*\* : P < 0,001 ; NS : P > 0,05

Le taux de ponte des poules alimentées avec le régime R35 n'excède pas quelque soit la semaine de production considérée, les 90 %. En valeur absolue, le taux de ponte le plus élevé (environ 97 %) est observé chez les poules recevant le régime renfermant 23 % de son de blé. Les poules recevant les régimes R0, R13 et R23 ont des taux de ponte globalement comparables (P > 0,05) et statistiquement supérieurs (P < 0,05) à ceux observés avec les poules alimentées avec le régime R35.

Tel que indiqué par le tableau 58, quelque soit la semaine de production d'œufs, le plus mauvais indice de consommation (P < 0,05) est observé avec le régime R35. En revanche, les régimes R0, R13 et R23 ont permis de meilleurs indices de consommations qui de plus, sont comparables entre eux (P > 0,05). Par ailleurs, l'analyse de variance a montré que l'indice de consommation est fortement affecté (P < 0,001) par la nature du régime lors de chaque semaine de production.

Quant au poids des œufs, il n'est pas modifié (P > 0,05) par l'introduction du son de blé dans les régimes durant la 23<sup>ème</sup> semaine de production. A partir de la 24<sup>ème</sup> semaine, cet effet se manifeste très sévèrement (P < 0,001) particulièrement lors de la 25<sup>ème</sup>, 26<sup>ème</sup>, 28<sup>ème</sup>, 29<sup>ème</sup> et 30<sup>ème</sup> semaine de production.

Lorsque les performances zootechniques mesurées sont analysées sur des périodes de 4 ou 8 semaines (tableau59), il apparaît qu'à l'exception du niveau de consommation et du taux de casse des œufs, l'incorporation du son de blé affecte très significativement (P < 0,001) l'ensemble des autres paramètres mesurés dans cet essai.

Le calcul du niveau d'ingestion sur toute la durée de l'essai (2 mois) a indiqué que c'est le régime R0 qui est le moins consommé (P < 0,05): 112 g contre 124, 126 et 129 g respectivement pour les régimes R13, R23 et R35.

Le taux de ponte le plus élevé (P < 0,05) est réalisé par les poules alimentées avec le régime R23. Durant les 8 semaines de production, ce paramètre est en moyenne de 97 % contre 95, 95 et 91 % respectivement avec les régimes R0, R13 et R35.

Le poids des œufs suit la même tendance de résultats que le taux de ponte, les œufs pondus par les poules alimentées avec le régime R23 ont en moyenne sur les 8 semaines d'élevage, un plus gros calibre: 57 g alors que les œufs pondus par les poules recevant les régimes R0, R13 et R35 ont un poids plus faible, respectivement de 53, 54 et 48 g.

L'efficacité alimentaire est significativement différente ( $P < 0,05$ ) selon les régimes considérés. Calculée sur l'ensemble de la période d'élevage, elle est respectivement de 2,21, 2,40, 2,29 et 2,98 pour les régimes R0, R13, R23 et R35.

Telle que indiquée par le tableau 59, l'analyse de variance n'a pas révélé d'effet significatif ( $P > 0,05$ ) du régime alimentaire sur le taux moyen de casse des œufs calculé durant les 4 premières semaines de ponte et durant les 2 mois de production.

En revanche, ce paramètre zootechnique est significativement ( $P < 0,05$ ) modifié par l'incorporation du son de blé dans les régimes alimentaires durant la période d'élevage allant de la 27<sup>ème</sup> à la 30<sup>ème</sup> semaine.

Durant l'ensemble de la période d'élevage, le lot de poules alimentées avec le régime R23, s'est caractérisé par le taux de casse moyen le plus faible: 1,47 % quoique sur le plan statistique, il soit comparable ( $P > 0,05$ ) à celui calculé pour les lots R0 et R13. En revanche, avec le régime R35, le taux de casse est relativement élevé en comparaison à ceux calculés pour les 3 autres régimes.

Nous n'avons enregistré que 2 mortalités lors de la première semaine de production, la première dans le lot des poules recevant le régime R0 et la seconde dans le lot des poules alimentées avec le régime R35.

### V.3.4. Discussion

L'intérêt donné à l'utilisation des sous-produits de blé dans l'alimentation des poules pondeuses remonte à quelques décennies. En 1941, Bearnse a rapporté que l'introduction d'un mélange d'issues de meunerie de blé à raison de 50 % dans la ration de la poule pondeuse n'affecte pas sévèrement la production d'œufs le taux de mortalité.

Patterson *et al.*(1988) ont confirmé ce résultat et ont précisé que l'incorporation de 43 % de mélange d'issues de meunerie dans l'aliment ponte, permettait d'observer des performances comparables à celles obtenues avec un régime alimentaire classique.

Dans la gamme des produits de meunerie, les sons de blé ne sont pas couramment utilisés dans l'alimentation avicole du fait de leur faible valeur énergétique (Enochian *et al.*, 1978 ; Saunders *et al.*, 1974).

Dans notre étude, les meilleures performances (taux de ponte et de casse, poids de l'œuf) sont obtenues avec le régime renfermant 23 % de son de blé. Avec les taux de d'incorporation de 0 et 13 %, les performances sont moins bonnes tandis qu'au seuil de 35% d'utilisation du son de blé, les performances chutent drastiquement.

L'introduction du son de blé à raison de 13 % dans le régime des pondeuses n'a pas modifié le taux de ponte et de casse ainsi que le poids de l'œuf comparativement à ceux observés chez les poules alimentées avec le régime ne contenant pas de son de blé. Nos résultats sont en accord avec ceux présentés par Cherry et Jones (1982).

Les résultats que nous avons obtenus avec le régime R23 sont en accord avec ceux rapportés par Allen *et al.*(1979) pour des poules pondeuses alimentées avec un régime renfermant 20 % de son de blé. Des résultats similaires ont été également obtenus par

Longe (1984) après incorporation dans l'aliment des pondeuses de 20 % de résidus d'amidon de manioc.

Dans les conditions expérimentales de cet essai, il est difficile d'attribuer au seul taux de 23 % d'incorporation de son de blé dans le régime, les performances obtenues, compte tenu que ce régime se distingue également par l'addition de 2 % d'huile au régime dont l'impact bénéfique sur les performances des pondeuses a été rapporté par Kagan (1981).

Les mauvaises performances réalisées par les poules alimentées avec le régime R35, ne s'expliquent pas par le niveau énergétique et protéique de la prise alimentaire, puisque celle-ci est comparable à celle des 3 autres régimes et que de plus, l'ensemble des régimes est isoénergétique et isoprotéique. Elles semblent en revanche, être liées à l'ingestion des composés fibreux de la ration. En effet, nous constatons que l'ingéré en cellulose brute des poules recevant le régime R35 est relativement plus élevé que celui des poules alimentées avec les régimes les 3 autres régimes: 6,83 *versus* 6,72, 6,08 et 5,54 g / j / poule en moyenne respectivement pour R0, R13 et R23. Or, Abdelsamie *et al.*(1982), Hedge *et al.* (1978) ont observé dans des situations similaires que l'utilisation des protéines de la ration était réduite par la concentration du régime en matériel fibreux. Nos calculs pour la période de 8 semaines de production, montrent effectivement que la transformation des protéines ingérées en protéines d'œufs, n'est que de 24,38 % pour le régime R35, alors qu'elle est respectivement de 32,35, 29,67 et 30,63 % pour les régimes R0, R13 et R23.

### V.3.5. Conclusion

Dans les conditions expérimentales de cet essai, il apparaît que les taux d'incorporation du son de blé dans la ration destinée aux poules pondeuses n'affectent pas de façon sensible leur consommation alimentaire.

Période	Croissance 1 (4 semaines)				Croissance 2 (4 semaines)				Croissance 1 et 2			
	R0	R4	R12	R18	R0	R4	R12	R18	R0	R4	R12	R18
Pc/Pi (%)	28,6	28,01	27,34	30,38	27,27	27,19	28,27	28,36	27,77	27,50	27,94	29,05
	6											

**Tableau 60.** Rendements protéiques obtenus chez les dindonneaux recevant des régimes alimentaires à base de son de blé.

Pc/Pi : rendement de transformation des protéines ingérées en protéines de la carcasse.

Période	Croissance (4 semaines)				Finition (2 semaines)				Croissance et finition			
	R0	R13	R22	R32	R0	R13	R22	R32	R0	R13	R22	R32
Pc/Pi (%)	35,00	34,25	25,89	19,65	32,66	31,38	18,87	19,38	34,03	33,07	22,93	19,53

**Tableau 61.** Rendements protéiques obtenus chez les poulets de chair recevant des régimes alimentaires à base de son de blé.

Pc/Pi : rendement de transformation des protéines ingérées en protéines de la carcasse.

Période	23-26 semaines				27-30 semaines				23-30 semaines			
	R0	R13	R23	R35	R0	R13	R23	R35	R0	R13	R23	R35
Po/Pi (%)	33,00	29,85	29,71	25,32	31,77	29,45	31,62	23,45	32,35	29,67	30,63	24,38

**Tableau 62. Rendements protéiques obtenus chez les poules pondeuses recevant des régimes alimentaires à base de son de blé.**

Po/Pi : rendement de transformation des protéines ingérées en protéines d'œufs.

En revanche, les critères taux de ponte, indice de consommation et poids des œufs sont statistiquement différents ( $P < 0,05$ ) selon la concentration de cette issue de meunerie dans leur régime alimentaire.

Durant les 8 semaines de production, les performances zootechniques des poules recevant le régime R23 se distinguent de celles enregistrées pour les lots de poules alimentées avec les régimes R0, R13 et R35 d'une part, par un taux de ponte et un poids des œufs plus élevés et d'autre part, par de faibles indices de consommation et taux de casse des œufs.

Les plus mauvaises performances de production sont observées pour le lot de poules auxquelles le régime R35 a été distribué.

**Au terme de ces 3 élevages, il ressort les observations suivantes :**

Pour une concentration énergétique globalement comparable des régimes distribués aux dindonneaux et aux poulets de chair en phase de croissance, l'efficacité alimentaire est meilleure chez les dindonneaux.

En utilisant les données publiées par Larbier et Leclercq (1992) relatives à la teneur protéique de la carcasse du dindonneau et du poulet de chair à différents âges, nous avons calculé les rendements de transformation des protéines alimentaires en protéines corporelles respectivement pour ces 2 types de volaille (tableaux 60 et 61).

Le tableau 60 montre dans le cas du dindonneau que la meilleure capacité de conversion des protéines ingérées est observée avec le régime R18. Calculé pour la phase de première croissance (4 semaines), de deuxième croissance (4 semaines) ou durant l'ensemble de la phase de croissance (8 semaines), le rendement protéique est respectivement de 30, 28 et 29 %.

Pour le poulet de chair (tableau 61), le meilleur rendement protéique est durant les 3 périodes de mesure (croissance, finition et croissance-finition), réalisé par les oiseaux recevant le régime ne renfermant pas de son de blé (R0).

Toutefois, avec le régime R13, l'utilisation des protéines par les oiseaux n'est pas éloignée de celle observée avec le régime contrôle. L'écart calculé entre les 2 valeurs étant à peine de 0,75, 1,28 et 0,96 points respectivement pour la période de croissance, de finition et l'ensemble de la période d'élevage.

Ces observations suggèrent que l'addition de la matière grasse dans les rations semble mieux profiter aux dindonneaux qu'aux poulets de chair. Ce résultat n'est pas surprenant compte tenu que depuis les années 50, des travaux ont mis en évidence les effets bénéfiques des matières grasses du régime sur les performances du dindon (Sell *et al.*, 1986).

Par ailleurs, chez les poulets de chair, l'atténuation des effets antinutritionnels du son de blé avec l'âge de l'oiseau n'a pas été observée comme chez le dindonneau qui, tel que noté par Douglas *et al.* (1993), devient moins sensible à l'effet antinutritionnel exercé par les fibres alimentaires à partir de l'âge de 8 semaines.

Cette aptitude différente de la sphère digestive et métabolique des 2 types de volatiles à utiliser le son de blé permet aux dindonneaux en croissance de mieux valoriser que les poulets de chair en finition les régimes renfermant cette issue de meunerie. En effet, en

phase de finition, l'utilisation des protéines du régime R22 par le poulet de chair n'est que de 19 % en moyenne, alors qu'elle est déjà de l'ordre de 30 % chez le dindonneau recevant un régime à base de 18 % de son de blé durant la croissance (5 à 8 semaines d'âge).

En considérant que la teneur protéique d'un œuf de poule pesant 60 g soit de 6,35 g (Larbier et Leclercq, 1992), le tableau 62 indique que dans nos conditions expérimentales, la meilleure conversion des protéines alimentaires en protéines retrouvées dans l'œuf est permise par le régime contrôle (R0).

Parmi les régimes renfermant du son de blé, c'est celui qui en renferme 23 % qui permet l'exportation la plus intéressante de protéines alimentaires dans l'œuf : environ 31 % durant les 8 semaines de production contre 30 et 24 % respectivement pour les régimes R13 et R35.

Enfin, nous constatons que le dindonneau et la pondeuse alimentés durant 8 semaines respectivement avec les régimes R18 et R23, ont une capacité de conversion des protéines alimentaires en protéines animales de même ordre de grandeur : 29 et 31 %.

Cet ensemble de résultats encourage l'utilisation du son de blé prioritairement en alimentation de la poule pondeuse, puis en deuxième lieu dans celle des dindonneaux.



---

# CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre travail est de contribuer à l'évaluation chimique et nutritionnelle du son de blé en alimentation avicole. Les mesures chimiques ont porté sur 270 échantillons produits localement et les mesures nutritionnelles ont été réalisées sur le poulet de chair, le dindonneau en croissance et la poule pondeuse.

L'effet de l'élévation de la température sur quelques paramètres nutritionnels mesurés sur les 3 types de volaille alimentés avec du son de blé, a été également recherché. L'originalité de ce travail a résidé en la construction d'un dispositif expérimental pour mesurer la production de chaleur des volailles.

Cet ensemble de mesures expérimentales a été suivi d'une étude comparative des performances de production de poulets de chair, de dindonneaux en croissance et de poules pondeuses recevant des régimes alimentaires à base de son de blé.

**Sur le plan chimique**, les sons de blé analysés se distinguent de ceux décrits par les tables étrangères de composition des aliments destinés aux animaux domestiques par des teneurs moyennes relativement élevées en amidon (20,76 % MS) et faibles en cellulose brute (10,59 % MS).

Ce profil particulier est lié à plusieurs facteurs dont l'origine diverse des grains de blé et le type de procédé de mouture observé au sein des minoteries locales. Nous rapportons également une grande variabilité inter et intra moulin de la composition chimique des sons de blé produits, donnant lieu à l'obtention de plusieurs sous-populations que seules, les caractéristiques de la paroi (CB, ADF, NDF et hémicellulose) permettent selon l'analyse en composantes principales d'identifier de la façon la plus évidente.

De ces premiers résultats, il apparaît que la structure chimique des sons de blé produits localement ne répond donc pas systématiquement au profil chimique moyen des sons tel que établi par des normes internationales et dont on utilise en Algérie, les caractéristiques rapportées par les tables de composition lors de l'établissement de formules alimentaires.

Face à cette situation, des mesures devraient être prises par les structures concernées pour établir et veiller à une cohérence entre la désignation des issues de meunerie mises sur le marché et leur composition chimique.

**Sur le plan nutritionnel**, le potentiel en énergie brute des sons de blé analysés est relativement plus élevé (4570 kcal / kg MS) en comparaison à celui rapporté par la bibliographie. Cet écart est en rapport avec la teneur en amidon des sons elle-même plus importante que celle affichée par les tables étrangères de composition des aliments destinés aux animaux domestiques.

En termes d'énergie métabolisable réelle, les mesures réalisées indiquent que la poule pondeuse exploite mieux l'énergie du son de blé par rapport au dindonneau en croissance qui, à son tour, valorise davantage que le poulet de chair l'énergie de cette issue de meunerie.

Les valeurs EMr respectivement obtenues chez la poule, le dindonneau et le poulet de chair sont de 2308, 2203 et 2158 kcal / kg MS.

La recherche de modèles de prédiction de l'énergie métabolisable réelle du son de blé en fonction de sa composition chimique a permis de sélectionner respectivement pour le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse les équations suivantes :

$$\text{EMr} = 3930 - 170,39 \text{ CB (\% MS)} \quad \text{ETR} : 45,40 ; R = 0,93.$$

$$\text{EMr} = 3806 - 154,16 \text{ CB (\% MS)} \quad \text{ETR} : 36,73 ; R = 0,94.$$

$$\text{EMr} = 3949 - 126,09 \text{ ADF (\% MS)} \quad \text{ETR} : 48,19 ; R = 0,91.$$

En termes d'énergie métabolisable apparente, le potentiel énergétique du son de blé reste significativement mieux valorisé par la poule que par le dindonneau (2123 *versus* 1957 kcal / kg MS), ce dernier utilise plus efficacement que le poulet de chair l'énergie de ce sous produit de blé (1957 *versus* 1846 kcal / kg MS).

Quant à l'utilisation digestive des nutriments du son de blé, nos mesures montrent que la digestibilité de l'amidon est plus élevée chez la poule poule (64 %) que chez le dindonneau (55 %) ou le poulet de chair (50 %). Ces résultats vérifient les valeurs de l'énergie métabolisable du son de blé obtenues avec les 3 types de volailles.

Les protéines du son de blé sont relativement mieux utilisées chez les oiseaux en croissance (digestibilités respectives de 70 et 68 % chez le dindonneau et le poulet de chair) que chez la poule (66 % de digestibilité protéique).

Les mesures de production de chaleur chez poulet de chair et la poule pondeuse recevant des régimes à base de son de blé, sont respectivement de l'ordre de 104,83 et 165,33 kcal / kg P<sup>0,75</sup> . j.

Cet ensemble de critères nutritionnels mesurés sur le son de blé est modifié lorsque les 3 types de volailles sont soumis à une température de 32°C :

- Les valeurs EMa du son de blé mesurées chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule sont drastiquement réduites, elles deviennent respectivement de l'ordre de : 1725, 1839 et 2013 kcal / kg MS.
- La digestibilité de l'amidon est réduite respectivement de: 12, 13 et 8 % chez le poulet de chair, le dindonneau et la poule pondeuse.
- La capacité de digestion des protéines par le poulet est la plus sévèrement affectée comparativement à celle des 2 autres types de volailles (-12 % pour le poulet de chair *versus* -7 et -6 % respectivement pour le dindonneau et la poule pondeuse).
- Dans les conditions de mesures en chambre respiratoire, la consommation alimentaire de régimes à base de son de blé par la pondeuse et le poulet de chair est respectivement réduite de 1,5 % et de 2,1 % / °C lorsque la température ambiante augmente de 21 à 32°C. Dans ces mêmes conditions de température, la production de chaleur est également affectée : - 21 % pour le poulet de chair et - 18 % pour la poule pondeuse.

A la lueur de ces résultats, il apparaît qu'en conditions de température optimale, la poule pondeuse valorise mieux que le poulet de chair et le dindonneau le potentiel chimique et nutritionnel du son de blé.

En conditions difficiles, telles que celles du stress thermique, les capacités d'utilisation digestive des protéines et de l'amidon du son de blé ainsi que la métabolisabilité de l'énergie de cette issue de meunerie par la poule pondeuse sont moins affectées que celles du poulet de chair et du dindonneau. Aucune donnée de la littérature ne permet de préciser les

mécanismes mis en œuvre par la poule pondeuse pour présenter de telles aptitudes. Des investigations seraient à mener dans ce sens.

**Sur le plan zootechnique**, les performances suivantes ont permis de confirmer l'ensemble de paramètres nutritionnels mesurés en laboratoire :

- Le dindonneau en croissance valorise mieux que le poulet de chair les régimes renfermant du son de blé. Si les meilleures performances zootechniques du poulets de chair sont obtenues quelque soit la phase de production, avec un régime alimentaire à base de 13 % de son de blé, elles sont observées chez le dindonneau à partir de 6 semaines d'âge avec les régimes renfermant 18 % de son de blé.
- L'association son de blé-matière grasse profiterait également mieux aux dindonneaux qu'aux poulets, suggérant ainsi un meilleur comportement de la sphère digestive du dindonneau vis-à-vis des facteurs antinutritionnels du son de blé.
- Les meilleures performances de production réalisées par la poule pondeuse sont réalisées avec le régime alimentaire à base de 23 % de son de blé.
- La poule pondeuse se distingue des 2 autres volailles par sa meilleure aptitude valoriser le son de blé.

De tels résultats suggèrent que la poule pondeuse peut être considérée comparativement au poulet de chair et au dindonneau en croissance, comme le modèle de volaille le plus valorisateur du son de blé, et ce, même en conditions de stress thermique.

**Sur le plan méthodologique**, les résultats obtenus à l'issue de ce travail nous amènent à considérer avec prudence les données publiées par les tables étrangères de composition chimique et de valeur nutritionnelle des matières premières, car elles ne considèrent pas certaines spécificités locales (matériel biologique avicole hétérogène, conditions d'élevage et conditions de production des matières premières et sous-produits) lorsqu'elles sont mesurées.

Compte tenu que nous avons mis en évidence la forte variabilité chimique des sons de blé produits localement, la mesure de leur valeur énergétique lorsqu'ils sont destinés à l'alimentation de la volaille gagnerait à être mesurée par des équations de prédiction.

Dans ces modèles théoriques, les composants pariétaux et l'acide phytique du son de blé constituent d'intéressantes variables explicatives de sa valeur EM.

Toutefois, la mesure plus simple des composés pariétaux en comparaison avec celle de l'acide phytique est en faveur de leur intégration dans ces modèles de prédiction.

L'intégration de caractéristiques propres à la volaille (type, âge, souche) et de celles de son environnement (particulièrement la température d'élevage) aux modèles théoriques de calcul de l'EM du son de blé augmenterait la précision de la valeur, puisque nos mesures *in vivo* ont montré d'une part, des différences d'utilisation de l'énergie de ce sous-produit par le poulet de chair, la poule pondeuse et le dindonneau et d'autre part, l'influence de la température ambiante sur ce paramètre nutritionnel.

Sur le plan fondamental, il faudrait envisager d'autres expériences pour étudier les mécanismes à l'origine de la meilleure aptitude de la poule pondeuse comparée à celle du dindonneau et du poulet de chair, à utiliser les composants chimiques du son de blé même en conditions de stress thermique.

Quant au dispositif expérimental conçu pour la mesure de la production de chaleur par la thermochimie respiratoire, il a permis d'observer des différences entre le poulet de chair et la poule pondeuse recevant des régimes renfermant du son de blé, et de mettre

en évidence l'effet de l'élévation de la température sur la production de chaleur des 2 types de volailles utilisés.

Sur le plan technique, le dispositif reste à améliorer par l'installation au circuit de mesure des gaz d'un refroidisseur thermo-électrique. Ce dernier permettra d'éliminer l'humidité des gaz et de réaliser des mesures sur de plus longues périodes (minimum de 24 heures). Cette première correction permettra l'amélioration de la précision et de la reproductibilité des analyses et des mesures. Elle devra également être accompagnée de l'installation d'un système permanent de contrôle des différents modules de la chambre respiratoire.

---

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelguerfi, A., Laouar, M. 2000.** Les ressources génétiques des blés en Algérie. Passé, présent et avenir. Symposium Blé 2000 : enjeux & stratégies. Alger, 7-9 Février 2000. 133-141.
- Abdelsamie, R.E., Ranaweera, K.N.P., Nano, W.E. 1983.** The influence of fibre content and physical texture of the diet on the performances of broilers in the tropics. Br.Poult.Sci. 24: 383-390.
- Abecassis, J. 1991.** La mouture du blé dur. *In*. Godon, B et Willm, C. 1991. Les industries de première transformation des céréales. Edition Techniques et documentation - Lavoisier. 679p
- Abu-Dieyeh, Z.H.M. 2006.** Effect of chronic heat stress and long-term feed restriction on broiler performance. Int. J.Poult. Sci. 5: 185-190.
- Adams. R.L., Andrews, F.N., Rogler, J.C., Carrick, C.W. 1962.** The protein requirement of 4-weeks-old chicks as affected by temperature. J. Nutr. 77: 121-126.
- Adeola, O., Sands, J.S. 2003.** Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. J. Anim. Sci. 81: E78 - E85.
- Adli, Z. 2004.** Réformes économiques et performances des entreprises publiques agroalimentaires : le cas de l'ERAD d'Alger (1983- 2000). Cahiers du CREAD. 68/69: 85-129.
- AFNOR, 1985.** Association Française de Normalisation, Aliments des animaux. Méthodes d'analyses françaises et communautaires, 2<sup>ème</sup> éd. Paris, France.
- AEC, 1978.** Tables de l'AEC. Recommandations pour la nutrition animale. 1<sup>ème</sup> édition. Rhône Poulenc animal nutrition. Antony. France
- AEC, 1987.** Tables de l'AEC. Recommandations pour la nutrition animale. 5<sup>ème</sup> édition. Rhône Poulenc animal nutrition. Antony. France.
- Afsharmanesh, M., Scott, T.A., Silversides, F.G. 2006.** A comparison of grinding process and wet feeding on wheat-based diets on AME, production, and gastrointestinal tract development of broilers chicks. Can. J. Anim. Sci. 86 : 225-261.
- Agrest statistiques agricoles, 2004.** L'agriculture, la forêt et les industries agroalimentaires. 163p.
- Aïn Baziz, H. 1996.** Effet d'une température ambiante élevée sur le métabolisme lipidique chez le poulet en croissance. Thèse de Doctorat de l'Université de Tours. 147p.
- Aïn Baziz, H. 1990.** Effet de la température ambiante et de la composition du régime alimentaire sur les performances de croissance et le métabolisme énergétique du poulet. Magister en sciences agronomiques. Alger. 85p.

- Aïn Baziz, H., Géraert, P.A., Padhila, J.C.F., Guillaumin, S. 1996.** Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. *Poult. Sci.* 38: 607-610.
- Akester, A. R., Anderson, R.S., Hill, K.J., Osbaldiston, G.W. 1967.** A radiographic study of urine flow in the domestic fowl. *Brit. Poult. Sci.* 8: 209-212.
- Alka-Sharma, X., Kapoor, A. 1996.** Levels of antinutritional factors in pearl millet as affected by processing treatment and various types of fermentation. *Plant. Foods. Human. Nutr.* 49: 241-252.
- Alleman, F., Leclercq, B. 1997.** Effect of dietary protein and environmental temperature on growth performances and water consumption of male broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 38: 607-610.
- Allen, J., King, R.B.N., Holmes, J.J. 1979.** A diet formulated from by-products and indigenous foodstuffs for laying hens. *Br. Poult. Sci.* 20: 363-370.
- Al-Saffar, A. A., Rose, S.P. 2002.** Ambient temperature and the egg laying characteristics of laying fowl. *World's. Poult. Sci. J.* 58: 317-331.
- Altan, Ö., Pabuçcuoğlu, A., Atlan, A., Konyalioğlu, S., Bayraktar, H. 2003.** Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *Br. Poult. Sci.* 44: 545- 550.
- Amado, R., Neukom, H. 1985.** *In.* Lu, Z.X., Gibson, P.R., Muir, J.G., Fielding, M., O'Dea, K. 2000. Arabinoxylan fiber from a by product of wheat flour processing behaves physiologically like a soluble, fermentable fiber in the large bowel of rats. *J. Nutr.* 130: 1984-1990.
- Anderson, N.E., Clydesdale, F.M. 1980.** An analysis of dietary fiber content of a standard wheat bran. *J. Fd. Sci.* 45: 336-340.
- Angel, C.R. 1993.** *In.* Buwjoom, T., Tangtaweewipat, S. 2004. Chemical composition, nutrient digestibility and metabolizable energy of shiitaki mushroom stalkmeat. *Jap. Poult. Sci.* 41: 322-328.
- Angkanaporn, K., Choct, M., Bryden, W.L., Annison, E.F., Annison, G. 1994.** Effect of wheat pentosans on amino acid losses in chickens. *J. Sci. Food. Agric.* 66: 399-404.
- Annison, G. 1991.** Relationship between the levels of soluble nonstarch polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in broiler chickens. *J. Agri. Food.Chem.* 39: 1252-1256.
- Aoyagi, A., Tasaki, I., Okumura, J.I., Muramatsu, T. 1988.** Effect of low ambient temperature on protein turnover and heat production in chicks. *Comp. Biochem. Physiol.* 89 A: 433-436.
- Apeldoorn, E.J., Schrama, J.W., Mashaly, M.M., Parmentier, H.K. 1999.** Effect of melatonin and lighting schedule on energy metabolism in broiler chicken. *Poult. Sci.* 78: 223- 229.
- Armsby, H.P. 1917.** *In.* Kussaibati, R. 1979. Influence du niveau d'ingestion sur l'énergie métabolisable du régime chez *Gallus gallus*. Rôle des lipides alimentaires. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle. Université du Languedoc. France.

- Armsby, H. P., Fries, J.A. 1918.** Net energy values for alfalfa hay and starch. *J. Agr. Res.* 15: 269-289.
- Arsonval, M.A. 1886.** *In.* Ziki, B. 1998. Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. INA. Alger. 88p.
- Armstrong, D.G., Blaxter, K.L. 1984.** Maintenance requirements: implications for its use in feed evaluation systems. In *Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics* (eds F.M.C. Gilchrist and R.I. Mackie), Sciences Press, Craighall, S.A. 647p.
- Austic, R.E. 1985.** *In.* Youssef, M.K eds. *Stress Physiology in Livestock*. CRC. Press Boca Raton, FL. 123-136.
- Bach Knudsen, K.E. 1997.** Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed. Sci. Technol.* 67: 319-338.
- Bakhella, M. 2005.** Communication personnelle, DGPTA; IAV- Hassan II, Rabat.
- Ballam, C.G., Nelson, T.S., Kirby, K. 1984.** Effect of fiber and phytate source and of calcium and phosphorus level on phytate hydrolysis in the chick. *Poult. Sci.* 63 : 333-338.
- Balnave, D., Brake, J. 2002.** Ré-évaluation de la classique interaction arginine/lysine dans les aliments pour les poulets de chair modernes, données bibliographiques. *World's. Poult. Sci.J.* 58: 275-290.
- Balnave, D., Brake, J. 2005.** Nutrition and management of heat-stressed pullets and laying hens. *World's. Poult. Sci.* 61: 399-406.
- Barott, W.G., Pringle, E.M. 1946.** *In.* Geraert, P.A. 1989. Energy metabolism of broilers under hot environmental conditions. 1<sup>st</sup> French-Egyptian Symposium on Poultry Science and development. Cairo. 28-30/03/1989.
- Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989.** Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60 : 92-131.
- Bayley, H.S., Summers, J.D., Slinger, S.J. 1968.** Effect of heat- treatment on the metabolizable energy value of wheat germ meal and other wheat milling by-products. *Cer. Chem.* 45: 557-563.
- Bearse, G.E. 1941.** *In.* Patterson, P.H., Sunde, M.L., Schieber, E.M., White, W.B. 1988. Wheat Middlings as an Alternate Feedstuff for laying hens. *Poult.Sci.* 67: 1329-1337.
- Becker, R., Hanner, G.D. 1991.** Carbohydrates composition of cereal grains. *In.* Handbook of cereal science and technology. Lorenz, K.J., Kulp, K. (eds) Dekker, M. Inc. New York. 496p.
- Bedbury, H.P., Duke, G.E. 1983.** Cecal microflora of turkeys fed low or high fiber diets: enumeration, identification and determination of cellulolytic activity. *Poult. Sci.* 62: 675-682.
- Bedford, M.R. 1996.** Interaction between ingested feed and the digestive system in poultry. *J.Appl. Poult. Res.* 5: 86-95.
- Begin, J.J. 1968.** A comparison of the ability of Japanese quail and light breed chickens to metabolize and utilize energy. *Poult.Sci.* 47: 1278-1281.

- Begin, J.J. 1967.** The relation of breed and sex of chickens to the utilization of energy. *Poult. Sci.* 46: 379- 383.
- Beha, S. 1992.** Essai d'intégration de l'orge dans l'alimentation du poulet de chair (phase de croissance et de finition). Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 103p.
- Belderok, R. 2000.** Developments in bread-making processes. *Plant. Foods . Human. Nutr.* 55: 86.
- Bellal, F. 1991.** Utilisation des matières premières locales énergétiques (orge) et protéiques (fèverole) dans l'alimentation de la poule pondeuse en fonction du stade de production. Mémoire d'ingénieur agronome. INA Alger. 88p.
- Benbelkacem, A., Kellou, K. 2000.** *In.* Royo, C (ed), Nachit, M.M (ed), Di Fronzo, N (ed), Araus, J.L (ed). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 620p.
- Bencharif, A., Chaulet, C., Chehat, F., Kaci, M., Sahli, Z. 1996.** La filière blé en Algérie. Le blé, la semoule et le pain. Edition Karthala. 229p.
- Benyahia, D. 1989.** Détermination de la valeur énergétique de la pulpe de date chez la volaille. Mémoire d'ingénieur agronome. INES de Blida. 140p.
- Berchiche, M., Lebas, F. 1990.** Essai chez le lapin de complémentation d'un aliment pauvre en cellulose par un fourrage distribué en quantité limitée : Digestibilité et croissance. 5<sup>ème</sup> journées de la Recherche Cunicole. Paris, 12-13 Décembre.
- Bergheim, O. 1926.** Intestinal chemistry. IV. A method for the study of food utilization of digestion. *J. Biol. Chem.* 70: 29.
- Berot, S., Godon, B. 1991.** *In.* Godon, B. 1991. Biotransformation des produits céréaliers. Edition Techniques et documentation- Lavoisier. 221p.
- Björnhag, G., Sperber, I. 1977.** Transport of various food components through the digestive tract of turkeys, geese, and guinea fowl. *Swed. J. Agric. Res.* 7: 57-66.
- Blaxter, K.L. 1962.** *In.* Trabzi, A. 1997. Mesure de la production de chaleur par l'analyse de la carcasse. Conception et construction d'une chambre respiratoire à confinement. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. INA. Alger. 90p.
- Bock, M.A. 2000.** *In.* Handbook of cereal science and technology. Lorenz, K.J., Kulp, K. (eds) Dekker, M. Inc. New York. 496p.
- Boisen, S., Djurtoft, M. 1981.** Trypsin inhibitor from rye endosperm: purification and properties. *Cer.Chem.* 58: 194-198.
- Boldadji, F., Roush, W.B., Nakaue, H.S., Arscott, G.H. 1981.** True metabolizable energy value of corn and different varieties of wheat and barley using normal and dwarf single comb White Leghorn roosters. *Poult.Sci.* 60: 225-227.
- Boling-Frankenbach, S.D., Peter, C.M., Douglas, M.W., Snow, J.L., Parsons, C.M., Baker, D.H. 2001.** Efficacy for phytase for increasing protein efficiency ratio values of feed ingredients. *Poult.Sci.* 80: 1578-1584.
- Bonnet, S. 1990.** Effet d'une exposition chronique à la chaleur sur la digestibilité des constituants de l'aliment chez le poulet de chair. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur. Angers. 71p.



- Bonnet, S., Geraert, P.A., Lessire, M., Carré, B., Guillaumin, S. 1997.** Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. *Poult.Sci.* 76: 857-863.
- Bonetti, B., Lapierre, O., Tran, G. 1994.** Convention SYPRAM/ Banque de données de l'Alimentation Animale-AFZ. INRA. Fractions du grain de blé. Tours. France.
- Borin, K., Ogle, B., Lindberg J.E. 2002.** Methods and techniques for the determination of amino acids digestibility: A review. *Livestock Research for Rural Development.* 14p.
- Borges F.M.O., Rostagna, H.S., Prado, C.E. 2004.** Efeito do consume de alimento sobre os valores energéticos do grao de trigo e seus subprodutos para frangos decorate, obtidos pela metodologia da alimentacao forçada. *Ciênc. Agotec.* 28: 1392-1399.
- Borges, F.M., Rostagno, H.S., Saad, C.E.P., Rodriguez, N.M., Texeira, E.A., Lara, L.B., Mendes, W.S., Araujo, V.L. 2003.** Comparação de metodos de avaliação dos valores energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte. *Arq. Bras.Med. Vet. Zootec.* 55: 710-721.
- Boros, D., Slominski, B.A., Guenter, W., Campbell, L.D., Jones, O. 2004.** Wheat by-products in poultry nutrition. Part II. Nutritive value of wheat screenings, barkery by-products and wheat mill run and their improved utilization by enzyme supplementation. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 429-435.
- Boros, D., Marquardt, R.R., Guenter, W. 1998.** Site of exoenzyme action in gastrointestinal tract of broiler chicks. *Can. J. Anim. Sci.* 78: 599-602.
- Bottje, W.G., Harrison, P.C. 1987.** Celiac cyclic blood flow pattern response to feeding and heat exposure. *Poult.Sci.* 66: 2039-2042.
- Bouderoua, K. 1995.** Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Thèse de magister. INA. Alger. 119p.
- Boudreau, A., Menarg, G. 1992.** Le blé. Eléments fondamentaux et transformation. Presses de l'Université de Laval Ste Foy (CAN). 439p.
- Boukhelifa, A. 1987.** Effet de la chaleur sur la production avicole. 2<sup>ème</sup> salon de l'aviculture et des petits élevages. 11-12 Mai. Constantine. Algérie.
- Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Duperray, J., Huyghebaert, G., Leclercq, B., Lessire, M., Mc Nab, J., Wiseman, J. 1990.** Eurpean reference method for the *in vivo* determination of metabolisable energy with adult cockerels: reproducibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods. *Brit. Poult. Sci.*31: 557-565.
- Bourdon, D., Perez, J.M., Lebas, F., Leclercq, B., Lessire, M., Sauveur, B. 1984.** *In.* L'alimentation des animaux monogastriques, porcs, lapins, volailles, INRA édition, 164-251.
- Bourenane, N. 1991.** Agriculture et Alimentation en Algérie : entre les contraintes historiques et les perspectives futures. *Options méditerranéennes. CIHEM/CREAD, Série A, N° 21, p152.*

- Boushouwers, F.M.G., Nicaise, E. 1981.** Measurement of the respiratory metabolism of the fowl. *Brit. Poult. Sci.* 22: 59-69.
- Boushouwers, F.M.G., Nicaise, E. 1985.** Automatic gravimetric calorimeter with simultaneous recording of physical activities for poultry. *Brit. Poult. Sci.* 26: 531-541.
- Bouvarel, I., Roffidal, L., Rudeaux, F., Geraert, P.A., Franck, Y., de Saint Jan, B., Guillaumin, J.M., Eckenfelder, B., Ferchal, E. 1997.** Adaptation des formules alimentaires aux périodes chaudes. *In. 2èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours ; 8-10/04/1997.* Ed. ITAVI. Paris, 95-98.
- Bozzini, A. 1988.** *In. Fabriani, G and Lintas, G (Eds).* 1988. Durum wheat: Chemistry and technology. *Amer. Ass. Cereal. Chem. St Paul. Minnesota, U.S.A.* pp. 1-16.
- Brake, J., Balnave, D., Dibner, J.J. 1998.** Optimum dietary arginine: lysine ratio for broiler chickens in altered during heat stress in association with changes in intestinal uptake and dietary sodium chloride. *Br. Poult. Sci.* 39: 639-647.
- Brand, T.S., Van der Merwe, J.P., Salih, M., Brand, Z. 2000.** Comparison of ostrich energy values with energy values obtained by pigs, poultry as well as ruminant in vitro values. *Proceedings of the 58<sup>th</sup> Animal Production Conference. Kwazulu-Natal, July 2000,* 115-116p.
- Brillouet, J.M., Joseleau, J.P., Utile, J.P., Lelievre, D. 1982.** Isolation, purification, and characterization of a complex heteroxylan from industrial wheat bran. *J. Agric. Fd. Chem.* 30: 488-495.
- Brouwer, E. 1958.** An simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrates and fat oxidised in metabolism of men and animals from gaseous exchange (oxygen intake and carbonic acid output) and urine. *Acta. Physiol. Pharmac. Neer.* 6: 795-802.
- Brouwer, E. 1965a.** Reports of sub-committee on constants and factors. *EAAP Symp. Energy Metab. Scotland.* 441- 443.
- Brouwer, E. 1965b.** *In. Trabzi, A. 1997.* Mesure de la production de chaleur par l'analyse de la carcasse. Conception et construction d'une chambre respiratoire à confinement. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Alger. 90p.
- Brown, E.M. 1924.** *In. Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949.* Investigations concerning the digestibility in poultry. *The annals of the royal agricultural college of Sweden.* 16: 749-776.
- Burkwall, M.P., Glass, R.L. 1974.** The fatty acids of wheat and its milled products. *Cer. Chem.* 42: 236-246.
- Buyse, J., Decuypere, E., Berghman, L., Kuhn, E.R., Vandesande, F. 1992.** Effect of dietary protein content on episodic growth hormone secretion and on heat production of male broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 33: 1101-1109.
- Buyse, J., Leenstra, F.R., Zeman, M., Rahimi, G., Decuypere, E. 1999.** A comparative study of different selection strategies to breed leaner meat-type poultry. *Poult. Avian. Biol. Rev.* 10: 121-142.
- Cahaner, A., Pinchasov, Y., Nir, I., Nitsan, Z. 1995.** Effects of dietary protein under high ambient temperature on body weight, breast meat yield, and abdominal fat

- deposition of broiler stocks differing in growth rate and fatness. *Poult.Sci.* 74: 968-975.
- Calhoun, W.K., Hepburn, F.N., Bradley, W.B. 1960.** The distribution of the vitamins of wheat in commercial mill products. *Cer. Chem.* 37: 755-761.
- Camire, A.L., Clydesdale, F.M. 1982.** Analysis of phytic acid in foods by HPLC. *J. Food. Sci.* 47: 575-578.
- Cao, B., Kumao, T., Karasawa, Y. 1998.** Effects of dietary cellulose levels on growth, nitrogen utilization and retention time of diets at intestine in chicks fed equal amounts of nutrients. *Proceedings of the 6th Asian Pacific Poultry Congress, Nagoya, Japan.* 402-403p.
- Carmen, A., Francis, M., Macleod, G., Julie, E. 1991.** Allevation of acute heat stress by food withdrawal or darkness. *Br. Poult. Sci.* 32: 219-225.
- Carpenter, K.J., Clegg, K.M. 1956.** The metabolizable energy of poultry feedingstuffs in relation to their chemical composition. *J. Sci. Food. Agr.* 7 : 45-51.
- Carré, B. 2001.** Evaluation de la valeur énergétique des aliments des oiseaux d'élevage. *Quatrièmes Journées de la Recherche Avicole, Nantes, 27-29 mars 2001.* 123-130p.
- Carré, B. 2000.** Effets de la taille des particules alimentaires sur les processus digestifs chez les oiseaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 13: 131-136.
- Carré, B. 1990.** Predicting the dietary energy value of poultry feeds. 283- 301. *In.* Wiseman, J. Cole, D. J.A. 1990. *Feedstuff evaluation.* Butterworths Sevenoaks (GBR). 456p.
- Carré, B., Beaufils, E., Melcion, J.P. 1991.** Evaluation of protein and starch digestibilities and energy value of pelleted or unpelleted pea seeds from winter or spring cultivars in adult and young chickens. *J. Agric. Food.Chem.* 39: 468-472.
- Carré, B., Brillouet, J.M. 1990.** Determination of water-insoluble cell walls in feeds: interlaboratory study. *J. Asso. Anal.Chem.*72: 463-481.
- Carré, B., Brillouet, J.M. 1986.** Yield and composition of cell wall residues isolated from various feedstuffs used for non-ruminant farm animals. *J. Sci.Food.Agric.*37: 341-351.
- Carré, B., Rozo, E. 1990.** La prédiction de la valeur énergétique des matières premières destinées à l'aviculture. *INRA. Prod.Anim.*3: 163-169.
- Carré, B., Perez, J.M., Lebas, F. 1988.** Mesure des fibres végétales dans les aliments pour animaux. Rapport d'étude. *INRA. Nouzilly. Unité de Recherches Avicoles.* France.
- Carré, B., Prévotel, B., Leclercq, B. 1984.** Cell wall content as a predictor of metabolizable energy value of poultry feedingstuffs. *Brit. Poult. Sci.* 25: 561-572.
- Caves, N.A.G., Slinger, S.G., Summers, J.D., Ashton, G.C. 1965.** The nutritional value of wheat milling by-products for the growing chick. I. Availability of energy. *Cer. Chem.* 42: 523-532.
- Cerniglia, G.J., Hebert, J.A., Watts, A.B. 1983.** The effect of constant ambient temperature and ration on the performance of sexed broilers. *Poult. Sci.* 62: 746-754.

- Chasserey, P. 1991.** *In.* Godon, B., Willm, C. 1991. Les industries de première transformation des céréales. Techniques et Documentations- Lavoisier, Londres-New-York, 105-144.
- Chaurand, M., Lempereur, I., Roulland, T.M., Autran, J.C., Abecassis, J. 1999.** Genetic and agronomic effects on semolina milling value of durum wheat. *Crop. Sci.* 39: 790-795.
- Cheeke, P.R. 1976.** Nutritional and physiological properties of saponins. *Nutr. Rep. Int.* 13: 315-324.
- Chehat, F. 2007.** La filière blés en Algérie. Séminaire Perspectives Agricoles et agro-alimentaires Maghrébines. Libéralisation et Mondialisation. Alger: 7-9 avril 2007.
- Chen, J., Li, X., Balnave, D., Brake, J. 2005.** The influence of dietary sodium chloride, arginine: lysine ratio, and methionine source on apparent ileal digestibility of arginine and lysine in acutely heat-stressed broilers. *Poult.Sci.* 84: 294-297.
- Cherry, J.A., Jones, D.E. 1982.** Dietary cellulose, wheat bran, and fish meal in relation to hepatic lipids, serum lipids and lipid excretion in laying hens. 61: 1873-1878.
- Cheryan, M. 1980.** Phytic acid and interactions in food systems. *CRC. Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 13: 297-335.
- Cheryan, M., Anderson, F.W., Grynspan, F. 1983.** Magnesium-phytate complexes: Effect of pH and molar ratio on solubility characteristics. *Cer. Chem.* 60: 235-237.
- Chiou, P.W.S. 1981.** The effect of the methods of processing on the nutritive value of wheat bran for broilers. *J. Agr. Fores.* 30:129-140.
- Chitra, U., Vimala, V., Singh, U., Geervani, P. 1995.** Variability in phytic acid content and protein digestibility of grain legumes. *Plant.Foods. Hum. Nutr.* 47: 163-172.
- Choct, M., Hughes, R.J., Annison, G. 1999.** Apparent metabolisable energy and chemical composition of Australian wheat in relation to environmental factors. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 447-451.
- Choct, M., Annison, G. 1992.** Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broilers: role of the hindgut. XIX World's Poultry Congress. Amsterdam. The Netherlands. 20-24 /11/1992: 236-241.
- Choct, M., Annison, G. 1990.** The anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. *Brit. Poult. Sci.* 31: 811-821.
- Chwalibog, A., Thorbek, G. 1989.** Fasting heat production in chickens. *Arch. Geflügelk.* 53: 54-57.
- Chwalibog, A., Heckel, S., Thorbek, G. 1978.** Protein and energy metabolism in growing boilers in relation to sex and feeding level. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde.* 42: 87-99.
- Chyr, S.C. 1987.** Tables of feed composition Taiwan. Taiwan livestock research institute Tainan (CHN). 223p.
- Cilliers, S.C., Sales, J., Hayes, J.P., Chawlibog, A., Du Prez, J.J. 1999.** Comparison of metabolizable energy values of different foodstuffs determined in ostriches and poultry. *Br. Poult.Sci.* 40: 491-494.

- 
- Close, W.H. 1990** . *In*. Wiseman J., Cole, D.J.A. 1990. Feedstuff evaluation. Butterworths Sevenoaks (GBR). 456p
- Coates, B.J., Slinger, S.J., Summers, J.D., Bayley, H.S. 1977**. Metabolism energy values and chemical and physical characteristics of wheat, and barley. *Can. J. Anim. Sci.* 57: 195-207.
- Coen, H.M., Annison, G. 1996**. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition- towards a physiologically valid approach to their determination. *World's. Poult. Sci. J.* 52: 204-221.
- Colonna, P., Buleon, A. 1992**. *In*. Cereal chemistry and technology: a long past and a bright future. 9<sup>th</sup> Int. Cereal and Bread Congress. Paris 1-5 June 1992. 25- 42.
- Cooper, R.G., Horbanczuk, J.O. 2004**. Ostrich nutrition: a review from a Zimbabwean perspective. *Rev. Sci.Tech.Epiz.* 23: 1033-1042.
- Cooper, M.A., Washburn, K.W. 1998**. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption and feed utilization in broilers under heat stress. *Poult.Sci.*77: 237-242.
- Corzo, A., Moran, E.T., Hoehler, D. 2003**. Lysine needs of summer-reared male broilers from six to eight weeks of age. *Poult.Sci.* 82: 1602-1607.
- Cowan, W.D., Huyghebaert, G., Hughes, R.G. 2001**. Comparison of the influence of the methodology used for determining the metabolisable energy of soyabean meal. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium.* 13: 164-167.
- Cowieson, A.J., Acamovic, T., Bedford, M.R. 2004**. The effect of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 45: 101-108.
- Crovetto, M.G. 1983**. *In*. Ziki, B. 1998. Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. INA. Alger.88p.
- Cui, W., Wood, P.J., Weisz, J., Beer, M.U. 1999**. Non starch polysaccharides from preprocessed wheat bran: carbohydrate analysis and novel rheological properties. *Cer.Chem.*76: 129-133.
- Curtis, S.E. 1983**. *Environmental Management in Animal Agriculture*. Iowa University Press. Iowa.
- Czerniejewski, C.P., Shank, C.W., Bechtel, W.G., Bradley, W.B. 1964**. The minerals of wheat, flour and bran. *Cer.Chem.* 41: 65-72.
- Davis, R.H., Hassan, O.E.M., Sykes, A.H. 1973**. Energy utilization in the laying hen in relation to ambient temperature. *J. Agric. Sci. Cam.* 80. 173-177.
- De Basilio de Abreu, V.A. 2002**. Acclimatation précoce des poulets de chair au climat tropical. Thèse Docteur de l'ENSAR. Biologie et agronomie. Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes.153 p.
- Decuypere, E., Buyse, J. 1988**. *In*. B. Leclercq and C.C Whitehead (eds), Leanness in domestic birds: genetic, metabolic and hormonal aspects, 295-312. Butterworth, London, Great Britain.
-

- Deeb, N., Cahaner, A. 2002.** Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate.3. Growth rate and water consumption of broiler progeny from weigh selected versus nonselected parents under normal and high ambient temperatures. *Poult. Sci.* 81: 293-301.
- De Groote, G. 1974.** Utilisation of metabolisable energy. *Energy Requirements of poultry*, pp 113- 133. Edited by T.R Morris and B.M Freeman. British Poultry Science Ltd, Edinburgh.
- Deyhim, F., Teeter, R.G. 1995.** Effect of heat stress and drinking water salt supplements on plasma electrolytes and aldosterone concentration in broiler chickens. *Int. J. Biometeorology.* 38: 216-217.
- Djermoun, A. 1994.** La distribution des produits céréaliers en Algérie. Cas des produits finis dans la région de Blida. Thèse de magister. INA. Alger. 303 p.
- Diakow, M.J. 1932.** *In.* Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. *The annals of the royal agricultural college of Sweden.* 16: 749-776.
- Dibner, J.J., Atwell,, C.A., Ivey, F.J. 1992.** Effect of heat stress on 2- hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and DL-Methionine absorption measured in vitro. *Poult. Sci.* 71: 1900-1910.
- Dinn, Z.Z., Bird, H.R., Sunde, M.L. 1982.** Nutritional value of waxy corn for chicks. *Poult. Sci.* 61: 998-1000.
- Doeschate, R.A.H.M., Scheele, C.W., Schreurs V.V.A.M., Van Dr Klis, J.D. 1993.** Digestibility studies in broiler chickens: influence of genotype, age, sex and method of determination. *Brit. Poult. Sci.* 34:131-146.
- Donkoh, A. 1989.** Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. *Int. J. Biometeorol.* 33: 259-265.
- Douglas, J.H., Sullivan, T.W., Gonzales, N.J., Beck, M.M. 1993.** Differential age reponse of turkeys to protein and tannin levels. 82<sup>nd</sup> annual meeting of the *Poult. Sci. Ass.* July, 26-29. Michigan.
- Duke, G., Eccleston, E., Kirkwood, S., Lovis, C.F., Bedbury, H.P. 1984.** Cellulose digestion by domestic turkey fed low or high diets. *J. Nutr.* 114: 95-102.
- Eeckhout, W., De Paepe, M. 1994.** Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Anim. Feed. Sci and Tech.* 47: 19-29.
- Elchalzly, J.A.D., Thomas, B. 1976 .** *In.* Bartnik, M and Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World Rev. Nutr. Diet.* 60: 92-131.
- El Hussein, O., Creger, C.R. 1980.** The effect of ambient temperature on carcass energy gain in chickens. *Poult. Sci.* 59: 2307-2311.
- El-Talty, Y.I., Attia, A.M.N. 1977.** Preliminary evaluation of some common feedingstuffs through a comparative study between ducks and geese. *Agric Res. Rev. Egypt.* 168-174.
- Emberger, L. 1955.** Une classification biogéographique des climats. *Rev.Trav. Labo. Bot. Biol. Zool.* 1- 47.

- Emmans, G.C., Charles, D.R. 1977.** Climatic environment and poultry feeding in practice. *In* Haresing, W., Swan, H., Lewis, D. 1978. Nutrition and the Climatic Environment. Haresing, W., Swan, H., Lewis, D editors. Butterworth, London, pp 31-49.
- Enochian, R.V., Kuzmicky, D.D., Kohler, G.O. 1972.** *In*. Kuzmicky D.D., Saunders R.M., Edwards R.H and Kohler, G.O. 1978. Metabolizable energy values of treated wheat bran and wheat millrun protein concentrate. *Poult. Sci.* 57: 763-767.
- Fabriani, G., Lintas, C. 1988.** Durhum Wheat: Chemistry and technology. Fabriani and Lintas eds. Amer. Ass.Cereal. Chem. St Paul. Minnesota. U.S.A. 332p.
- FAO. 2005.** Bulletin FAO de statistiques. 4:1.
- FAO, 2004.** Bulletin FAO de statistiques. 2:1.
- Faria Filho, D.E. 2003.** *In*. Furlan, R.L., Faria Filho, D.E., Rosa, P.S., Macari, M. 2004. Does low-protein diet improve broiler performance under heat stress conditions? *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 6: 1-11.
- Farrell, E.P., Ward, A., Miller, G.D., Lovett, L.A. 1967.** Résultats analytiques obtenus sur des farines et issues provenant de neuf mélanges de blé distincts. *Bull. Ecole. Franç. Meunerie.* 217: 25-32.
- Farrell, D.J. 1978.** Rapid determination of metabolisable energy of food using cockerels. *Brit. Poult. Sci.* 19: 303-308.
- Farrell, D.J. 1972.** An indirect closed circuit respiration chamber suitable for fowl. *Poult. Sci.* 51: 683-688.
- Farrell, D.J., Swain, S. 1977.** Effects of temprature treatments on the energy and nitrogen metabolism of fed chickens. *Br. Poult. Sci.* 18:735-748.
- Farrell, D.J. 1988.** The energy metabolism of poultry: present and future perspectives. 18<sup>th</sup> World's Poult. Cong. 04-09/09/ 1988. Nagoya. Japan. *Jap. Poult. Sci. Ass.* 85-91.
- Fedde, M.R., Waibel, P.E., Burger, R.E. 1960.** Factors affecting the absorbability of certain dietary fats in the chick. *J. Nutr.* 70: 447.
- Fédération Européenne de Nutrition de la World's Poultry Science Association. 1986.** European table of energy values for poultry feedstuffs. Spelderholt Center for poultry research and extension. 24p.
- Felkai, N. 2003.** Mesure de la production de chaleur chez la volaille: effet de la température. Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 60p.
- Fellers, D.A., Shepherd, A.D., Bellard, N.J., Mossman, A.P., Wasserman, J.T. 1976.** Protein concentrates by dry milling of wheat millfeeds. II. Compositional aspects. *Cer.Chem.* 45: 520-529.
- Fenwick, G.R., Curtis, R.F. 1980.** Rapeseed meal in rations for laying hens: a review of the effect of egg quality. *J. Sci. Food. Agr.* 31: 515-525.
- Ferguson, L.R., Harris, P.J. 1999.** Protection against cancer by wheat bran: role of dietary fibre and phytochemicals. *Eur. J. Cancer. Prev.* 8: 17-25.
- Fisher, N. 1973.** *In*. Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60: 92-131.

- Fisher, C. 1982.** Energy values of compound poultry feeds, Occasional Publication N°2, Roslin, Midlothian, Institute for Grassland and Animal Production, Poultry division.
- Fisher, C., Mc Nab, J.M. 1987.** *In*. Recent Advances in Animal Nutrition. 1987(eds W. Haresign and D.J.A Cole) Butterworths, London, pp 3-18.
- Fischer, C., Shannon, D.W.F. 1973.** Metabolizable energy determinations using chicks and turkeys. *Brit. Poult. Sci.* 14 : 609-613.
- Fonolla, J., Aguilera, J., Sanz, R. 1972.** Influencia del nivel protéico de la dieta en el balance de nitrogeno de conejos en crecimiento. *Rev. Esp. Fisiol.* 28: 265-268.
- Foster, W.H. 1968.** Variation between and within birds in the estimation of the metabolizable energy content of diets for laying hens. *J. Agr. Sci.* 71: 153-159.
- Foy, W.L., Evans, J.L., Wohlt, J. E. 1981.** Detergent fiber analyses on thirty foodstuffs ingested by man. *Nut.Rep. Int.* 24: 575-580.
- Fraps, F.S. 1946.** Composition and productive energy of poultry feeds and rations. *Texas. Agr. Exp. Sta. Bul:* 678.
- Freeman, B.M. 1983.** Body temperature and thermoregulation. *Physiol. Biochem. Domestic. Fowl.* 4: 365-377.
- Fuller, H.L., Dale, N.M., Smith, C.F. 1983.** Comparaison of heat production of chickens measured by energy balance and by gaseous exchange. *J. Nut.* 113: 1403-1408.
- Fruse, M., Yokota, H.O., Tasaki, I. 1985.** Effect of the gut microflora on protein and energy utilization in chicks fed diets containing starch or glucose as a sole dietary carbohydrate source. *Jpn. J. Zoot. Sci.* 56: 32-40.
- Gabriel, I., Mallet, S., Sibille, P. 2005.** La microflore digestive des volaille : facteurs de variation et conséquences pour l'animal. *INRA. Prod. Anim.* 18: 309-322.
- Garriga, C., Hunter, R.R., Planas, J.M., Mitchell, M.A., Moreto, M. 2005.** Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. *Anim J. Physiol. Regul. Intergr. Comp. Physiol.* 290: R 195-R201.
- Garlich, J.D., Wyatt, R.D., Hamilto, P.B, 1976.** The metabolizable energy value of high moisture corn preserved with a mixture of acetic and proprionic acids. *Poult. Sci.* 55: 225-228.
- Gasiorowski, H., Obuchowski, W., Wojtal, R. 1976.** Wheat bran and its use in baking. *Przeegl Piek. Cukiern.* 24: 190-192.
- Geraert, P.A. 1991.** Energy metabolism of broilers under hot environmental conditions. *INRA Prod. Anim.* 4: 257-267.
- Geraert, P.A. 1990.** Production et perte de chaleur : Mécanismes et régulation. Session Nationale : Le gavage des palmipèdes gras. 15/11/90. Dax. ITAVI. (France).
- Geraert, P.A. 1989.** Dépense énergétique et échanges respiratoires : description d'une installation automatisée appliquée aux oiseaux. *Forum Lavoisier. Paris.* 08-09/12/1989.
- Geraert, P.A., Padilha J.C., Guillaumin S. 1996a.** Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chicken: Growth performance, body composition and energy retention. *Brit. J. Nut.* 75: 195-204.



- Geraert, P.A., Padilha J.C., Guillaumin S. 1996b.** Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chicken: Biological and endocrinological variables. *Br. J. Nutr.* 75: 205-216.
- Geraert, P.A., Guillaumin S., Zuprizal. 1992.** Effect of high ambient temperature on dietary ME value in genetically lean and fat chickens. *Poult. Sci.* 71: 2113-2116.
- Ghaboub, M., Saïdouni, S.A. 1996.** La valeur protéique du son de blé dur chez le poulet de chair en croissance. Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 103p.
- Gilani, G.S., Cockell, K.A., Sepehr, E. 2005.** Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *J.A.O.A.C. Int.* 88: 967-987.
- Godon, B. 1998.** Les industries de première transformation des céréales. Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. Edition Lavoisier TEC & DOC. Londres-Newyork.
- Gonzalez, A.T.J. 1995.** Milling process of durum wheat. *CIHEAM Options Méditerranéennes.* 43-51.
- Gonzalez-Esquerria, R., Leeson, S. 2006.** Physiological and metabolic responses of broilers to heat stress-implications for protein and amino acid nutrition. *World's. Poult. Sci.J.* 62: 282-295.
- Green, S., Bertrand, S.L., Duron, M.J.C., Maillard, R. 1987.** Digestibilities of amino acids in soyabean, sunflower and groundnut meals, determined with intact and caeectomised cockerels. *Brit. Poult. Sci.* 28:643-652.
- Grizard, J., Dardevet, D., Papet, I., Mosoni, L., Patureau-Mirand, P., Attaix, D., Tauveron, I., Bonin, D., Arnal, M. 1995.** Nutrient regulation of skeletal muscle protein metabolism in animals. The involvement of hormones and substrates. *Nutr. Res. Rev.* 8: 67-91.
- Gruhn, K., Zander, R. 1989.** Comparative investigations of the digestion performance between colostomized hens and roosters with wheat and maize *Archiv für Geflügelkunde.* 53: 86-90.
- Guillaume, J. 1985.** Metabolisable energy of cereals in poultry, variability and origin of variation. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European symposium on poultry nutrition. 8-11 October, 1979. Beekbergen, Netherlands, 1-5.
- Guillaume, J., Summers, J.D. 1970.** Maintenance energy requirements of the rooster and influence of plane of nutrition on metabolizable energy. *Can. J. Anim. Sci.* 50: 363- 369.
- Guirguis, N. 1975.** Evaluating poultry feedstuffs in terms of their metabolizable energy content and chemical composition. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 15: 773-779.
- Guo, Y.M., Liu, C.N., Zhou, Y.P. 1988.** Impact of heat stress on broilers and effects of supplemental yeast chromium. *Acta. Vet. Zootech. Sinica.* 29: 339-344.
- Hakansson, J., Eriksson, S. 1974.** Digestibility, nitrogen retention and consumption of metabolizable energy by chickens on feeds of low and high concentration. *Swed. J. Agric. Res.* 4:195-207.
- Hamdi, B. 1981.** Performances zootechniques obtenues à partir d'un régime élevé de graines de féverole (entières et autoclavées) dans l'alimentation du poulet de chair. Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 74p.

- Hamilton, R.M.G., Kennie, J. 1997.** The effect of lighting program, ingredient particle size and feed form on the performance of broiler turkeys. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 503-508.
- Han, I. K., Hochstetler., Scott, M.L. 1976.** Metabolisable energy values of some poultry feeds determined by various methods and their estimation using metabolisability of the dry matter. *Poult. Sci.* 55: 1335-1342.
- Hansmeyer, W.A., Satterlee, L.D., Mattern, P.J. 1976.** Characterization of products from wet fractionation of wheat bran. *J. Fd. Sci.* 41: 505-508.
- Harland, B.I. 1993.** *In.* Handbook of cereal science and technology. Lorenz, K.J., Kulp, K. (eds) Dekker, M. Inc. New York. 469-496.
- Harms, R.H., Buresh, R.E., Wilson, H.R. 1983.** The influence of the grower diet and fat in the layer diet on performance of turkey hens. *Poult. Sci.* 63: 1634-1637.
- Hart, J.S. 1962.** Seasonal acclimatization in four species of small wild birds. *Physiological Zoölogy*, 35: 224-236.
- Hartland, B.F., Oberleas, D. 1977.** Determination of phytic acid in flour. *Cer.Chem.* 54: 827-832.
- Härtel, H., Schneider, W., Seibold, R., Lantsch H.J. 1977.** Beziehungen zwischen der N- korrigierten UmsetzbarenEnergie und den Nährstoffgehalten des Futters beim Huhn. *Archiv für Geflügelkunde.* 41: 152-181.
- Hartfiel, W. 1963.** Chemische Untersuchungen bei Stoffwechselfersuchen mit Hühnern. *In.* Krogdahl, A., Dalsgard, B. 1981. Estimation of nitrogen digestibility in poultry: content and distribution of major urinary nitrogen compounds in excreta. *Poult. Sci.* 60: 2480-2485.
- Hay, J.G. 1942.** *In.* Tabekhia, M.M., Donnelly, B.J. 1982. Phytic acid in durum wheat and its milled products. *Cer. Chem.* 59: 105-107.
- Hayashi, K., Kaneda, S., Otsuka, A., Tomita, Y. 1992.** Effects of ambient temperature and thyroxine on protein turnover and oxygen consumption in chicken squeletal muscle. *In.* Mulder, R. eds. Proceeding 19<sup>th</sup> World's Poultry Congress Mulder. 2: 93-96.
- Hazell, T. 1985.** Minerals in food : Dietary sources, chemical forms, interactions, bioavailability. *World. Rev. Nutr. Diet.* 46: 1-123.
- Hedge, S.N., Rolls, B.A., Coates, M.E. 1982.** The effects of the gut microflora and dietary dietary fibre on energy utilization by the chick. *Brit. J. Nutr.* 48: 73-80.
- Hedge, S.N., Rolls, B.A., Turvey, A. 1978.** The effects on chicks of dietary fibre from different sources: a growth factor in wheat bran. *Brit. J. Nutr.* 40: 63-69.
- Heller, V.G., Morris, L. 1928.** *In.* Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. *The annals of the royal agricultural college of Sweden.* 16: 749-776.
- Hepburn, F.N., Calhoun, W.K., Bradley, W.B. 1960.** The distribution of the amino acids of wheat in commercial mill products. *Cer. Chem.* 37: 749-755.
- Hetland, H., Svihus, B., Choct, M. 2005.** Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. *J. Appl. Poult. Res.* 14: 38-46.

- Hetland, H., Svihus, B., Krogdahl, Å. 2003.** Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. *Br. Poult. Sci.* 44: 275-282.
- Hetland, H., Svihus, B. 2001.** Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 42: 354-361.
- Hill, F.W., Anderson, D.L. 1958.** Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-863.
- Hillman, P.E., Scott, N.R., Van Tienhoven. 1985.** *In*. Geraert, P.A. 1990. Production et perte de chaleur : Mécanismes et régulation. Session Nationale : Le gavage des palmipèdes gras. 15/11/90. Dax. ITAVI. (France).
- Holloway, W.D. 1983.** Composition of fruit, vegetable and cereal dietary fibre. *J. Sci. Fd. Agric.* 34: 1236-1240.
- Hong, D., Ragland, D., Adeola, O. 2001.** Additivity and associative effects of metabolizable energy and amino acid digestibility in barley and canola meal for White Pekin ducks. *Brit. Poult. Sci.* 80: 1600-1606.
- Hoseney, R.C. 1986.** Principles of cereal sciences and technology. Hoseney, R.C (editor). American Association of cereal chemists (AACC). St Paul, MN, USA.
- Hoshii, H., Setsune, H., Yoshida, M. 1970.** Metabolizable energy of various feed ingredients estimated by quail and chicken. *Jap. Poult. Sci.* 7: 147-150.
- Howlider, M.A.R., Rose, S.P. 1987.** Temperature and the growth of broilers. *World's Poult. Sci. J.* 43: 228-237.
- Hubbell, C.H. 1980.** Feedstuffs analysis table. *Feedstuffs.* 52: 42-47.
- Hughes, R.J., Choct, M. 1999.** Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in poultry. *Aust. J. Agr. Res.* 50: 689-701.
- Hurwitz, S., Weiselberg, M., Eisner, U., Bartov, I., Riesenfeld, G., Sharvit, M., Niv, A., Bornstein, S. 1980.** The energy requirements and performance of growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature. *Poult. Sci.* 59 : 2290.
- INRA-AFZ, 2004.** Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins caprins, lapins, chevaux, poissons. Sauvart, D, Perez J.M et Trans G (eds), 2<sup>e</sup> édition révisée, INRA, Paris, 301p.
- ITAVI-ITCF, 1987.** Matières premières et alimentation des pondeuses. Apports nutritionnels recommandés. INRA. 14p.
- Janicki, J., Warchalewski, J., Skupin, J., Kowalczyk, J. 1970.** Trypsin inhibitors of plant origin. *Post. Bioch.* 16: 101-118.
- Janssen, W.M.M.A. 1979.** A concept for an European table of energy values for poultry. *In*. 2<sup>nd</sup> European symposium on poultry nutrition. 8-11 October. Beekbergen. The Netherlands. pp 37- 43.
- Janssen, W.M.M.A. 1976.** Research on the metabolizable energy of feedstuffs for poultry and on the relation between the metabolizable energy and the chemical

- composition. Beekbergen, The Netherlands. Rapport 121-176. Spelderholt Centre for Poultry Research and Extension.
- Janssen, W.M.M.A., Terpstra, K., Beeking, F.F.E., Bisalky, A.J.N. 1989.** Feeding values for poultry. 2<sup>nd</sup> ed. Mededeling. Spelderholt institute for poultry research, Beekbergen; The Netherlands.
- Janssen, W.M.M.A., Carré, B. 1985.** *In*. Recent Advances in Animal Nutrition – 1985 (eds W. Haresign and D.J.A Cole), Butterworths, London, pp 71-86.
- Jeltema, M.A., Zabik, M.E. 1980.** Revised method for quantitating dietary fiber components. *J. Sci. Fd Agric.* 31: 820-829.
- Jeroch, H. 1987.** *In*. Choct, M., Annison, G. 1992. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *Brit. J. Nutr.* 67: 123-132.
- Johnson, R.J. 1987.** *In*. Choct, M., Annison, G. 1992. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *Brit. J. Nutr.* 67: 123-132.
- Johnson, A.L. 1981.** Comparison of three serial blood sampling techniques on plasma hormone concentrations in laying hens. *Poult. Sci.* 60: 2322- 2327.
- Johnson, R.J., Farrell, D.J. 1983.** Energy metabolism of groups of broiler breeders in open-circuit respiration chambers. *Brit. Poult. Sci.* 24: 439- 453.
- Joindreville, C., Van den Broecke, J., Gros jean, F., Van Cauvenberghe, S., Gatel, F. 2000.** Ileal true digestibility of amino acids in wheat milling by-products for pigs. *Ann. Zootech.* 49: 55-65.
- Jorgensen, H., Sorensen, P., Eggum, B.O. 1990.** Protein and energy metabolism in broiler chickens selected for either body weight gain or feed efficiency. *Brit. Poult. Sci* 31:517-524.
- Kaci, A. 2007.** La filière avicole en Algérie. Séminaire Perspectives Agricoles et agro-alimentaires Maghrébines, Libéralisation et Mondialisation. Alger: 7-9 avril 2007.
- Kagan, A. 1981.** Supplemental fats for growing turkeys. A review. *World's. Poult. Sci. J.* 37: 203-210.
- Kalugin, J. 1924.** *In* . Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. *The annals of the royal agricultural college of Sweden.* 16: 749-776.
- Kaminiska, BZ. 1979.** *In*. Pishanamazi, A., Pourreza, J., Edriss, M.A., Samie, A.H. 2005. Influence of broiler breeder and laying hen breed on the apparent metabolizable energy of selected feed ingredients. *Int. J. Poult.Sci.* 4: 163-166.
- Karoca, A.G., Parker, H.M., Yeatman, J.B., Mc Daniel, C.P. 2002.** The effect of heat stress and sperm quality classification on broiler breeder male fertility and semenn ion concentrations. *Brit. Poult. Sci.* 44: 621- 628.
- Kent, N.L. 1966.** Subaleurone endosperm cells of high protein content. *Cer. Chem.* 43: 585-601.
- Kent-Jones, D.W., Amos, A.J. 1967.** *Modern cereal chemistry.* Food Trade Press, London. 10-12.
- Keshavarz, K., Fuller, H.L. 1980.** The influence of widely fluctuating temperature on heat production and energetic efficiency of broiler. *Poult. Sci.* 23: 393-403.

- Kiiskinen, T. 1992.** The nutritive value of industrial by-products for poultry. *Agric. Sci. Finl.* 1: 203-209.
- King, D., Ragland, D., Adeola, O. 1997.** Apparent and true metabolizable energy values of feedstuffs for ducks. *Poult. Sci.* 76: 1418-1423.
- Knudsen, K.E.B., Hansen, I. 1991.** Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major components. *Br. J. Nutr.* 65: 217-232.
- Koelkebeck, K.W., Parsons, C.M., Wang, X. 1998.** Effect of acute heat stress on amino acid digestibility in laying hens. *Poult. Sci.* 77: 1393-1396.
- Kohler, G.O., Palter, R. 1967.** Studies on methods for amino acid analysis of wheat products. *Cer.Chem.* 44: 512-520.
- Koong, L.J., Nienaber, J.A., Pekas, J.C., Yen, J.T. 1982.** Effects of plane of nutrition on organ size and fasting heat production in pigs. *J. Nutr.* 112: 1638-1642.
- Kratzer, F.H., Rajagura, R.W.A.S.B., Vohra, P. 1967.** The effect of polysaccharides on energy utilization, nitrogen retention and fat absorption in chickens. *Poult. Sci.* 46 : 1489-1493.
- Kouache, B.M. 1988.** Utilisation azotée de quelques matières premières chez le poulet de chair. Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 96p.
- Krogdahl, Å. 1986.** Antinutrients affecting digestive functions and performance in poultry. Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Poultry Conference. Paris.Vol 1: 239-248.
- Krogdahl, Å., Sell, J.L. 1989.** Influence of age on lipase, amylase, and protease activities in pancreatic tissue and intestinal content of young turkeys. *Poult. Sci.* 68 : 1561-1568.
- Kubena, L.F., Deaton, J.W., Reece, F.N., May, J.D., Vardaman, T.H. 1972.** The influence of temperature and sex on the amino acid requirements of the broiler. *Poult. Sci.* 51: 1391- 1396.
- Kunerth, W.H., Young, V.L. 1984.** Effect of variety and growing year on the constituents of durum bran fiber. *Cer. Chem.* 61: 350-352.
- Kussaibati, R., Leclercq, B. 1985.** A simplified rapid method for the determination of apparent and true metabolizable energy values of poultry feed. *Archiv Fur Geflugelkunde.* 49: 54-62.
- Kussaibati, R., Leclercq, B., Guillaume, J. 1983a.** Effet du calcium, du magnésium et des sels biliaires sur l'énergie métabolisable apparente et la digestibilité des lipides, de l'amidon et des protéines chez le poulet en croissance. *Ann. Zoot.* 32: 7-20.
- Kussaibati, R., Prevotel, B., Leclercq, B. 1983b.** Factors affecting endogenous energy losses in chickens. Assessments of the methods of estimation. *Nutr.Rep. Int.* 27: 221 – 230.
- Kuzmicky, D.D., Saunders, R.M., Edwards, R.H., Kohler, G.O. 1978.** Metabolizable energy values of treated wheat bran and wheat millrun protein concentrate. *Poult. Sci.*57:763-767.
- Lairon, D. 1991.** Les fibres alimentaires: de la constipation aux troubles métaboliques. *Impact. Med.* 115: 409.

- Lambert, G.P., Gisolfi, C.V., Berg, D.G., Moseley, P.L., Charley, L.W., Kregel, K.C. 2002.** Selected contribution: hyperthermia-induced intestinal permeability and the role of oxidative nitrosative stress. *J. Appl. Physiol.* 92: 1750-1761.
- Langhout, D.J. 1998.** *In.* Langhout, D.J. 1999. The role of the intestinal flora as affected by NSP in broilers. WPSA Dutch Branch. 12th European Symposium on Poultry Nutrition. 12-19/08/1999 Veldhoven (Pays Bas). 440p.
- Larbier, M., Leclercq, B. 1992.** Nutrition et alimentation des volailles. INRA éditions. France. 355p.
- Larbier, M., Chagneau, A.M., Geraert, P.A. 1993.** Influence of ambient temperature on true digestibility of protein and amino acid of rapeseed and soybean meals in broilers. *Poult. Sci.* 72: 289-295.
- Lavoisier, A.L. 1779.** *In.* Ziki, B. 1998. Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Alger. INA. 88p.
- Leboque, C., Van Cauwenbeche, S., Gatel, F., Paruelle, J.L. 1997.** Issues de meunerie, variabilité et conséquences en alimentation animale. Industries des céréales. 101.
- Leclercq, B. 1985.** Mesure et prédiction de la valeur énergétique: intérêt, signification, limites. *In.* Comptes-rendus de la conférence avicole- W.P.S.A. – S.I.M.A.V.I.P. du 18 Octobre 1985. Cahier N°1. Valeur énergétique et qualité des aliments. P 4-12.
- Leeson, S., Atteh, J.O. 1995.** Utilisation of fats and fatty acids by turkey poult. *Poult. Sci.* 74: 2003-2010.
- Leeson, S., Boorman, K.N., Lewis, D., Shrimpton, D.H. 1974.** Energy metabolizable with turkeys: metabolizable energy of dietary ingredients. *Br. Poult. Sci.* 15: 183-189.
- Leenstra, F.R., Pit, R. 1988.** *In.* Doeschate, R.A.H.M., Scheele, C.W., Schreurs V.V.A.M., Van Dr Klis, J.D. 1993 Digestibility studies in broiler chickens: influence of genotype, age, sex and method of determination. *Brit. Poult. Sci.* 34:131-146.
- Lei, K.Y., Slinger, S.J. 1970.** Energy utilisation in the chick in relation to certain environmental stresses. *Can. J. Anim. Sci.* 50: 285- 292.
- Lentle, R.G., Ravindran, V., Ravindran, G., Thomas, D.V. 2006.** Influence of feed particle size on the efficiency of broilers chickens fed wheat-based diets. *J. Poult. Sci.* 43: 135-142.
- Lessire, M. 1990.** Effect of feeding technique, *ad libitum* dry, or wet force feeding, on the true metabolisable energy values of raw materials for poultry. *Brit. Poult. Sci.* 31 : 785-793.
- Lessire, M., Hallouis, J.M., Revol, N., Rideaux, F. 1995.** Valeur énergétique des aliments chez la poule pondeuse. *INRA. Prod. Anim.*8: 189-195.
- Levin, R.G. 1994.** Digestion and absorption of carbohydrates from molecules and membrans to humans. *Am. J. Clin. Nutr.*59: 690S-698S.
- Li, Y., Ito, T., Nishibori, M., Yamamoto, S. 1992.** Effects of environmental temperature on heat production associated with food intake and on abdominal temperature in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 33 : 113-122.

- Liams, B. 2002.** Algérie, la transformation céréalière en question. *Agroligne*. 22: 32-33.
- Liao, S.F., Kies, A.K., Sauer, W.C., Zhang, Y.C., Ceroantes, M., He, J.M. 2005.** Effect of phytase supplementation to a low- and a high- phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids and energy. *J. Anim. Sci.* 83: 2130-2136.
- Liebert, F., Htoo, J.K., Sunder, A. 2005.** Performance and nutrient utilization of laying hens fed low-phosphorus corn-soybean and wheat-soybean diets supplemented with microbial phytase. *Poult. Sci.* 1576-1583.
- Liener, I.E. 1980.** Toxic constituents of plant foodstuffs. 2<sup>nd</sup> edition. New York. Academic Press.
- Lin, H., Jiao, H.C., Buyse, J., Decuypere, E. 2006.** Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's. Poult. Sci.* 62: 71-85.
- Lin, H., Zhang, H.F., Jiao, H.C., Zhao, T., Sui, S.J., Gu, X.H., Zhang, Z.Y., Buyse, J., Decuypere, E. 2005.** The thermoregulation response of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. Four-week-age. *Poult. Sci.* 84: 1173-1178.
- Lin, H., Decuypere, E., Buyse, J. 2004a.** Oxydative stress induced by corticosterone administration in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) 1. Chronic exposure. *Comp. Biochem. Physiol. B.* 139: 737-744.
- Lin, H., Malheiros, R.D., Moraes, V.M.B., Careghi, C., Decuypere, E., Buyse, J. 2004b.** Acclimatation of broiler chickens to chronic high environmental temperature. *Arch. Geflügelkd.* 68: 39-46.
- Lin, H., Wang, L.F., Song, J.L., Xie, Y.M., Yang, Q.M. 2002.** Effect of dietary supplemental levels of vitamin A on the egg production and immune responses of heat-stressed laying hens. *Poult. Sci.* 81: 458-468.
- Lockhart, H.B. 1968.** *In*. Bartnik, M and Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60: 92-131.
- Lockhart, W.C., Bryant, R.L., Bolin, D.W. 1963.** Factors affecting the use of classical metabolizable caloric values. *Poult. Sci.* 42: 1285.
- Longe, O.G. 1984.** Effect of increasing the fibre content of a layer diet. *Brit. Poult. Sci.* 25: 187-193.
- Lossel, H. 1924.** *In*. Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. *The annals of the royal agricultural college of Sweden.* 16: 749-776.
- Mac Masters, C.C., Hinton, J.J.C., Bradbury, D. 1978.** *In*. Wheat chemistry and Technology, 2<sup>nd</sup> edition, pp 51-113. Pomeranz, Y (editor), American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA.
- Maenz, D.D., Engele-Schaan, C.M., Newkirk, R.W., Classen, H.L. 1999.** The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution and in slurry of canola meal. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 81: 177-192.
- Maga, J.A. 1982.** Phytate: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance and methods of analysis. *J.Agric. Food. Chem.* 30: 1-9.

- Mahagna, M., Nir, I., Larbier, M., Nitsan, Z. 1995.** Effect of age on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat type chicks. *Reprod. Nutr. Dev.* 35: 201-212.
- March, B.E., Biely, J. 1971.** Factors affecting the response of chicks to diets of different protein value: breed and age. *Poult. Sci.* 50: 1036-1040.
- Marsden, A., Morris, T.R., Cromarty, A.S. 1987.** Effect of constant environmental temperatures on the performances of laying pullets. *Br. Poult. Sci.* 28: 361-380.
- Mc Leod, M.G. 1992.** Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 32°C in growing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents. *Br. J. Nutr.* 67: 195-206.
- Mc Leod, M.G. 1991.** Effects of feeding by crop intubation on energy metabolism and physical activity in domestic cockerels. *Brit. Poult. Sci.* 32: 1089-1095.
- Mc Leod, M.G. 1985.** Environment-nutrient interactions in turkeys. *Turkeys.* 33: 24-29.
- Mc Leod, M.G., Jewitt T.R., White J., Mitchell M.A. 1982.** The contribution of locomotor activity to energy expenditure in the domestic fowl. 9th EAAP Energy Metabolism Symposium, Norway, 72-75.
- Mc Masters, M.M., Bradbury, D., Hinton, J.J.C. 1964.** *In.* Saunders, R.M., Walker, H.G., Kohler, G.O. 1968. The digestibility of steam-pelleted wheat bran. *Poult. Sci.* 47: 1636-1637.
- Mc Nab, J.M., Blair, J.C. 1988.** Modified assay for true and apparent metabolisable energy based on tube feeding. *Brit. Poult. Sci.* 29: 697- 707.
- Mc Nab, J.M. 1987.** The energy value of roots and mill by-products. 6<sup>th</sup> European Symposium on poultry nutrition. Königsllutte, 11-15 October. FR Germany. A26 - A31.
- Mc Nab, J. M., Shannon, D.W.F. 1972.** Studies of the process of digestion in the fowl: dry matter and total nitrogen. *Brit.Poult.Sci.* 13: 495-502.
- Meltzer, A. 1985.** *In.* Geraert, P.A. 1989. Energy metabolism of broilers under hot environmental conditions. 1<sup>st</sup> French-Egyptian Symposium on Poultry Science and development. Cairo. 28-30/03/1989.
- Mendes, A.A., Watkins, S.E., England, J.A., Saleh, E.A., Waldroup, A.L., Waldroup, P.W. 1997.** Influence of dietary lysine levels and arginine: lysine ratios on performance of broilers exposed to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. *Poult. Sci.*76: 472- 481.
- Miladi, B.S., Hegsted, D.M., Saunders, R.M., Kohler, G.O. 1972.** The relative nutritive value, amino acid content, and digestibility of proteins of wheat mill fractions. *Cer. Chem.* 56: 118-119.
- Mitchell, H.H. 1942.** The evaluation of feeds on the basis of digestible and metabolizable nutrients. *J. Anim.Sci.* 1: 159-173.
- Mitchell, M.A., Carlisle, A.J. 1992.** The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (*Gallus Domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 101 A: 137-142.



- Mitchell, M.A., Carlisle, A.J., Hunte, R. 1995.** Increased enterocyte hexose accumulation in response to chronic heat stress. *Ital. J. Gastroenterol.* 27: 162.
- Mohammadkhani, A. 2005.** Study of pentosans (non starch polysaccharides), in durum wheat and its relation to the quality of protein and grain hardness index (H.I.). *Pak.J.Nutr.* 4: 208-209.
- Mongeau, R., Brassard, R. 1982.** Determination of neutral detergent fiber in breakfast cereals: pentose, hemicellulose, cellulose and lignin content. *J. Fd. Sci.*47: 550-555.
- Mossab, A. 1994.** Valorisation des issues de meunerie par addition de matières grasses animales ou végétales: Digestibilité chez le poulet et le dindonneau d'âges différents et effet sur la croissance chez le poulet. Thèse de magister, INA. Alger. 79p.
- Mossab, A., Achouri, A. 1995.** Intérêt de l'utilisation des matières grasses animales dans l'alimentation avicole. *Bull. Tech. ITPE.* 7.
- Mujahid, A., Sato, K., Akiba, Y., Toyomizu, M. 2006.** Acute heat stress stimulates mitochondrial superoxyde production in broiler skeletal muscle. *Poult. Sci.* 85: 1259-1265.
- Mujahed, A., Yoshiki, Y., Akiba, Y., Toyomizu, M. 2005.** Superoxyde radical production in chicken squeueletal muscle induced by acute stress. *Poult. Sci.* 84: 307-314.
- Mujahid, A., Ul Haq, I., Asif, M., Gilatani, A.H. 2004.** Effect of various processing techniques and storage on nutritional value of rice bran for broiler chicks. *J.Poult. Sci.* 41: 38-49.
- Muñoz, F. CIHEAM work group. 1991.** Nutritive value of feedstuffs and by-products of the Mediterranean area. *Option Méditerranéennes-Série Séminaires-N° 16:* 27-34.
- Musharaf, N.A., Latshaw, J.D. 1999.** Heat increment as affected by protein and amino acid nutrition. *World's. Poult. Sci. J.* 55: 233-240.
- National Research Council (NRC). 1994.** Nutrient Requirements of poultry. 9<sup>th</sup> edition. National Academy Press Washington (USA). 155p.
- Nelson, J.H., Glass, R.L., Geddes, W.F. 1963.** The triglycerides and fatty acids of wheat. *Cer.Chem.* 40: 343-351.
- Neukom, H.I. 1976.** *In.* Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60: 92-131.
- Newborne, P. M., Laerdal, O.A., O' Dell, B.L. 1957.** A surgical method for separation of urine and feces in young chickens. *Poult. Sci.* 39: 426-432.
- Nieto, R., Aguilera, J.F., Fernandez-Figares, I., Prieto, C. 1997.** Effect of a low protein diet on the energy metabolism of growing chickens. *Arch. Anim. Nutr.* 50: 105-119.
- Nilsson, M., Aman, P., Harkonen, H. 1997.** Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye. *J. Sci. Food. Agric.* 73: 143-148.
- Noy, Y., Sklan, D. 1995.** Digestion and absorption in the young chick. *Poult. Sci.* 74: 366-373.

- Noyons, A.K.M. 1937.** Méthode d'enregistrement en continu de la teneur en CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> des gaz respiratoires au moyen du diafaromètre thermique servant à l'étude du métabolisme des tissus des animaux et de l'homme. *Ann. Physiol. Physiochem. Biol.* 13: 909- 935.
- Nunes, R.V., Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Gomez, P.Z., Toledo, R.S. 2001.** Composição Bromatologica, Energia Metabolisavel e Equações de Predição da Energia do Grao e de Subprodutos do Trigo para Pintos de Corte. *Rev. Bras. Zootec.* 30: 785-795.
- O'Dell, B.L., de Boland, A.R., Koirtyohann, S.R. 1972.** Distribution of phytate and nutritionally important elements among morphological components of cereal grains. *J. Agric. Food. Chem.* 20: 718.
- Olson, D.W., Sunde, N.L., Bird, H.R. 1972.** The effect of temperature on metabolizable energy determination and utilization by the growing chick. *Poult. Sci.* 51:1915-1912.
- Olson, G., Lockhart, W.G., Bolin, D.W., Bryant, R.L. 1961.** Metabolizable energy values of soybean oil meal and meat meal as affected by protein levels and type. *Poult. Sci.*40: 260-265.
- Olsson D.W., Kihlen, R. 1948.** *In.* Vohra, P. 1966. Energy concepts for poultry nutrition. *World's. Poult. Sci. J.* 22: 7-22.
- OFAL.** Observatoire des filières avicoles.2000. Rapport annuel : Filières et marchés des produits avicoles en Algérie ; 1999. Institut Technique des élevages, Alger. 111p.
- ONAB.** Office National des Aliments du Bétail. 2004. Communication personnelle
- ONAB.** Office National des Aliments du Bétail. 2003. Dossier issue de meunerie. 7p. Mai 2003.
- ONS.** Office National des Statistiques. 2007. Communication personnelle.
- Opel, H., Proudman, J.A. 1982.** Effects of repeated handling and blood sampling on plasma prolactin levels in young turkeys. *Poult. Sci.* 61: 1390-1398.
- Oskan, S., Akbas, Y., Altan, O., Ayhan, V., Ozkan, K. 2003a.** The effect of short-term fasting on performance traits and rectal temperature of broilers during the summer season. *Br. Poult. Sci.* 44: 88-95.
- Oskan, S., Akbas, Y., Altan, O., Ayhan, V., Ozkan, K. 2003b.** The effect of high environmental temperature on growth performance of japanese quails with different body weight. *Int. J. Poult. Sci.* 3: 468-470.
- Osman, A.M.A, Tawfik, E.S., Klein, F.W., Hebel, W. 1989.** Effet de la température d'ambiance sur la croissance, les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande. *Arch. Gefl.* 53: 168-174.
- Osman, A.M., Tanios, N.I. 1983.** The effect of heat on the intestinal and pancreatic levels of amylase and maltase of laying hens and broilers. *Comp. Biochem. Physiol.*75A: 563-567.
- Ozbey, O., Ozcelik, M. 2004.** The effect of high environmental temperature on growth performance of japanese quails with different body weight. *Brit. Poult. Sci.* 77: 870-872.

- Ozbey, O., Yildiz, N., Aysöndü., Ozmen, Ö. 2004.** The effects of high temperature on blood serum parameters and the egg productivity characteristics of japanese quails (*Cortunix cortunix japonica*). *Int. Poult. Sci.* 3: 485-489.
- Padilha, J.F.C. 1995.** Influence de la chaleur sur le métabolisme énergétique et sa régulation chez les poulets en croissance. Thèse de Doctorat de l'Université de Tours. 205p.
- Palander, S., Näsi, M., Järvinen, S. 2001.** *In*. Proceedings of 13th European Symposium on Poultry Nutrition. Blankenberge, Belgium, September 30- October 4: 198-199.
- Paraschtschck, M. 1902.** *In*. Ekman, P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. The annals of the royal agricultural college of Sweden. 16: 749-776.
- Patterson, P.H., Sunde, M.L., Schieber, E.M., White, W.B. 1988.** Wheat middlings as an alternate feedstuff for laying hens. *Poult. Sci.* 67: 1329-1337.
- Payler, D.K., Pomare, E.W., Heaton, K.W., Harvey, R.F. 1975.** *In*. Hedge, S.N., Rolls, B.A., Coates, M.E. 1982. The effects of the gut microflora and dietary fibre on energy utilization by the chick. *Brit. J. Nutr.* 48: 73-80.
- Payne, C.G. 1966.** Practical aspects of environmental temperature for laying hens. *World's. Poult. Sci.* 22: 126-139.
- Peddie, J., Dewar, W.A., Gilbert, A.B., Waddington, D. 1982.** The use of titanium dioxide for determining apparent digestibility in mature domestic fowl (*Gallus domesticus*). *J. Agric. Sci.* 99: 233-236.
- Peguri, A., Coon, C. 1991.** Effect of temperature and dietary energy on layer performance. *Poult. Sci.* 70: 126-138.
- Petersen, C.F. 1975.** Metabolizable energy values of feedstuffs and energy requirements for laying hens. *Feedstuffs.* 24: 37-38.
- Petersen, C.F., Meyer, G.B., Sauter, E.A. 1976.** Comparison of metabolizable energy values of feed ingredients for chicks and hens. *Poult. Sci.* 55: 1163-1165.
- Peterson, C.J., Johnson, V.A., Mattern, P.J. 1986.** Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran and grain. *Cereal.Chem.* 63: 183-186.
- Peterson, C.J., Johnson, V.A., Mattern, P.J. 1983.** Influence of cultivar and environment on mineral element concentrations in wheat flour and bran of different cultivars. *Cer.Chem.* 60 : 450-455.
- Pettenkofer, M. 1892.** *In*. Ziki, B. 1998. Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Alger. INA.88p.
- Piat, D.M.C. 1990.** Le blé et les issues de meunerie dans l'alimentation animale. Caractéristiques analytiques et nutritionnelles. ZWYX.Document RM. Madrid. 269p.
- Picard, M., Sauveur, B., Fenardji, F., Angulo, I., Mongin, P. 1993.** Ajustements technico-économiques possibles de l'alimentation des volailles dans les pays chauds. *INRA. Prod. Anim.* 6: 87-103.

- Picard, M. Sauveur, B. 1997.** *In* Ferrah, A. 1997. La valorisation, concept et perspectives, une réflexion à partir du cas de l'alimentation des volailles en Algérie. Bull. Tech. ITPE. N°10.
- Pishanamazi, A., Pourreza, J., Edriss, M.A., Samie, A.H. 2005.** Influence of broiler breeder and laying hen breed on the apparent metabolizable energy of selected feed ingredients. *Int. J. Poult. Sci.* 4:163-166.
- Plavnik, I., Makovsky, B., Sklan, D. 2000.** Effect of age of turkeys on the metabolizable energy of different foodstuffs. *Brit. Poult. Sci.* 41: 615-616.
- Plavnik, I., Wax, E., Sklan, D., Bartov, I., Hirwutz, S. 1977a.** The response of broilers chickens and turkeys poults to dietary energy supplied either by fat or carbohydrates. *Poult. Sci.* 76: 1000-1005.
- Plavnik, I., Wax, E., Sklan, D., Hirwutz, S. 1977b.** The response of broilers chickens and turkey poults to steam-pelleted diets supplemented with fat or carbohydrates. *Poult. Sci.* 76: 1006-1013.
- Pomeranz, Y. 1988.** *In*. Wheat Chemistry and Technology, 3rd edition, pp 97-158. Pomeranz, Y (editor). American Association of Cereal Chemists. St Paul, MN, USA.
- Preston, C.M., Mc Cracken, K.J., Bedford, M.R. 2001.** Effect of level of wheat inclusion, fat source and enzyme supplementation on diet metabolizability and broiler performance. *Brit. Poult. Sci.* 42: 625-632.
- Proudfoot, F.G., Hulan, H.X. 1982.** Feed texture effects on the performance of turkeys broilers. *Poult. Sci.* 61: 327-330.
- Proudman, J.A, Mellen, W.J., Anderson, D.L 1970.** Utilization of feed in fast and slow-growing lines of chickens. *Poult. Sci* 49: 96-107.
- Protector, 1994.** Tables Protector de composition de matières premières destinées à l'alimentation animale. CEIP.
- Pym, R.A.E., Nicholls, P.J., Thomson, E., Choice, A., Farrell, D.J. 1984.** Energy and nitrogen metabolism of broilers selected over ten generations for increased growth rate, food consumption and conversion of food to gain. *Br. Poult. Sci.* 25: 529-539.
- Ragland, D., Thomas, C.R., Elkin, D., Adeola.O. 1999.** The influence of cecectomy on metabolizable energy and amino acid digestibility of selected feedstuffs for White Pekin ducks. *Poult. Sci.* 78: 707-713.
- Rao, P.V., Clandinin, D.R. 1960.** Effect of method of determination on the the metabolizable energy value of rapeseed meal. *Poult. Sci.* 49: 1069-1074.
- Rasper, V.H. 1979.** Chemical and physical properties of dietary cereal fiber. *Food. Techn.* 33: 40-44.
- Ravindran, V., Selle, G., Ravandran, G., Morel, P.C.H., Kies, A.K., Bryden, W.L. 2001.** Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poult. Sci.* 80: 338-344.
- Ravindran, V., Cabahug, S., Ravandran, G., Sell, P.H., Bryden, W. L. 2000.** Responses of broilers chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels.II. Effects on apparent

- metabolizable energy, nutrient digestibility and nutrient retention. *Br. Poult. Sci.* 41: 193-200.
- Ravindran, V., Cabahug, S., Ravandran, G and Bryden, W.L. 1999.** Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult. Sci.* 78: 99-706.
- Reece, F.N., Deaton, J.W. 1971.** Use of a time-proportioning thermostat for control of poultry-house environments. *Poult. Sci.* 50: 1622.
- Reeds, P.J., Wahle, K.W.J., Haggarty, P. 1982.** Energy costs of protein and fatty acid synthesis. *Proceedings of the Nutrition Society.* 41: 155-159.
- Refenetti, R., Menaker, M. 1992.** The circadian rhythm of body temperature. *Physiol. Behav.* 41: 613-637.
- Regnault, V., Reiset, J. 1849.** Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes. *In*. Ziki, B. 1998. Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Alger. INA. 88p.
- Renner, R., Hill, F.W. 1960.** The utilization of corn oil, lard and tallow by chickens of various ages. *Poult. Sci.* 39: 849-854.
- Rhône Poulenc, 1993.** Tables de Rhône Poulenc. Rhodimet Nutrition guide. 2<sup>ème</sup> édition. Antony. France. 55p.
- Rice Evans, C.A., Miller., Paganga, G. 1997.** Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends. Plant. Sci.* 2: 152-159.
- Rogel, A.M., Annison, E.F., Bryden, W.L., Balnave, D. 1987.** The digestion of wheat starch in broiler chickens. *Aust. J. Agr. Res.* 38: 639-649.
- Romijn, C.W., Lokhorst, W. 1961.** Some aspects of energy metabolism in birds. *Proc 2<sup>nd</sup> Symp. Energy metabolism.* Wageningen: 49-60.
- Rose, S.P., Uddin, M.S. 1997.** Effect of temperature on the responses of broiler chickens to dietary lysine balance. *Brit. Poult. Sci.* 38: S36- S37.
- Rozo, E. 1988.** Equations de prédiction de la valeur énergétique des matières premières utilisées en aviculture. Mémoire de fin d'études. ENSFA de Rennes. SRA-Nouzilly (France). 92p.
- Rutherford, S.M., Chung, T.K., Moughan, P. J. 2002.** The effect of microbial phytase on ileal phosphorus and amino acid digestibility in the broiler chicken. *Brit. Poult. Sci.* 44: 598-606.
- Sadercock, D.A., Hunter, R.R., Mitchell, M.A., Hocking, P.M. 2006.** Thermoregulatory capacity and muscle membrane integrity are compromised in broilers compared with layers at the same age or body weight. *Br. Poult. Sci.* 47: 322-329.
- Sadli, F. 2000.** Qualité des blés en Algérie: Etat actuel et perspectives. *In*. Ministère de l'agriculture-Office algérien interprofessionnel des céréales (Eds), Actes du premier symposium international sur la filière blé. Symposium-Blé 2000: Enjeux & stratégies, Alger, p11.

- #ahin, K., Küçük, K. 2001.** A simple way to reduce heat stress in laying hens as judged by egg laying, body weight gain and biochemical parameters. *Acta. Veter. Hung.* 49: 421-430.
- #ahin, K., Küçük, K., Sahin, N., Sari, M. 2002.** Effects of vitamin C and vitamin E on lipid peroxidation status, some serum hormone, metabolite and mineral concentrations of Japanese quails reared under heat stress (34°C). *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 72: 91- 100.
- Saki, A.A. 2005.** Effect of wheat and barley viscosity on broiler performance in Hamadan Province. *Int. J. Poult. Sci.* 4: 7-10.
- Salter, D.N. 1973.** The influence of gut micro-organisms on utilization of dietary proteins. *Proc. Nutr. Soc.* 32: 65-71.
- Sampson, D.A., Wen, Q.B., Lorenz, K. 1996.** Vitamin B6 and pyridoxine glucoside content of wheat and wheat flours. *Cer.Chem.* 73: 770-774.
- Saunders, R.M., Walker, H.G., Kohler, G.O. 1974.** In: Kuzmicky D.D, Saunders R.M, Edwards R.H., Kohler, G.O. 1978. Metabolizable energy values of treated wheat bran and wheat millrun protein concentrate. *Poult. Sci.* 57: 763-767.
- Saunders, R.M., Potter, A.L., Connor, M., Mc Cready, R.M. 1970.** Analysis of starch in wheat milling fractions. *Cer. Chem.* 47: 147-152
- Saunders, R.M., Walker, H.G., Kohler, G.O. 1969.** Digestibility of aleurone in wheat milling fractions. *Cer. Sci. Today.* 14: 99-100.
- Saunders, R.M., Walker, H.G., Kohler, G.O. 1968.** The digestibility of steam-pelleted wheat bran. *Poult.Sci.* 47: 1636-1637.
- Saunders, R.M., Walker, H.G. 1969.** The sugars of wheat bran. *Cer. Chem.* 46: 85-92.
- Savory, J.C. 1986.** Influence of ambient temperature on feeding activity parameters and digestive function in domestic fowls. *Physiol. Behav.* 38: 353-357.
- Scalbert, A., Williamson, G. 2000.** Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130: 2073S- 2085 S.
- Schoenherr, W.D., Stahly, T.S., Cromwell, G.L. 1989.** The effect of dietary fat or fiber addition on energy and nitrogen digestibility in lactating, primiparous sows housed in a warm or hot environment. *J. Anim. Sci.* 67: 473-481.
- Schwarz, P.B., Kunerth, W.H., Youngs, V.L. 1988.** The distribution of lignin and other fiber components within hard red spring wheat bran. *Cer.Chem.* 65: 59-64.
- Scott, T.A., Hall, J.W. 1998.** Using acid insoluble ash marker ratio (diet:digesta) to predict digestibility of wheat and barley metabolizable energy and nitrogen retention in broiler chicks. *Poult. Sci.* 77: 674-679.
- Sell, P.H., Ravindran, V., Caldwell, R. A., Briden, W.L. 2000.** Phytate and phytase: Consequences for poultry utilization. *Nutr. Res. Rev.* 13: 255-278.
- Sell, J.L., Krogdahl, A., Hanyu, N. 1986.** Influence of age on utilization of supplemental fats by young turkeys. *Poult. Sci.* 65: 546-554.
- Sell, J.L., Owing, W.G. 1984.** Influence of feeding supplemental fat by age sequence on the performance of growing turkeys. *Poult. Sci.* 63: 1184-1189.
- Sengupta, A., Sharma, R.K. 1993.** Acute heat stress in growing rats: Effects on small intestinal morphometry and in vivo absorption. *J. Therm.Biol.* 18: 145-151.

- Shelton, D.R., Lee, W.J. 2000.** *In*. Handbook of cereal science and technology. Lorenz, K.J., Kulp, K. (eds) Dekker, M. Inc. New York. 469- 496.
- Shivazad, I. 2002.** Values and prediction models of metabolizable energy of some feedstuffs produced in Iran. *J. Agric. Sci.* 8: 63-72.
- Sibbald, I.R. 1986.** The TME system of feed evaluation: methodology, feed composition data and bibliography. Technical Bulletin 1986-4E. Animal Research Centre, Research Branch – Direction Générale de la Recherche, Agriculture Canada, Ottawa.
- Sibbald, I.R. 1982.** Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 62: 983-1048.
- Sibbald, I.R. 1980.** Metabolizable energy in poultry nutrition. *Bioscience.* 30: 736.
- Sibbald, I.R. 1976.** The true metabolizable energy values of several feedstuffs measured with roosters, laying hens, turkeys and broilers hens. *Poult. Sci.* 55: 1459-1463.
- Sibbald, I.R., Price, K., Barrette, J.P. 1980.** True metabolizable energy values for poultry of commercial diets measured by bioassay and predicted from chemical data. *Poult. Sci.* 59: 808-811.
- Sibbald, I.R., Slinger, S.J. 1962.** The metabolizable energy of materials fed to growing chicks. *Research notes. Poult. Sci.* 41: 1612-1614.
- Sibbald, I.R., Slinger, J. 1963.** The effects of breed, sex, an arsenical and nutrient density on the utilization of dietary energy. *Poult. Sci.* 42: 1325-1332.
- Sibbald, I.R., Czarnocki, J., Slinger S.G., Ashton, C. 1963.** The prediction of the metabolizable energy content of poultry feedingstuffs from a knowledge of their chemical composition. *Poult. Sci.* 42: 486-492.
- Sibbald, I.R., Slinger, J., Ashton, G.C. 1961.** Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds.4. – The influence of calcium, phosphorus, antibiotic and pantothenic acid. *Poult. Sci.* 40: 945-951.
- Siegel, H.S. 1995.** Stress, strains and resistance. *Br. Poult. Sci.* 36: 3-20.
- Singh, M., Krikorian, A.D. 1982.** Inhibition of trypsin activity in vitro by phytase. *J. Agri. Food. Chem.* 30: 799-800.
- Siregar, A.P., Farrell, D.J. 1980.** A comparison of the energy and nitrogen metabolism of feed ducklings and chickens. *Br. Poult. Sci.* 21: 213-217.
- Sklan, D., Smirnov, A., Plavnik, R. 2003a.** The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br. Poult. Sci.* 44: 735-740.
- Sklan, D., Geyra, A., Talko, E., Gal-gerber, O., Uni, Z. 2003b.** Ontogeny of brush-border carbohydrate digestion in the chick. *Br. J. Nutr.* 89: 747-753.
- Slinger, S.J, Sibbald, I.R., Pepper W.F. 1964.** The relative abilities of two breeds of chickens and two varieties of turkeys to metabolize dietary energy and dietary nitrogen. *Poult. Sci.* 43: 329-333.
- Slominski, B.A., Boros, D., Campbell, L.D., Guenter, W., Jones, O. 2004.** Wheat by-products in poultry nutrition. Part I. Chemical and nutritive composition of wheat screenings, bakery by-products and wheat mill run. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 421-428.

- Smiths, C.H.M., Veldman, A., Verstegen, M.W.A., Beynen, A.C. 1997.** Dietary carboxymethylcellulose with high instead of low viscosity reduces macronutrient digestion in broiler chickens. *J. Nutr.* 127: 483-487.
- Smith, M.O., Teeter, R.G. 1987.** Potassium balance of 5 to 8-week old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on body weight gain and feed efficiency. *Poult. Sci.* 66: 487-492.
- Smith, A.J., Oliver, J. 1972.** Some nutritional problems associated with egg production at high environmental temperatures. 4. The effect of prolonged exposure to high environmental temperatures on the productivity of pullets on high energy diets. *Rhod. J. Agr. Res.* 10: 43-60.
- Smith, A.J., Oliver, J. 1971.** Some physiological effects of high environmental temperatures on the laying hen. *Poult. Sci.* 50: 912-925.
- Snow, J.L., Douglas, M.W., Parsons, C.M. 2003.** Phytase effects on amino acid digestibility in molted laying hens. *Poult. Sci.* 82: 474-477.
- Sorensen, P., Chawlibog, A., Eggum, B.O. 1983.** Protein and energy metabolism in two lines of chickens selected for growth on high or low protein diets. *Brit. Poult. Sci.* 24: 237-250.
- Souci, S.W., Fachmann W., Kraut, H. 1981.** Food composition and nutrition tables 1981/1982. 2<sup>ème</sup> édition revue amplifiée. E.D. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittel chemie, Garching b. München. 1352 p.
- Southgate, D.A.T., Bingham, S., Robertson, J. 1978.** *In*. Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60: 92-131.
- Spratt, R.S., Leeson, S. 1987.** Determination of metabolizable energy of various diet using Leghorn, Dwarf and Regular broiler breeder hen. *Poult. Sci.* 66: 314-317.
- Stutz, N. W., Matterson L.D. 1963.** Effect of breeder strains on metabolizable energy and productive energy determinations. *Poult. Sci.* 42: 1311.
- Sugden, L.G. 1974.** Energy metabolized by bantam chickens and blue-winged teal. *Poult. Sci.* 53: 2227-2228.
- Sukhija, P.S., Loomba, A., Ahuja, K.L., Munshi, S.K. 1985.** Glucosinates and lipid content in developing and germinating cruciferous seeds. *Plant. Sci.* 40: 1-6.
- Summers, J.D., Slinger, S.J., Pepper, W.F., Moran, E.T. 1968.** Biological evaluation of selected wheat fractions from nine different wheat samples for energy and protein quality. *Poult. Sci.* 47: 1753-1760.
- Svihus, B., Hetland, H. 2001.** Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusions. *Br. Poult. Sci.* 42: 633-637.
- Sykes, A.H. 1977.** Nutrition-environment interactions in poultry. *In* Haresign, W., Lewis, D., (Eds). *Nutrition and the climatic environment*, pp17-29 (London, Butterworths).
- Sykes, A.H. 1976.** *In*. Austic, R.E. 1985. Feeding poultry in hot and cold climates. *Physiology in Livestock Volume III.* 123-136. CRC. Press Boca Raton, FL.



- Sykes, A.H. 1971.** *In.* Bell, D.J., Freeman, B.M. 1971. Physiology and biochemistry of the domestic fowl. Vol 1. Ed. Academic Press. New York.
- Tabekhia, M.M., Donnelly, B.J. 1982.** Phytic acid in durum wheat and its milled products. *Cer. Chem.* 59: 105-107.
- Tafer, Z., Zaïdi, M. 1999.** Valorisation des régimes à base d'orge et d'issues de meunerie par supplémentation d'enzymes dans l'alimentation du poulet de chair. Mémoire d'ingénieur agronome. INA. Alger. 54p.
- Talamali, L. 2000.** La libéralisation du marché des céréales en Algérie. Symposium Blé 2000: enjeux & stratégies /Alger, 7-9 Février 2000. 11-19.
- Tanjendjaja, B., Buckie, K.A., Wooton, M. 1980.** Analysis of phytic acid by high-performance liquid chromatography. Short communication. *J. Chrom.* 197: 274-277.
- Tasaki, I., Kushima, M. 1979.** Heat production when single nutrients are given to fasted cockerels. *Proc. 8<sup>th</sup> EAAP. Symp. Energy metabolism.* 25-256.
- Ten Doeschate, R.A.H.M., Scheele, C.W., Schreurs, V.V.A.M., Van Der Klis, J.D. 1993.** Digestibility studies in broiler chickens: influence of genotype, age, sex and method of determination. *Br. Poult. Sci.* 34: 131-146.
- Temim, S., Chagneau, A.M. Guillaumin, S., Michel, J., Peresson, R., Geraert P.A., Tesseraud, S. 1999.** Effects of chronic heat exposure and protein intake on growth performance, nitrogen retention and muscle development in broiler chickens. *Reprod. Nutr. Develop.* 39: 145-156.
- Temim, S., Chagneau, A.M., Peresson, R., Tesseraud, S. 2000.** Chronic heat exposure alters protein turnover of three different skeletal muscles in finishing broiler chickens fed 20 or 25% protein diets. *J. Nutr.* 130: 813-819.
- Terpstra, K. 1979.** *In.* Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Symposium on Poultry Nutrition. 8-11 October 1979. Beekbergen. Netherlands.
- Terpstra, K., de Hart, N. 1974.** The estimation of urinary nitrogen and faecal nitrogen in poultry excreta. *Z. Tierphysiol. Tierernaehr. Futtermittel.* 32: 306-320.
- Tesseraud, S., Temim, S. 1999.** Modifications métaboliques chez le poulet de chair en climat chaud: conséquences nutritionnelles. *INRA. Prod. Anim.* 12: 353-363.
- Tesseraud, S., Temim, S., Guillaumin, S., Michel, J., Peresson, R., Chagneau, A.M. 1999.** *In.* 3<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Avicole, St Malo. 23-25 Mars 1999. Ed. ITAVI Paris, 205-208.
- Thomas, B. 1964.** *In.* Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. *World. Rev. Nutr. Diet.* 60 : 92-131.
- Thomas, B., Grahn, H. 1978.** Futter-und Nahrungskleie Inhaltstoffe, Eigenschaften und Anforderungen, Bericht 29. Getreidechemiker Tagung, Detmol. 197 : 18-19.
- Toyomizu, M., Tokuda, M., Mujahid, A., Akiba, Y. 2005.** Progressive alteration of temperature, respiration and blood acid-base balance in broiler chickens exposed to acute heat stress. *J. Poult. Sci.* 42 : 110-118.
- Trabzi, A. 1997.** Mesure de la production de chaleur par l'analyse la carcasse. Conception et construction d'une chambre respiratoire à confinement. Thèse de magister. INA. Alger. 90p.

- Tran, G., Skiba, F. 2005.** Variabilité inter et intra matière première de la teneur en phosphore total et phytique et de l'activité phytasique. INRA. Prod. Anim. 18: 159-168.
- Triboi, E. 1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*triticum aestivum* Thell). Agronomie. 10: 191-200.
- Tur, J.A., Rial, R.V., Planas, B. 1987.** Effect of thyroïdal state on the gastro intestinal transit and emptying of young broilers. Comp. Biochem. Physiol. A. 87: 665-670.
- Uni, Z., Gal-Garber, O., Geyra, A., Sklan, D., Yahav, S. 2001.** Changes in growth and function of chick small intestine epithelium due to early thermal conditioning. Poult. Sci. 80: 438- 445.
- Vanbelle, M. 1990.** In. Piat, D.M.C. 1990. Le blé et les issues de meunerie dans l'alimentation animale. Caractéristiques analytiques et nutritionnelles. ZWYX.Document RM. Madrid.269p.
- Van Kampen, M. 1984.** Physiological responses of poultry to ambient temperature. Arch. Exper.Vet.med. 38: 384-391.
- Van Soest, P.J. 1963.** Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. A.O.A.C. 46: 825-835.
- Van Soest, P.J., Wine, R.H. 1967.** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents.A.O.A.C. 50: 50-59.
- Verdeal, K., Lorenz, K. 1977.** Alkylresorcinols in wheat, rye and triticale. Cer. Chem.54 : 475-483.
- Veldkamp, T., Ferket, P.R., Kwakkel, R.P., Nixey, C., Noordhuizen, J.P.T.M. 2000.** Interaction between ambient temperature and supplementation of synthetic amino acid on performance and carcass parameters in commercial male turkeys. Poult. Sci. 79: 1608-1616.
- Vermorel, M., Bouvier, J.C., Bonnet, Y. 1973.** Construction et fonctionnement de 4 chambres respiratoires de type circuit fermé pour des études de nutrition énergétiques chez le rat en croissance. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.13: 505-519.
- Vohra, P. 1966.** Energy concepts for poultry nutrition. World's .Poult. Sci. J. 22: 6- 22.
- Voltz, W. 1909.** In. Ekman,P., Emanuelson, H., Fransson, A. 1949. Investigations concerning the digestibility in poultry. The annals of the royal agricultural college of Sweden. 16: 749-776.
- Waggle, D. H., Lambert, M.A., Miller, G.D., Farrell, E.P., Deyoe, C.W. 1967.** In. Bartnik, M and Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. World. Rev. Nutr. Diet. Diet. 60: 92-131.
- Waldroup, P.W., Adams, M.H., Waldroup, A.L. 1997.** Evaluation of National Research Council amino acidrecommandations for Large White Turkeys. Poult. Sci. 76: 711-720.
- Wallis, I.R., Balnave, D. 1984.** The influence of environmental temperature, age and sex on the digestibility of amino acids in growing broiler chickens. Brit. Poult. Sci. 25: 401-407.

- Webster, A.J.F. 1989.** The energetic efficiency of metabolism. Proceedings of the Nutrition Society.40: 121-128.
- Weipert, D., El Baya, A.W. 1977.** 5- Alkyl-Resorcin in Getreide und getreideprodukten. *In.* Bartnik, M., Jakubczyk, T. 1989. Chemical composition and the nutritive value of wheat bran. World. Rev. Nutr. Diet. Diet. 60: 92-131.
- Wenk, C., Van ES, A.J.H. 1976.** Energy metabolism of growing chickens as related to their physical activity. In Energy Metabolism of Farm Animal (ed M. Vermorel), EAAP Publication N° 19, G. de Bussac, Clermont-Ferrand, pp 189-192.
- Whitson, R. 1943.** *In.* Vohra, P. 1966. Energy concepts for poultry nutrition. World's Poult Sci. J. 22: 7-22.
- Wiernusz, C. 1998.** Nutritional therapies to optimize poultry production during high humidity and ambient temperature exposure. Technical News. 6: 1-6.
- Willm, C.L. 1995.** Comportement en mouture de 9 variétés de blé tendre : Influence de la dureté sur la granulométrie des farines (2<sup>ème</sup> partie). Rev. Ind. Cer. 94: 8-9.
- Wilson, W.O., Ithos, S., Siopes, T. 1972.** Production traits of Leghorn pullets in controlled temperature. Poult. Sci. 51: 1014-1023.
- Wiseman, J., Nicol, N.T., Norton, G. 2000.** Relationship between apparent metabolisable values and in vivo: in vitro starch digestibility of wheat for broilers. World's. Poult. Sci. 56: 305-318.
- Wolfenson, D. 1986.** The effect of acclimatization on blood flow and its distribution in normothermic and hyperthermic domestic fowl. Comp. Bioch. Physiol. 85 A: 739-742.
- Wolfenson, D., Sklan, D., Graber, Y., Kedar, O., Bengal, I., Hurwitz, S. 1987.** Absorption of protein, fatty acids and minerals in young turkeys under heat and cold stress. Br. Poult. Sci. 28: 739- 742.
- Wolfenson, D., Frei, Y.F., Snapir, N., Berman, A. 1979.** Effect of diurnal or nocturnal heat stress on egg formation. Brit. Poult. Sci. 20: 167-174.
- Yaghobfar, A., Boldaji, F., Csapo, J. 2000.** Influence of genotype, sex and age of chickens on metabolizable energy on poultry feeds. Acta Agraria. Kaposvariensis. 4:37-51.
- Yaghobfar, A. 2003.** Factors affecting the metabolizable energy values of poultry feedstuffs. World's poultry science association proceedings. 14<sup>th</sup> European Symposium on Poultry Nutrition. August 10-14. Lillehammes. Norway.
- Yalçın, S., Ozkan, S., Turkmut, L., Siegel, P.B. 2001.** Responses to heat stress in commercial and local broiler stocks. 1. Performance traits. Brit. Poult.Sci. 42: 149-152.
- Yamazaki, M., Zi-Yi, Z. 1982.** A note on the effect of temperature on true and apparent metabolizable energy values of a layer diet. British. Poult. Sci. 23: 447-450.
- Yunianto, V.D., Hayashi, K., Kaneda, S., Ontsuka, A., Tomita, Y. 1997.** Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tub-fed broiler chickens. Br. J. Nutr. 77: 897- 909.

- Zelenka, J. 2003.** Effect of pelleting on digestibility and metabolisable energy values of poultry diet. Czech. J. Anim. Sci. 48: 239-242.
- Zelenka, J. 1968.** Influence of the age of chicken on the metabolizable energy values of poultry diets. Br. Poult. Sci. 9: 135-142.
- Zeman, M., Buyse, J., Herichova, I., Decuypere, E. 2001.** Melatonin decreases heat production in female broiler chickens. Acta. Vet. Brno. 70: 15-18.
- Zemouli, Y. 1993.** Bioamélioration par des champignons filamenteux de rebuts de dates: valeur protéique et énergétique chez Gallus gallus. Thèse de magister. INA. Alger. 53p.
- Ziad, H.M. 2006.** Effect of high temperature *Per se* on growth performance of broilers. Int. J. Poult. Sci. 5: 19-21.
- Ziki, B. 1998.** Mise au point et fonctionnement d'une chambre respiratoire à confinement. Application à la mesure de la dépense énergétique chez le poulet de chair. Thèse de magister en Sciences Agronomiques. Alger. INA. 88p.
- Zubair, A.K., Forsberg, C.W., Leeson, S. 1996.** Effect of dietary fat, fiber and monensin on cecal activity in turkeys. Poult. Sci. 75: 891-899.
- Zuprizal, Chagneau, A. M., Larbier, M. 1992.** Digestibilités des acides aminés: Facteurs de variation de la digestibilité *in vivo* chez les volailles. *In* Colloque annuel Valicentre. Orléans 22-10-1992. France. Pp 79
- Zuprizal, X., Larbier, M., Chagneau, A.M., Géraert, P.A. 1993.** Influence of ambient temperature on true digestibility of protein and amino acids of rapeseed and soybean meals in broilers. Poult. Sci. 72: 289-295.