

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للبيطرة الحراش – الجزائر
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE VÉTÉRINAIRE EL-HARRACH - ALGER

THÈSE

En vue de l'obtention du diplôme de magister en Sciences Agrovétérinaires

Ecole doctorale : Production, hygiène et santé animale

Option : Alimentation, nutrition des animaux et développement des productions (ANADP)

Thème

*Effet de la chaleur sur l'utilisation digestive et métabolique
des protéines du tourteau de soja chez le coq*

Soutenu le : 23/06/2014

Par : M^{lle} DORBANE Zahia

Jury:

Présidente : M^{me} AIN BAZIZ Hacina

Professeur E.N.S.V d'Alger.

Promoteur : BOUDOUMA Dalila

Professeur E.N.S.A d'Alger.

Examineurs :

M^{me} : TEMIM Soraya

Professeur E.N.S.V d'Alger.

Mr GHOZLANE Faïçal

Professeur E.N.S.A d'Alger.

M^{me} : MEZIANE Fatima-Zohra

Chargé de cours E.N.S.A. d'Alger.

M^{me} : GAOUAS Yamina :

Chargé de cours E.N.S.V d'Alger.

Année : 2013/2014

Remerciements

Pour moi, présenter mes sincères remerciements est autant un plaisir qu'un devoir : Je tiens à exprimer ma haute gratitude au bon Dieu de m'avoir ouvert les portes du savoir et de m'avoir donné courage et volonté pour mener à bien ce travail.

- + Je tiens également à adresser mes remerciements les plus sincères à ma promotrice **M^{me} BOUDOUA, D.** pour le temps précieux qu'elle m'a consacré, pour son sérieux, pour sa gentillesse et sa patience.*
- + Mes sincères remerciements à **M^{me} AIN BAZIZ, H.** pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.*
- + Mes vifs remerciements à **M^{me} TEMIM, S.**, à **M^r GHOZLANE, F.**, **M^{me} MEZIANE, F.Z.** et **M^{me} GAOUAS, Y.** pour avoir accepté d'examiner notre travail.*
- + Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Monsieur **BOUDJENAH** le directeur de l'ITELV ainsi qu'à **M^{elle} ZITOUNI, G.** pour nous avoir aimablement fourni les coqs sur les quels se sont déroulés nos essais.*
- + Je tiens également à remercier le personnel technique du laboratoire d'analyses fourragères de l'ENSA en particulier **M^{me} KAZI AOUEL, S.***
- + Mes remerciements s'adressent également au personnel technique du laboratoire de zootechnie de l'ENSV en particulier **M^{elle} CHIRANE, M.***
- + Mes vifs remerciements à **M^r KADI, S.A.** de l'UMMTO pour ses conseils et son aide ainsi qu'à **M^r BERCHICHE, M.** de l'UMMTO sans eux je n'en serais pas là aujourd'hui.*
- + Un grand merci pour **M^{elle} ALLOUCHE, N.** et **M^{elle} BOUDJELABA, H.***
- + Je remercie également **MEBAREK, T.E** et **HADDAD S.** auxquels je souhaite bon courage.*
- + Un grand merci pour mes parents qui m'ont soutenus et encouragés.*



Dédicaces



Je dédie ce travail à :

-  **Mes très chers parents ;** *Qui sont ce que j'ai de plus précieux dans la vie et aux quels je dois beaucoup de respect et d'affection pour leur soutien, patience, et sacrifices. Sans vous je ne serais pas là où je suis aujourd'hui. Je vous aime et que dieu vous garde. Que ce travail soit le témoignage de mon affection et de ma reconnaissance*
-  **Mes chères sœurs :** *Samira, Dehbia, Ouardia et Hayet.*
-  **Mes chers frères :** *Belaid, Said et Salem.*
-  **Mes chères belles sœurs :** *Rachida et Nadia.*
-  **Mes nièces et mes neveux bien aimés :** *Lina, Anaïs, Achour, Yousef et Mahdi*
-  **Toute ma famille et tous mes proches.**
-  *A la mémoire de ma tante, à son mari et ses enfants en particulier Siham, Nadjoua, Sabah, Abdo et à Fahed*
-  *A tata Nadia et ses enfants : Sonia, Nazim et Lili*
-  **Tous mes amis(e)s surtout :** *Nourredine, Kahina et Nadjia*
-  **A tous mes enseignants durant mon cursus.**
-  **A tous mes camarades de la promotion 2013-2014.**
-  **Tous ceux que je connais et qui me sont chers.**

Tous, vous m'avez incitée à la soif du savoir et à ce titre, merci.

Introduction	1
--------------------	---

Partie bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur le tourteau de soja	3
--	----------

I.1. Importance du tourteau de soja en alimentation avicole	3
---	---

I.2. Les différents types de tourteaux	5
--	---

I.2.1. Classification des tourteaux selon l'espèce végétale	6
---	---

I.2.2. Classification des tourteaux selon le processus de traitement utilisé	8
--	---

I.3. Composition chimique du tourteau de soja et facteurs de variation	10
--	----

I.3.1. Matière sèche	10
----------------------------	----

I.3.2. Matière minérale	11
-------------------------------	----

I.3.3. Protéines brutes	11
-------------------------------	----

I.3.4. Matière grasse	13
-----------------------------	----

I.3.5. Composés pariétaux	13
---------------------------------	----

I.3.6. Composés glucidiques	14
-----------------------------------	----

I.3.7. Vitamines	14
------------------------	----

I.3.8. Facteurs antinutritionnels	15
---	----

I.4. Valeur nutritionnelle du tourteau de soja et facteurs de variation	20
---	----

I.4.1. Valeur protéique	20
-------------------------------	----

I.4.2. Valeur énergétique	23
---------------------------------	----

Chapitre II : Utilisation digestive des protéines chez le poulet de chair	25
--	-----------

II.1. L'appareil digestif du poulet de chair	25
--	----

II.1.1. Le tube digestif	25
--------------------------------	----

II.1.2. Les glandes annexes	28
-----------------------------------	----

II.2. La digestion des protéines	28
--	----

II.3. Facteurs de variation de la digestibilité des protéines	30
---	----

II.3.1. Facteurs liés à l'animal	30
--	----

II.3.1.1. Effet du génotype	30
-----------------------------------	----

II.3.1.2. Effet de l'âge	30
--------------------------------	----

II.3.1.3. Effet du sexe	31
-------------------------------	----

II.3.2. Facteurs liés à la matière première	31
---	----

II.3.2.1 Effet de la composition chimique	31
---	----

II.3.2.2. Effet des traitements technologiques.....	32
II.3.2.3. Effet de la structure de la protéine	33
II.3.3. Méthodologies de mesure	34
II.3.3.1. Méthodes directes	34
II.3.3.2. Méthode indirecte	38
Chapitre III : Impact du stress chez le poulet de chair.....	39
III.1. Généralités	39
III.1.1. Définition du stress thermique	39
III.1.2. Réponse de l'animal à un stress thermique	43
III.1.2.1. Réponse comportementale	43
III.1.2.2. Réponse physiologique	43
III.1.2.3. Réponse hormonale	45
III.1.2.4. Réponse moléculaire	46
III.2. Comportement alimentaire du poulet de chair face au stress thermique	47
III.2.1. Ingéré alimentaire	47
III.2.2. La consommation d'eau	47
III.3. Effet du stress thermique sur la digestion et l'absorption des nutriments	48
 Partie expérimentale	
Chapitre IV : Matériel et méthodes	50
IV.1. Matériel	50
IV.1.1. Le bâtiment	50
IV.1.2. L'aliment	51
IV.1.3. Les animaux	51
IV.2. Méthodes	52
IV.2.1. Méthode de mesure des paramètres d'ambiance	52
IV.2.2. Méthodes de mesure des paramètres biologiques	52
IV.2.2.1. Mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température optimale et chaude	52
VI.2.2.2. Protocole de mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température optimale	52
VI.2.2.3. Protocole de mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température élevée	54
IV.2.3. Méthodes de mesures analytiques	54

IV.2.3.1. Analyses chimiques	54
IV.2.3.2. Méthodes de calculs	55
IV.2.3.3. Méthode de mesures statistiques.....	56
Chapitre V : Résultats et discussion	57
V.1. Composition chimique du tourteau de soja	57
V.2. Paramètres d'ambiance	58
V.2.1. Température ambiante	58
V.2.2. Humidité relative	59
V.3. Qualité protéique du tourteau de soja et impact de la chaleur	60
V.3.1. Niveau de consommation et excrétion azotée	60
V.3.2. Digestibilité des protéines	63
V.3.3. Rétention azotée et valeur biologique	65
Discussion générale	66
Conclusion	68
Références bibliographiques	70
Annexes	

Figure	Page
Figure 1 : Processus de production du tourteau de soja extrait par solvant	8
Figure 2 : Le matériel nécessaire pour une transformation par extrusion/presse continue	9
Figure 3 : Schéma du tube digestif chez le coq (COZANNET, 2010)	25
Figure 4 : Structure de la paroi intestinale (GUADRIA, 2011)	27
Figure 5 : Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'environnement (AMAND <i>et al.</i> , 2004)	40
Figure 6 : Représentation schématique illustrant la réponse de l'oiseau à une température ambiante élevée (MORÊKI, 2008)	41
Figure 7 : Evolution de la zone de neutralité thermique chez le poulet (AMAND <i>et al.</i> , 2004)	42
Figure 8 : Oiseau en équilibre thermique (VALANCONY, 1997 ; AMAND <i>et al.</i> , 2004) ...	43
Figure 9 : Augmentation du rythme respiratoire avec l'augmentation de la température ambiante (VALANCONY 1997 ; AMAND <i>et al.</i> , 2004)	44
Figure 10 : Limite de résistance à la chaleur (VALANCONY, 1997 ; AMAND <i>et al.</i> , 2004)	45
Figure 11 : Phase finale mortalité par hyperthermie (VALANCONY, 1997 ; AMAND <i>et al.</i> , 2004)	45
Figure 12 : Cage individuelle à métabolisme	50
Figure 13 : Pesées des animaux	51
Figure 14 : Protocole expérimental pour mesure de digestibilité chez le poulet (BOURDILLON <i>et al.</i> , 1990)	52
Figure 15 : Fientes d'origine alimentaire	53
Figure 16 : Fientes d'origine endogène	53
Figure 17 : Quantités de tourteau de soja ingérées par les animaux durant les 2 essais	61

Tableau	Page
Tableau 1 : Teneur relative en lysine des protéines des différentes matières premières (%) du produit brut	5
Tableau 2 : Classification des tourteaux	6
Tableau 3: Composition chimique moyenne des différents tourteaux (%) du produit brut ..	10
Tableau 4: Teneurs en minéraux du tourteau de soja	11
Tableau 5 : Teneur en acides aminés du tourteau de soja	12
Tableau 6: Teneur en acides gras du tourteau de soja	13
Tableau 7 : Teneur en vitamines du tourteau de soja	14
Tableau 8 : Teneur en facteurs antinutritionnels des graines de soja et du tourteau de soja ..	16
Tableau 9: Composition du tourteau de soja (%), provenant de la Chine, du Brésil et des Etats Unis	18
Tableau 10 : Composition chimique du tourteau de soja (%MS) de différentes origines ...	19
Tableau 11: Digestibilité apparente (%) des acides aminés du tourteau de soja	20
Tableau 12 : Conséquence d'un traitement thermique excessif sur la digestibilité des acides aminés du tourteau de soja	21
Tableau 13 : Quelques caractéristiques des tests d'appréciation de la qualité du tourteau de soja	22
Tableau 14: Energie Métabolisable (Kcal/Kg de produit) pour la volaille du tourteau de soja	24
Tableau 15 : Quelques caractéristiques des enzymes responsables de la digestion des protéines chez la volaille	29
Tableau 16 : Caractéristiques structurales des protéines pouvant avoir un effet négatif sur leur hydrolyse	33
Tableau 17 : Hormones impliquées dans la lutte contre le stress thermique chez la volaille	46

Tableau 18 : Effet du stress thermique sur la physiologie digestive	48
Tableau 19 : Composition chimique (% MS) du tourteau de soja	57
Tableau 20 : Valeurs moyennes des températures ambiantes (°C) enregistrées durant les 2 essais expérimentaux	59
Tableau 21 : Valeurs moyennes d'humidité relative (%) enregistrées durant les 2 essais expérimentaux	60
Tableau 22 : Valeurs moyennes quotidiennes de consommation de tourteau de soja(g MS, g MS/kg PV, g MS/kg P ^{0,75}) des coqs durant les 2 essais expérimentaux	60
Tableau 23 : Valeurs moyennes des quantités d'excrétas (d'origine alimentaire et endogène) et de leurs composantes en N total, fécal et urinaire des 2 lots de coqs	62
Tableau 24 : Digestibilité apparente et réelle des protéines du tourteau de soja en condition de température optimale	64
Tableau 25 : Rétention azotée et valeur biologique du tourteau de soja	65

AA: Acides amines

ADF: Acid detergent fiber

ADL: Acid detergent fiber

CB : Cellulose brute

CEE : Communauté Economique Européenne

CUD : Coefficient d'utilisation digestive

CUDa : Coefficient d'utilisation digestive apparent

CUDp : Coefficient d'utilisation digestive des protéines

CUDr : Coefficient d'utilisation digestive réel

Cys: Cystine

DIA : Digestibilité iléale apparent

DIA : Digestibilité iléale réelle

EB : Energie brute

EMAn: Energie métabolisable apparent corrigée pour une rétention azotée nulle

ENA : Extractif non azoté

ENSA : Ecole Nationale Supérieure Agronomique

FAN: Facteurs antinutritionnels

HCl : Acide chlorhydrique

ITELV : Institut Technique des Elevages

KSTI : Kunitz Soybean Trypsin Inhibitor

MAT : Matière azotée totale

Mét : Méthionine

MG : Matière grasse

MM : Matière minérale

MS : Matière sèche

NDF: Neutrel detergent fiber

ONAB : Office Nationale des Aliments de Bétail

P^{0,75} : Poids métabolique

PB : Protéines brutes

ppm : Partie par million

PV : Poids vif

RN : Rétention azotée

T : Tonne

TS: Tourteau de soja

USA: United Stat of America

VB: Valeur biologique

Annexe 1 : Tâches quotidiennes effectuées lors des bilans digestifs

Annexe 2 : Le matériel et produits nécessaires pour la précipitation des protéines fécales (TERPSTRA et HART, 1974)

Annexe 3 : Composition des solutions utilisées pour la détermination de l'azote fécal par la méthode de TERPSTRA et HART (1974)

Annexe 4: Quantité de tourteau de soja ingéré par les coqs de l'essai 1

Annexe 5: Quantité de tourteau de soja ingéré par les coqs de l'essai 2

Annexe 6 : Teneurs en matière azotée totale, fécale et endogène des excréta de l'essai 1

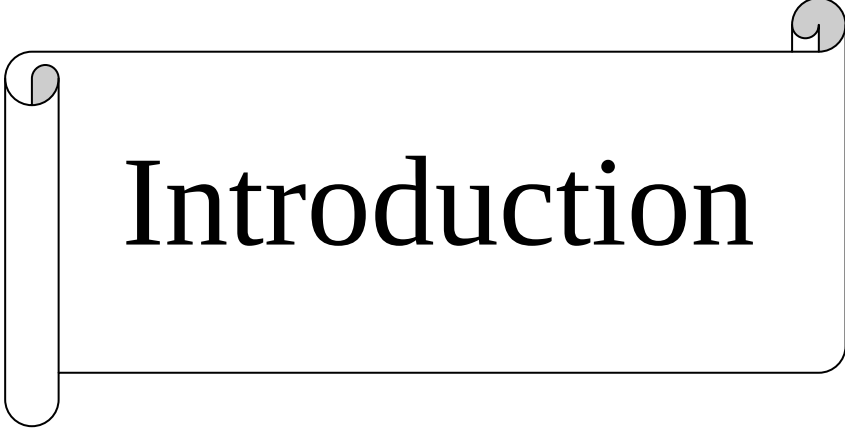
Annexe 7 : Teneurs en matière azotée totale, fécale et endogène des excréta de l'essai 2

Annexe 8 : Valeurs moyennes des CUDa et CUDr des protéines du tourteau de soja chez des coqs maintenu à température ambiante optimale

Annexe 9 : CUDa et CUDr des protéines du tourteau de soja chez des coqs soumis au stress thermique

Annexe 10 : Rétention azotée et valeur biologique des protéines du tourteau de soja chez les coqs de l'essai 1

Annexe 11 : Rétention azotée et valeur biologique des protéines du tourteau de soja chez les coqs de l'essai 2



Introduction

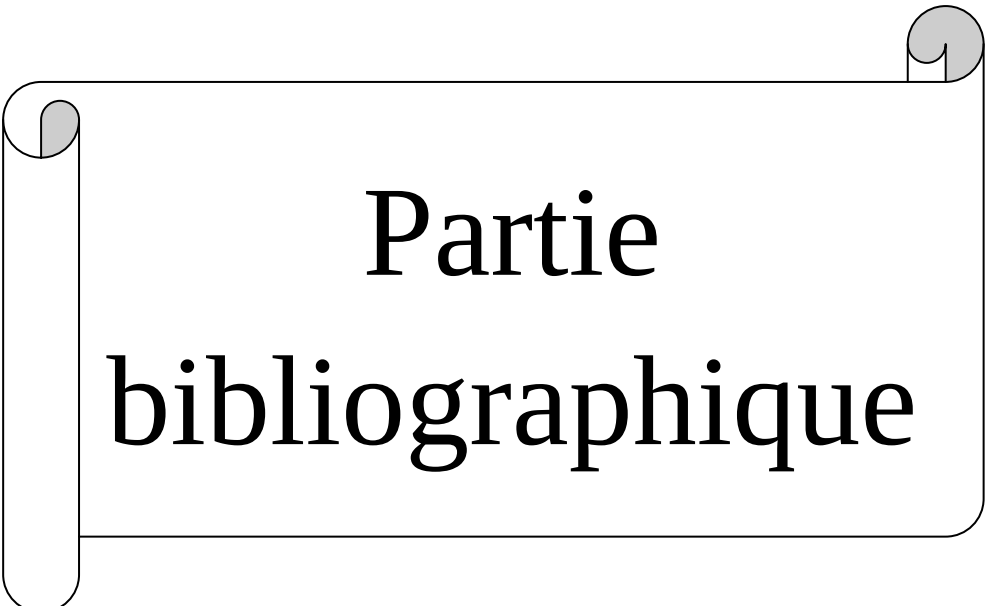
La demande croissante en protéines d'origine animale pour l'alimentation humaine, a conduit au développement des élevages intensifs qui exigent des apports alimentaires riches en énergie et en protéines obtenus le plus souvent par l'association céréale/tourteau de soja (BILLON, NEYROUMANDE et DESHAYES, 2009). En effet, le tourteau de soja est la source de protéine la plus communément utilisée dans la formulation des aliments destinés aux volailles, avec un taux d'incorporation rarement inférieur à 10% (DUDLEY-CASH, 2003). En Algérie, bien que des formules alimentaires basées sur la combinaison maïs-tourteau de soja sont utilisées pour l'alimentation de poulets de chair à haut potentiel de croissance, les performances de ces derniers restent faibles (MEDDAH, 2011 ; MAHROUZ, 2010 ; ALLAB et BELHOUS, 2009 ; DAHMAN et ZAOUI, 2009 ; ATMANE et BENFEDDA, 2007 ; BOUDAA, 2006). Ce constat serait en priorité lié à la qualité de l'aliment fabriqué et aux conditions dans lesquelles il est utilisé par la volaille.

La valeur nutritionnelle d'un aliment étant étroitement liée à celle des matières premières qui le constituent, il nous est apparu nécessaire d'étudier dans une première étape celle des produits issus d'une transformation technologique rendant plus grande la variabilité de leur profil nutritionnel. Le choix de la matière première s'est tourné en direction du tourteau de soja, importé en grandes quantités : 716 673 T (en 2009); 965 844 T (en 2010); 1 132 422 T (en 2011); 890 669 T (en 2012) et 1 372 680 T (en 2013) selon l'ONAB (2014) à un coût élevé (953 083 795.76 dollars en 2013) et qui de plus, en conditions de mauvaise utilisation par l'oiseau, participe à la pollution de l'environnement de part l'importante excrétion d'azote (AUDOIN, 1991).

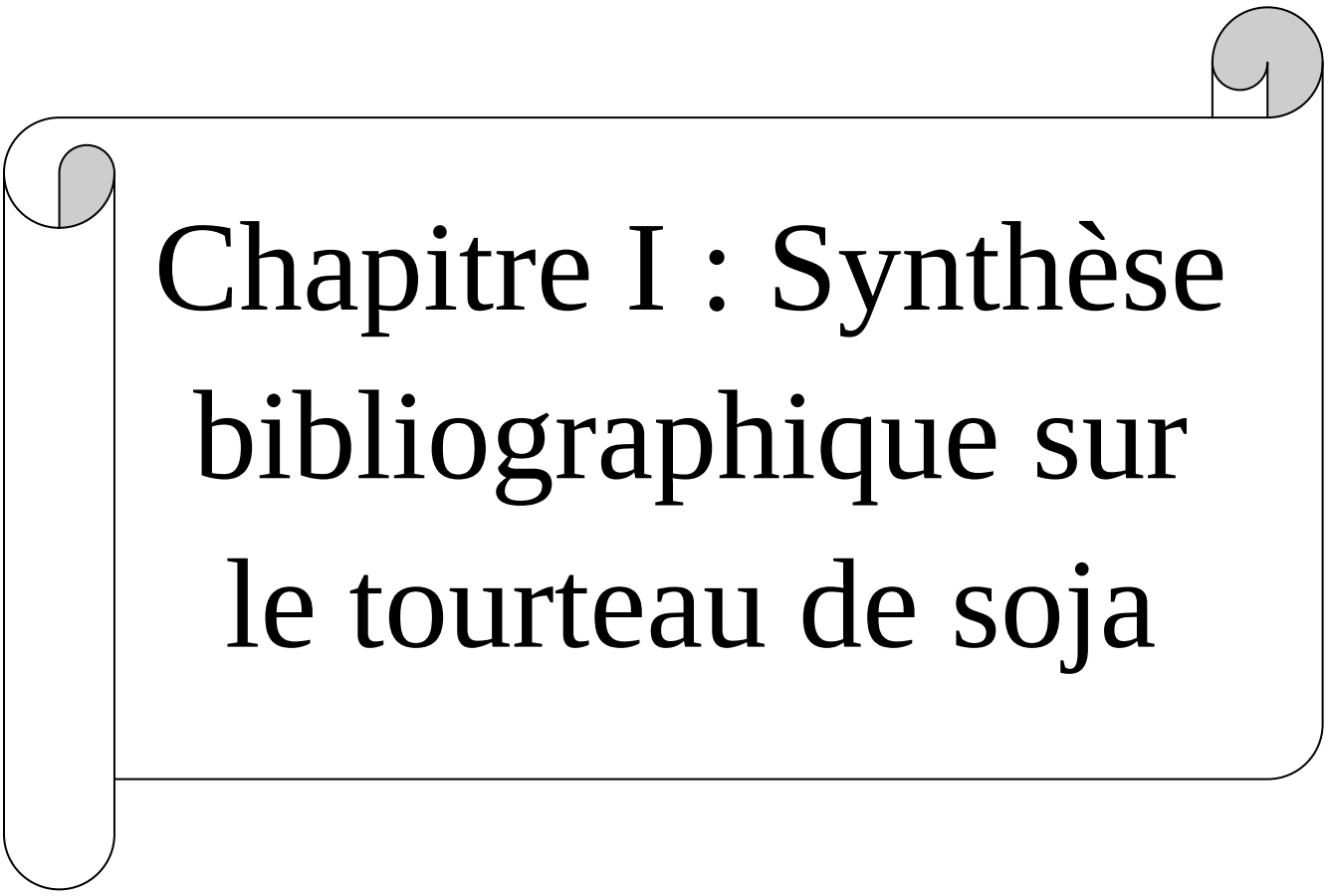
La littérature spécialisée rapportant un effet de la chaleur sur la qualité des protéines de quelques matières premières utilisées en alimentation avicole (BONNET, 1990 ; BONNET *et al.*, 1997 ; ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER, 1992 ; ZUPRIZAL *et al.*, 1993), nous avons entrepris d'en mesurer l'incidence sur les protéines du tourteau de soja en comparant leur digestibilité apparente et réelle ainsi que leur valeur biologique obtenues chez le coq élevé en conditions de température optimale à celles mesurées chez le coq soumis à des conditions de température élevée.

Le document s'articule sur 3 parties : **La première** partie traite des données bibliographiques relatives au tourteau de soja, à l'utilisation digestive des protéines chez *Gallus gallus* et l'impact de la chaleur sur l'élevage des poulets de chair. **La deuxième partie** présente le matériel et méthodes utilisés au cours de l'analyse du tourteau de soja et

des essais sur coqs. **La troisième partie** rapporte les résultats discutés des mesures concernant le profil chimique et nutritionnel du tourteau de soja ainsi que l'effet de la chaleur sur les paramètres digestibilité et valeur biologique. La discussion générale suivie de la conclusion présente quelques pistes d'investigations futures qu'inspire ce travail.



Partie bibliographique

A decorative graphic of a scroll with a light gray background and a black outline. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a darker gray shadow. The text is centered within the unrolled portion.

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur le tourteau de soja

La demande mondiale sans cesse croissante en protéines d'origine animale pour l'alimentation humaine, a conduit au développement des élevages intensifs. Ces derniers exigent une alimentation riche en énergie et en protéines, permise généralement par l'association céréales/tourteau de soja (BILLON, NEYROUMANDE ET DESHAYES, 2009).

I.1. Importance du tourteau de soja en alimentation avicole

Le tourteau est le coproduit de l'industrie de l'huilerie, il est obtenu après extraction de l'huile des graines de soja ; son utilisation en alimentation animale est liée à sa richesse en protéines (44 à 49%) ainsi qu'à sa qualité (CROMWELL, 2012). Ces 2 caractéristiques justifient son utilisation en tant que matière première protéique de référence en alimentation des volailles (BRITZMA, 1994).

En effet, PETTERSSON et PONTOPPIDAN (2013) rapportent que 46% du tourteau de soja destiné à l'alimentation animale sont utilisés pour la fabrication des aliments pour volailles (poulet de chair, poule pondeuse et dinde). Le taux d'incorporation du tourteau de soja dans les régimes alimentaires des volailles est rarement inférieur à 10% et peut atteindre les 35% (DUDLEY-CASH, 2003).

Dans la plupart des régimes de volailles, le tourteau de soja fournit 80% des acides aminés et peut être utilisé comme source unique de protéines chez les différents types de volailles, qu'elles soient en phase de croissance ou de production (BIRTZMAN, 1994). Selon ce même auteur, l'utilisation du tourteau de soja dans l'alimentation des volailles est un excellent choix, justifié par les importantes caractéristiques ci-dessous :

- Comparé à d'autres sources de protéines végétales, le tourteau de soja présente des teneurs en protéines très élevées : 43,3% ; 45,3% ; 47,2% respectivement pour le tourteau de soja 46, le tourteau de soja 48 et le tourteau de soja 50 vs 42,6% ; 33,7% ; 33,4% ; 27,7% respectivement pour le tourteau de coton, le tourteau de colza, le tourteau de tournesol partiellement décortiqué et le tourteau de tournesol non décortiqué (SAUVANT, PEREZ et TRAN, 2004)
- Le tourteau de soja possède un excellent profil en acides aminés, c'est une importante source de lysine, tryptophane, thréonine, isoleucine et valine, acides aminés dont les graines de céréales communément utilisées dans l'alimentation des volailles (le maïs, le blé, le sorgho, etc) sont carencées (STEIN *et al.*, 2008 ;

CROMWELL, 2012). Il est également riche en potassium et vitamines (choline, acide folique, riboflavine, acide nicotinique, acide pantothénique et thiamine).

- La digestibilité des acides aminés, méthionine, cystine et thréonine, du tourteau de soja est très élevée. La digestibilité de la lysine du tourteau de soja est plus élevée (91%) comparée à celle d'autres sources de protéines. De plus, la variation de la digestibilité de ses acides aminés est faible.
- En raison de sa bonne qualité sensorielle, le tourteau de soja ne modifie pas l'acceptabilité des régimes destinés aux volailles.
- Lorsque le traitement technologique des graines de soja est correctement mené, le tourteau de soja ne contient pas de toxines ou de facteurs antinutritionnels pouvant réduire les performances des volailles.
- La teneur en énergie métabolisable du tourteau de soja est de 11 à 25% plus élevée que celle des autres tourteaux oléagineux communément utilisés en alimentation des volailles, la teneur en énergie métabolisable corrigée pour une rétention azotée nulle est de 2711 kcal/kg MS pour le tourteau de soja décortiqué vs 2150 kcal/kg MS, 2495 kcal/kg MS, 2041 kcal/kg MS et 2391 kcal/kg MS respectivement pour le tourteau de colza, le tourteau de tournesol décortiqué, le tourteau de coton et le tourteau d'arachide (STEIN *et al.*, 2008).
- Le tourteau de soja est une matière première disponible durant toute l'année sur le marché international et dont la qualité est relativement régulière.
- Le rapport qualité/prix du tourteau de soja en fait une source de protéines au prix compétitif.

CROMWELL (2012) rapporte que la teneur en lysine (deuxième acide aminé limitant chez le poulet) du tourteau de soja, le classe en tête de liste des matières premières utilisées en alimentation avicole (Tableau 1).

Tableau 1 : Teneur relative en lysine des protéines des différentes matières premières (%) du produit brut

Matière première	Protéines (%)	Lysine (%)	Lysine (%) /MAT (%)	Teneur relative au % MAT du TS
Tourteaux				
Tourteau de soja déshuilé	47,50	3,02	6,40	100
Tourteau de soja	43,80	2,83	6,40	100
Tourteau de colza	35,60	2,08	5,80	91
Tourteau graines de coton	41,40	1,72	4,20	65
Tourteau de graines de lin	33,60	1,24	3,70	57
Tourteau d'arachide	49,10	1,66	3,40	53
Tourteau de tournesol	42,20	1,20	2,80	44
Tourteau de carthame	42,50	1,17	2,80	43
Tourteau de copra	21,90	0,58	2,60	41
Tourteau de sésame	42,60	1,01	2,40	37
Graines de céréales				
Orge	0,41	3,60	56	-
Avoine	11,50	0,40	3,50	54
Blé tendre	11,50	0,38	3,30	51
Maïs	8,30	0,26	3,10	49
Triticale	12,50	0,39	3,10	49
Sorgho	9,20	0,22	2,40	37
Sous- produit de céréale				
Son de blé	15,70	0,64	4,10	63

CROMWELL (2012)

I.2. Les différents types de tourteaux

Les tourteaux sont classés soit en fonction de l'espèce à partir de laquelle ils ont été produits, soit, s'ils dérivent d'une même espèce végétale, selon le processus de transformation utilisé pour l'extraction de l'huile.

I.2.1. Classification des tourteaux selon l'espèce végétale

Il existe autant de tourteaux que de plantes oléagineuses exploitées, la classification des tourteaux tient compte de la forme des cotylédons des graines d'oléagineuses, tel que rapporté par le tableau 2.

Tableau 2 : Classification des tourteaux

Groupe	famille	Type de tourteau	Pays producteurs
Dicotylédones	Légumineuses (Fabacées)	Tourteau de soja	USA, Brésil, Argentine
		Tourteau d'arachide	Afrique
	Crucifères	Tourteau de colza	France, CEE, Canada
		Tourteau de navette	USA, Canada
		Tourteau de moutarde (drêches)	—
	Composées	Tourteau de tournesol	France, CEE
		Tourteau de carthame	Rare en France, Maghreb
	Linacées	Tourteau de lin	France, CEE
	Malvacées	Tourteau de coton	USA, Chine, Inde, la Grèce
	Papavéracées	Tourteau d'œillette ou pavot	rare en Europe
	Juglandacées	Tourteau de noix	—
	Oléacées	Grignons d'olive	—
	Pédialacées	Tourteau de sésame	—
	Sapotacées	Tourteau de karité	Pays tropicaux
	Euphorbiacées	Tourteau de ricin	—
Monocotylédones	Palmiers	Tourteau de coprah (noix de coco)	Inde
		Tourteau de palmiste	Indonésie
	Graminées	Tourteau de germes de céréales (maïs surtout)	—

<http://www2.vetagrosup.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmCoprod/introcopr.html>

L'ensemble des tourteaux rapportés dans le tableau 2 n'est pas utilisé en alimentation animale. En effet, dans les élevages de rente, l'objectif principal est l'optimisation des

performances des animaux tout en préservant un bon état de santé. Aussi, hormis le tourteau de soja, les tourteaux les plus communément utilisés en alimentation des volailles sont ceux de tournesol, de colza, de coton, d'arachide, tandis que le tourteau de karité caractérisé par des teneurs élevées en lignine, ou le tourteau de moutarde et de ricin renfermant des toxines ne présentent aucun intérêt en production animale.

- **Le tourteau de tournesol**

Le tourteau de tournesol est le deuxième tourteau produit dans le monde après le tourteau de soja, mais il connaît un développement extensif en méditerranée. Il est caractérisé selon CARABANO et FRAGA (1992) par une teneur élevée en protéines (de 32 à 39%) et d'une teneur en cellulose brute variable (16 à 28%). Selon ces mêmes auteurs, la proportion de l'huile contenue dans ce tourteau est généralement faible (<1%) et varie en fonction du processus d'extraction utilisé. Le tourteau de tournesol est une bonne source de protéines, à teneur élevée en acides aminés soufrés, mais déficitaires en lysine (LARBIER et LECLERCQ, 1992). Il ne renferme pas de facteurs antinutritionnels pouvant limiter son utilisation dans l'alimentation des volailles, mais sa faible valeur énergétique explique son incorporation limitée dans les régimes alimentaires des volailles élevées pour leur chair.

- **Le tourteau de colza**

Il est produit en Europe et au Canada, sa teneur en protéines brutes est de 40% et leur digestibilité est inférieure à celle des protéines du tourteau de soja (72 contre 88%) même si le profil en acides aminés du tourteau de colza est proche de celui du tourteau de soja (LARBIER et LECLERCQ, 1992). Le tourteau de colza renferme des glucosinolates ayant des effets négatifs sur la croissance des volailles, quoique actuellement, les variétés cultivées dans les pays occidentaux en soient dépourvues (COTHENET et BASTIANELLI, 2003).

- **Le tourteau de graines de coton**

Le tourteau de coton est la seconde source de protéines la plus utilisée aux USA, mais la disponibilité de ce produit est faible en méditerranée à l'exception de l'Égypte (CARABANO et FRAGA, 1992). Il a une teneur en protéines brutes de l'ordre de 45% mais leur digestibilité est inférieure de 10% de celle du tourteau de soja. De plus, c'est un tourteau pauvre en lysine et en acides aminés soufrés (LARBIER et LECLERCQ, 1992), il contient également du gossypol pigment jaune à effet antinutritionnel chez les jeunes oiseaux. Lorsque le tourteau de coton est incorporé dans l'aliment destiné aux pondeuses il peut induire la coloration verte du vitellus. Il est déconseillé alors de l'incorporer dans les aliments pour volailles à des taux supérieurs à 10%.

- **Le tourteau d'arachide**

Le tourteau d'arachide est parmi les tourteaux les plus riches en protéines, leur qualité est cependant très médiocre, en raison de sa très faible teneur en lysine, en tryptophane et en acides aminés soufrés (LARBIER et LECLERCQ, 1992). C'est 1 produit sensible à la contamination en aflatoxines dont la concentration ne doit pas dépasser les 100 mg par tonne (COTHENET et BASTIANELLI, 2003), à cette teneur, son taux d'incorporation est limité à 5%.

I.2.2. Classification des tourteaux selon le processus de traitement utilisé

Deux principaux processus sont utilisés pour l'extraction de l'huile des graines oléagineuses, la méthode d'extraction mécanique et la méthode d'extraction par solvant (NEWKIRK, 2010 ; VAN EYS, OFFNER et BACK, 2004). Le type de tourteau obtenu dépend du processus de traitement utilisé. Les 2 processus de traitement du soja, tels que décrits par NEWKIRK (2010), sont les suivants :

- **Extraction par utilisation de solvant**

Le produit obtenu est également connu sous le terme de tourteau déshuilé ou encore tourteau d'extraction. Il est caractérisé par des teneurs faibles en matières grasses allant de 0,5% à 2,5%. Celles-ci sont extraites par l'hexane (solvant le plus communément utilisé). Avant extraction de l'huile, une phase de préparation qui consiste en le nettoyage, le séchage et le concassage des fèves est nécessaire pour en faciliter l'extraction ultérieure de l'huile. La figure 1 reprend les principales étapes de l'extraction de l'huile par solvant et de la production du tourteau de soja déshuilé.

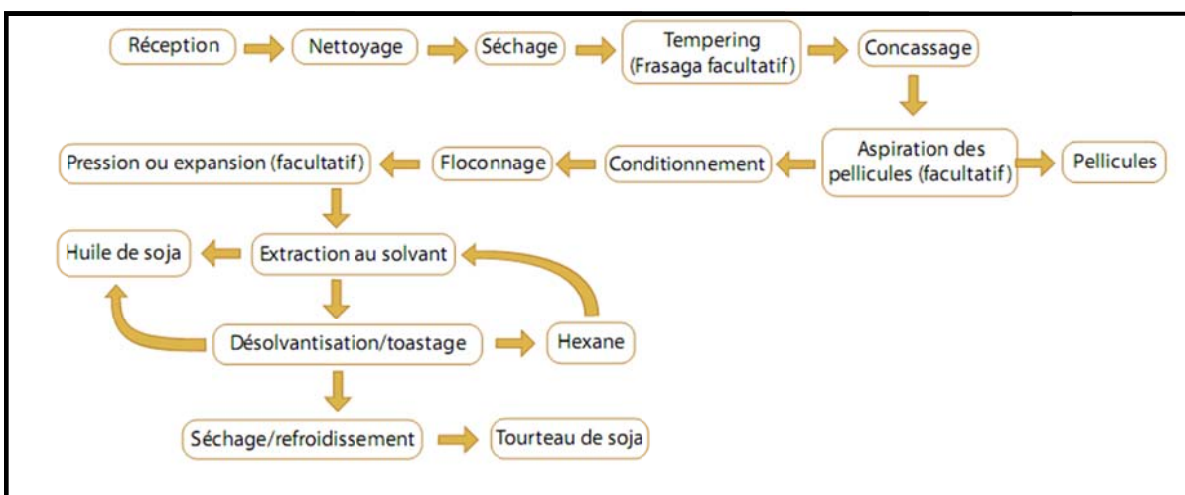


Figure 1 : Processus de production du tourteau de soja extrait par solvant

La méthode d'extraction au solvant est la plus communément utilisée puisqu'elle permet d'extraire efficacement l'huile et de détruire les FAN. Cependant, en raison de la complexité de l'opération et des exigences de sécurité relatives à l'utilisation d'un solvant inflammable, cette méthode n'est ni pratique ni économique sur une petite échelle.

Aussi au sein des petites exploitations la méthode utilisée pour l'extraction de l'huile de soja est la méthode d'extraction mécanique.

- **Extraction mécanique**

C'est une méthode qui consiste à extraire l'huile à l'aide d'une pression mécanique, selon 2 procédés :

- **Extraction par presse continue**

C'est une méthode qui consiste à extraire l'huile des fèves de soja par une compression mécanique. Une attention particulière est accordée au traitement thermique lors de cette étape. Le rendement d'extraction de l'huile par ce procédé est très faible, il en résulte des tourteaux riches en huile (6 à 12%).

- **Extraction par extrusion/presse continue ou tourteau Expeller**

L'extrusion est le procédé qui consiste à soumettre les fèves de soja à une pression et à une température élevée. L'extrusion est une opération rapide qui dure de 30 secondes à 3 min et qui ne nécessite que peu de matériel (Figure 2). L'effet de cisaillement et de pression obtenu contribue à éroder les parois des cellules augmentant ainsi la disponibilité des nutriments pour les animaux. De plus, l'extrusion réduit sensiblement la taille des particules facteur favorable à un traitement thermique homogène. Ce processus d'extrusion facilite par la suite la pression de l'huile, c'est une méthode de transformation très répandue en Amérique du nord et plus efficace que la méthode par pression mécanique seule.

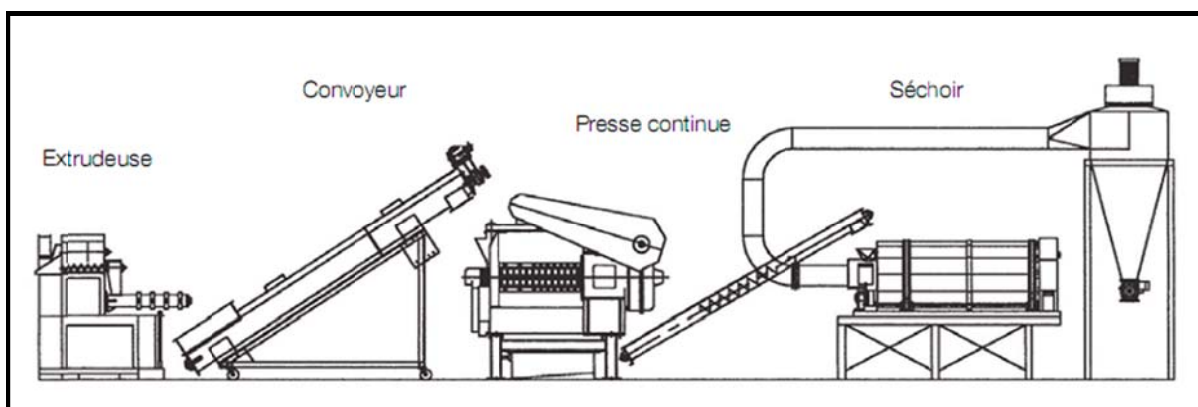


Figure 2 : Le matériel nécessaire pour une transformation par extrusion/presse continue

Les tourteaux Expeller obtenus présentent des teneurs en huile variant de 4 à 6%.

Aucune des méthodes mécaniques décrites ci-dessous ne permettent l'extraction complète de l'huile. De manière générale, l'extraction mécanique produit un tourteau qui conserve au moins 6% de son huile.

I.3. Composition chimique du tourteau de soja et facteurs de variation

La composition chimique d'un tourteau varie en fonction de l'espèce végétale à partir de la quelle il a été produit (Tableau 3), mais elle varie aussi en fonction d'autres facteurs tels que la variété de la graine, le processus de fabrication utilisé, les conditions de culture, de récolté et de stockage (MATEOS *et al.*, 2012).

Tableau 3: Composition chimique moyenne des différents tourteaux (%) du produit brut

	MS	MAT	MG	CB	MM
Arachide	91	49	1,40	9	5,50
Soja 50	88	48	2,30	4	6
Soja 48	88	45	2,60	6	6
Soja 44	88	41	2,30	7,80	6
Tournesol décortiqué	92	40	0,70	16	8
Colza décortiqué	90	40	2,70	7,20	7
Coton décortiqué	92	39	1,10	15	6,70
Colza	90	35,50	2,70	12	7
Lin	90	36	1,50	10	6
Tournesol semi-décortiqué	90	34	2,70	21	7
Tournesol non décortiqué	88	29	1,20	25	6,70
Coprah	91	21,50	1,50	16	6
Palmiste	88	17,50	1,80	17	3,40

<http://www2.vetagro-sup.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmCoprod/introcopr.html>

I.3.1. Matière sèche

L'humidité est le principal facteur qui entrave le stockage du soja et du tourteau de soja. En effet, il existe 2 types d'humidité dans la graine de soja : la première est représentée par l'eau libre et peut être éliminée par le séchage de la graine, tandis que la deuxième est liée à la structure des molécules de la graine et ne peut pas être éliminé (ULYSSES, 1999). Selon VAN EYS, OFFNER et BACK (2004) le tourteau de soja communément utilisé en alimentation animale est caractérisé par des teneurs en humidité variant entre 10-12%. Ainsi, pour un tourteau de soja de bonne qualité, une teneur maximale de 12% d'humidité est à observer pour éviter le développement des moisissures lors du stockage et la perte de sa valeur nutritionnelle (BRITZMA, 1994). Le taux d'humidité d'un tourteau de soja dépend des conditions de stockage puisque c'est un produit hygroscopique (ULYSSES,

1999), il est donc recommandé de le stocker dans des conditions de température et d'humidité faibles.

I.3.2. Matière minérale

Le tourteau de soja contient des teneurs relativement faibles en minéraux (tableau 4), de plus, le phosphore contenu dans les graines de soja est sous la forme d'acide phytique et de phytates faiblement assimilables par les volailles (CROMWEL, 2012). Parmi les minéraux que renferme le tourteau de soja, le Sélénium présente une teneur variable, dépendant largement de l'origine géographique des graines de soja (CROMWEL, 2012). La concentration en minéraux des graines de soja dépend classiquement de différents facteurs dont les plus importants sont l'origine, les conditions de culture, la variété et le processus de transformation utilisé (BANASZKIEWICZ, 2011).

Tableau 4: Teneurs en minéraux du tourteau de soja

Tourteaux Minéraux (%)	NEWKIRK (2010)			HENZE, TRAN et KAUSHIK (2012)	
	TS obtenu par pression	TS extrait au solvant	TS décortiqué extrait au solvant	TS déshuilé	TS Expeller
Calcium (%)	0,20	0,25	0,20	0,36	0,46
Phosphore total (%)	0,60	0,60	0,65	0,76	0,72
Phosphore disponible (%)	0,20	0,20	0,21	-	-
Sodium (%)	0,04	0,04	0,04	0,01	0,02
Potassium (%)	1,71	1,97	1,90	25	-
Chlorure (%)	0,20	0,02	0,02	-	-
Magnésium (%)	0,25	0,27	0,27	0,034	0,032
Soufre (%)	0,33	0,43	0,43	-	-
Manganèse	32,30 ppm	27,50 ppm	27,50 ppm	0,40%	-
Fer	160 ppm	120 ppm	120 ppm)	1,69%	1,23
Cuivre	18 ppm	28 ppm	28 ppm	0,018%	-
Sélénium (ppm)	0,10	0,10	0,10	-	-

I.3.3. Protéines brutes

Le tourteau de soja est caractérisé par des teneurs en protéines brutes variant entre 40 et 49%, et celui communément utilisé en alimentation animale a une teneur protéique standard évoluant entre 44 à 49% (BANASZKIEWICZ, 2011). VAN EYS, OFFNER et

BACK (2004) rapportent quant à eux des valeurs variant de 42 à 50%. La teneur en protéines brutes du tourteau de soja dépend également de la variété, des conditions climatiques et des pratiques culturales lors de la production des graines de soja (SWICK, 2001). Selon (BANASZKIEUVICZ, 2011) les protéines du soja sont caractérisées par des teneurs élevées en lysine (6,2g/16g N) et par de faibles teneurs en méthionine et cystine (2,6g/16g N). La teneur en acides aminés des tourteaux est étroitement corrélée à leur teneur protéique (CROMWELL, 2012), compte tenu que le tourteau de soja conventionnel présente une teneur en lysine de 2,83 vs 3,02% MAT pour un tourteau de soja à forte teneur protéique.

Le mode d'extraction de l'huile est également un autre facteur de variation de leur teneur en acides aminés, tel que indiqué par le tableau 5.

Tableau 5 : Teneur en acides aminés du tourteau de soja

Source Minéraux	NEWKIRK (2010)			VAN EYS, OFFNER et BACH (2003)		
Tourteaux AA (%)	TS EP	TS ES	TS DES	TS EM	TS 44 ES	TS 48 ES
Méthionine	0,60	0,65	0,70	0,80	0,62	0,63
Cystéine	0,62	0,67	0,71	0,77	0,68	0,73
Lysine	2,70	2,70	3,02	3,50	2,85	2,89
Tryptophane	0,58	0,60	0,70	0,74	0,56	0,63
Thréonine	1,70	1,70	2,00	2,21	1,80	1,84
Isoleucine	2,80	2,50	2,60	2,88	2,26	2,17
Histidine	1,10	1,10	1,30	1,44	1,64	1,21
Valine	2,20	2,40	2,70	2,73	2,19	2,30
Leucine	3,80	3,40	3,80	4,29	3,42	3,60
Arginine	3,20	3,40	3,60	3,98	2,99	3,48
Phénylalanine	2,10	2,20	2,70	2,79	2,16	2,37

TS : tourteau de soja, EP : extrait par pression, ES : extrait par solvant, DES : décortiqué extrait par solvant, EM : extrait mécaniquement.

I.3.4. Matière grasse

La matière grasse des tourteaux est constituée de triglycérides riches en acides gras insaturés représentés essentiellement par les acides gras oléiques, linoléiques et linoléniques.

La teneur en matière grasse du tourteau de soja dépend du processus d'extraction de l'huile, lorsque celui-ci est incomplet, le taux d'huile résiduel est élevé (BRITZMAN, 1994). NEWKIRK (2010) rapporte que le tourteau obtenu par pression conserve une quantité importante d'huile (5 à 8%) préjudiciable à leur conservation. Celle-ci ne pose pas de problèmes lorsque la teneur en huile des tourteaux n'excède pas les 1% (BRITZMAN, 1994). Selon VAN EYS et OFFNER et BACK (2004), les tourteaux communément utilisés en alimentation animale présentent des teneurs en matière grasse allant de 0,9 à 3,5%. Le tableau 6 présente les teneurs en acides gras du tourteau de soja en fonction du son mode d'obtention.

Tableau 6: Teneur en acides gras du tourteau de soja

Acides gras (%) du produit	TS extrait mécaniquement	TS 44 extrait par solvant	TS 48 extrait par solvant	Huile de soja
Ac. myristique C14:0	-	0,00	0,00	0,10
Ac. palmitique C16:0	-	0,77	0,14	10,50
Ac. palmitoléique C16:1	-	0,00	0,00	0,15
Ac. stéarique C18:0	-	0,28	0,05	4,20
Ac. oléique C18:2	-	0,28	0,27	23,30
Ac. linoléique C18:2	2,87	0,64	0,80	52,00
Ac. linolénique C18:3	0,42	0,55	0,12	6,90

Ac : Acide

(AVN EYS, OFFNER et BACK, 2004)

I.3.5. Composés pariétaux

Le taux de cellulose brute du tourteau de soja dépend du processus d'obtention utilisé. De plus, il est inversement proportionnel à la teneur en matières azotées totales du tourteau et relativement faible pour les tourteaux décortiqués. La réintroduction des enveloppes des graines de soja dans le tourteau, augmente la concentration en cellulose brute de ce dernier (NEWKIRK, 2010). La concentration maximale en cellulose brute pour le tourteau de soja 44% est de 7% (BRITZMAN, 1994), tandis que celle du tourteau décortiqué (à forte teneur en protéines) n'est que de 3,3 à 3,5% (BRITZMAN, 1994 ; NEWKIRK, 2010). AVN EYS,

OFFNER et BACK (2004) rapportent des valeurs en NDF, ADF et ADL variant respectivement entre 11,79 et 21,35%, 7,05 et 10,20% et 0,75 et 1,17% pour différents tourteaux de soja.

I.3.6. Composés glucidiques

Le tourteau de soja renferme une faible teneur en amidon variant de 4,66 à 7% (BANASZKIEWICZ, 2011). En revanche, il est caractérisé par des teneurs élevées en polysaccharides non amylacés (PETTERSSON et PONTOPPIDAN, 2013). Les composés glucidiques du soja sont concentrés dans les enveloppes et sont représentés essentiellement par des polysaccharides non amylacés, composés faiblement digérés par les monogastriques et résistants au traitement thermique (SWICK, 2001).

I.3.7. Vitamines

BRITZMAN (1994) rapportent une teneur intéressante du tourteau de soja en vitamines tels que la choline, l'acide folique, la riboflavine, l'acide nicotinique, l'acide pantothénique et la thiamine. Leur concentration varie en fonction du processus d'extraction de l'huile (tableau 7).

Tableau 7 : Teneur en vitamines du tourteau de soja

	TS EP	TS ES	TS DES
MS	89	90	88
Phénylalanine	2,10	2,20	2,70
Vitamine E (mg/kg)	6,60	3,00	3,30
Thiamine (mg/kg)	1,70	1,70	1,70
Riboflavine (mg/kg)	4,40	3,00	2,60
Acide pantothénique (mg/kg)	13,80	13,30	13,20
Biotine (ug/kg)	320	320	320
Acide folique (ug/kg)	450	450	700
Choline (mg/kg)	2673	2743	2850
Niacine (mg/kg)	36,70	59,80	20,90

TS EP : tourteau de soja extrait par pression ; TS ES : tourteau de soja extrait par solvant ; (NEWKIRK ,2010)
TS DES : tourteau de soja décortiqué extrait au solvant

I.3.8. Facteurs antinutritionnels

Les facteurs antinutritionnels (FAN) sont le facteur qui limite l'utilisation des matières premières dans l'alimentation des volailles et des porcs, dont ils réduisent l'utilisation des protéines et de l'énergie (PETTERSSON et PONTOPPIDAN, 2013). Aussi, la concentration en FAN doit être faible afin que les digestibilités des protéines, de l'amidon ainsi que la disponibilité des minéraux soient optimales pour assurer de bonnes performances de croissance des animaux (NAHAVANDINJAD et SEIDAVI et ASADPOUR, 2012).

Les principaux FAN du soja sont les inhibiteurs de trypsine, les phytates, les oligosaccharides indigestibles et les lectines (CROMWELL, 2012 ; PETTERSSON et PONTOPPIDAN, 2013). La teneur en FAN semble être en rapport avec les conditions de culture, ils sont concentrés au niveau des enveloppes des graines oléagineuses. Le décorticage des graines réduit la teneur en FAN des tourteaux. De plus, le traitement thermique détruit les FAN thermosensibles tels que les inhibiteurs de trypsine et les lectines (PETTERSSON et PONTOPPIDAN, 2013). Le paramètre variété de la graine de soja est un autre facteur de variation de la teneur en FAN de ces tourteaux. Actuellement, il a été sélectionné des variétés de soja à faible teneur en inhibiteurs tryptiques et en phytates (NEWKIRK, 2010). La teneur en quelques FAN des graines de soja et de son tourteau est rapportée dans le tableau 8.

- **Les inhibiteurs de trypsine :** il existe plusieurs inhibiteurs de protéases dans le soja dont les plus abondants sont les inhibiteurs Kunitz (KSTI) et les inhibiteurs Bowman-Birk connus sous le nom d'inhibiteurs de trypsine bien qu'ils peuvent également inhiber l'activité de la chymotrypsine et d'autres protéases appartenant à la famille des serines (PETTERSSON et PONTOPPIDAN, 2013). Selon ces mêmes auteurs, les inhibiteurs tryptiques se lient au site actif de l'enzyme entraînant son inhibition et de ce fait les protéines ne sont pas dégradées. Lorsque les animaux consomment un tourteau de soja renfermant de fortes teneurs en FAN, l'inactivation de la trypsine et de la chymotrypsine diminue leurs performances (NEWKIRK, 2010). L'oison et le poulet sont plus sensibles que les porcelets et les veaux à l'action des antitryptiques (BANASZKIEWICZ, 2011).

- **Les lectines :** connues également sous l'appellation d'hémagglutinines, sont des protéines liées aux glucides (BANASZKIEWICZ, 2011). Les lectines se lient aux récepteurs des glycoprotéines de la paroi du tube digestif et en lèsent la muqueuse ce qui provoque une baisse des performances animales (NEWKIRK, 2010).

Tableau 8 : Teneur en facteurs antinutritionnels des graines de soja et du tourteau de soja

Facteurs antinutritionnels	(HANSSEN, 2003; PEISKER, 2001)		Tourteau de soja
	Graine de soja	TS 44%	
Oligosaccharides (%)	14	15	50-60g/kg (COON <i>et al.</i> , 1990 ; KOCHER <i>et al.</i> , 2002)
Stachyose (%)	4-4,50	4,50-5	-
Raffinose (%)	0,80-1	1-1,20	
Inhibiteur de trypsine, et de chymotrypsine (mg/g PB)	45-60	4-8	1-8mg/g (PEISKER, 2001) 10,70mg/g (DOUGLAS <i>et al.</i> , 1999) 30.30mg/g (DOUGLAS <i>et al.</i> , 1999)
Lectines (ppm)	50-200	50-200	0, 22-3,10g/kg Chélates de sucres. 0,01-0,87 agglutinine (MAAENZ <i>et al.</i> , 1999 ; FASINA <i>et al.</i> , 2003).
Saponines (%)	0,50	0,60	600mg/kg (PEISKER ,2001)
Glycinine (mg/g)	150-200	40-70	
β conglycinine (mg/g)	50-100	10-40	
Phosphore phytique (%)	0,60	0,60	8,90 g/kg (GLENCROSS <i>et al.</i> , 2007), 11,20 mg/kg (REFSTIE <i>et al.</i> , 1999), 19,90 mg/kg (GLENCROSS, 2004)

(BANASZKIEWICZ, 2011)

• **Phytates** : l'acide phytique (inositol hexakisphosphate) est la forme de stockage du phosphore dans les graines telles que celles du soja, il est considéré comme étant un facteur antinutritionnel en nutrition des monogastriques (NAHASHON et KILONZO-NTHENGE, 2013). En effet, il chélate les ions Ca, Mg, K, Fe et Zn les rendant inassimilables par les animaux monogastriques (BANASZKIEWICZ, 2011). Selon ce dernier auteur, la concentration en acide phytique des graines de soja et de leurs dérivés, varie de 1 à 1,5% MS.

- **Les oligosaccharides** : ils sont constitués de raffinose et de stachyose et atteignent dans la graine du soja des teneurs variant de 5 à 7% (CROMWELL, 2012). Le tourteau de soja contient 3 à 8% d'oligosaccharides (CSAKY et FEKETE, 2004). Selon ces mêmes auteurs, les animaux monogastriques dont la volaille, ne peuvent dégrader les oligosaccharides faute d' α -galactosidase indispensable à leur hydrolyse, ils passent ainsi dans le gros intestin sans être digérés et sont fermentés par la flore microbienne conduisant à la production de gaz.

Les graines de soja contiennent d'autres facteurs antinutritionnels mais dont les teneurs sont négligeables, c'est le cas des saponines, des composés phénoliques et des composés allergènes (NEWKIRK, 2010 ; NAHASHON et KILONZO-NTHENGE, 2013).

Il est également rapporté par la littérature spécialisée que la composition chimique varie selon l'origine géographique du tourteau. En effet, l'étude comparative menée par GRIESHOP et FAHEY(2001) portant sur la composition des tourteaux de soja provenant des Etats Unis, de la Chine et du Brésil ; a montré des différences rapportées dans le tableau 9. Des données plus récentes sur cette question sont regroupées dans le tableau 10.

Tableau 9: Composition du tourteau de soja (%), provenant de la Chine, du Brésil et des Etats Unis

	Brésil	Chine	Etats Unis
Nombre des échantillons analysés	48	49	36
Nombre de régions concernées	5	6	15
Matière sèche	86,98	92,33	93,86
Matière organique	94,89	94,58	94,56
Matière minérale	5,10	5,42	5,40
Protéines brutes	40,86	42,14	41,58
Lipides	18,66	17,25	18,70
Neutral Detergent Fiber	13,36	13,79	13,85
Acides aminés essentiels			
Arginine	2,87	3,04	3,08
Histidine	1,08	1,08	1,21
Isoleucine	1,62	1,72	1,91
Leucine	3,30	3,12	3,32
Lysine	2,48	2,56	2,60
Méthionine	0,28	0,41	0,42
Phénylalanine	2,04	2,05	2,19
Thréonine	1,56	1,60	1,75
Valine	1,69	1,80	2,03
Acides aminés banals			
Alanine	1,76	1,75	1,79
Aspartame	4,50	4,76	4,95
Cystine	0,75	0,88	0,61
Glutamate	7,27	7,43	8,00
Glycine	1,66	1,72	1,83
Proline	2,04	2,22	2,44
Serine	2,14	2,20	2,24
Tyrosine	1,39	1,25	1,42
Total des acides aminés essentiels	16,64	17,39	18,51
Total des acides aminés banals	21,52	22,12	23,29
Total des acides aminés	38,17	39,51	41,80

(GRIESHOP et FAHEY, 2001)

Tableau 10 : Composition chimique du tourteau de soja (%MS) de différentes origines

Caractéristiques	TS rtp USA	TS ftp USA	TS rtp Argentine	TS ftp Argentine	TS rtp Brésil	TS ftp Brésil	Inde	Europe
Nombre d'échantillons	14	2	2	8	5	9	17	8
Humidité	11,04	11,71	11,82	11,63	11,87	9,80	11,61	10,89
Protéines	48,61	45,44	46,83	44,81	48,91	46,94	46,98	47,79
MG	1,45	1,77	2,26	1,72	1,65	1,56	1,03	1,40
CB	3,66	5,38	3,49	5,86	3,75	5,90	6,09	3,89
Lysine	3,04	2,91	2,86	2,85	2,95	2,82	2,92	2,88
Méthionine	0,69	0,65	0,64	0,61	0,67	0,61	0,64	0,67
Thréonine	1,85	1,75	1,81	1,73	1,86	1,76	1,81	1,81
Cystine	0,75	0,72	0,72	0,66	0,76	0,68	0,68	0,75
Tryptophane	0,70	0,66	0,64	0,63	0,70	0,67	0,66	0,69
Serine	2,14	1,96	2,25	2,04	2,33	2,12	2,24	2,13
Glutamine	8,70	8,19	8,53	8,01	9,02	8,43	8,72	8,72
Proline	2,32	2,18	2,29	2,12	2,43	2,27	2,29	2,36
Alanine	2,07	1,99	2,01	1,93	2,08	1,97	2,03	2,02
Valine	2,29	2,21	2,25	2,19	2,23	2,16	2,24	2,21
Isoleucine	2,12	2,02	2,05	1,98	2,09	2,02	2,09	2,04
Arginine	3,51	3,33	3,43	3,29	3,58	3,40	3,41	3,46
Leucine	3,70	3,51	3,62	3,47	3,74	3,56	3,66	3,6

rtp : forte teneur en protéine, ftp : faible teneur en protéines

(CROMWELL, 2012)

I.4. Valeur nutritionnelle du tourteau de soja et facteurs de variation

I.4.1. Valeur protéique

Le tourteau de soja est caractérisé par des teneurs élevées en protéines et en acides aminés de bonne qualité. En effet, KAUPP et IVEY (1922) rapportent une digestibilité protéique atteignant 83,33%, valeur confirmée par celles mesurées par ZUPRIZAL *et al.*, (1993) de l'ordre de 84,4 et 82% respectivement pour les poulets de chair de sexe mâle et femelle. Les tables européennes de valeur nutritionnelle des matières premières destinées à l'alimentation des volailles (1989) rapportent des valeurs de digestibilité respectives de 85% et de 90% pour un tourteau de soja sous forme de farine et sous forme de granulés.

L'origine du tourteau et la méthodologie de mesure affectent la digestibilité du tourteau de soja, compte tenu que FRIKHA *et al.*, (2012) rapportent des valeurs de digestibilité iléale apparente de 84,70 ; 85,40 et de 83,50% respectivement pour un tourteau de soja provenant des USA, du Brésil et d'Argentine et une valeur de digestibilité iléale réelle de 92,50 ; 92,60 et de 91,6% respectivement pour un tourteau de soja provenant des USA, Brésil et d'Argentine.

La digestibilité des acides aminés est peu modifiée par le processus d'obtention du tourteau de soja tel que montré par les valeurs du Tableau 11.

Tableau 11: Digestibilité apparente (%) des acides aminés du tourteau de soja

Acides aminés	TS 44 extrait au solvant	TS 48 Décortiqué Extrait au solvant	TS 43 % extrudé obtenu par pression
Méthionine	91	91	91
Cystéine	86	86	82
Mét + Cys	88	88	86
Lysine	91	91	93
Thréonine	89	89	89
L-isoleucine	92	92	92
Histidine	93	93	92
Valine	91	91	90
Leucine	92	92	94
Arginine	92	92	97
Phénylalanine	93	93	94

TS : tourteau de soja, Mét : méthionine, Cys : cystine

(GRIESHOP et FAHEY, 2001)

Le traitement thermique du tourteau soja améliore la digestibilité de ses protéines et de ses acides aminés suite à l'inactivation des facteurs antinutritionnels. La qualité du tourteau de soja est alors en rapport étroit avec la qualité de la cuisson. Les travaux de BRITZMAN (1994) mettent en relation la mauvaise cuisson du tourteau de soja et la teneur en facteurs antinutritionnels qu'il renferme. Par ailleurs, il est également rapporté qu'une cuisson excessive du tourteau de soja provoque la dénaturation des protéines structurales et en réduit l'utilisation par la volaille (BRITZMAN, 1994 ; BORIN, OGLE et LINDBERG, 2002). En effet, un traitement thermique excessif du tourteau de soja conduit à la formation de liaisons entre les glucides et les acides aminés particulièrement la lysine, réduisant la digestibilité de ces derniers (CROMWELL, 2012 ; CSAKY et FEKETE, 2004). Pour (CSAKY et FEKETE, 2004) d'autres acides aminés tels que l'arginine, l'histidine et le tryptophane, peuvent également être impliqués dans les réactions de Maillard. Le tableau 12, rapportent l'effet d'un traitement thermique excessif sur la digestibilité des acides aminés du tourteau de soja.

Tableau 12 : Conséquence d'un traitement thermique excessif sur la digestibilité des acides aminés du tourteau de soja

Durée de l'autoclavage en (min)	Digestibilité des acides aminés			
	Lysine	Méthionine	Cystine	Thréonine
0	91	82	86	84
20	78	69	86	86
40	69	62	83	80
Valeurs analytiques				
0	3,27	0,70	0,71	1,89
20	3,95	0,66	0,71	1,92
40	2,76	0,63	0,71	1,87

(BRITZMAN, 1994)

Pour apprécier la pertinence du traitement thermique du tourteau de soja et la qualité de ce dernier, des tests rapides et simples ont été développés. Le tableau 13 en rapporte le principe et les principales caractéristiques. Selon ROOSENDAAL (2010), ces tests sont précis et pas onéreux.

Tableau 13 : Quelques caractéristiques des tests d'appréciation de la qualité du tourteau de soja

Test	Principe	Durée	Niveau de qualification	Précision	Mesures	Valeurs recommandées
Indice d'uréase	La chaleur dénature l'uréase ainsi que les facteurs antinutritionnels. Indicateur d'un état de mauvaise cuisson	20mn	Faible	Moyenne	Augmentation du pH due à la libération de l'ammoniac	0,02-0,3
Solubilité KOH (0,20%)	La cuisson excessive réduit la solubilité de l'azote dans le KOH 0,20%. Quantification des protéines	20mn	Faible à moyen	Moyenne	Protéines solubilisées	75 à 85%
Indice de solubilité des protéines	La chaleur réduit la solubilité de l'azote dans l'eau.	10mn	Faible à moyen	Bonne	Protéines solubilisées	15 à 40%
TIA (inhibiteur de l'activité trypsique)	Mesure directe des inhibiteurs de trypsine	>24h	Elevé	Bonne	Présence des inhibiteurs de trypsine	<5mg/g
Aminored	Mesure les dommages occasionnés par la chaleur.	<5min	Moyen	Bonne	Indicateurs de dommage dû à la chaleur	0-100, la valeur la plus faible correspond au moins de dommage

(ROOSENDAAL, 2010)

I.4.2. Valeur énergétique

Le tourteau de soja présente selon SWICK (2001) des teneurs en énergie brute supérieures de 10% à celle du maïs, mais sa concentration en EM ne représente que 72% de l'énergie métabolisable de ce dernier. NEWKIRK (2010) rapporte des valeurs d'énergie métabolisable corrigées pour une rétention azotée nulle de 2751 kcal/kg pour un tourteau de soja obtenu par pression contre 2240 et 2458 kcal/kg respectivement pour un tourteau de soja obtenu par extraction au solvant et pour un tourteau de soja décortiqué obtenu par extraction au solvant. Le tableau 14 regroupe quelques valeurs énergétiques du tourteau de soja rapportées par la bibliographie. Ces valeurs d'énergie métabolisable (kcal/kg du produit) varient dans une gamme de 2385 à 2676 Kcal/Kg pour un tourteau de soja décortiqué vs 2160 à 2458 kcal/kg pour un tourteau de soja non décortiqué, avec une erreur standard respectivement de 107 et 98 pour un tourteau de soja décortiqué et non décortiqué (SWIK, 2001).

La concentration énergétique du tourteau de soja est liée à sa composition chimique et particulièrement à celle de sa teneur en matière grasse (qui dépend du processus de transformation utilisé). En effet, des teneurs élevées en MG augmentent la valeur énergétique du tourteau, mais si ce dernier est destiné à être stocké longtemps, sa teneur élevée en huile est risquée de rancissement. La teneur en parois du tourteau de soja réduit sa concentration en EM (BRITZMAN, 1994).

Selon MUZTAR et SMINGER (1979) la valeur d'énergie métabolisable apparente (EMA) du tourteau de soja n'est pas affectée par l'âge des poulets entre l'âge de 10 mois et 2 ans. De plus, elle n'est pas affectée par le niveau d'alimentation des animaux.

MATEOS *et al.* (2012) rapportent que l'énergie métabolisable apparente corrigée pour une rétention azotée nulle (EMAn) du tourteau de soja dépend de l'origine du tourteau, celui provenant des USA présentant une teneur énergétique supérieure à celui provenant d'Argentine, du Brésil et d'Inde.

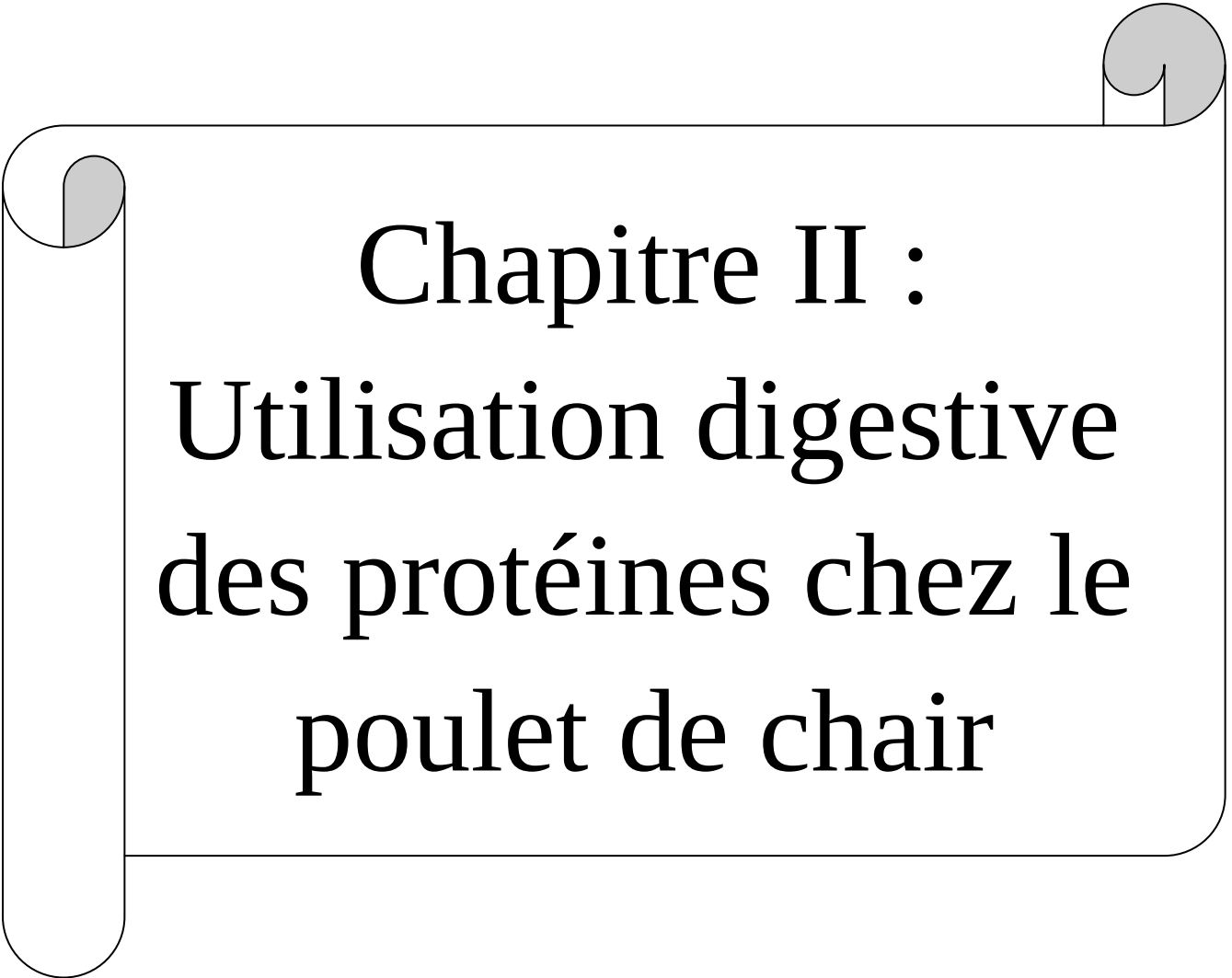
Tableau 14: Energie métabolisable (kcal/kg de produit) du tourteau de soja destiné à la volaille

Auteurs	TS décortiqué	TS non décortiqué
MUZTAR <i>et al.</i> (1981) *	2571	2389
SIBBALD (1976) *	2676	-
WOLNETZ et SIBBALD(1984)	-	2330
SIBBALD (1977) *	2671	2292
DALE et FULLER (1987)	2449	-
COON <i>et al.</i> (1990)	-	2458
LESKE <i>et al.</i> , (1991)	-	2458
	-	2255
PARSONS <i>et al.</i> (1992)	2518	-
RPAN (1993)	2405	2160
INRA (1990)	2550	2420
ADAS (1990)	2503	2373
NRC (1994)	2385	2204
Moyenne	2518	2312

*Corrigé pour une rétention azotée nulle : TME(n)

(SWICK ,2001)

Toutes les valeurs ont été rapportées à une teneur en matière sèche de 88%.

A decorative graphic of a scroll with a grey circular element at the top right and a grey semi-circular element at the bottom left, framing the text.

Chapitre II :

Utilisation digestive des protéines chez le poulet de chair

II.1. L'appareil digestif du poulet de chair

L'appareil digestif du poulet de chair est composé de 2 parties : le tube digestif (cavité buccale, œsophage, jabot, estomac, intestins) et les glandes annexes (glandes salivaires, foie et pancréas) tel qu'illustré par la Figure 3. Il est relativement court mais il a une grande efficacité de transformation des aliments en nutriments. L'appareil digestif des oiseaux présente des particularités comparés à ceux des mammifères (monogastriques, ruminants et carnivores), qui sont : la présence d'un bec à la place des lèvres, la division de l'estomac en 2 parties et l'originalité de la partie distale (le cloaque) dans lequel aboutissent à la fois le rectum, les voies urinaires et génitales (LARBIER et LECLERCQ, 1989).

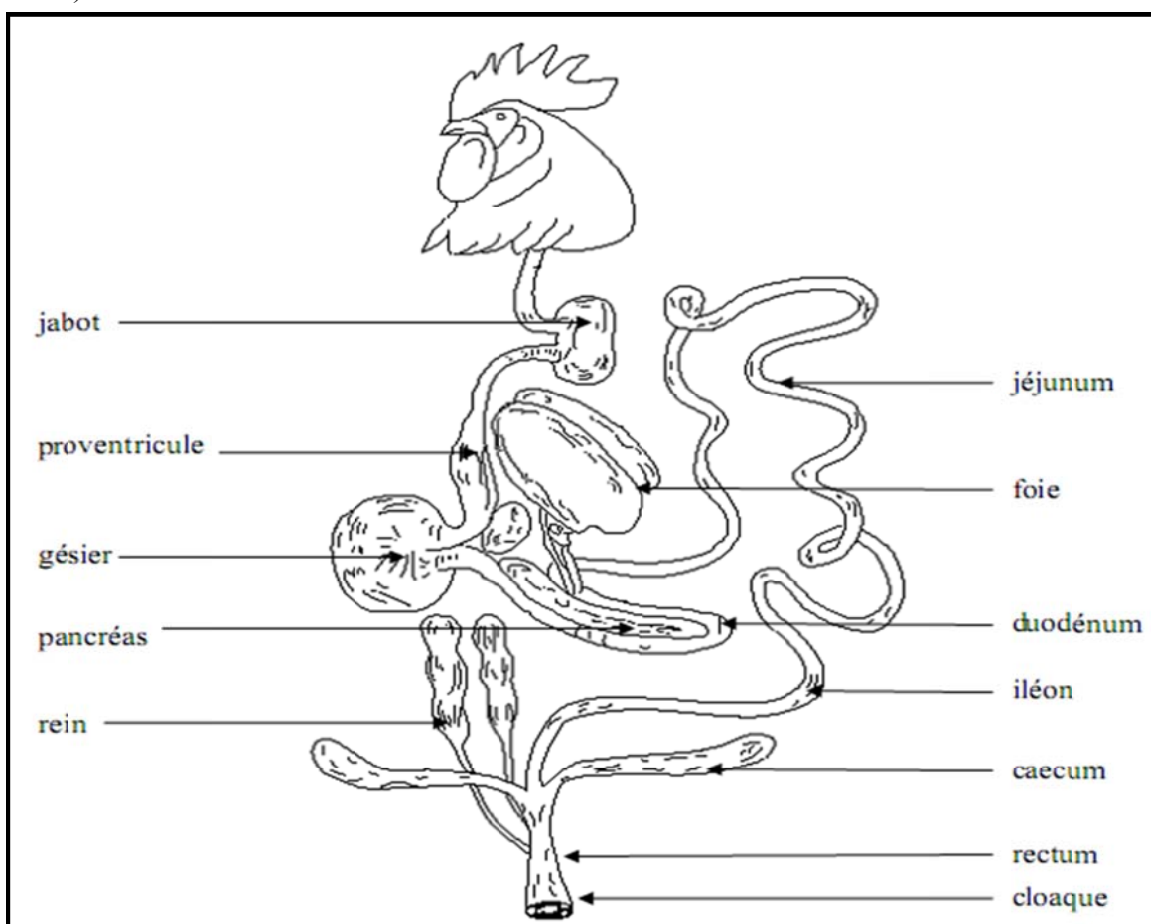


Figure 3: Schéma du tube digestif chez le coq (COZANNET, 2010)

II.1.1. Le tube digestif

- **Cavité buccale**

Chez la volaille, les lèvres sont remplacées par un bec formé par 2 étuis cornés permettant la préhension de l'aliment, il y a absence de dents (DROGOUL *et al.*, 2004). L'absence de voile du palais et de l'épiglotte explique l'existence de la cavité bucco-pharyngienne

(LARBIER et LECLERCQ 1989). Au niveau de la cavité buccale il y a initiation de l'hydrolyse de l'amidon sous l'action de l'amylase salivaire (TOUTAIN, BOUSQUET-MELOU et GAYRARD, 2006).

- **L'œsophage et le jabot**

L'œsophage est décrit par TOUTAIN, BOUSQUET-MELOU et GAYRARD (2006) comme étant un canal reliant la cavité buccale au gésier et permettant le transit du bol alimentaire. Il est délimité par 2 sphincters : le sphincter œsophagien supérieur et le sphincter œsophagien inférieur (TOUTAIN, BOUSQUET-MELOU et GAYRARD, 2006). Il comporte un renflement : le jabot, organe de stockage des aliments, qui y sont humidifiés. Cet organe joue un rôle dans le contrôle de la prise alimentaire (LARBIER et LECLERCQ, 1989).

- **Le gésier**

Selon LARBIER et LECLERCQ (1989) ; TOUTAIN, BOUSQUET-MELOU et GAYRARD (2006), le gésier des oiseaux est divisé en 2 parties :

- le proventricule ou encore appelé ventricule succenturié : il représente l'estomac glandulaire qui sécrète le suc gastrique, l'aliment n'y séjourne que peu de temps.
- Le gésier : c'est l'estomac musculaire, il permet le broyage de l'aliment ainsi que son brassage avec le suc gastrique.

Dans l'estomac les aliments subissent l'acidité gastrique, c'est le site où débute la digestion des protéines (LARBIER et LECLERCQ 1989, TOUTAIN et BOUSQUET-MELOU et GAYRARD, 2006). La vidange gastrique contrôle la vitesse d'accès du chyme alimentaire dans l'intestin (TOUTAIN et BOUSQUET-MELOU et GAYRARD 2006).

- **L'intestin grêle**

L'intestin grêle a une longueur d'environ 120cm chez le poulet adulte (LARBIER et LECLERCQ, 1989), il est conventionnellement divisé en 3 parties : le duodénum, le jéjunum et l'iléon. L'intestin grêle comporte des glandes qui sécrètent le suc intestinal, c'est le site majeur de la digestion des aliments et d'absorption des nutriments. La muqueuse intestinale comporte des villosités (Figure 4), qui permettent d'augmenter la surface d'absorption de l'intestin (GUARDIA, 2011). L'épithélium intestinal est formé d'une seule couche de cellules représentées essentiellement par des entérocytes mais aussi par des cellules caliciformes et les enteroendocrines, synthétisant respectivement du mucus et des hormones peptidiques (GUARDIA, 2011). Ces 3 types de cellules sont élaborées au niveau des cryptes à la base des villosités, elles migrent par la suite vers l'apex de celle-ci

où elles se différencient (IMONDI et BIRD, 1966 ; UNI *et al.*, 1998). La partie apicale des entérocytes comporte des microvillosités qui forment la bordure en brosse et renferme des enzymes et des transporteurs (GUADRIA 2011).

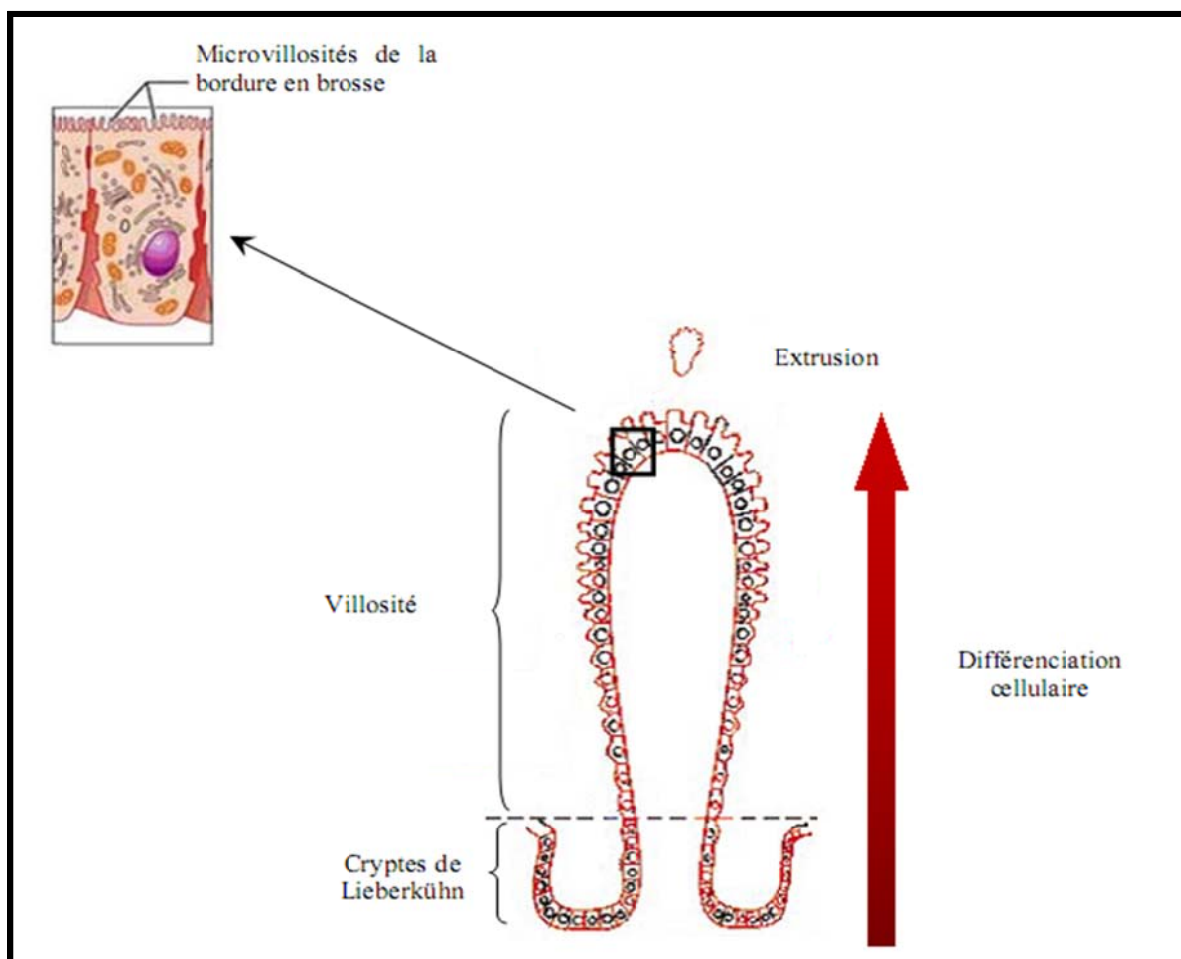


Figure 4 : Structure de la paroi intestinale (GUADRIA, 2011)

- **Le gros intestin**

Le gros intestin est relativement court chez les oiseaux, il est caractérisé par un faible contenu et un transit rapide (3h chez le poulet), il joue un rôle dans l'absorption d'eau et des électrolytes (TOUTAIN et BOUSQUET- MELOU et GAYRARD 2006).

- **Les caeca**

Les caeca sont 2 poches situées à la limite de l'intestin grêle, ils ont une longueur moyenne de 17cm (GILLEPIE et FLANDERS, 2009), ils sont le siège d'une activité microbienne intense et ils font actuellement l'objet de nombreux travaux de recherche. Selon DROGOUL *et al.* (2004) des vitamines du groupe B sont synthétisées au niveau des caeca et qui pourraient profiter à l'animal, c'est également le site d'absorption d'eau et des sels minéraux.

- **Rectum**

Le rectum a une longueur d'environ 7cm (LARBIER et LECLERCQ, 1989).

- **Le cloaque**

Il est le lieu de rencontre des voies fécale, urinaire et génitale. En effet, il est constitué de 3 compartiments : le coprodaeum siège de vidange du gros intestin, l'urodaeum lieu de deversement de l'urine via les uretères, le sperme et les œufs et le poctodaeum qui stocke temporairement et excrète les résidus alimentaires (LARBIER et LECLERCQ 1989 ; TOUTAIN, BOUSQUET- MELOU et GAYRARD, 2006).

II.1.2. Les glandes annexes

- **Les glandes salivaires**

Les glandes salivaires sont classées en glandes sublinguales, maxillaires et parotides (TOUTAIN, BOUSQUET- MELOU et GAYRARD, 2006). La salive est riche en mucus et en ions, elle contient de l'amylase enzyme de digestion de l'amidon (LARBIER et LECLERCQ 1989). Selon les mêmes auteurs, la quantité de salive produite varie de 7 à 30 ml en fonction de la nature et de la quantité de l'aliment ingéré.

- **Le pancréas**

Le pancréas est une glande endocrine et exocrine, cette dernière secrète un suc pancréatique riche en enzyme : lipase, amylase et peptidases (LARBIER et LECLERCQ, 1989). Le suc pancréatique est déversé au niveau du duodénum.

- **Le foie**

Cet organe est le site de synthèse de la bile (acides et sels biliaires) stockée dans la vésicule biliaire et qui intervient dans la digestion des lipides (TOUTAIN, BOUSQUET- MELOU et GAYRARD, 2006).

II.2. Digestion des protéines

La digestion des protéines chez la volaille est entamée au niveau gastrique et se poursuit au niveau de l'intestin grêle. En effet, l'HCl secrété par la muqueuse interne du proventricule permet la dénaturation des protéines et l'activation des pepsinogènes en pepsines, responsables de la dégradation des protéines (CREVIEU-GABRIEL, 1999). Le tableau 15 rapporte les différentes enzymes impliquées dans la digestion des protéines ainsi que leur site d'action et leur mode de régulation.

Tableau 15 : Quelques caractéristiques des enzymes responsables de la digestion des protéines chez la volaille

Localisation		Le suc sécrété	Les enzymes	Action et fonction	Conditions d'action	Régulation	Produits formés
Estomac (Proventricule)		Suc gastrique	Pepsine	Agit sur les protéines	pH entre 1 et 2	Sous influence nerveuse et chimique : • Stimulation directe du nerf vague. • Stimulation par simple distension du jabot. • Action de la gastrine.	Protéoses, peptones et polypeptides
Intestin grêle	Duodénum	Suc pancréatique	Carboxypolypeptidase Chymotrypsine Trypsine Elastase	Agit sur les protéoses, les peptones et les polypeptides	pH alcalin Ions Ca^{++}	Stimulé par : • La Cholécystokinine-pancréozymine (CCK-PZ). • La sécrétine.	Polypeptides acides aminés libres
	Bordure en brosse	Suc intestinal	Aminopeptidases Dipeptidases	Agit sur les polypeptides	pH voisin de 6	—	Acides aminés libres

LARBIER et LECLERCQ (1989), TOUTAIN, BOUSQUET- MELOU et GAYRARD (2006), CHAHAL, NIRANJAN, KUMAR (2008), GILLEPIE et FLANDERS (2009).

II.3. Facteurs de variation de la digestibilité des protéines

Plusieurs facteurs affectent la digestibilité des nutriments chez la volaille, ils sont soit liés à l'animal, à l'aliment ou encore aux conditions d'élevage (WU, RAVINDRAN et HENDRIKS, 2002). Selon CREVIEU-GABRIEL (1999) la méthodologie de mesure affecte également la digestibilité des protéines.

II.3.1. Facteurs liés à l'animal

La digestibilité des nutriments chez le poulet est sous l'influence des facteurs génotype, âge et sexe de l'animal. Plusieurs études ont été réalisées dans ce sens et celles relatives à l'effet de l'âge et du sexe de l'animal sur la digestibilité des protéines ont abouti à des résultats controversés.

II.3.1.1. Effet du génotype

Selon HASSAN et DELPECH (1986), le génotype de l'animal influence la digestibilité des protéines, puisque selon ces mêmes auteurs, la digestibilité des protéines est faible chez les poulets de souche ISA BROWN comparée à celle obtenue avec la souche naine (dw) et la souche Fayoumi (race égyptienne). Ces résultats sont confirmés par l'étude de DOESCHATES *et al.* (1993) qui permet de démontrer que les souches sélectionnées pour une vitesse de croissance élevée, ont une plus faible capacité de digestion des aliments.

II.3.1.2. Effet de l'âge

Il est rapporté par plusieurs auteurs dont WALLIS et BALNAVE (1984) ; BATAL et PERSONS (2002) que la digestibilité des acides aminés et leur absorption dans l'intestin augmente avec l'âge des oiseaux. Ce résultat est en rapport avec l'augmentation du temps du séjour des aliments dans le tractus digestif et celle des sécrétions des enzymes protéolytiques avec l'âge des animaux (WALLIS et BALNAVE, 1984). En revanche, ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER (1992) observent la diminution de la digestibilité des protéines avec l'âge des poulets de 3 à 6 semaines. Ils l'expliquent par une meilleure efficacité de l'hydrolyse enzymatique des protéines alimentaires ainsi qu'à une plus importante absorption intestinale des acides aminés résultant de la digestion chez les jeunes oiseaux. Pour certains auteurs tels que DOESCHATS *et al.* (1993), l'âge de l'animal n'affecte nullement la digestibilité des protéines chez le poulet.

II.3.1.3. Effet du sexe

Pour ce paramètre, WALLIS et BALNAVE (1984) n'observent pas d'effet significatif sur la digestibilité des protéines. Cette observation est confortée par les travaux de ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER (1992) chez des sujets mâles et femelles âgés de 3 semaines. Cependant, chez les oiseaux âgés de 6 semaines, les auteurs rapportent une interaction entre le sexe des animaux et les matières premières testées. Ainsi, avec des matières premières de qualité (tourteau de soja), l'effet sexe n'est pas observé, tandis que pour la digestibilité des protéines et des acides aminés des tourteaux de colza, celle mesurée chez le poulet mâle est supérieure à celle mesurée chez le poulet femelle. En revanche, DOESCHATS *et al.* (1993) signalent que les femelles utilisent mieux les protéines que les mâles, les valeurs de CUD étant de 3 points supérieures à celles obtenues avec des poulets mâles. Ces résultats sont confortés par ceux obtenus par RAVINDRAN et HENDRIKS (2002).

L'état de santé des animaux est également un facteur qui modifie l'utilisation digestive des protéines, puisque des parasites tels que les coccidioses induisent la destruction de la muqueuse intestinale, ce qui entraîne une moins bonne fonctionnalité des intestins (LARBIER, YVORE et GUILLAUME, 1974).

II.3.2. Facteurs liés à la matière première

La digestibilité des protéines d'une matière première dépend de nombreux facteurs qui lui sont propres, tels que sa composition chimique, les traitements technologiques qu'elle a subis lors de sa transformation et la structure de ses protéines (CREVIEU-GABRIEL, 1999).

II.3.2.1 Effet de la composition chimique

La composition chimique d'une matière première peut varier considérablement, c'est ainsi que la teneur en acides aminés peut être altérée par la chaleur durant le processus de transformation dans le cas du tourteau de soja, ou par la durée de conservation ou même par les moisissures (BORIN, OGLE et LINDBERG, 2002) ce qui réduit leur digestibilité. La teneur en fibres peut également avoir des effets négatifs sur l'utilisation digestive des différents nutriments. En effet, ces composés provoquent une production intense de matériel endogène ce qui diminue la digestibilité apparente des protéines (JASSEN, 1989). De plus, la présence des fibres dans la ration dilue la concentration relative des autres nutriments et s'opposent mécaniquement à leur hydrolyse enzymatique et leur absorption

(JASSEN, 1989). Le même effet a été observé pour les facteurs antinutritionnels tels que les inhibiteurs de trypsine et les phytates. Les premiers provoquent chez les petits animaux tels que le rat, le cobaye et le poulet, une hypertrophie du pancréas qui entraîne une hypersécrétion des enzymes pancréatiques et donc une augmentation des pertes de protéines endogènes à l'origine de la diminution de la digestibilité apparente des nutriments (HUISMAN et JANSMAN, 1991). GABRIEL *et al.* (2007) rapporte que la digestibilité des protéines du pois est négativement corrélée à la teneur en parois cellulaires insolubles et à l'activité antitrypsique. La digestibilité des protéines est également réduite par les phytates qui forment des complexes avec les protéines et les minéraux, du fait de leur caractéristiques chélatantes, les rendant inassimilables par les oiseaux (CREVIEU-GABRIEL, 1999).

II.3.2.2. Effet des traitements technologiques

De nombreux travaux dont ceux de COZANNET (2010) précisent que les traitements technologiques tels que le broyage et le traitement thermiques modifient la digestibilité des protéines. En effet, LACASSAGNE *et al.* (1988) rapportent que la granulation améliore la digestibilité des protéines chez les jeunes oiseaux et ils préconisent sa large utilisation par les industries d'aliments de bétail. Pour CARRE (2000), les particules alimentaires de grande taille ont un transit lent, ce qui en améliore la digestion des protéines. Contrairement à ces 2 auteurs, ZANG *et al.* (2009) rapportent que c'est la forme de présentation de l'aliment qui a un effet plus important sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la morphologie de l'intestin que la taille des particules. Selon BRITZMAN (1994) ; CREVIEU-GABRIEL (1999) ; COZANNET (2010) le traitement thermique a un effet bénéfique sur la digestibilité des protéines et des acides aminés puisqu'il permet l'inactivation des facteurs antinutritionnels, mais cet effet peut être controversé si le traitement est excessif puisqu'il rend les acides aminés inassimilables.

II.3.2.3. Effet de la structure de la protéine

La structure des protéines d'une matière première a un effet sur son hydrolyse, le tableau 16 présente les caractéristiques structurelles qui affectent négativement la digestibilité des protéines. En effet, CREVIEU-GABRIEL (1999) rapporte que la structure de la protéine est le facteur qui détermine sa sensibilité à l'hydrolyse, aussi, les albumines et les lectines du pois sont difficilement hydrolysables puisqu'elles présentent des ponts disulfure, une

hydrophobie importante et une structure compactée, tandis que les globulines sont plus facile à dégrader ayant une structure moins complexe.

Tableau 16 : Caractéristiques structurales des protéines pouvant avoir un effet négatif sur leur hydrolyse

Caractéristiques structurales	Types de protéines
Glycosylation	Phaséoline Conglutine γ du lupin Mucines
Hydrophobie	Polypeptides β des légumine Albumine PA2 du pois Lectines
Structure secondaire riche en feuillets β	Phaséoline Légumine de pois Albumine PA2 Lectines
Ponts disulfure	Prolamines de céréales Légumine Phéséoline Albumine PA1 et PA2 du pois Inhibiteurs tryptiques
Structure tertiaire compacte	Phaséoline Polypeptides β de légumine Albumine PA2
Localisation spatiale	Polypeptides β de légumine (intérieur de la protéine)

(CREVIEU-GABRIEL, 1999)

En plus de cet ensemble de facteurs de variation de la digestibilité des protéines chez la volaille liés à l'animal et à la matière première, plusieurs travaux dont ceux de BONNET (1990) ; ZUPRIZAL *et al.* (1993) ; ZUPRIZAL et CHAGNEAU et LARBIER (1992) ; BOUDOUMA (2007) ; DAGHIR (2009) ; RAZUKI *et al.* (2011) ; BOUDOUMA, IABASSEN et KAZI AOUEL (2013) rapportent que les caractéristiques de l'ambiance des locaux d'élevage peuvent également modifier le coefficient d'utilisation digestive des aliments.

II.3.4. Méthodologie de mesure

Pour une matière première donnée, la connaissance de sa valeur nutritive est indispensable pour pouvoir la valoriser et l'incorporer dans des aliments composés. En effet, en aviculture, le souci rencontré dans la formulation des aliments est la connaissance précise de la valeur nutritionnelle des matières premières à incorporer (PICARD et LEON, 1990), puisque les matières premières telles que celles issues d'une transformation technologique (sous produits) présentent une variation plus grande que celle des graines entières. Pour cela, l'évaluation de la valeur nutritionnelle des matières premières est importante. Bien qu'en alimentation avicole, tous les nutriments sont importants, une attention particulière est consacrée à l'évaluation de l'énergie métabolisable ainsi qu'à celle des acides aminés puisqu'ils représentent la proportion la plus importante du prix de revient d'une matière première, 75% et 25% respectivement (PICARD et LEON, 1990). De plus, la concentration énergétique conditionne l'ingéré alimentaire, pour cela l'apport en d'autres nutriments doit être proportionnel à la concentration énergétique de l'aliment. Dans le cas des acides aminés l'importance de leur évaluation réside dans le fait qu'un déficit en acides aminés induit un retard de croissance et un excès est un gaspillage de source chère et source de pollution de l'environnement. A cette fin, des méthodes d'évaluation des matières premières destinées à l'alimentation des volailles, ont été développées.

Cependant, les outils mis en place pour l'évaluation de la valeur nutritionnelle des aliments constitueraient également 1 facteur de variation des résultats obtenus, entre autre, ceux de la digestibilité (CREVIEU-GABRIEL, 1999). DOESCHATES *et al.* (1993) ont rapporté également que la méthode de détermination influence le coefficient de digestibilité des acides aminés.

Les méthodes d'évaluation de la valeur nutritionnelle s'apparentent au groupe des méthodes directes et à celui des méthodes indirectes.

II.3.4.1. Méthodes directes

Bien que les analyses chimiques permettent d'estimer la valeur alimentaire d'une matière première, son potentiel nutritionnel ne peut être estimé qu'après la prise en compte des pertes qui surviennent lors de la digestion, l'absorption et l'utilisation métabolique des nutriments et qui définissent la notion de disponibilité en nutriments (BORIN, OGLE et LINDBERG, 2002).

A cette fin, des méthodes *in vivo* ont été développées pour estimer la disponibilité des nutriments. Parmi ces méthodes, figurent celles du suivi de croissance et des bilans digestifs.

- **Le suivi des performances de croissance :** est une technique qui permet de mesurer l'aptitude d'une protéine à remplacer un acide aminé essentiel en particulier la lysine dans le régime du poulet en croissance (SAUVANT, PEREZ et TRAN, 2004). Selon les mêmes auteurs, elle consiste en la distribution de 2 régimes à des poulets en croissance, un régime expérimental, déficitaire en l'acide aminé d'intérêt et supplémenté par l'acide aminé de synthèse considéré assimilable à 100%, et un régime de base contenant la matière première à tester. En fin d'essai, le gain de poids de ces animaux est comparé à celui des animaux recevant l'acide aminé de synthèse. Les critères les plus communément utilisés dans cette technique sont le poids vif, l'indice de consommation et la rétention azotée (BORIN, OGLE et LINDBERG, 2002).

Cette méthode a pour inconvénient de ne mesurer que la disponibilité d'un seul acide aminé et de ne pas prendre en considération les interactions qui peuvent exister avec les autres constituants de la matière première à tester, en particulier la présence des facteurs antinutritionnels (SAUVANT, PEREZ et TRAN, 2004).

- **La méthode des bilans digestifs :** elle repose sur l'étude quantitative et qualitative de la différence entre l'ingéré et l'excrété (BORIN et OGLE et LINDBERG 2002). Cette méthode se cristallise autour du calcul du coefficient d'utilisation digestive (CUD) qui s'exprime par le calcul suivant :

$$\text{CUD (\%)} = ((\text{Ingéré} - \text{Excrété}) / \text{Ingéré}) \times 100$$

La plupart des travaux en aviculture concerne la digestibilité des acides aminés et non celle des protéines puisqu'il est classiquement admis que la digestibilité d'une protéine est assimilable à celle de ses acides aminés. Aussi, nous rapportons des données relatives à la digestibilité des acides aminés.

$$\text{Digestibilité AA} = (\text{AA ingérés} - \text{AA fécaux}) / \text{AA ingérés}$$

Chez les oiseaux, la quantification de l'excréta d'origine fécal nécessite sa séparation de l'excréta urinaire puisque ces 2 entités sont mélangées dans le cloaque, lieu de

déversement des conduits urinaires et du rectum. A cette fin, plusieurs méthodes ont été mises au point.

Actuellement celle qui fait appel à la distinction par procédé chimique des 2 fractions est la plus utilisée, celle développée par TERPSTRA et HART (1974) est apparentée à ce groupe. Elle consiste à séparer chimiquement l'azote urinaire de l'azote fécal en précipitant les protéines fécales par une solution d'acétate de plomb. La teneur en azote fécal est mesurée par la suite selon la méthode de Kjeldahl (SAUVANT, PEREZ et TRAN, 2004).

Les acides aminés non absorbés sont remaniés dans les caeca des volailles au cours de fermentations microbiennes contribuant à raison de 20 à 25% à la quantité totale d'acides aminés excrétés dans les fientes chez le coq (COZANNET, 2010). Afin de réduire ce biais, la digestibilité des acides aminés est mesurée au niveau iléal soit en sacrifiant les oiseaux et en récupérant le contenu iléal, soit en plaçant une canule iléale pour récupérer le contenu iléal (GABRIEL *et al.* 2008). Selon ces mêmes auteurs, la première méthode est coûteuse tandis que la deuxième ne peut être effectuée que sur des animaux d'âge adulte. La caecectomie est pour plusieurs auteurs l'alternative la plus intéressante. Elle consiste en l'ablation des caeca afin d'éliminer l'effet de l'activité microbienne intense qui y a eu lieu (CHOCT, ANNISON et TRIMBLE, 1992 ; RAGLAND *et al.*, 1999 ; GABRIEL *et al.*, 2008). Elle est actuellement adoptée pour la mesure de la digestibilité chez le poulet, le canard et le jars.

La digestibilité est appréciée par la digestibilité iléale apparente (DIA) et la digestibilité iléale réelle (DIR).

La digestibilité iléale apparente : elle est obtenue par différence entre la quantité d'acides aminés ingérés et des acides aminés excrétés en fin de la portion iléale. Cette valeur est fortement influencée par le taux d'incorporation de la matière première à testée ainsi que par la teneur en protéines du régime de base. Selon JIANG (1997) la DIA est mesurée par la formule suivante :

$$DIA = ((AA \text{ ing} - AA \text{ exc à la fin de l'iléon}) / AA \text{ ing}) * 100$$

AA ing : acides aminés ingérés (g)

AA exc : acides aminés excrétés (g)

La mesure de la digestibilité apparente ne prenant pas en considération les AA d'origine endogène (COZANNET, 2010), qui proviennent principalement des différentes sécrétions

digestives et de la desquamation des cellules intestinales (GABRIEL *et al.* 2008), la mesure de la digestibilité réelle paraît plus précise pour estimer la valeur de la protéine.

La digestibilité iléale réelle : elle correspond à la digestibilité iléale apparente corrigée par rapport aux pertes d'acides aminés d'origine endogène, elle est calculée comme suit :

$$\text{DIR} = (\text{AA ing} - (\text{AA exc} - \text{Aa end à la fin de l'iléon})) * 100 / \text{AA ing}$$

AA ing : acides aminés ingérés (g)

AA exc : acides aminés excrétés (g)

AA end : acides aminés endogènes (g)

Selon PERTTILÄ, VALANJA et JALAVA (2005), l'intégration des valeurs d'acides aminés mesurés au niveau iléal dans la matrice de formulation permet d'optimiser les protéines alimentaires et de réduire les rejets azotés.

La méthode conventionnelle des bilans est lourde car basée sur la mesure des quantités d'aliment ingérées et celles excrétées par les animaux (NIRANJAN *et al.*, 2010). L'utilisation des marqueurs dans l'aliment a permis de lever cette contrainte (BORIN, OGLE et LINDBERG, 2002). Selon NIRANJAN *et al.* (2010) le marqueur utilisé doit remplir certaines conditions :

- Il doit être inerte (n'être ni dégradé ni absorbé) et ne doit pas avoir d'action pharmacologique sur l'animal.
- Son transit doit être similaire à celui de l'aliment.
- Il doit se mélanger parfaitement à l'aliment.
- La détermination de sa concentration doit être facile et simple.

L'utilisation des marqueurs pour la mesure de digestibilité est largement utilisée de nos jours BORIN et OGLE et LINDBERG, (2002). Le calcul de la digestibilité est comme suit :

$$\text{DA AA} = ((\text{AAA} / \text{MA}) - (\text{AAF} / \text{MF})) / (\text{AAA} / \text{MA})$$

DA AA : Digestibilité apparente des acides aminés

AA A : Teneur en acides aminés dans l'aliment

AA F : Teneur en acides aminés des fèces

MF : Teneur du marqueur dans les fèces

MA : Teneur du marqueur dans l'aliment

Bien que les méthodes directes permettent l'obtention de valeurs précises, elles restent onéreuses (ALVARENGA *et al.*, 2011). Aussi, des méthodes indirectes ont été développées pour l'estimation de la valeur nutritionnelle des matières premières et des aliments complets (LOSADA *et al.*, 2010). Pour ces derniers, comparées aux méthodes directes celles indirectes réduisent le coût et le temps nécessaire pour l'évaluation des matières premières.

II.3.4.2. Méthode indirecte

La prédiction de la valeur nutritive des aliments et des matières premières est l'un des objectifs de la nutrition animale (VILLAMIDE *et al.*, 2009). La digestibilité des aliments étant étroitement liée à leur composition chimique, des modèles de prédiction de la digestibilité des matières premières et des aliments complets ont fait l'objet de nombreux travaux chez différentes espèces animales dont ceux de LIU *et al.* (1992), VILLAMIDE et FRAGA (1998) et de VILLAMIDE *et al.* (2009) chez le lapin et ceux de WEURDING *et al.* (2001), FIENE YORK et SCHASTEEN (2006) et de COZANNET *et al.* (2010) chez le poulet.

Pour les équations de prédiction de la valeur nutritionnelle du tourteau de soja, celles proposées par CARRE et BRILLOUET (1989) concernant la prédiction de sa valeur énergétique sont les suivantes :

$$\mathbf{EMAn} \text{ (kcal/kg MS)} = 38,19 \mathbf{PB} + 75,66 \mathbf{Lip} + 20,10 \mathbf{ENA}$$

$$\mathbf{EMAn} \text{ (kcal/kg MS)} = 0,364 \mathbf{EB} - 34,9 \mathbf{PAR} - 11,63 \mathbf{PB}$$

$$\mathbf{EMAn} \text{ (kcal/kg MS)} = 0,381 (4217 + 78,8 \mathbf{Lip} - 58,3 \mathbf{Ce} - 39,7 \mathbf{PAR})$$

EMAn : Energie métabolisable apparente corrigée pour une rétention azotée nulle

PB : Protéines brutes

ENA : Extractif non azoté

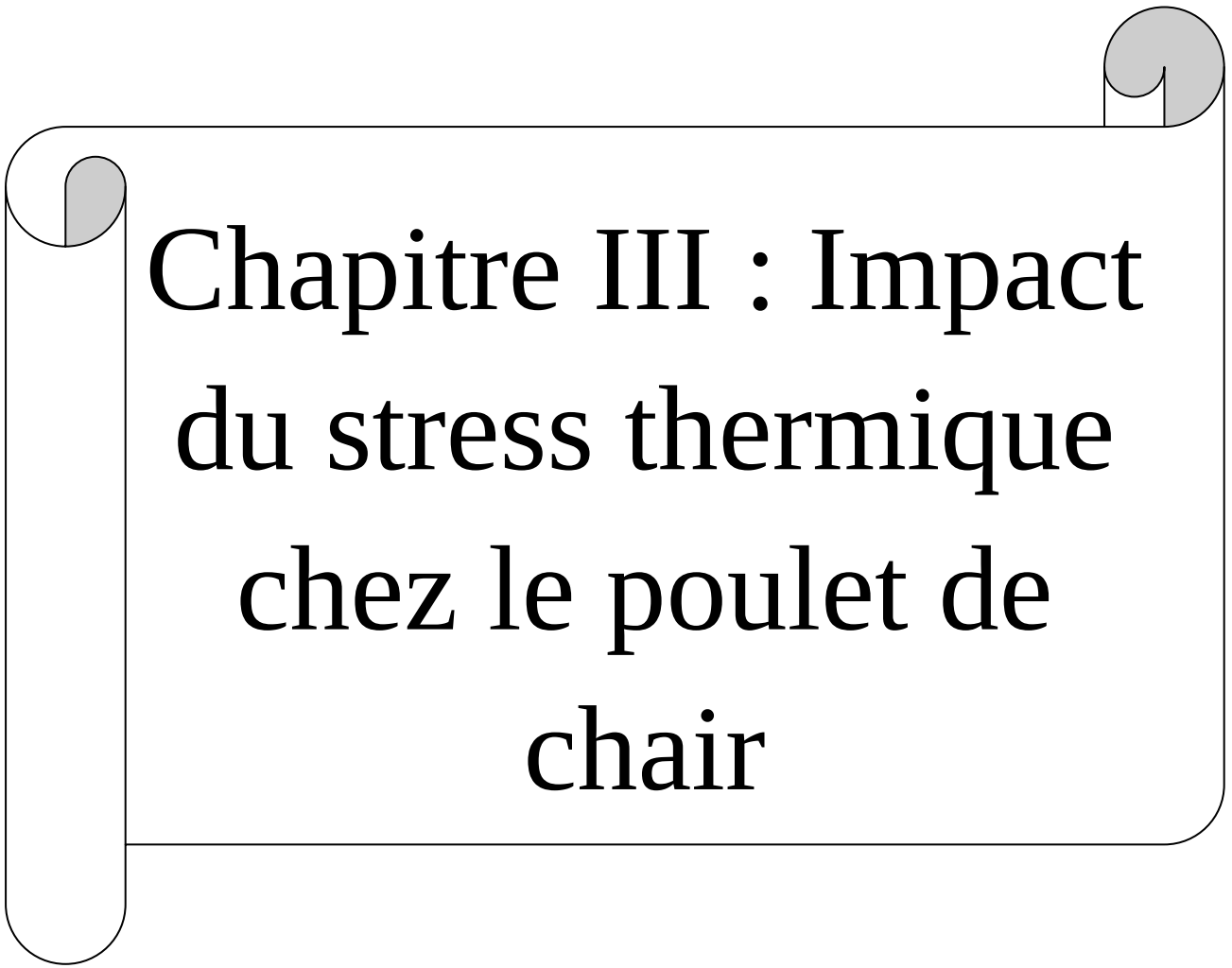
EB : Energie brute (kcal/kg MS°)

Lip : Fraction lipidique

Ce : Cendres

PAR : Les composés pariétaux

Les équations de prédictions basées sur la composition chimique des matières premières nécessitant la réalisation de nombreuses analyses (LOSADA *et al.* 2010), il en découle une procédure de mesure relativement longue. Il a été fait recours à la spectroscopie dans le proche infrarouge. C'est une technique analytique basée sur le principe d'absorption des rayonnements infrarouges par la matière organique qui dépend de la composition de cette dernière, puisque ce sont les liaisons chimiques qui sont capables d'absorber les rayonnements correspondants à certaines fréquences particulières (CIRAD, 2007). C'est cette propriété qu'utilise la spectroscopie dans le proche infrarouge pour établir un lien entre l'absorption de la lumière et la composition chimique des échantillons analysés, et permet ainsi d'estimer cette dernière par la simple mesure de l'absorption de la lumière par l'échantillon. Cette mesure se fait avec un spectromètre soit en transmission (qui mesure la lumière traversant un échantillon fin), soit en réflexion (qui mesure la lumière réfléchie par un échantillon épais) (CIRAD, 2007).

A decorative graphic of a scroll with a light gray background and a black outline. The scroll is partially unrolled, with the top right corner and the bottom left corner showing the rolled-up part. The text is centered on the unrolled portion.

Chapitre III : Impact du stress thermique chez le poulet de chair

En élevage avicole, les températures ambiantes élevées constituent le facteur majeur responsable de la baisse de l'efficacité alimentaire et de la productivité (LU, WEN et ZHANG, 2007). La baisse des performances de croissance des poulets soumis au stress thermique est selon BONNET *et al.* (1997) en partie expliquée par la réduction de la digestibilité des différents constituants de l'aliment (amidon, matière grasse et protéines). La réduction du gain du poids des animaux soumis à des températures élevées est également liée à la réduction de l'ingéré alimentaire mais surtout à la diminution (de -30 à -35% selon les régimes) de la rétention azotée (TEMIM *et al.*, 1999).

III.1. Généralités

III.1.1. Définition du stress thermique

Les oiseaux, ainsi que les mammifères sont des homéothermes qui doivent maintenir une température corporelle relativement constante (environ 41°C chez le poulet) pour assurer un bon fonctionnement de leurs organes vitaux (VALANCONY, 1997). A cette fin, l'énergie produite par le métabolisme doit être égale à l'énergie perdue. L'alimentation et une température ambiante élevée sont une source potentielle d'énergie (entrée), tandis qu'une température ambiante basse et le maintien de l'homéothermie sont à l'origine des dépenses (ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008). Ces flux d'énergie entre l'oiseau et son environnement sont permanents tels que l'illustre la figure 5.

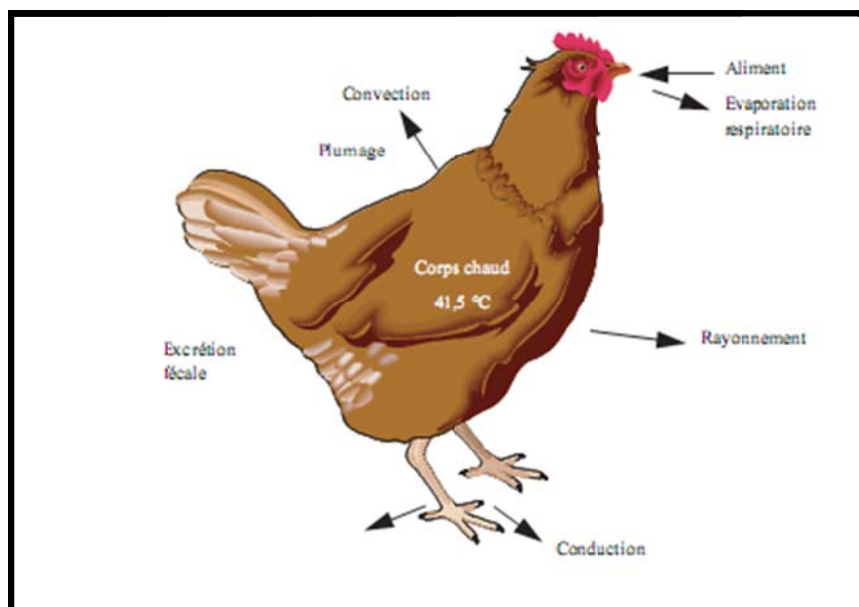


Figure 5: Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'environnement
(AMAND *et al.*, 2004)

Les volailles étant des animaux homéothermes, ces échanges sont fortement dépendants de la température ambiante telles que rapportés par la figure 6.

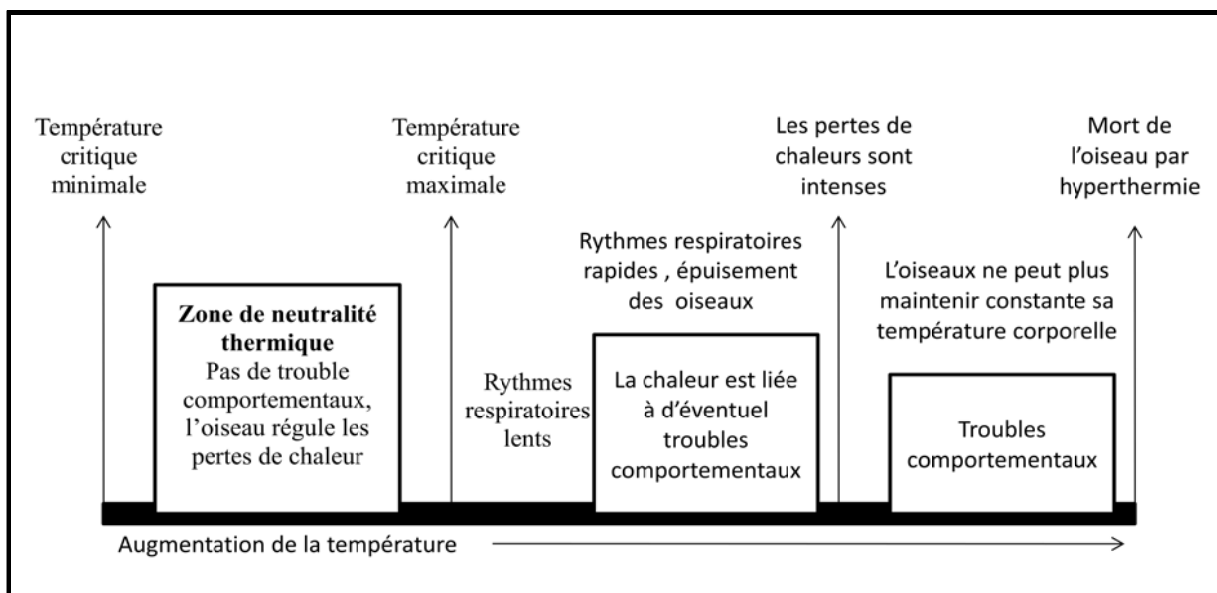


Figure 6 : Représentation schématique illustrant la réponse de l'oiseau à une température ambiante élevée (MORÊKI, 2008)

Dans la zone de neutralité thermique, les températures qui délimitent cette zone dépendent de l'âge de l'oiseau (Figure 7), l'oiseau se trouve dans des conditions de températures optimales où il ne fournit pas d'effort pour maintenir constante sa température corporelle, ses dépenses énergétiques sont minimale et sont liées à son métabolisme de base. Lorsque la température augmente au dessus des températures qui délimitent la zone de neutralité thermique, l'oiseau se trouve en conditions chaudes déterminant la zone d'hyperthermie. Dans ces conditions, l'oiseau maintient sa température corporelle constante grâce au phénomène de la thermorégulation, mais au-delà d'une certaine température l'oiseau ne peut plus maintenir constante sa température corporelle et si la température continue à croître la mort survient par hyperthermie.

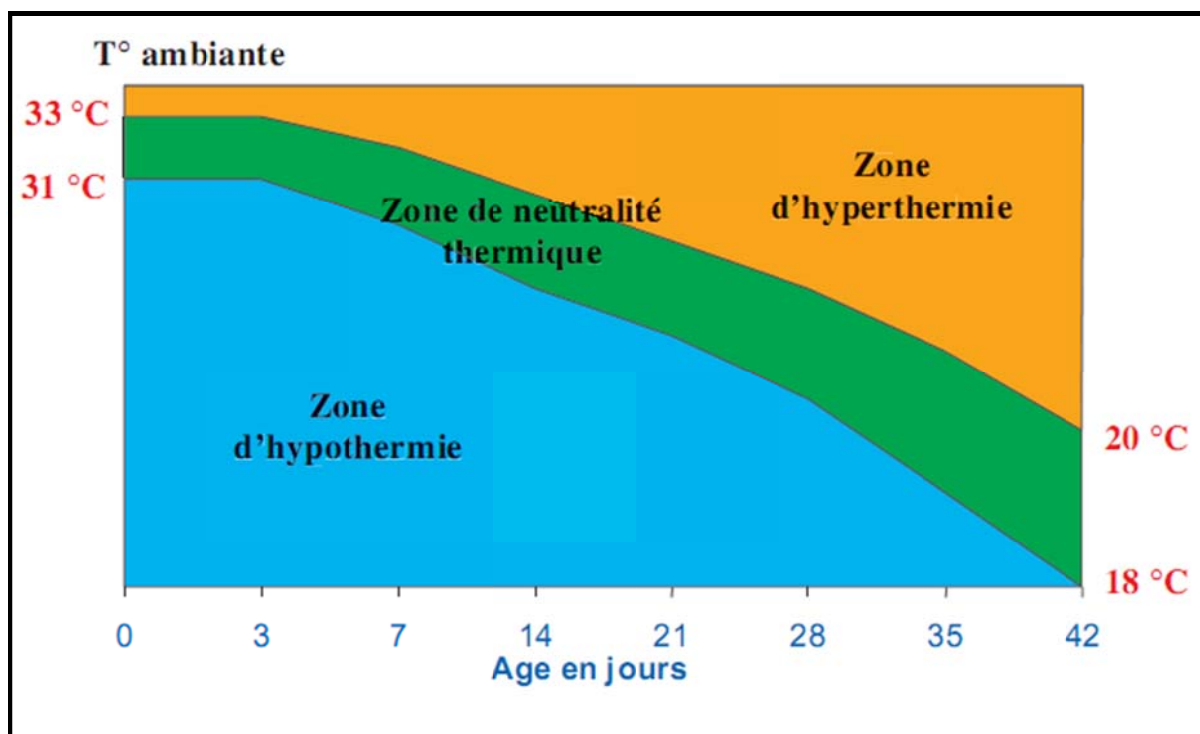


Figure 7 : Evolution de la zone de neutralité thermique chez le poulet (AMAND *et al.*, 2004)

Le stress thermique survient lorsque l'animal n'arrive pas à perdre suffisamment de chaleur (générée par le métabolique et apportée par l'environnement) pour maintenir stable sa température corporelle (MOREKI, 2008 ; SOSSIDOU, TSIPLAKOU et ZERVAS, 2013 ; LARA et RPSTAGNO, 2013). Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ce déséquilibre tel que l'ensoleillement, la température de l'air et l'humidité relative (LARA et RPSTAGNO, 2013).

Le stress thermique se présente sous 2 formes : le stress thermique aigu et le stress thermique chronique. Le premier est soudain et de courte durée et survient suite à une élévation extrême de la température, tandis que le second fait référence à une période étendue d'élévation de la température.

Cependant, les volailles peuvent survivre dans un environnement où les flux d'énergie sont extrêmes en faisant intervenir différents mécanismes d'adaptation qui leur permettent d'augmenter ou de réduire les échanges d'énergie avec l'environnement. C'est ainsi que les volailles soumises à des températures chaudes dans divers pays du monde (pays tropicaux et subtropicaux en particulier) adoptent des changements comportementaux, physiologiques et des changements métaboliques complexes pour faire face aux flux d'énergie entrants (ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008).

III.1.2. Réponse de l'animal à un stress thermique

III.1.2.1. Réponse comportementale

Lors d'un stress thermique, les oiseaux modifient leur comportement pour qu'ils puissent maintenir constante leur température corporelle. L'oiseau baisse la tête, écarte les ailes et modifie la disposition de son plumage pour diminuer son isolation et augmenter la surface d'échange (AMAND *et al.*, 2004), il réduit également ses déplacements et recherche les zones froides et aérées.

III.1.2.2 Réponse physiologique

La réponse physiologique à un stress thermique se manifeste par une activité fonctionnelle d'un ensemble d'organes pour dissiper la chaleur et maintenir l'homéothermie. Les principales étapes physiologiques qui surviennent chez des volailles lors d'une élévation progressive de la température sont selon VALANCONY (1997), les suivantes :

➤ Lorsque la température ambiante est de 20°C, l'oiseau est en zone de neutralité thermique (Figure 8) et l'effort qu'il fournit pour maintenir sa température corporelle constante est minime. Son rythme respiratoire est de 25 inspirations par minute.

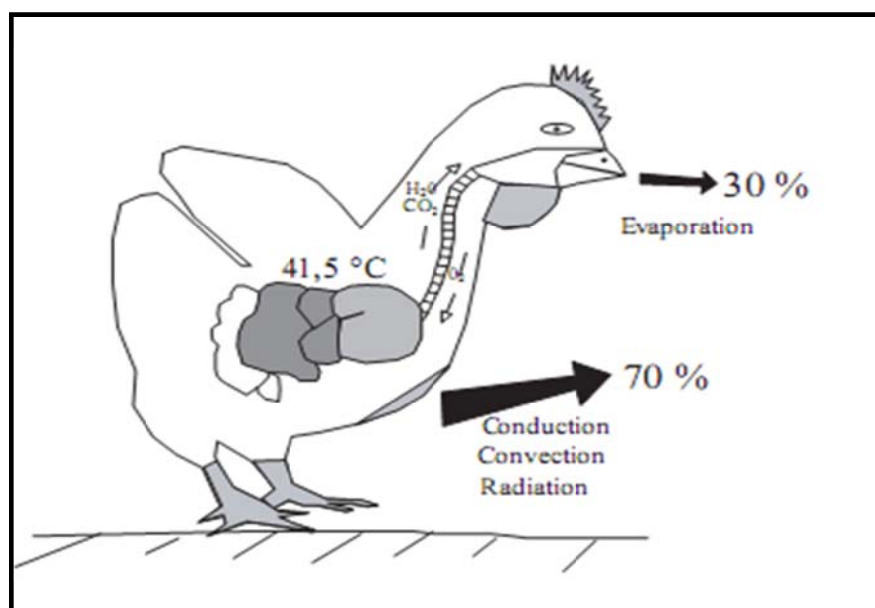


Figure 8: Oiseau en équilibre thermique (VALANCONY, 1997 ; AMAND *et al.*, 2004)

➤ Lorsque la température est supérieure à 23°C, il y a une élévation du rythme cardiaque (pour augmenter le flux sanguin vers les parties périphériques qui permettent de dissiper la chaleur avec plus d'efficacité), et une dilatation des vaisseaux sanguins au niveau de la peau et des zones d'échanges privilégiées car dépourvues de plumes (les pattes, les crêtes et les barbillons).

➤ C'est à partir de 25°C que la véritable lutte contre la chaleur est entamée. En effet, lorsque la température ambiante dépasse 25°C la perte de chaleur par évaporation devient le moyen le plus important de lutte face à ce stress (Figure 9). En effet, les oiseaux ne possédant pas de glandes sudoripares, le seul mécanisme qui leur permet de maintenir leur température interne est de vaporiser l'eau par voie respiratoire (VALANCONY, 2003). Ainsi, plus la température augmente plus cette voie de dissipation de la chaleur devient le seul mécanisme qui permet de maintenir l'animal en vie. C'est ainsi que le rythme respiratoire augmente et peut atteindre 200 inspirations par minutes.

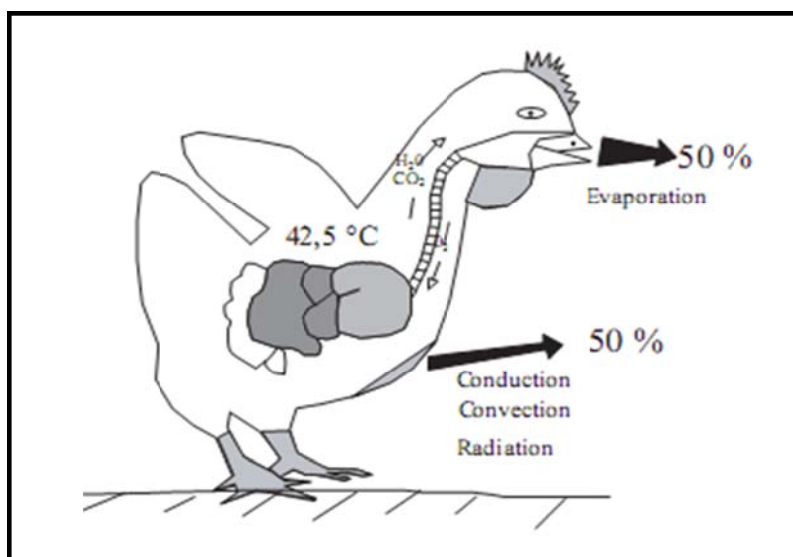


Figure 9: Augmentation du rythme respiratoire avec l'augmentation de la température ambiante (VALANCONY 1997 ; AMAND et al., 2004)

➤ Au delà de 30°C et à partir d'une fréquence respiratoire de 200 inspirations par minute, il y a une modification de l'équilibre acido-basique du sang (alcalose) ce qui influence les cellules cardiaques et nerveuses. De plus, lorsque le rythme respiratoire augmente, la chaleur produite par les muscles respiratoires limite l'efficacité de dissipation de la chaleur par cette voie (Figure 10).

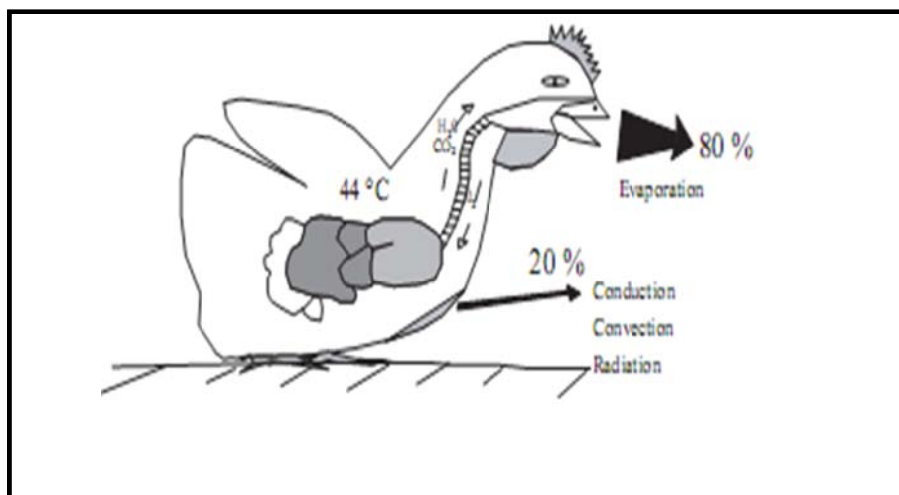


Figure 10: Limite de résistance à la chaleur (VALANCONY, 1997 ; AMAND *et al.*, 2004)

➤ Lorsque la température corporelle atteint 46-47°C les pertes de chaleur par voie respiratoire deviennent insuffisantes puisque l'air inspiré est rejeté avant d'atteindre les poumons. Ainsi, l'hypoxie associée à l'alcalose conduit à la mort de l'animal par arrêt cardiaque ou respiratoire (Figure 11).

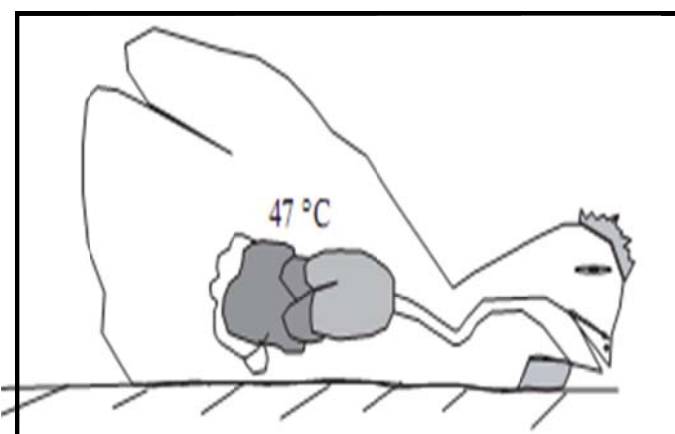


Figure 11: Phase finale mortalité par hyperthermie (VALANCONY, 1997 ; AMAND *et al.*, 2004)

III.1.2.3. Réponse hormonale

Les hormones sont produites par les tissus endocriniens et sont véhiculées par le système circulaire vers les tissus cibles. Elles véhiculent des informations vers les tissus et les cellules pour entreprendre et maintenir les réponses physiologiques et comportementales qui permettent de faire face à un stress thermique (ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008). Dès que l'oiseau est en situation de stress thermique, une série de changements contrôlée par des systèmes hormonaux est initiée. L'importance de ces systèmes et

l'étendue de leurs effets dépend de la sévérité du stress thermique. Les hormones impliquées dans l'adaptation au stress thermique sont rapportées dans le tableau 17.

Tableau 17 : Hormones impliquées dans la lutte contre le stress thermique chez la volaille

Sources	L'hormone	Effet
Les hormones Neurohypophysées	Vasotocine Arginine (AVT)	Libérée lors de la déshydratation elle stimule la réabsorption de l'eau par les reins
	Mesotoxine (MT)	l'hormone homologue de l'ocytocine chez la volaille
	Hormone de croissance (GH)	Permet la déviation du métabolisme pour fournir des substrats très énergétiques pour le métabolisme musculaire lors du stress thermique
Les hormones de l'hypothalamus	Corticostérone	Permet de maintenir l'osmolarité du plasma
	Catécholamines	Même effet que la corticostérone
Les hormones thyroïdiennes	Formes active T4 et T3 et la forme inactive (r-T3)	Elles jouent un rôle dans la régulation du métabolisme chez les oiseaux soumis au stress thermique

(ETCHES, JOHN et VERRINDER 2008)

III.1.2.3. Réponse moléculaire

La réponse moléculaire se manifeste lors d'un stress thermique par la synthèse des protéines du choc thermique (WIRTH *et al.*, 2003 ; ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008). Ces protéines ont la capacité de se lier à différentes protéines cellulaires et de modifier leur conformité et leur localisation. Ainsi, lors du stress thermique les protéines du choc thermique se lient aux protéines cellulaires thermosensibles pour éviter que celles-ci ne soient dégradées par la chaleur, ce qui permet de protéger les cellules soumises à un stress thermique d'une modification structurelle irréversible (ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008).

Les protéines du choc thermique font partie d'une grande famille de protéines de stress tels que celles synthétisées suite à une privation nutritionnelle, au manque d'oxygène et à la présence de métaux lourds et d'alcool.

Malgré ces mécanismes d'adaptation des oiseaux au stress thermique, les températures élevées affectent l'ingéré alimentaire, la digestion et l'absorption des nutriments (MAC LEOD, 2004).

III.2. Comportement alimentaire du poulet de chair face au stress thermique

III.2.1. Ingéré alimentaire

L'élévation de la température corporelle due à une élévation de la température ambiante a un effet négatif sur les performances des oiseaux lié à la baisse de l'ingéré alimentaire (BORGES *et al.*, 2004 ; DAGHIR, 2009). La réduction du niveau d'ingestion contribue à diminuer l'extra chaleur de l'oiseau (MAC LEOD, 2004 ; ETCHES, JOHN et VERRINDER 2008 ; MORÊKI, 2008). Selon AIN BAZIZ *et al.* (1996), les poulets réduisent leur ingéré alimentaire de 3,6% / °C d'augmentation de la température entre 22 et 32°C. Cette observation est confirmée par BONNET *et al.* (1997) dans les mêmes conditions expérimentales, tandis que MORÊKI (2008) rapporte une diminution de l'ingéré de 5% / °C pour une augmentation de température ambiante entre 32 et 38°C.

Afin de maintenir un niveau d'ingestion relativement stable chez les oiseaux élevés dans les pays chaud, la pratique la plus communément utilisée dans la formulation des aliments consiste à augmenter la concentration énergétique de l'aliment en incorporant des lipides à la formule alimentaire (DAGHIR, 2009 ; MORÊKI, 2008). En effet, les lipides améliorent la palatabilité de l'aliment (MORÊKI, 2008), de plus, l'extra chaleur des lipides est faible comparée à celle générée par l'utilisation des protéines et des glucides (DAGHIR, 2009 ; MORÊKI, 2008).

III.2.2. La consommation d'eau

L'augmentation de la température ambiante, entraîne immédiatement chez les oiseaux une augmentation de la consommation d'eau pour compenser les pertes d'eau qui résulte de la dissipation de la chaleur par la voie respiratoire (ETCHES, JOHN et VERRINDER, 2008). En effet, BORGES *et al.* (2004) rapportent une augmentation de 22,4% de la consommation d'eau (254 à 300 ml/kg^{0,75}) chez les oiseaux soumis à un stress thermique. Selon les mêmes auteurs, en situation de stress thermique, les pertes d'eau affectent le

volume sanguin, ce qui conduit à la production par les cellules du rein de rénine qui permet la transformation de l'angiotensinogène en angiotensine I et II qui stimulent à leur tour le centre de soif qui conduit à une augmentation de la consommation d'eau. La sensation de soif est également stimulée par l'augmentation de l'osmolarité du plasma (BORGES *et al.*, 2004).

III.3. Effet du stress thermique sur la digestion et l'absorption des nutriments

Plusieurs auteurs ont rapporté la diminution de la digestibilité des nutriments chez des oiseaux soumis au stress thermique (BONNET, 1990 ; ZUPRIZAL *et al.* 1993 ; ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER 1992 ; BONNET *et al.*, 1997 ; BOUDOUMA, IABASSEN et KAZI AOUEL, 2013). En effet, BONNET (1990) rapporte que la digestibilité de l'ensemble des nutriments (protéines, glucides et lipides) est réduite par des températures ambiantes élevées. Selon le même auteur, cette diminution est due à la modification par la chaleur de la physiologie digestive des oiseaux, le tableau 18 rapporte les principales modifications observées et leur effet sur la digestibilité des nutriments. De plus, les quantités élevées d'eau dans la lumière intestinale exercent un effet de dilution sur les enzymes digestives ce qui diminue l'efficacité des attaques enzymatiques, et réduit également la durée du transit digestif (BONNET, 1990).

Tableau 18 : Effet du stress thermique sur la physiologie digestive

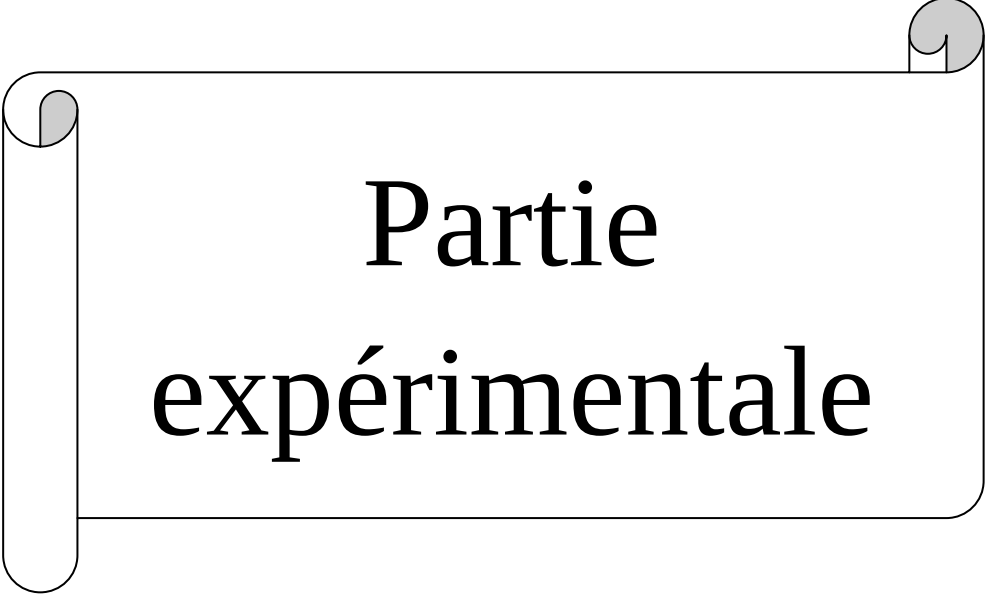
Organes touchés	Effet sur la digestibilité
Diminution de la taille du gésier	Réduction de la dégradation physique de l'aliment
Réduction de la longueur et taille de l'intestin	Réduction du temps du transit digestif et donc du temps des processus digestifs
Diminution du poids du pancréas	Baisse des synthèses enzymatiques et par conséquent diminution de la dégradation enzymatique dans la lumière intestinale.

(BONNET, 1990)

Concernant l'utilisation des tourteaux par les oiseaux soumis au stress thermique (32°C), ZUPRIZAL *et al.* (1993) rapportent une diminution de la digestibilité réelle des protéines de l'ordre de 5% pour le tourteau de soja et de 12% pour le tourteau de colza. Selon ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER (1992), la digestibilité des protéines et des acides

aminés diminue en conditions de températures élevées, mais il semblerait que les femelles soient plus sensibles aux températures élevées que les mâles.

L'absorption des nutriments serait également modifiée par la température ambiante. BONNET *et al.* (1997) rapportent que l'absorption des nutriments est réduite lors du stress thermique suite à l'augmentation des quantités d'eau consommée qui accélère le transit digestif et réduit l'efficacité d'absorption des nutriments. De plus, la diminution du poids du jéjunum et de l'iléon serait à l'origine de la réduction des processus d'absorption et par conséquent de l'absorption des nutriments (BONNET, 1990).



Partie expérimentale



Matériel et méthodes

Les modalités de mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja sur des coqs exposés à des températures ambiantes différentes, ainsi que celles de mesure de la rétention azotée et la valeur biologique des protéines de ce tourteau, sont rapportées dans cette partie.

IV.1. Matériel

IV.1.1. Le bâtiment

L'ensemble des mesures a été réalisé au niveau du laboratoire d'aviculture de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) d'El Harrach durant la période allant du 8 au 28 mai 2013. La température à l'intérieur du laboratoire est réglée grâce à un chauffage à gaz et un climatiseur. L'éclairage est assuré en continu par 2 lampes d'une intensité de 100W chacune. L'aération du bâtiment est permise par des ouvertures latérales.

Les cages à métabolisme utilisées ont été disposées de façon à ce que les coqs soient face à face, ce qui facilite leur adaptation à leurs nouvelles conditions de vie (espace, modalités d'alimentation et d'abreuvement) tel que préconisé par APPELEBY, MENCH et HUGHES (2004). Les cages (45 x 42 x 50cm) sont équipées d'une mangeoire et d'un abreuvoir individuels ainsi que d'un dispositif (fond de cage grillagé et plateau coulissant sous-jacent) permettant la collecte des excréta (Figure 12).

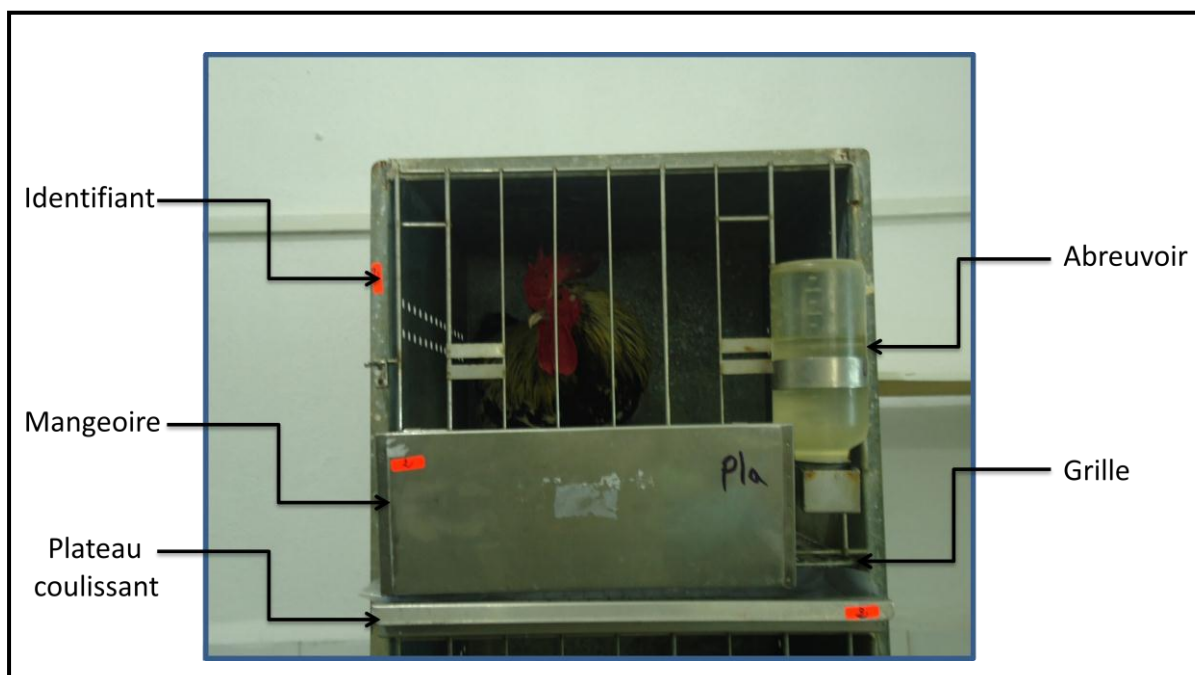


Figure 12: Cage individuelle à métabolisme

Le laboratoire et l'ensemble du matériel utilisé ont été au préalable nettoyés et désinfectés. Des mesures ont été prises (pédiluve à l'extérieur, gobe mouches au plafond, et nettoyage quotidien) afin d'assurer l'hygiène des lieux.

IV.1.2. L'aliment

Les mesures expérimentales réalisées ont porté sur du tourteau de soja 44 provenant d'Argentine et commercialisé par l'office national des aliments de bétail (ONAB). L'échantillonnage du tourteau de soja utilisé a été constitué en effectuant des prélèvements aléatoires à 5 endroits différents du silo. Le tourteau de soja est distribué à volonté aux coqs.

IV.1.3. Les animaux

Les bilans digestifs ont été réalisés sur des coqs fermiers de population locale et âgés de 2 ans, fournis par l'Institut Technique des Elevages (ITELV). Ce type de modèle expérimental est intéressant car l'état d'entretien de l'animal permet une meilleure précision des mesures basées sur le principe des bilans. De plus, selon SIBBALD et PRICE (1975) le coq s'apprête en expérimentation à des mesures de longue durée et tolère relativement aux jeunes animaux, une alimentation déséquilibrée.

Dès réception, les coqs ont été placés en cages individuelles à métabolisme avec accès libre aux abreuvoirs, où de la vitamine C a été ajoutée à l'eau de boisson pour atténuer le stress dû au transport. Au bout de 2 heures de temps, les animaux ont été pesés (Figure 13). Avant d'entamer les bilans de digestibilité les coqs étaient alimentés avec l'aliment ponte et étaient maintenus à une température ambiante de 25°C.



Figure 13 : Pesées des animaux

IV.2. Méthodes

IV.2.1. Méthode de mesure des paramètres d'ambiance

La température et l'humidité ambiantes sont quotidiennement enregistrées durant les 2 essais à 8:00, 12 :00 et 16:00. Les thermomètres et le thermo hygromètre, ont été placés à mi hauteur des cages.

IV.2.2. Méthodes de mesure des paramètres biologiques

IV.2.2.1. Mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température optimale et chaude

La mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez le coq (CUDp) a été réalisée sur les coqs mis en cages individuelles selon la méthode de la collecte totale des excréta. Le protocole expérimental adopté (Figure 14) a été inspiré de celui de BOURDILLON *et al.* (1990) et adapté à nos conditions de travail.

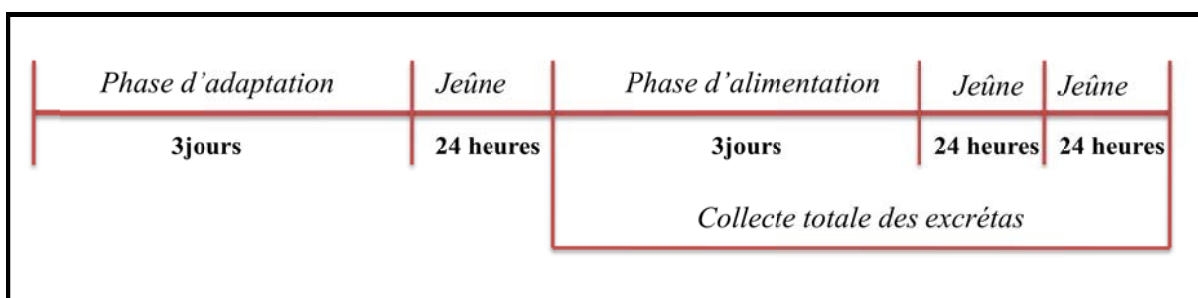


Figure 14 : Protocole expérimental pour mesure de digestibilité chez le poulet (BOURDILLON *et al.*, 1990)

IV.2.2.2. Protocole de mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température optimale

La température ambiante optimale moyenne à laquelle s'est déroulé l'essai a été fixée à $22,69 \pm 0,39^{\circ}\text{C}$, la température de 20°C étant considérée chez le poulet adulte comme température moyenne de neutralité thermique (VALANCONY, 1997). HOLIK (2009) rapporte que la température de neutralité thermique se situe entre 18 à 24°C chez la poule pondeuse.

Les mesures ont été réalisées sur 11 animaux sélectionnés sur la base d'un poids vif homogène ($1940 \pm 93,46\text{g}$) à partir du lot des 24 coqs réceptionnés.

La période d'adaptation des coqs s'est étalée sur 5 jours au lieu des 3 jours préconisés par BOURDILLON *et al.* (1990). La prolongation de cette phase était nécessaire compte tenu

de la difficulté d'adaptation des coqs à leur nouvel environnement, étant précédemment élevés sur parcours et recevant l'aliment ponte fabriqué par l'ONAB. L'adaptation complète des coqs à une consommation exclusive de tourteau de soja a été obtenue en introduisant progressivement ce dernier à l'aliment ponte. Les mélanges respectifs de tourteau de soja et d'aliment ponte utilisés étaient les suivants : 0T-100P%, 25T-75P%, 50T-50P% ,75T-25P% et 100T-0%P, T et P étant respectivement le tourteau de soja et l'aliment ponte. Le bilan proprement dit est réalisé au lendemain d'un jour de jeûne auquel sont soumis les animaux afin d'assurer la vacuité de leur tube digestif. Le bilan digestif est observé pendant 3 jours durant lesquels les oiseaux reçoivent *ad libitum* et quotidiennement 150g de tourteau de soja. Au lendemain de chaque distribution d'aliment, la quantité d'aliment refusé par chaque coq est récupérée puis pesée. Les excréta de chaque coq sont également soigneusement récupérés (figure 15). Suite aux 72 heures d'alimentation, les animaux sont soumis à 48 heures de jeûne, les premières 24h visant à assurer l'excrétion totale de toute la fraction alimentaire indigestible, et les secondes permettant de collecter la fraction endogène des excréta (figure 16).

La distribution de l'aliment, la récupération du refus alimentaire et la collecte des excréta se font à heures fixes.

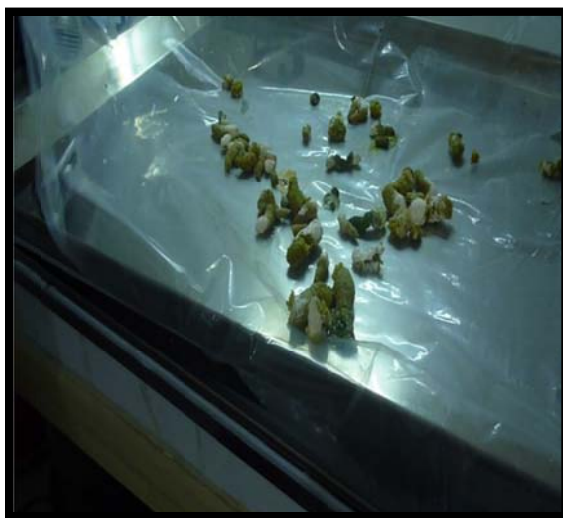


Figure 15 : Fientes d'origine alimentaire



Figure 16 : Fientes d'origine endogène

Dès leur récupération, les excréta d'origine alimentaire sont débarrassés des plumes, des desquamations ainsi que des particules d'aliment. Elles sont conservées au réfrigérateur (+4°C) dans une barquette auparavant identifiée et pesée. A l'issue de la 4^{ème} récolte, elles sont portées à l'étuve (60°C) jusqu'à dessiccation complète. Après pesée de la barquette, les fientes sont récupérées, finement broyées et laissées se réhumidifier à l'air ambiant pendant 2 heures. Par la suite, elles sont mises en sachets de papier identifiés et fermés

hermétiquement. Le même traitement est observé pour les fientes d'origine endogène récoltées à l'issue du 2^{ème} jour de jeun.

IV.2.2.3. Protocole de mesure de la digestibilité des protéines du tourteau de soja chez les coqs en conditions de température élevée

Le degré thermique caractérisant nos essais menés en conditions chaudes se situe en moyenne à $30,71 \pm 0,27^{\circ}\text{C}$, la température de 32°C déterminant selon SAHIN *et al.* (2002) et GARCIA *et al.* (2004) une situation de stress chez le poulet de chair. Selon KHAN *et al.* (2012) la lutte contre la chaleur chez la volaille, est initiée à partir 25°C .

La mesure de la digestibilité en conditions chaudes a été réalisée sur 9 coqs choisis en fonction d'un poids vif homogène ($1972 \pm 115,60\text{g}$) et d'un ingéré alimentaire similaire. Le protocole suivi comporte les mêmes étapes que celui adopté pour la mesure de digestibilité à température ambiante de 21°C . Il n'en diffère que par la température ambiante et la durée du bilan. Les premiers jours de l'essai ont été consacrés à l'adaptation progressive des coqs à la température de 32°C . A cette fin, il a été procédé à l'élévation de la température d'environ 3°C/j durant 3 jours.

L'humidité relative ambiante a été maintenue entre 50 et 70% pendant les 2 essais.

IV.2.3. Méthodes de mesures analytiques

IV.2.3.1. Analyses chimiques

Le tourteau de soja a fait l'objet d'analyses classiques conformes aux méthodes AFNOR (1985). Elles ont été réalisées en triple pour chaque échantillon et ont concerné :

- ✚ La matière sèche ;
- ✚ La matière minérale ;
- ✚ La matière azotée en utilisant la méthode de Kjeldhal ;
- ✚ La matière grasse par extraction à l'éther de pétrole ;
- ✚ La cellulose brute par la méthode de Weende.

Les excréta ont fait l'objet de mesures de l'azote totale et de l'azote fécal. L'azote fécal a été obtenu après distinction des protéines de la fraction fécale et de la fraction urinaire par la méthode de TEPPSTRA et HART (1974). L'emploi de la solution d'acétate de plomb permet de précipiter les protéines fécales, les solutions chimiques utilisées ainsi que le mode opératoire sont en annexe 3.

Les faibles quantités d'excrétas d'origine endogène, nous ont conduit à constituer des pools (3 pour l'essai température optimale et 2 pour l'essai température élevée) afin de réaliser les analyses d'azote sur cette fraction.

IV.2.3.2. Méthodes de calculs

- **L'ingéré alimentaire a été calculé comme suit :**

$$I = D - R$$

I : Ingéré alimentaire (g)

D : Distribué (g)

R : Refus alimentaire (g)

- **La digestibilité apparente des protéines a été calculée comme suit :**

$$CUDa_p (\%) = (Ni - Nf) / Ni \times 100$$

Ni : Azote ingéré (g)

Nf : Azote fécal (g)

- **La digestibilité réelle des protéines a été calculée comme suit :**

$$CUDr_p = (Ni - (Nf - N_{end})) / Ni \times 100$$

Ni : Azote ingéré (g)

Nf : Azote fécal (g)

N_{end} : Azote d'origine endogène (g)

- **La rétention azotée a été calculée comme suit :**

$$NR = NI - NE$$

NR : Azote retenu (g)

NI : Azote ingéré (g)

NE : Azote excrété (g)

- **La valeur biologique du tourteau de soja a été calculée comme suit :**

$$VB = Ni - (Nf_a - Nf_m) - (NU_a - NU_m) / Ni - (Nf_a - Nf_m)$$

Ni : Azote ingéré (g)

Nf_a : Azote fécal d'origine alimentaire (g)

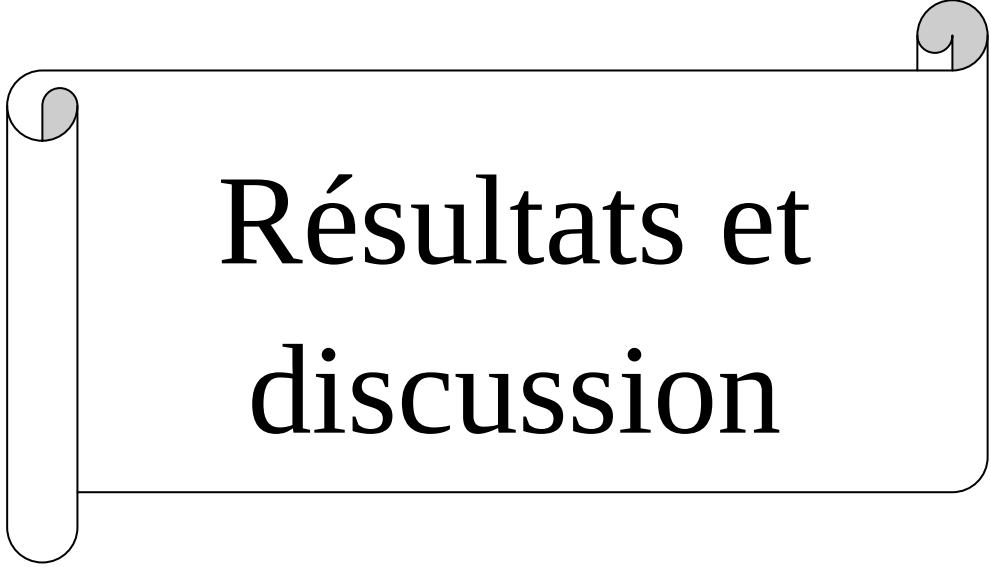
Nf_m : Azote fécal d'origine métabolique (g)

NU_a : Azote urinaire d'origine alimentaire (g)

NU_m : Azote urinaire d'origine métabolique (g)

II.2.3.3. Méthode de mesure statistique

Les données enregistrées durant les 2 essais, ainsi que les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse descriptive : calcul de la moyenne, écart type, et erreur type, d'une analyse de variance à un seul facteur de classification suivie de comparaisons de moyennes et de calcul de corrélations entre variables mesurées. Le seuil de signification ($P < 0,05$) a été fixé pour l'interprétation statistique des résultats. Les graphes et histogrammes ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel 2007.



Résultats et discussion

V.1. Composition chimique du tourteau de soja

La composition chimique du tourteau de soja analysé est rapportée dans le tableau 19.

Tableau 19 : Composition chimique (% MS) du tourteau de soja

MS (%)	MM	CB	MG	MAT
88,27 ± 0,14	7,38 ± 0,02	5,39 ± 0,16	3,62 ± 0,30	42,65 ± 0,11

- Le tourteau de soja analysé est caractérisé par une teneur en MS de 88,27% soit une humidité de 11,73%. Elle est de même ordre de grandeur que celles du tourteau de soja conventionnel et du tourteau de soja décortiqué pour lesquels BRITZMAN (1994) rapportent des teneurs respectives de 88,2% et de 88,4%. La teneur de MS mesurée est comprise dans la gamme de valeurs rapportées par NEWKIRK (2010) et qui oscillent entre 88 et 90%. En revanche, elle est inférieure de 4 points à celle mesurée par BANSZKIEWICZ (2011) qui est de 92%.

- La teneur en matière minérale du tourteau de soja est de 7,38 ± 0,02% MS, elle est proche des valeurs rapportées par HEUZE, TRAN et KAUSHIK (2012) qui sont de 7,1% MS pour un tourteau de soja à faible teneur en protéines et de 7,2% MS pour un tourteau de soja décortiqué. Elle s'écarte d'environ 1 point par rapport à celles mesurées par NEWKIRK (2010) et qui sont de l'ordre de 6% MS pour des tourteaux de soja obtenus soit par pression, ou par extraction au solvant, soit pour un tourteau de soja décortiqué obtenu par extraction au solvant. La teneur en matière minérale varie d'un tourteau à un autre puisqu'elle dépend de l'origine de celui-ci, des conditions de culture, de la variété et du processus technologique utilisé (BANASZKIEWICZ, 2011).

- La concentration du tourteau de soja en cellulose brute est en moyenne de 5,39 ± 0,16% MS, teneur se situant dans la gamme rapportée par plusieurs auteurs dont BRITZMAN (1994), NEWKIRK (2010), BANSZKIEWICZ (2011) et dont les valeurs extrêmes sont de 3 et 7%.

- Quant à la teneur en matière grasse, elle est également comprise dans la plage de valeurs rapportées par BANSZKIEWICZ (2011) : 0,55 à 3% MS pour un tourteau de soja 44 et de 1 à 3,3% pour un tourteau de soja 49. Elle apparaît relativement élevée à celles rapportées par NEWKIRK (2010) et qui sont de 0,5% pour un tourteau de soja obtenu par extraction au solvant et de 1% pour le tourteau de soja décortiqué obtenu par extraction au

solvant. Cependant, elle reste faible comparée à la valeur rapportée par ce même auteur: 8,1% MS pour un tourteau de soja obtenu par pression.

- La teneur protéique du tourteau de soja analysé est de 37,46% du produit brut. Cette valeur est faible comparée à celle d'un tourteau classique dont la teneur en protéines brutes oscille entre 43 à 44% (CROMWELL, 2012). Selon la nature du traitement technologique de la graine de soja, la teneur en protéines du tourteau est variable : elle est de l'ordre de 42% pour un tourteau de soja obtenu par pression (NEWKIRK, 2010) et varie entre 46,5 à 50% (BRITZMAN, 1994) et entre 47 à 49% (NEWKIRK, 2010) pour un tourteau de soja décortiqué.

Les teneurs en MS, MM, CB et MG du tourteau de soja analysé sont comparables à celles rapportées par la bibliographie, tandis que la teneur en protéines s'en éloigne. L'écart observé serait en rapport avec les caractéristiques propres de la graine de soja (variété, origine, etc.) ou à un traitement de qualité médiocre lors de la transformation technologique de la graine de soja

V.2. Paramètres d'ambiance

V.2.1. Température ambiante

Durant les 2 essais expérimentaux (essai 1 : température optimale et essai 2 : température élevée) les températures ambiantes ont été quotidiennement enregistrées, les valeurs moyennes des températures figurent dans le tableau 20. L'essai 1 se caractérise par une température ambiante moyenne de $22,69 \pm 0,39^{\circ}\text{C}$ avec des extrêmes de l'ordre de 22,26 et de $23,02^{\circ}\text{C}$. Ces températures sont considérées comme optimales, l'oiseau ne faisant pas d'effort de régulation thermique pour lutter contre la chaleur. En effet, selon KHAN *et al.* (2012) la température optimale des oiseaux se situe entre 18 et 22°C , celle du poulet de chair se situe selon CHARLES (2002) entre 19 et 22°C et celle de la poule pondeuse se situe entre 18 et 24°C (HOLIK, 2009).

Pour l'essai 2, la température moyenne enregistrée est de $30,71 \pm 0,27^{\circ}\text{C}$ avec une valeur maximale de $30,96^{\circ}\text{C}$ à 12h et une minimale de $30,42^{\circ}\text{C}$. Ces valeurs déterminent un stress thermique puisque selon SOSSIDOU, TSIPLAKOU et ZERVAS (2013), la température critique maximale est de 26°C chez le poulet de chair. KHAN *et al.* (2012) rapportent également que les oiseaux commencent à lutter contre le stress thermique lorsque la température ambiante dépasse les 25°C , alors que BROU *et al.* (2012) précisent que les

poules pondeuses commencent à haleter lorsque la température ambiante atteint les 29°C et que leur température corporelle augmente à température ambiante de 30°C.

Tableau 20 : Valeurs moyennes des températures ambiantes (°C) enregistrées durant les 2 essais expérimentaux

	Température moyenne à 8h	Température moyenne à 12h	Température moyenne à 16h	Valeur moyenne
Essai 1	22,26 ± 0,78 ^a	23,02 ± 0,76 ^a	22,81 ± 0,72 ^a	22,69 ± 0,39 ^a
Essai 2	30,42 ± 0,86 ^b	30,96 ± 1,36 ^b	30,74 ± 0,78 ^b	30,71 ± 0,27 ^b

^{a, b} : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$).

L'écart moyen des températures des 2 essais est significatif ($P < 0,05$), il est de l'ordre de 8°C.

V.2.2. Humidité relative

L'hygrométrie moyenne enregistrée lors du premier essai est de 67,03±0,34% avec une valeur minimale et une valeur maximale respectivement de 66,84% et 67,42. Ces valeurs se situent dans la fourchette des 60 à 70% d'humidité relative contribuant au bien être du poulet de chair, conformément aux recommandations classiques en terme d'élevage avicole.

Pour le deuxième essai mené en condition chaudes, l'humidité moyenne enregistrée est de 56,20 ± 5,68%, avec des valeurs extrêmes de 49,67% et de 60%.

Les valeurs d'humidité relative observées lors des 2 essais s'éloignent de 11 points et sont statistiquement différentes ($P < 0,05$). L'ensemble des valeurs moyennes des 2 essais est rapporté dans le tableau 21.

L'humidité observée lors des 2 essais n'affecte pas la capacité de thermorégulation des animaux, puisque Lin *et al.* (2006) et DAGHIR (2009) rapporte que la capacité des oiseaux à dissiper la chaleur n'est réduite qu'en situation d'humidité élevée. AMAND *et al.* (2004) précisent que lorsque l'humidité de l'air est faible, la thermorégulation par voie pulmonaire est efficace, et ils recommandent par conséquent de ne pas excéder des valeurs d'humidité relative au-delà de 70% lorsque la température ambiante est en moyenne de 30°C. Quoique le stress thermique soit la conséquence d'interactions entre la température

ambiante, l'humidité relative et la vitesse de l'air, la température ambiante en constitue le facteur essentiel (LIN *et al.*, 2006).

Tableau 21 : Valeurs moyennes d'humidité relative (%) enregistrées durant les 2 essais expérimentaux

Essai	Humidité moyenne à 8h	Humidité moyenne à 12h	Humidité moyenne à 16h	Valeur moyenne
Essai 1	66,83 ± 8,98 ^a	66,83 ± 10,03 ^a	67,42 ± 7,60 ^a	67,03 ± 0,34 ^a
Essai 2	49,67 ± 5,59 ^b	60,00 ± 5,39 ^b	58,92 ± 3,12 ^b	56,20 ± 5,68 ^b

^{a, b} : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$).

IV.3. Qualité protéique du tourteau de soja et impact de la chaleur

IV.3.1. Niveau de consommation et excrétion azotée

Les données du tableau 22 indiquent qu'en conditions de température optimale, l'ingéré quotidien moyen des coqs est de $96,72 \pm 8,53$ g tandis qu'en conditions de température ambiante élevée, il est de $82,83 \pm 10,38$ g. L'écart entre ces 2 niveaux d'ingestion est significatif ($P < 0,05$), il est de l'ordre de 13,89 points, soit une diminution de l'ingéré de 1,73% pour une augmentation de la température de 1°C entre 22 et 30°C et pour une différence d'humidité de 11%.

La figure 17 illustre la différence d'ingestion par les coqs des 2 lots expérimentaux. L'écart persiste de façon significative lorsque l'ingéré est rapporté au poids vif et au poids métabolique des coqs (tableau 22).

Tableau 22 : Valeurs moyennes quotidiennes de consommation de tourteau de soja(g MS, g MS/kg PV, g MS/kg P^{0,75}) des coqs durant les 2 essais expérimentaux

	Ingéré (g MS/j)	Ingéré (g MS/kg PV/j)	Ingéré (g MS/kg P ^{0,75} /j)
Essai 1	96,72±8,53 ^a	49,80±3,63 ^a	58,83±4,20 ^a
Essai 2	82,83±10,38 ^b	41,90±4,18 ^b	49,54±5,14 ^b

^{a, b} : Sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$).

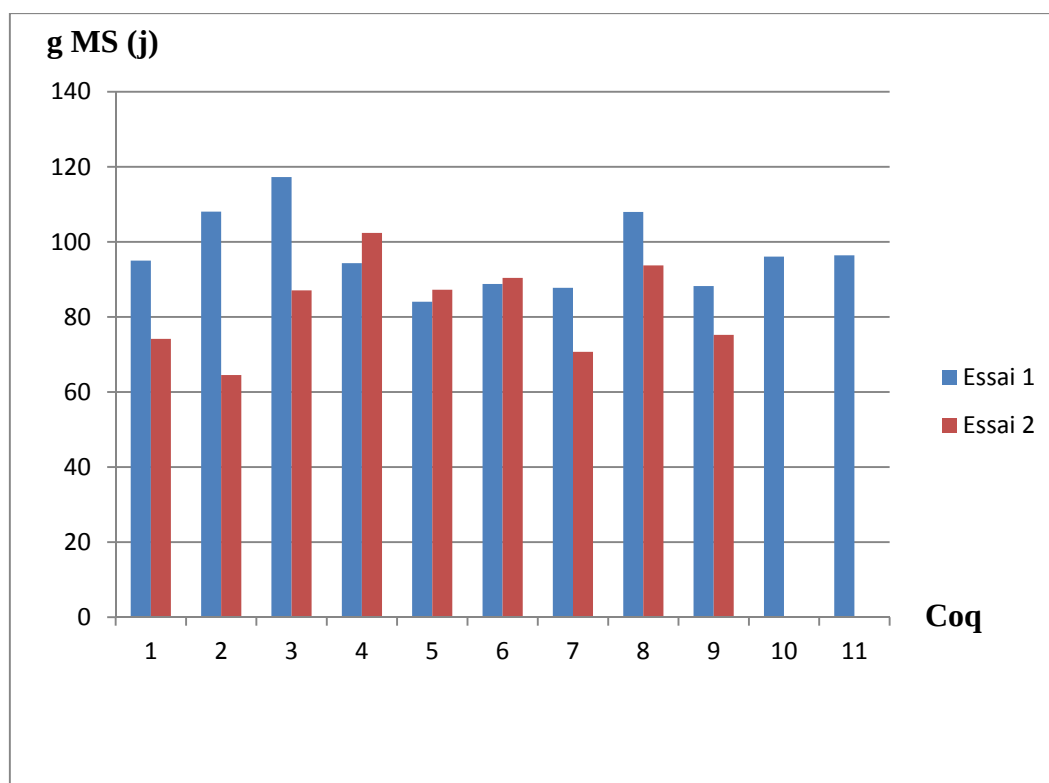


Figure 17: Quantités de tourteau de soja ingérées par les animaux durant les 2 essais

Bien que la documentation spécialisée ne rapporte pas à notre connaissance d'informations relatives à l'ingestion de tourteau de soja par des coqs soumis à la chaleur, plusieurs études relatent chez les poulets de chair, une réduction de l'ingéré en conditions chaudes (AIN BAZIZ *et al.*, 1996 ; BONNET *et al.*, 1997 ; MOREKI, 2008 ; KHAN *et al.*, 2012). Ce comportement adopté par l'oiseau vise à réduire l'extra chaleur lié à l'acte alimentaire (MAC LEOD, 2004 ; ETCHES, JOHN et VERRINDER 2008 ; MORÊKI, 2008).

La différence du niveau d'ingestion a retenti sur celui de l'excréta, les quantités moyennes de fientes excrétées (tableau 23) étant de $48,36 \pm 6,16$ g MS/j pour les coqs de l'essai 1 et de $36,48 \pm 5,97$ g MS/j pour ceux de l'essai ; ces 2 valeurs sont statistiquement ($P \leq 0,05$) différentes. Toutefois, la faible excrétion par les coqs du lot 2 serait également liée au facteur chaleur, puisque nous observons une faible corrélation ($R^2 = 0,34$; $P \geq 0,05$) entre la quantité d'aliment ingéré et la quantité d'excrétas en conditions chaudes, alors qu'en conditions de température optimale ($22,7^\circ\text{C}$), la corrélation est forte ($R^2 = 0,93$) et significative ($P \leq 0,05$). Cette observation renseigne sur une perturbation des processus de l'excrétion chez l'oiseau sous l'effet du stress thermique.

Quant à la fraction endogène des excréta, les valeurs affichées dans le tableau 23 indiquent une moindre excrétion ($P \leq 0,05$) pour les animaux de l'essai 2 par rapport à

ceux du lot 1 : 1,47g vs 2,94g. Cette différence d'excrétion semble être en rapport avec la quantité d'aliment ingéré par les 2 groupes de coqs, tel que rapporté par BUTTS *et al.*(1993) pour le même type de volailles en conditions d'alimentation classique.

Tableau 23 : Valeurs moyennes des quantités d'excrétas (d'origine alimentaire et endogène) et de leurs composantes en N total, fécal et urinaire des 2 lots de coqs

	Excrétas d'origine alimentaire				Excrétas d'origine endogène			
	Excrété g MS/j	N total (g)	N fécal (g)	N urinaire (g)	Excrété g MS/j	N total (g)	N fécal (g)	N urinaire (g)
Essai 1	48,36 ± 6,16 ^a	32,42 ± 3,87 ^a	3,16 ± 0,61 ^a	29,30 ± 3,64 ^a	2,94 ± 1,22 ^a	1,71 ± 0,78 ^a	0,57 ± 0,28 ^a	1,41 ± 0,54 ^a
Essai 2	36,48 ± 5,97 ^b	26,59 ± 8,05 ^b	3,21 ± 0,47 ^a	23,38 ± 8,08 ^b	1,47 ± 0,51 ^b	0,45 ± 0,16 ^b	0,28 ± 0,10 ^b	0,17 ± 0,07 ^b

^{a, b} : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$).

Sur le plan de la composante en azote des excréments d'origine alimentaire, les valeurs consignées dans le tableau 23 indiquent que la quantité d'azote total est plus élevée chez les coqs maintenus en température ambiante optimale par rapport à ceux exposés à la chaleur. Cette observation s'expliquerait par l'ingestion plus grande de tourteau et donc d'azote chez les sujets du lot 1 par rapport aux sujets du lot 2. Toutefois, la proportionnalité entre l'azote ingéré et celui excrété n'est pas de même ordre chez les coqs des 2 essais. La corrélation est élevée ($R^2=0,78$; $P \leq 0,05$) entre ces 2 paramètres pour les coqs de l'essai 1, elle traduit une linéarité entre les 2 entités observée classiquement chez le coq (YAGHOB FAR et BOLDADI, 2002). En revanche, la corrélation entre ces 2 paramètres est faible pour le 2^{ème} essai ($R^2=0,17$; $P \geq 0,05$) et nous amène à supposer que dans nos conditions expérimentales, la chaleur aurait d'une manière directe ou indirecte, modifié non seulement la quantité de fientes excrétées, mais également leur teneur en azote total.

Les données relatives à la teneur en azote fécal et urinaire des excréments d'origine alimentaire des 2 essais (tableau 23), indiquent dans les 2 situations de température, une excrétion plus importante d'azote dans la fraction urinaire que dans la fraction fécale des excréments : 29,3 vs 3,16 g pour l'essai 1 et 23,4 vs 3,21g pour l'essai 2. L'ordre de grandeur

de ces teneurs en azote des fractions fécale et urinaire des excréta nous amènent à supposer une bonne utilisation digestive des protéines du tourteau de soja. En revanche, leur utilisation au niveau métabolique serait de moindre importance, les pertes azotées urinaires étant relativement plus élevées que les pertes fécales. Cette observation n'est pas surprenante compte tenu que le modèle animal utilisé lors de nos essais est considéré être à l'entretien et donc présenter un besoin réduit en énergie et nutriments, dont celui de l'azote. De plus, la composante azotée des excréta de l'ensemble des coqs conforte l'hypothèse d'une qualité médiocre du tourteau de soja utilisé, au regard des mesures réalisées sur le même échantillon par BOUDJELABA (2013) qui rapporte une valeur moyenne de solubilité des protéines dans le KOH de $32,77 \pm 2,92\%$, alors que pour un tourteau de soja de bonne qualité, elle devrait se situer entre 75 à 85% (ROOSENDAAL, 2010). La faible solubilité des protéines du soja dans le KOH renseigne sur une cuisson excessive des graines de soja, connue comme étant responsable de la non disponibilité de certains acides aminés dont la lysine.

Par ailleurs, la teneur en azote urinaire du lot de coqs soumis à la chaleur s'éloignant d'environ 6 points ($P \leq 0,05$) de celle des coqs du lot témoin, nous amènent à supposer que l'effet de la chaleur retentit davantage sur l'excrétion azotée urinaire que sur celle de la fraction azotée fécale, la quantité d'azote fécal excrété par les coqs des 2 essais étant comparable ($P \geq 0,05$).

Quant aux teneurs en azote des fractions fécales et urinaires d'origine endogène (tableau 23), elles sont significativement plus faibles ($P \leq 0,05$) chez les coqs soumis à la chaleur.

V.3.2. Digestibilité des protéines

Tel que rapporté par le tableau 24, la digestibilité apparente des protéines du tourteau de soja chez les coqs de l'essai 1 et de l'essai 2 est respectivement de $92,20 \pm 1,41\%$ et de $90,66 \pm 1,55\%$. Ces résultats sont en faveur d'une diminution significative ($P \leq 0,05$) de la digestibilité apparente des protéines (de l'ordre de 1,6 point) sous l'effet de la chaleur. Un écart de même ordre est observé entre les valeurs de digestibilité réelle mesurées chez les coqs des 2 essais : $92,67 \pm 1,42\%$ pour le lot 1 et $91,08 \pm 1,49\%$ pour le lot 2.

Le tableau 24 : Digestibilité apparente et réelle des protéines du tourteau de soja en condition de température optimale

	CUDa (%)	Erreur type	CUDr (%)	Erreur type
Essai 1	92,20 ± 1,41 ^a	0,43	92,67 ± 1,42 ^a	0,43
Essai 2	90,66±1,55 ^b	0,52	91,08 ± 1,49 ^b	0,50

a, b : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$).

Ces résultats appuient les données rapportant chez la volaille une réduction de la digestibilité des protéines sous l'effet de la chaleur (BOUDOUMA, 2007 ; ZUPRIZAL *et al.*, 1993; ZUPRIZAL, CHAGNEAU et LARBIER, 1992 ; BONNET, 1990).

La réduction de la digestibilité apparente des protéines du tourteau de soja chez les coqs soumis au stress thermique n'est que de 1,6%, alors que les résultats des travaux de ZUPRIZAL *et al.* (1993) montrent qu'elle atteint les 5%. Cette différence serait liée entre autres à l'âge des oiseaux que les auteurs ont utilisés, celui-ci variant entre 4 et 6 semaines. Il semblerait alors que la thermotolérance des oiseaux évolue avec l'âge.

Les valeurs de digestibilités apparentes obtenues dans nos 2 conditions expérimentales, sont élevées par rapport à celles rapportées par ZUPRIZAL *et al.* (1993) : 84,4 et 82% respectivement chez des sujets mâles et femelles âgés de 6 semaines d'âge. Elles sont également supérieures aux valeurs de digestibilité iléale rapportées par FRIKHA *et al.* (2012) qui sont de 84,70 ; 85,40 et 83,50% pour un tourteau de soja provenant respectivement des USA, Brésil et Argentine et mesurée sur des animaux âgés de 21 jours.

Quant à la valeur moyenne de digestibilité réelle des protéines du tourteau de soja mesurées à température ambiante de $22,26 \pm 0,78^{\circ}\text{C}$, elle apparait de même ordre de grandeur que celle rapportées par FRIKHA *et al.* (2012) et mesurées au niveau iléal chez des poulets de 21 jours d'âge. Elles sont de 92,50 et de 92,60% pour un tourteau provenant respectivement des USA, de Brésil. La valeur du CUDr des protéines du tourteau de soja que nous avons évaluée chez les coqs ne subissant pas de stress thermique se rapproche de celle rapportée par GREEN et KIENER (1989) : 92% mesurée chez des coqs intacts et caecectomisés.

V.3.3. Rétention azotée et valeur biologique

Dans le tableau 25 figurent les valeurs moyennes de rétention azotée et de valeur biologique des protéines du tourteau de soja mesurées chez les coqs mis en condition de températures ambiantes différentes.

Tableau 25 : Rétention azotée et valeur biologique du tourteau de soja

	RN (%)	Erreur type	VB (%)	Erreur type
Essai 1	19,36 ± 4,90 ^a	1,48	22,42 ± 5,13 ^a	1,55
Essai 2	29,48 ± 16,19 ^b	5,4	33,04 ± 17,45 ^b	5,82

^{a, b} : sur une même colonne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont statistiquement différentes entre elles ($P \leq 0,05$). RN : rétention azotée, VB : valeur biologique

La rétention azotée moyenne est respectivement de $19,36 \pm 4,90\%$ et $29,48 \pm 16,19\%$ chez les coqs maintenus à une température ambiante optimale et ceux soumis au stress thermique. Bien que les coqs soient âgés de 2 ans et qu'ils aient un statut nutritionnel les mettant à un niveau d'entretien, il s'avère que leur niveau de rétention n'est pas nul. Cette observation serait liée à leur patrimoine génétique, les coqs n'étant pas apparentés à une souche commerciale sélectionnée pour sa vitesse de croissance, mais plutôt à un cheptel local dont la caractérisation tant phénotypique que des performances éventuelles est en cours.

Il apparait également que le bilan azoté des coqs en conditions chaudes est meilleur ($P \leq 0,05$) que celui des coqs ne subissant pas la chaleur. Cette observation ne corrobore pas celles rapportées par TEMIM *et al.* (1999) qui relatent une réduction de la synthèse protéique chez des poulets exposés à la chaleur et par celles de ALI, QOTA et HASSAN (2010) qui notent chez des poulets en croissance, une faible rétention azotée sous l'effet du stress thermique. Nos données, seraient-elles en faveur d'un besoin azoté plus important du phénotype local en rapport sans doute avec la lutte contre la chaleur, chez les sujets de l'essai 2 ?

Quant à la valeur biologique moyenne des protéines du tourteau de soja, elle est faible dans les 2 conditions expérimentales : respectivement de l'ordre de $22,42 \pm 5,13\%$ dans l'essai 1 et de $33,04 \pm 17,45\%$ pour l'essai 2. La valeur biologique de la protéine du tourteau de soja mesurée chez les coqs du lot 2 est supérieure ($P < 0,05$) de 11 points à celle mesurée chez les coqs du lot 1.

Discussion générale

Les résultats d'analyse de la composition chimique du tourteau de soja révèlent que cette matière première importée présente une faible teneur en protéines comparée aux teneurs standard rapportées par la bibliographie. La fabrication des aliments destinés à la volaille étant conçue en Algérie sur la base des informations fournies par les tables étrangères, et sachant que l'incorporation de ce tourteau varie entre 27 et 29% dans l'aliment du poulet de chair (ONAB, 2014), il n'est pas alors surprenant de constater des croûts en dessous de ceux préconisés par les guides d'élevage des souches exploitées, comme rapporté par plusieurs enquêtes menées par le département des productions animales de l'ENSA (MEDDAH, 2011 ; MAHROUZ, 2010 ; ALLAB et BELHOUS, 2009 ; DAHMAN et ZAOUI, 2008 ; ATMANE et BENFEDDA, 2007 ; BOUDAA, 2006).

Par conséquent, un contrôle rigoureux du tourteau de soja importé (ainsi que celui de l'ensemble des matières premières) s'impose à différents niveaux (port, laboratoire de l'usine de fabrication) afin d'optimiser cette source de protéines, d'autant plus que les quantités importées sont importantes : 1 372 680,47 T pour l'année 2013 et que leur coût est élevé : 953 083 795.76 dollars (ONAB, 2014) et évolue d'année en année.

La valeur de la digestibilité des protéines du tourteau de soja (en moyenne de $92,20 \pm 1,41\%$) mesurée chez le coq issu d'une population locale et placé dans des conditions de température optimale, est relativement élevée, comparée à la plupart des données bibliographiques (82 à 84,70%). Nos données expérimentales ne nous permettent pas d'expliquer la part du modèle animal ou celle de la méthodologie de mesure du bilan digestif dans cet écart de valeurs. En effet, l'impact du génotype sur la digestibilité de l'azote chez la volaille a été clairement établi depuis 1986 par HASSAN et DELPECH, (1986) et l'incidence de la méthodologie de mesure des bilans digestifs sur la digestibilité des nutriments, également (SHANNON et BROWN, 1969).

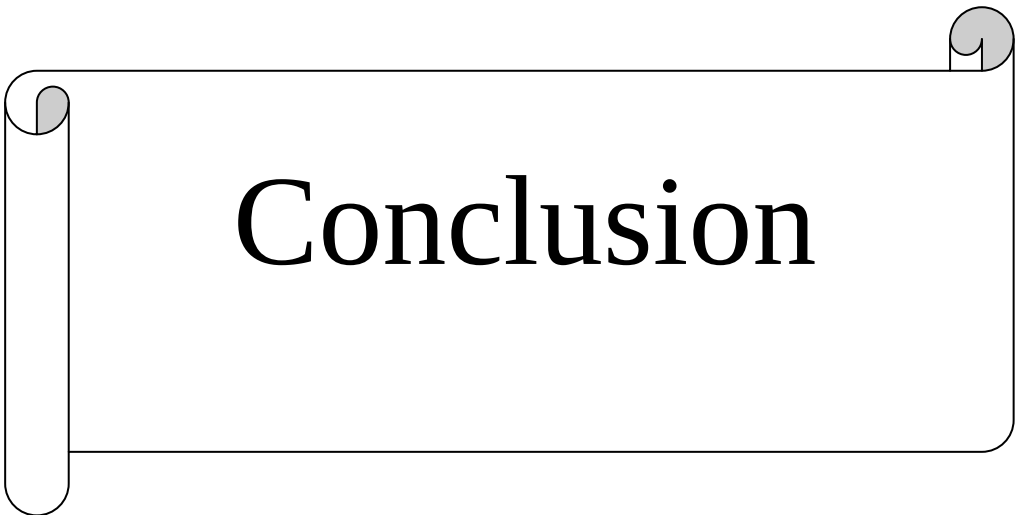
La part du patrimoine héréditaire dans l'expression de la digestibilité des protéines de soja est intéressante à définir, d'autant plus que notre modèle animal semble au vu des valeurs de digestibilités obtenues en conditions chaudes ($90,66 \pm 1,55\%$ en moyenne), mieux supporter la chaleur par rapport aux poulets utilisés dans les travaux publiés.

La réduction de la digestibilité des protéines du soja sous l'effet de la chaleur (1,6%) justifie la nécessité de la fabrication d'un aliment volaille spécifique en saison chaude, d'autant plus que nous avons observé une réduction de l'ingestion de l'ordre de 1,73% par

°C d'augmentation de la chaleur entre 22 et 30°C et que de nombreux bâtiments d'élevage de volailles, même ceux situés au sud du pays (LONGO et *al.* 2012) ne sont pas équipés en matière de contrôle de l'ambiance, et particulièrement de celui de la température.

Par ailleurs, compte tenu des pertes azotées urinaires plus importantes en condition chaude qu'en condition de températures classiques d'élevage, il s'avère plus précis lors de la formulation des aliments de raisonner les apports en termes de protéines digestibles (calculées sur la base de la digestibilité réelle) au lieu des quantités de protéines que le tourteau de soja offre, afin d'optimiser leur utilisation par l'oiseau et réduire ainsi la quantité des résidus azotés.

Le comportement métabolique du modèle animal dans nos conditions expérimentales est en faveur d'une plus grande accrétion azotée sous l'influence de la chaleur ; ce résultat suppose la mise en place de mécanismes particuliers tant au niveau des processus de protéosynthèse et/ou protéolyse qu'il serait intéressant d'étudier et d'exploiter en vue de préserver une volaille de phénotype local adapté à la chaleur.



Conclusion

La composition chimique du tourteau de soja analysé est classique, les teneurs en matière sèche, matière minérale, cellulose brute et matière grasse sont comparables à celles rapportées par la bibliographie. Cependant l'analyse de la concentration protéique de ce tourteau fait apparaître une valeur faible : 42,65% MS comparée à celles des tables de composition chimique des matières premières destinées à la volaille. L'origine du tourteau, les conditions de transformation de la graine du soja et les conditions de son stockage, pourraient être à l'origine de la faible concentration protéique du tourteau étudié.

La mesure de la digestibilité apparente des protéines du tourteau de soja, réalisée chez le coq de phénotype local et mis en condition de température classique d'élevage est de $92,20 \pm 1,41\%$. Cette valeur apparaît relativement élevée comparativement à celles mesurées par d'autres auteurs. Cette différence peut être imputée à de nombreux facteurs dont les plus évidents sont la matière première elle-même (variété, origine, conditions de culture et de transformation, etc.), l'animal (génotype, sexe, âge, oiseau caectomisé ou intact) et la méthodologie de mesure (méthode d'alimentation et de collecte des fientes, traitement des fientes, mesure des protéines fécales, etc.).

La valeur de la digestibilité réelle des protéines du tourteau de soja étudié est en moyenne de $92,67 \pm 1,42\%$.

Les valeurs du CUDa et du CUDr des protéines du tourteau de soja sont réduites de façon comparable (1,6 points) sous l'effet de la chaleur. Elles sont respectivement de $90,66 \pm 1,55$ et de $91,08 \pm 1,49\%$. Toutefois, la diminution enregistrée est de moindre importance comparée à celle rapportée par d'autres auteurs. Cette observation serait en faveur d'une meilleure thermotolérance du modèle animal utilisé lors de nos essais.

Bien que les coqs utilisés soient à l'entretien (âgés de 2 ans), leur niveau de rétention azotée est élevé, se situant respectivement à $19,36 \pm 4,90\%$ et $29,48 \pm 16,19\%$ chez les coqs maintenus à une température optimale et élevée. De plus, ces valeurs indiqueraient que le stress thermique a joué en faveur d'une meilleure rétention azotée. Cette observation nous amène à recommander l'étude des besoins nutritionnels des phénotypes locaux en vue d'exploiter leur capacité de résistance à la chaleur.

La valeur biologique du tourteau de soja est de $22,42 \pm 5,13\%$ chez les coqs maintenus à une température ambiante optimale et de $33,04 \pm 17,45\%$ chez les coqs soumis au stress thermique. Ces faibles valeurs traduiraient une inadéquation entre l'offre des acides aminés libérés dans le flux sanguin et le besoin des coqs.

Les résultats obtenus à l'issue des mesures réalisées, nous amènent à soulever les points suivants :

➤ Sur le plan scientifique :

Le flux azoté chez les coqs locaux soumis à la chaleur est en faveur d'une meilleure rétention protéique comparée à celle des coqs élevés dans des conditions de température optimale. L'étude du métabolisme azoté chez ces derniers s'avère intéressante à mener.

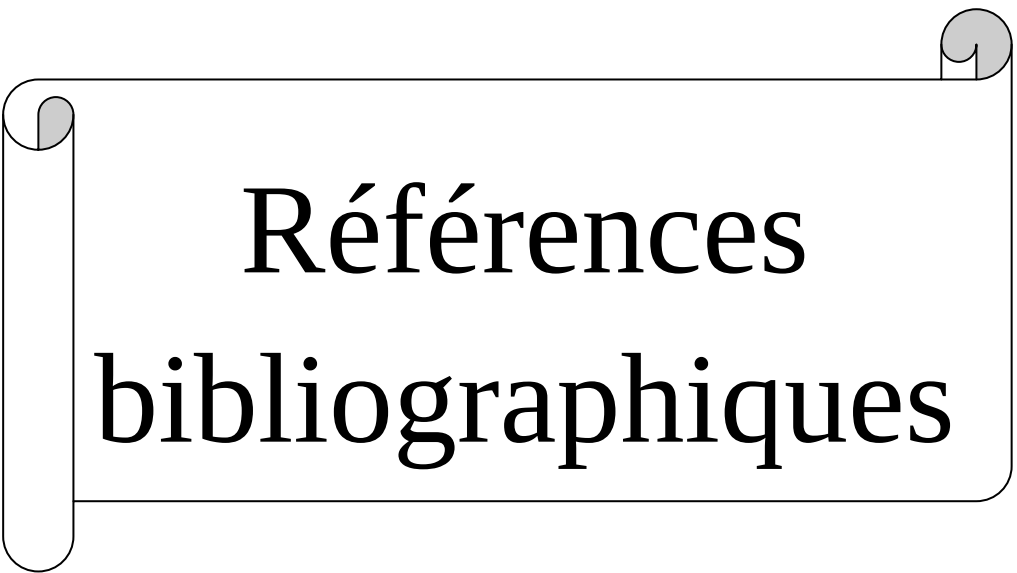
Le comportement des coqs de phénotype local face au stress thermique, fait entrevoir des capacités de thermotolérance qui restent à confirmer, évaluer et exploiter.

➤ Sur le plan pratique :

Il est à recommander aux fabricants d'aliment le contrôle des matières premières importées et de ne pas utiliser systématiquement les données rapportées par les tables étrangères.

L'emprunt des données de digestibilité aux tables d'alimentation des animaux domestiques, doit tenir compte de certains paramètres et particulièrement celui de l'âge, et du génotype afin d'apprécier avec le moins d'erreurs l'utilisation digestive des nutriments considérés.

Il y a nécessité d'adapter une formule alimentaire spécifique en conditions chaudes, compte tenu de la réduction de l'ingestion d'aliment en général et celle de la digestibilité des protéines du tourteau de soja que nous avons constatées.



Références bibliographiques

- AIN BAZIZ, H., GERAERT, P.A., PADILHA, J.C.F., GUILLAUM, S. 1996. Chronic Heat Exposure Enhances Fat Deposition and Modifies Muscle and Fat Partition in Broiler Carcass. *Poultry Science*, 75: 505-510.
- ALI, M.N., QOTA, E.M.A., HASSAN, R.A. 2010. Recovery from Adverse Effects of Heat Stress on Slow-Growing Chicks Using Natural Antioxidants Without or with Sulphate. *International Journal of Poultry Science*, 9, 109-117.
- ALLAB, A. BELHOUS, S. 2009. Diagnostic et perspectives d'amélioration de l'aviculture en Algérie : cas de l'élevage de poulet de chair dans la wilaya de Jijel. Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger). 83p.
- ALVARENGA, R. R., RODRIGUES, P. B., ZANGERONIMO, M. G., FREITAS, R. T. F., LIMA, R. R., BERTECHINI, A. G., FASSANI, E. J. 2011. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with *in vivo* assays and prediction equations. *Animal Feed Science and Technology*, 168, 257-266.
- AMAND G., AUBERT C., BOURDETTE C., BOUVAREL I., CHEVALLEIR D., DUSANTER A., FRANCK Y., GUILLOU M., HASSOUNA M., LE BIAVAN R., MAHE F., PRIGENT J-PH, ROBIN P., 2004. La Prévention du Coup de Chaleur en Aviculture. Sciences et Techniques Avicoles. La revue Scientifique de l'aviculture. Hors- série mai 2004. 68p. www.itavi.asso.fr/publications/revues/STA%20HS%202004%20PDF.pdf
- ANGKANAPORN, K., RAVINDRAN, V., BRYDEN, W. L. 1997. Influence of cacectomy and dietary protein concentration on apparent excreta amino acid digestibility in adult cockerels. *Br.Poult. Sci.* 38: 270-276.
- APPLEBY, M. C., MENCH, J. A., HUGHES, B.O. 2004. Poultry behaviour and welfare. CABI publishing, First Edition, USA. 276p.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). 1985. Méthodes d'analyses françaises et communautaires, 2^{ème} éd. Paris, France, AFNOR, 339 p.
- ATMANE, B. BENFEDDA, H. 2007. Diagnostic et perspectives d'amélioration de l'aviculture en Algérie : Cas de l'Ouest algérois. Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger). 78p.

- AUDOIN, L. 1991. Rôle de l'azote et du phosphore dans la pollution animale. *Rev. Sc. Tech. Off. Int. Epiz.*, 10 : 629-654.
- BANASZKIEWICZ, T. 2011. Nutritional value of soybean meal. In: *Soybean and Nutrition* (El-Shemy H, Hrsg). In Tech, 2011: 1-20.
- BATAL, A. B., PARSONS, C. M. 2002. Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. *Poultry Science*, 81, 400-407.
- BILLON, A, NEYROUMANDE, E., DESHAYES, C. 2009. Vers plus d'indépendance en soja d'importation pour l'alimentation animale en Europe -cas de la France- . ENSAD, WWF-France Janvier 2009. 49p. http://www.wwf.fr/pdf/rapport_substitution_au_soja_complet_2.pdf
- 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., P.A. GERAERT, M. Lessire, B., Carre, S. Guillaumin 1997. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. *Poult. Sci.*, 76, 857-863
- BORGES, S. A., DA SILVA, A. F., MAIORKA, A., HOOGE, D. M., CUMMINGS, K. R. 2004. Effects of diet and cyclic daily heat stress on electrolyte, nitrogen and water intake, excretion and retention by colostomized male broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci*, 3(5), 313-321.
- BORIN, K., OGLE, B., LINDBERG, J. E. 2002. Methods and techniques for the determination of amino acid digestibility: A review. *Livestock Research for Rural Development*, 14(6). Retrieved February 4, 113. <http://www.lrrd.org/lrrd14/6/bori146.htm>
- BOUDAA I.E. 2006. L'aviculture en Algérie : Diagnostic et perspectives d'amélioration (cas de l'Est algérois). Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger). 74p.
- BOUDJELLABA H., 2013. Le tourteau de soja: composition chimique et valeur nutritionnelle chez le poulet fermier. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. ENSA. El - Harrach (Alger), 56p.

- BOUDOUMA, D. 2007. Valeur nutritionnelle du son de blé chez le poulet de chair soumis au stress thermique. *Cahiers Agricultures*, 16, 465-468.
- BOUDOUMA, D., IABASSEN, D., KAZI AOUEL S. 2013. Impact de la chaleur sur la digestibilité chez le poulet de chair, des protéines, de l'amidon et de la matière grasse du maïs. *Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie gras, La Rochelle, du 26 au 28 mars 2013*
- BOUDOUMA, D., TEFIEL, H. 2012. Performances du poulet de chair acclimaté et élevé en conditions chaudes dans le Nord de l'Algérie. *Livestock Research for Rural Development* 24 (5) 2012.
- BOURDILLON, A., CARRE, B., CONAN, L., FRANCESCH, M., FUENTES, M., HUYGHEBAERT, G., JANSSEN, W.M.M.A., LECLERCQ, B., LESSIRE, M., McNAB, J., RIGONI, M., WISEMAN, J. 1990. European reference method of in vivo determination of metabolisable energy in poultry: reproducibility, effect of age, comparison with predicted values. *British poultry science*, 31, 567-576.
- BRITZMAN, D. 1994. Le tourteau de soja- une excellente source de protéines pour l'alimentation des volailles. American Soybean Association. Nutrient Requirements of Poultry, Neuvième édition révisée, 1994.
- BROU, A. B., HOUNDONUGBO, F. M., ABOH, A. B., MENSAH, G. A., FANTODJIL, A. 2012. Effet de la variation temporelle de la température ambiante journalière sur le poids des œufs de poules pondeuses ISA Brown en Côte-d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6, 2158-2169, October 2012. <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- BUTTS, C.A., MOUGHAN, P.J., SMITH, W.C., CARR D.H. 1993. Endogenous lysine and amino acid flows at the terminal ileum of growing pig (20 kg bodyweight): The effect of protein-free, synthetic amino acid, peptide and protein alimentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61, 31-40.
- CARABANO R., FRAGA M.J., 1992: The use of local feed for rabbit. *Options Méditerranéennes- Series Seminars*, 17, 141-158.
- CARRE et BRILLOUET. 1989. In: LARBIER M., ET LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. éd. INRA, Paris (France). 336p.

- CARRÉ, B. 2000. Effets de la taille des particules alimentaires sur les processus digestifs chez les oiseaux d'élevage. *Productions animales-paris-institut national de la recherche agronomique*, 13, 131-136.
- CHAHAL, U. S., NIRANJAN, P. S., KUMAR S. 2008. *Hand Book of General Animal Nutrition*. International Book Distributing Co., First Edition, India. 287p.
- CHARLES, D. R., WALKER, A. W. 2002. In: LIN, H., JIAO, H. C., BUYSE, J., DECUYPERE, E. (2006). Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's poultry science journal*, 62, 71-86.
- CHOCT, M., ANNISON, G., TRIMBLE, R. P. 1992. Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. *The Journal of nutrition*, 122, 2457-2465.
- CIRAD, 2007. La spectroscopie dans le proche infrarouge : *Qu'est ce que c'est* http://www.cirad.fr/ur/systemes_elevage/content/download/712/3506/version/1/file/presentation+spir.pdf
- COTHENET, G., BASTIANELLI, D. 2003. Matières premières disponibles pour l'alimentation des volailles en zones chaudes. In : la production de poulets de chair en climat chaud. ITAVI, 2^{ème} Edition, Paris. 110p.
- Cours : Les tourteaux : Présentations, définitions. 04/juin 2012 <http://www2.vetagrosup.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmCoproduct/introcopr.html>
- COZANNET, P., 2010. Valeur nutritionnelle des drêches de bioéthanol de blé pour les animaux monogastriques. Thèse, Agrocampus Ouest, 1er juillet 2010. 228p.
- COZANNET, P., LESSIRE, M., METAYER, J. P., GADY, C., PRIMOT, Y., GERAERT, P. A., LE TUTOUR, L., SKIBA, F., NOBLET, J. 2010. Valeur nutritive des drêches de blé et de maïs pour les volailles. *Productions Animales*, 23, 405.
- CREVIEU-GABRIEL, I. 1999. Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. *Productions animales*, 12, 147-161.
- CROMWELL, G. L. 2012. Soybean meal: An exceptional protein source. *Soybean Meal Info Center*.

- CSAKY, I., FEKETE, S. 2004. Soybean: feed quality and safety. Part 1: biologically active components. A review. *Acta Veterinaria Hungarica*, 52, 299-313.
- DAGHIR, N. J. 2009. Nutritional strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders. *Lohmann information*, 44, 6-15.
- DAHMAN A. ZAOUI G. 2008. Diagnostic et perspectives d'amélioration de l'aviculture en Algérie : cas de l'élevage de poulet de chair dans la wilaya de Mascara. Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger). 72p.
- DALIBARD, P., PAILLARD, E. 1995 Use of the digestible amino acid concept in formulating diets for poultry. *Animal Feed Science Technology* 53: 189-204.
- DOESCHATE, R. T., 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. *British Poultry Science*, 34, 131-146.
- DROGOUL, C., RAYMOND, G., JOSEPH, M.M., JUSSIAU, R. 2004. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage Tome 1 : les bases théoriques de l'alimentation et les principes de raisonnement de l'alimentation. Educagri Edition, 2^{ème} édition, Paris. 287p.
- DUDLEY - CASH, W. A. 2003. Qualité du tourteau de soja. American Soybean Association.
- ETCHES, R. J., JOHN, T. M., GIBBINS, A. V. 2008. Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress. 31-66. In : DAGHIR, N. J. (2008). *Poultry production in hot climates*. CAB International, 2nd Edition, USA. 387p.
- European federation of branches of the world's poultry science association (1989). European table of energy values for poultry feedstuffs 3rd edition 104p. Centre for Poultry Research. Spelderholt Beekbergen (NLD).
- FIENE, S. P., YORK, T. W., SCHASTEEN, C. 2006. Correlation of DDGS IDEATM digestibility assay for poultry with cockerel true amino acid digestibility. In *Proc. 4th Mid-Atlantic Nutr. Conf., Timonium, MD. Univ. Maryland, College Park*, 82-89.

- FRIKHA, M., SERRANO, M.P., VALENCIA, D.G., REBOLLAR, P.G., FICKLER, J., MATEOS, G.G. 2012. Correlation between ileal digestibility of amino acids and chemical composition of soybean meals in 21-d old broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* (ANIFEE-S-12-4103 R1).
- GABRIEL, I., LESSIRE, M., JUIN, H. J., BURSTIN, J., GERARD, D., QUILLIEN, L., THIBAUT, J.N., GANIER, P., MEZIERE, N., LACONTE, M., HALLOIS, J.M., CASSECUELLE, F., MARGET, P., SEVE, B. 2007. Origine de la variation de la digestion des protéines de pois (*PISUM sativum* L.) chez le poulet. Septième Journées de Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007. 233-237.
- GABRIEL, I., LESSIRE, M., JUIN, H., BURSTIN, J., DUC, G., QUILLIEN, L., THIBAUT, J.N., GANIER, F., MEZIERE, N., LECONTE, M., HALLOUIS, J.M., CASSECUELLE, F., MARGET, P., SÈVE, B. 2008. Variation in seed protein digestion of different pea (*Pisum sativum* L.) genotypes by cecectomized broiler chickens: 1. Endogenous amino acid losses, true digestibility and *in vitro* hydrolysis of proteins. *Livestock science*, 113, 251-261.
- GARCIA, R. G., MENDES, A. A., SARTORI, J. R., PAZ, I. D. L., TAKAHASHI, S. E., PELICIA, K., KOMIYAMA, C.M., QUINTEIRO, R. R. 2004. Digestibility of feeds containing sorghum, with and without tannin, for broiler chickens submitted to three room temperatures. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 6, 55-60.
- GILLEPSE, J. R., FLANDERS, F. B. 2009. Modern Livestock and poultry production. DELMAR CENGAGE learning, 8th Edition, USA. 1060p.
- GREEN, S., KIENER, T. 1989. Digestibility of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. *Anim. Prod*, 48, 157-179.
- GRIESHOP, C.M. and FAHEY, G.C. Jr. 2001 Comparison of quality characteristics of soybeans from Brazil, China and the United States. *J. Agric. Food Chem.* 59:2669-2673.
- GUARDIA, S. 2011. Effets de phytobiotiques sur les performances de croissance et l'équilibre du microbiote digestif du poulet de chair (Doctoral dissertation, Tours). 469p.

- HASSAN, A. S., DELPECH, P. 1986. Énergie métabolisable et digestibilité azotée chez les poulets en croissance: influence du génotype, de l'âge et du régime. *Génétique sélection évolution*, 18, 225-236.
- HEUZÉ V., TRAN G., KAUSHIK S., 2012. *Soybean meal*. Feedipedia.org. A programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://cdn.intechweb.org/pdfs/7.pdf>
- HOLIK, V. 2009. Management of laying hens to minimize heat stress. Lohmann information 2009, 44, 16-29. http://www.lohmann-information.com/content/l_i_200...
- HUISMAN et JANSMAN 1991. In : CREVIEU-GABRIEL, I. 1999. Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. *Productions animales*, 12, 147-161.
- IMONDI et BIRD 1966. In : GUARDIA, S. 2011. Effets de phytobiotiques sur les performances de croissance et l'équilibre du microbiote digestif du poulet de chair (Doctoral dissertation, Tours).
- JASSEN, W.M.M.A. 1989. Influence of fiber on digestibility of poultry feeds. In: Cole D.J.A., HARESIGN W. 1989. Recent developments in poultry nutrition Butterworths Sevenoaks (GBR), 344p.
- JIANG, Z. 1997. Use of true ileale digestible amino acids in feed formulation. 5th Regional ASA Technology and Nutrition Workshop, May 25-29. Chiangmai, Thailand.
- KAUPP, B. F., IVEY, J. E. 1922. Digestible Nutrients of Poultry Feeds as Determined by Laboratory Feeding Tests *Poultry Science*, 2, 1-9 doi:10.3382/ps.0020001.
- KHAN, R. U., NAZ, S., NIKOUSEFAT, Z., SELVAGGI, M., LAUDADIO, V., TUFARELLI, V. 2012. Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry. *World's Poultry Science Journal*, 68, 477-490.
- LACASSAGNE, L., FRANCESCH, M., CARRE, B., MELCION, J.P. 1988. Utilization of Tannin-containing and tannin-free Faba Beans (*Vicia faba*) by young chickens: Effects of Pelleting Feeds on Energy, Protein and Starch Digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 20, 59-68.

- LARA, L. J., ROSTAGNO, M. H. 2013. Impact of heat stress on poultry production. *Animals*, 3, 356-369.
- LARBIER M., ET LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. éd. INRA, Paris (France), 336p.
- LARBIER, M., YVORE, P., GUILLAUME, J., PELOILLE, M., HARSCOAT, J. P., SOULÈRE, J. P. 1974. Influence de la coccidiose duodénale sur l'utilisation de l'énergie et des protéines alimentaires chez le poulet. *Annales de recherches vétérinaires*, 5, 179-188.
- LIN, H., JIAO, H. C., BUYSE, J., DECUYPERE, E. 2006. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's poultry science journal*, 62, 71-86.
- LIU, S.M., ZHANG, L., CHANG, C., PEN, D.H., XU, Z. (1992). The evaluation of nutritive values of the feedstuffs and diets for angora rabbits 2. the prediction of the contents of digestible energy and digested crude protein in feedstuffs and diets . *J. Appl. Rabbit Res.*, 15, 1640-1645
- LOSADA, B., GARCIA-REBOLLA, P., ÁLVAREZ, C., CACHALDORA, P., IBANEZ, MA, MENDEZ, J, DE BLAS, J.C. 2010. The prediction of apparent metabolisable energy content of oil seeds and oil seed by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 160, 62-72.
- LU, Q., WEN, J., ZHANG, H. 2007. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poultry Science*, 86, 1059-1064.
- MACLEOD, M. G. 2004. Climate-nutrition interactions in poultry. 1st Ann. Confr. , FVM., Moshtohor, Sept, 2004.
- MADDAH, K. 2011. Diagnostic et perspectives d'amélioration de l'aviculture en Algérie : Cas de l'élevage de poules pondeuses dans la wilaya de Boumerdes. Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger). 60p.
- MAHROUZ O. 2010. Diagnostic et perspectives d'amélioration de l'aviculture algérienne: Cas de l'élevage de poulet de chair dans la wilaya de Tiaret. Thèse d'ingénieur, ENSA d'El Harrach (Alger).

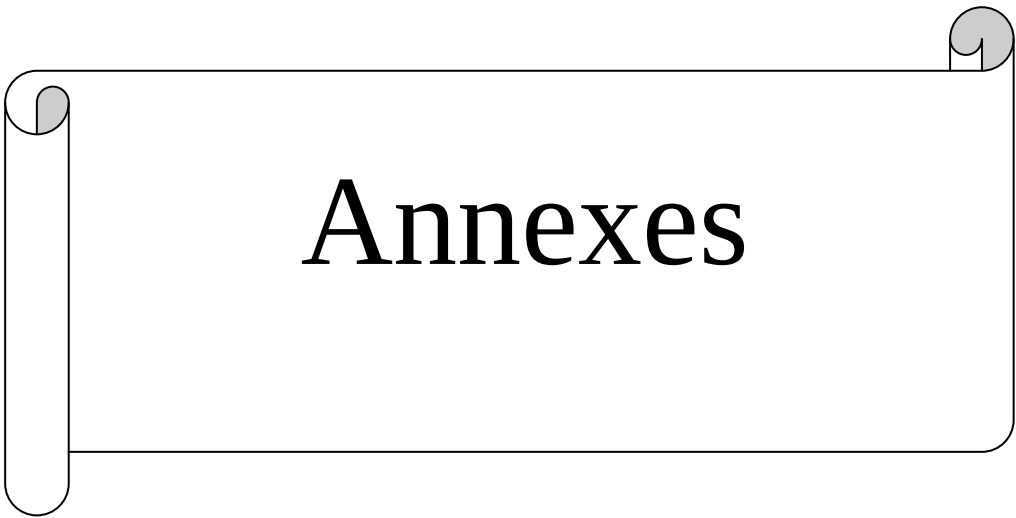
- MATEOS, G. G., SERRANO, M. P., GUZMÁN, P., LÁZARO, R. P. 2012. Evaluating the nutritive value of soybean meals according to origin: an opportunity to the feed industry.
- MOREKI, J. C. 2008. Feeding strategies in poultry in hot climate. *Non-Ruminants Division, Department of Animal Production P/Bag 0032, Gaborone, Botswana.*
- MUZTAR, A. J., SLINGER, S. J. 1979. Some factors affecting the true metabolizable energy values of soybean meal and rapeseed meals. *Canadian Journal of Animal Science*, 59, 317-321.
- NAHASHON, S. N., KILONZO-NTHENGE, A. K. 2013. Soybean in Monogastric Nutrition: Modifications to Add Value and Disease Prevention Properties.
- NAHAVANDINEJAD M, SEIDAVI A, ASADPOUR L, 2012. Effects of soybean meal processing method on the broiler immune system. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 18, 965-972.
- NEWKIRK, R. 2010. SOJA : Guide de l'industrie de l'alimentation animale. Institut international du Canada pour le grain. Première édition ,54p.
- NIRANJAN, P. S., CHAHAL, U. S., SRIVASTAVA, V., KUMAR, S. 2010. Hand Book of Applied Animal Nutrition. Ibdc publishers, First Edition, India. 453p.
- NORBERG, S. E., DILGER, R. N., DONG, H., HARMON, B. G., ADEOLA, O., LATOUR M.A. 2004. Utilization of energy and amino acids of spray-dried egg, plasma protein, and soybean meal by ducks. *Poult. Sci.* 83: 939–945.
- Office National des Aliment de Bétail (ONAB). 2014. Communication personnelle.
- PERTTILÄ, S., VALAJA, J., JALAVA, T. 2005. Apparent ileal digestibility of amino acids and metabolisable energy value in grains for broilers. *Agricultural and Food Science*, 14, 325-334.
- PETTERSSON, D., PONTOPPIDAN, K. 2013. Soybean Meal and the Potential for Upgrading Its Feeding Value by Enzyme Supplementation.
- PICARD, M., LEON, A. 1990. Méthodes d'évaluation et de contrôle des matières premières. In : Sauveur B. (éd.). L'aviculture en Méditerranée. Montpellier :

- CIHEAM, 1990. p. 71-79 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 7).
- RAGLAND, D., THOMAS, C. R., ELKIN, R. G., SHAFER, D. J., ADEOLA, O. 1999. The influence of cecectomy on metabolizable energy and amino acid digestibility of select feedstuffs for White Pekin ducks. *Poultry science*, 78, 707-713.
- RAVINDRAN, V. 2013. Poultry feed availability and nutrition in developing countries. *the role of poultry in human nutrition*, 60.
- RAZUKI, W. M., MUKHLIS, S. A., JASIM, F. H., HAMAD, R. F. 2011. Productive Performance of Four Commercial Broiler Genotypes Reared under High Ambient Temperatures. *International Journal of Poultry Science*, 10, 87-92.
- ROOSENDAAL, B. 2010. Soybean meal use in the South African poultry industry: Formulation and quality considerations. http://proteinresearch.net/html_images/_completed_projects/000504/1_9_1a_poppub_roosendaalb_2010.pdf
- SAHIN, K., SAHIN, N., SARI, M., GURSU, M. F. 2002. Effects of vitamins E and A supplementation on lipid peroxidation and concentration of some mineral in broilers reared under heat stress (32° C). *Nutrition Research*, 22, 723-731.
- SAUVANT D., PEREZ J.M ET TRAN G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. 2e édition revue et corrigée éd. INRA .Association Française de Zootechnie, 301p.
- SIBBALD et PRICE (1975) In: FARRELL, D. J. 1977. A new rapid method for determining the metabolisable energy of poultry feedstuffs. In: Recent Advances in Animal Nutrition in Australia. 1977. Farrell, D.J. (Ed). University of New England Publishing Unit, Australia. pp. 54 - 66.
- SOSSIDOU, E. N., TSIPLAKOU, E., ZERVAS, G. 2013. Options for managing livestock production systems to adapt to climate change. http://adapttoclimate.uest.gr/full_paper/Sossidou_et_al.pdf

- STEIN, H. H., BERGER, L. L., DRACKLEY, J. K., FAHEY Jr, G. C., HERNOT, D. C., PARSONS, C. M. 2008. Nutritional properties and feeding values of soybeans and their coproducts. *Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. LA Johnson, PJ White, and RG Galloway, ed. AOCS Press, Urbana, IL, 613-660.
- SWICK, R. A. 2001. An update on soybean meal quality considerations. American Soybean Association brochure.
- TEMIM, S., BEDRANI, L., GHAOUI, H., BOUDINA, H., AIN BAZIZ, H. 2010. L'acclimatation précoce : une solution pour améliorer la capacité de survie des poulets de chair lors due stress thermique, 3-8. In : pratique vétérinaire, septembre 2010.
- 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. *The Journal of nutrition*, 130, 813-819.
- TEMIM, S., CHAGNEAU, A.M., GUILLAUMIN, J.M., 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. Dev.*, 39, 145-156.
- TERPSTRA, K., DE HART, N., 1974. The estimation of urinary nitrogen and faecal nitrogen in poultry excreta. *Z. Tierphysiol. Tierernaehr. Futtermittel.*, 32, 306-320.
- TOUTAIN, P.L., BOUSQUET-MELOU, A., GAYRARD, V. 2006. La physiologie digestive chez les animaux domestiques. Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse. 184p.
- ULYSSES A., ACASIO, 1999. Stockage et manutention du tourteau de soja, Kanas State. University Manhatten, Kansas. 18p.
- UNI *et al.* 1998. In : GUARDIA, S. 2011. Effets de phytobiotiques sur les performances de croissance et l'équilibre du microbiote digestif du poulet de chair (Doctoral dissertation, Tours).

- VALANCONY, H. 1997. Les moyens de lutte contre le coup de chaleur. *Journées de la recherche avicole*, 2, 153-160.
- VALANCONY, H. 2003. Les exigences bioclimatiques des volailles. In : la production de poulets de chair en climat chaud. ITAVI, 2^{ème} Edition, Paris. 110p.
- VAN EYS, J-E., OFFNER, A, BACH. A. 2004. Analyse de la qualité des produits de soja utilisés en alimentation animale. American soybean association 112p.
- VILLAMIDE, M.J., CARABANO, R., MAERTENS, L., PASCUAL, J., GIDENNE, T., FALCAO-E-CUNHA, L., XICCATO, G. 2009. Prediction of the nutritional value of European compound feeds for rabbits by chemical components and *in vitro* analysis. *Animal Feed Science and Technology* 150, 283 – 294.
- VILLAMIDE, M.J., FRAGA, M.J. 1998. Prediction of the digestible crude protein and protein digestibility of feed ingredients for rabbits from chemical analysis. *Animal Feed Science and Technology* 70, 211–224.
- WALLIS, I. R., BALNAVE, D. 1984. The influence of environmental temperature, age and sex on the digestibility of amino acids in growing broiler chickens. *British poultry science*, 25, 401-407.
- WEURDING, R. E., VELDMAN, A., VEEN, W. A., VAN DER AAR, P. J., VERSTEGEN, M. W. 2001. *In vitro* starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *The Journal of nutrition*, 131, 2336-2342.
- WIRTH D, CHRISTIANS ES, DRION PV, DESSY-DOIZE C, GUSTIN, P. 2003. Les protéines de choc thermique (heat shock proteins-Hsps). II.Hsp70: biomarqueur et acteur du stress cellulaire. *Ann Méd Vét.*, 147, 127–144.
- WU, Y. B., RAVINDRAN V. HENDRIKS, W.H. 2002. Influence of sex on nutrient utilization in broilers fed diets with low or adequate dietary phosphorus levels. *Pro. Aust. Poult. Sci. Sym.*14. 2002.
- YAGHOB FAR, A, BOLDAJI, F. 2002. Influence of level of feed input and procedure on ME and endogenous energy loss EEL with adult cockerels. *Brit. Poult. Sci.* 43: 696-704.

- ZANG, J. J., PIAO, X. S., HUANG, D. S., WANG, J. J., MA, X., MA, Y. X. 2009. Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. *Asian-australas. J. Anim. Sci*, 22, 107-112.
- ZUPRIZAL, CHAGNEAU, A.M., LARBIER M. 1992. Effect of age and sex on true digestibility of amino acids of rapeseed and soybean meals in growing broilers. *Poult Sci* ., 71, 1486- 1492.
- ZUPRIZAL, LARBIER, M , CHAGNEAU, A.M., GERAERT 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.



Annexes

Annexe 1 : Tâches quotidiennes effectuées lors des bilans digestifs

Période	Tâches à effectuer
Jours d'adaptation	• Adapter les animaux aux cages et à l'aliment expérimental.
Jeûne	• Retirer les mangeoires. • Peser les animaux.
Le 1 ^{er} jour du bilan	• Peser les animaux. • Nettoyer la cage pour éliminer toutes les fientes des jours précédents. • Déposer les sachets pour la collecte des fientes en les superposant sur le plateau. • Distribuer 150 g de tourteau de soja.
Le 2 ^{ème} jour du bilan	• Récupérer le refus alimentaire du jour, le peser et mise en étuve • Récupérer les excréta • Distribuer l'aliment du deuxième jour.
Le 3 ^{ème} jour du bilan	• Peser les animaux. • Récupérer les fientes. • Distribuer l'aliment.
Jeûne (24h) après bilan	• Peser les animaux. • Retirer la mangeoire. • Nettoyer la cage pour récupérer toutes les fientes. • Récupérer les fientes
Jeûne (24h) pour mesure de l'endogène	• Peser les animaux. • Récupérer les fientes

Annexe 2 : Le matériel et produits nécessaires pour la précipitation des protéines fécales (TERPSTRA et HART, 1974)

- ✚ Un bain marie doté d'un agitateur.
- ✚ Des béchers.
- ✚ Solutions d'acétate de sodium trihydraté (CH_3COONa , $3\text{H}_2\text{O}$), d'acide acétique glacial (CH_3COOH), de formaldéhyde 35% (CHOH), d'acétate de plomb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_3\text{H}_2\text{O}$), de méthanol (CH_3OH) à 96%.

Annexe 3 : Composition des solutions utilisées pour la détermination de l'azote fécal par la méthode de TERPSTRA et HART (1974)

1) Préparation des solutions

a) La solution de formaldéhyde contenant un tampon acétate

Dissoudre 13,6g d'acétate de sodium trihydraté dans 800 ml d'eau distillée. Une fois le mélange bien homogène, ajouter 6g d'acide acétique glacial ainsi que 50 ml de formaldéhyde à 35%. La solution bien mélangée est ajustée à 1000 ml.

b) La solution de plomb

Dissoudre 100g d'acétate de plomb dans 800 ml d'eau distillée, une fois la solution bien homogénéisée ajouter 50 ml de formaldéhyde à 35%. Addition d'acide acétique glacial jusqu'à obtention d'un pH de 4,7 puis ajuster à 1000 ml.

c) La solution d'alcool

Mélanger 950 ml d'alcool avec 50 ml de formaldéhyde à 35%.

d) La solution de rinçage

Mélange de 500 ml de la solution de formaldéhyde contenant un tampon acétate avec 100 ml de la solution d'acétate de plomb. Après homogénéisation, 500 ml de la solution d'alcool sont ajoutées au mélange.

2) Mode opératoire

Dans un bécher mettre l'équivalent d'un gramme de matière sèche ainsi que 100 ml de la solution de formaldéhyde contenant le tampon acétate. Fermer hermétiquement le bécher à l'aide de papier aluminium, les mettre dans un bain marie bouillant en agitant vigoureusement.

Après 20 mn d'agitation, ajouter 25 ml de la solution de plomb. Continuer l'agitation dans le bain marie bouillant encore pendant 10 mn.

Laisser refroidir les béchers à température ambiante, puis ajouter 100 ml de la solution d'alcool contenant du formaldéhyde. La solution ainsi obtenue est laissée à décanter durant

12 heures. Le précipité est alors recueilli après filtration sur papier filtre, et rincer par 150 ml de la solution de rinçage.

Le filtre et son contenu sont mis à sécher dans une étuve portée à 60°C. Puis transférés dans des matras pour analyse de l'azote selon la méthode de kjeldhal.

Déterminer la teneur en azote du filtre rincé à la solution de rinçage.

Annexe 4: Quantité de tourteau de soja ingéré par les coqs de l'essai 1

N° Animal	ingérée (g)/jour	Ingéré sec (g)	PV (kg)	Ingéré g/kg PV	P ^{0,75} (kg)	Ingéré g/kg P ^{0,75}
1	107,63	95,01	1,91	49,74	1,62	58,65
2	122,43	108,07	1,99	54,31	1,68	64,33
3	132,87	117,28	2,08	56,39	1,73	67,79
4	106,87	94,33	1,94	48,62	1,64	57,52
5	95,23	84,06	2,01	41,82	1,68	50,04
6	100,57	88,77	1,75	50,73	1,52	58,40
7	99,40	87,74	1,88	46,67	1,61	54,56
8	122,30	107,95	1,87	57,73	1,60	67,47
9	99,93	88,21	1,94	45,57	1,64	53,79
10	108,83	96,07	2,06	46,63	1,72	55,85
11	109,23	96,42	1,94	49,70	1,64	58,79
Moyenne	109,57	96,72	1,94	49,80	1,64	58,83
Erreur type	2,68	6,81	0,03	1,09	0,02	1,27

Annexe 5: Quantité de tourteau de soja ingéré par les coqs de l'essai 2

N° Animal	ingéré (g)/jour	Ingéré sec (g)	PV des animaux (Kg)	Ingéré g/kg PV	P ^{0,75} (kg)	Ingéré g/kg P ^{0,75}
1'	84,00	74,15	1,87	39,65	1,60	46,34
2'	73,10	64,53	1,90	33,96	1,62	39,83
3'	98,65	87,08	2,06	42,27	1,72	50,63
4'	116	102,39	2,09	48,99	1,74	58,85
5'	98,85	87,25	1,95	44,75	1,65	52,88
6'	102,40	90,39	2,20	41,09	1,80	48,86
7'	80,10	70,70	1,93	36,63	1,64	43,11
8'	106,20	93,74	1,86	50,40	1,59	58,96
9'	85,20	75,21	1,91	39,37	1,62	46,42
Moyenne	93,83	82,83	1,66	41,90	1,66	49,54
Erreur type	3,92	3,13	0,02	1,39	0,02	1,71

Annexe 6 : Teneurs en matière azotée totale, fécale et endogène des excréta de l'essai 1

N° Animal	Quantité excrétée (g)	MAT(%) de fientes	MAT (%) fraction fécale	MAT (%) excréta endogènes
1	136,54	71,47	7,48	0,23
2	167,20	72,39	5,94	0,39
3	179,80	62,43	7,12	0,28
4	135,71	64,86	5,77	0,16
5	119,13	70,46	10,20	0,51
6	125,56	69,78	6,06	0,14
7	136,01	71,89	6,16	0,37
8	162,57	65,54	6,59	0,46
9	136,28	68,34	5,94	0,42
10	151,21	65,86	5,87	0,67
11	145,79	63,44	5,35	0,69
Moyenne	145,07	67,86	6,59	0,39
Erreur type	5,57	1,08	0,41	0,04

Annexe 7 : Teneurs en matière azotée totale, fécale et endogène des excréta de l'essai 2

N° Animal	Quantité excrétée (g)	MAT(%) de fientes	MAT (%) fraction fécale	MAT (%) excréta endogènes
1'	75,20	75,61	9,53	0,47
2'	59,57	67,70	8,63	0,27
3'	86,67	73,21	6,58	0,28
4'	86,60	59,95	8,92	0,40
5'	88,27	66,52	8,38	0,43
6'	61,70	53,16	10,07	0,32
7'	58,98	62,71	11,94	0,46
8'	68,16	63,06	8,67	0,25
9'	71,52	72,12	7,63	0,62
Moyenne	72,96	66,01	8,93	0,39
Erreur type	3,98	2,37	0,51	0,03

Annexe 8 : Valeurs moyennes des CUDa et CUDr des protéines du tourteau de soja chez des coqs maintenu à température ambiante optimale

N° Animal	CUDa (%)	CUDr (%)
1	91,46	91,73
2	92,71	93,19
3	91,34	91,68
4	93,42	93,60
5	88,53	89,10
6	93,20	93,36
7	92,42	92,87
8	92,13	92,67
9	92,72	93,23
10	92,67	93,50
11	93,58	94,40
Moyenne	92,20	92,67
Erreur type	0,43	0,43

Annexe 9 : CUDa et CUDr des protéines du tourteau de soja chez des coqs soumis au stress thermique

N° Animal	CUDa (%)	CUDr (%)
1'	88,50	89,06
2'	90,51	90,82
3'	92,20	92,53
4'	91,02	91,42
5'	89,91	90,43
6'	91,82	92,09
7'	88,14	88,59
8'	92,50	92,72
9'	91,36	92,05
Moyenne	90,66	91,08
Erreur type	0,52	0,50

Annexe 10 : Rétention azotée et valeur biologique des protéines du tourteau de soja chez les coqs de l'essai 1

	Rétention Azotée (%)	Valeur Biologique (%)
1	18,47	21,01
2	11,12	13,47
3	24,04	27,32
4	25,94	28,30
5	20,75	25,36
6	21,66	23,77
7	11,55	14,00
8	21,67	25,26
9	16,20	19,15
10	17,72	21,84
11	23,87	27,01
Moyenne	19,36	22,42
Erreur type	1,48	1,55

Annexe 11 : Rétention azotée et valeur biologique des protéines du tourteau de soja chez les coqs de l'essai 2

	Rétention Azotée (%)	Valeur Biologique (%)
1'	8,71	10,71
2'	25,59	28,68
3'	13,25	14,84
4'	39,63	44,01
5'	19,88	22,84
6'	56,80	62,18
7'	37,72	43,45
8'	45,41	49,38
9'	18,35	21,23
Moyenne	29,48	33,04
Erreur type	5,40	5,82

Effet de la chaleur sur la digestibilité et l'utilisation métabolique des protéines du tourteau de soja chez le coq

Résumé :

L'objectif de cette étude est de déterminer la composition chimique du tourteau de soja et de mesurer la digestibilité apparente (CUDa) et réelle (CUDr) de ses protéines ainsi que leur valeur biologique chez des coqs fermiers (de population locale et âgés de deux ans) soumis à des conditions de températures ambiantes de $22,69 \pm 0,39^{\circ}\text{C}$ (essai 1) et des températures élevées de l'ordre de $30,71 \pm 0,27^{\circ}\text{C}$ (essai 2). La méthode classique de bilans digestifs suivie de la collecte totale des excréta a été adoptée. A l'exception de la teneur en protéines qui est faible (42,65% MS) comparée à celles rapportées par les tables alimentaires, celle des autres composants chimiques du tourteau de soja analysé est classique. Les valeurs du CUDa ($90,66 \pm 1,55\%$) et du CUDr ($91,08 \pm 1,49\%$) de l'essai 2 sont significativement plus faibles ($P < 0,05$) comparées à celles des CUDa ($92,20 \pm 1,41\%$) et CUDr ($92,67 \pm 1,42\%$) de l'essai 1. La rétention azotée des coqs de l'essai 1 et 2 diffère significativement ($P < 0,05$, étant respectivement de $19,36 \pm 4,90$ et de $29,48 \pm 16,19\%$). La valeur biologique calculée chez les coqs soumis à la chaleur est significativement plus élevée ($P < 0,05$) à celle mesurée sur des coqs élevés en conditions normales de température : $33,04 \pm 17,45$ vs $22,42 \pm 5,13\%$. Cet ensemble de résultats indique que la chaleur diminue la digestibilité des protéines du tourteau de soja et en modifie l'utilisation métabolique. Les fabricants d'aliments avicoles devraient tenir compte des effets de la chaleur sur l'utilisation des nutriments en vue de réduire le coût des aliments, d'optimiser leur potentiel nutritionnel et de réduire les éluats de nature azotée.

Mots clés : Chaleur, coq, digestibilité, protéines, tourteau de soja.

Protein digestibility and metabolic utilization of soybean meal protein in heat-stressed rooster

Abstract:

The objective of this study was to determine the chemical composition of soybean meal, and to measure the effect of heat stress on the digestibility, and biological value of soybean meal protein, in two years old roosters of the local population. Ambient temperature for essay 1 was $22.69 \pm 0.39^{\circ}\text{C}$ and $30.71 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$ for essay 2. The classical balance method was used for the measures and followed by the total collection of excreta. Chemical composition of

soybean meal was classic except for the protein content (42,65%), that was low compared to the value related by the literature. Ambient temperature affected significantly ($P<0.05$) the apparent digestibility value of soybean protein: 92.20% (essay 1) *versus* 90.66% (essay 2). The same effect was observed on the true digestibility: 92.67% (essay 1) *versus* 91.08 (essay 2). For the nitrogenous retention and biological value, the value obtained was significantly ($P<0.05$) higher in rooster submit to the heat stress: $29,48 \pm 16,19\%$ (essay 2) *versus* $19,36 \pm 4,90\%$ (at 22.69°C), and $33,04 \pm 17,45$ (at 30.71°C) *versus* $22,42 \pm 5,13$ (essay 1) respectively.

The data obtained showed that high ambient temperature reduced the digestive utilization and modified metabolic utilization of soybean meal protein, dictating a fine-tuning in poultry ration formulation. Adjusting ration formulation based on environmental temperature would also reduce the cost of feed and minimize excess nitrogen effluent in poultry manure during summer season.

Key words: Digestibility, heat, protein, rooster, soybean meal.

الانهضامية و الاستعمال الايضي لبروتينات بقايا الصوجا عند الديك

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد التركيبة الكيميائية لبقايا الصوجا وكذا تأثير درجة الحرارة على الانهضامية الظاهرية, الانهضامية الحقيقية و الاستعمال الايضي للبروتينات الموجودة في بقايا الصوجا عند الديك المحلي البالغ من العمر سنتين و الذين تم وضعهم تحت درجة حرارة متوسطة (0.39 ± 22.69 دم) و رطوبة نسبية ($0.34 \pm 67.03\%$) في التجربة الأولى و تحت درجة حرارة متوسطة (0.27 ± 30.71 دم) و رطوبة نسبية ($5.68 \pm 56.20\%$) خلال التجربة الثانية. طريقة القياس المستعملة هي الطريقة الكلاسيكية و التي تعتمد على جمع فضلات الديوك. التركيبة الكيميائية لبقايا الصوجا كلاسيكية فيما عدا كمية البروتينات المنخفضة التي تحتويها ($42,65\%$) مقارنة بقيم جداول القيمة الغذائية.

الانهضامية الظاهرية المتحصل عليها من التجربة الأولى تقدر ب ($1.41 \pm 92.20\%$) و الانهضامية الحقيقية ب ($92.69 \pm 1.42\%$) , أما فيما يخص التجربة الثانية فكانت ($1.55 \pm 90.66\%$) و ($1.49 \pm 91.08\%$) على التوالي. هناك اختلاف ذو معنى ($P \leq 0,05$) بين قيم الانهضامية الظاهرية و الحقيقية لبروتينات بقايا الصوجا المحصل عليها تحت درجات الحرارة المثلثى و المرتفعة.

أما بالنسبة لقيم الاحتفاظ النيتروجيني و القيمة البيولوجية فهما على التوالي ($4,90 \pm 19,36\%$) و ($5,13 \pm 22,42\%$) بالنسبة للديوك الموضوعة تحت درجات حرارة مثلى و ($0,05 \pm 29,48\%$) و ($17,45 \pm 33,04\%$) بالنسبة للديوك التي

تعرضت للإجهاد الحراري. هناك اختلاف ذو معنى ($P \leq 0,05$) بين قيم الاحتفاظ النيتروجيني و القيمة البيولوجية المحصل عليها تحت درجات الحرارة المثلى و المرتفعة.

بعد هذه النتائج يمكننا أن نستنتج أن درجة الحرارة تنقص الانهضامية و تغير الاستعمال الايضي للبروتينات الموجودة في بقايا الصوجا. لذلك قد يكون من الحكمة تغيير الصيغ الغذائية الموجهة لتغذية الدواجن في فصل الصيف وهذا لخفض قيمة الغذاء و الافراز الازوتي.

الكلمات المفتاحية :

الإجهاد الحراري , الديك, الانهضامية, بروتينات, لبقايا الصوجا.