

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BATNA 1  
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES  
ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



**MEMOIRE**

*Pour l'obtention du diplôme de*

**MAGISTER**

*Filière*

*Production animale*

*Option*

*Aviculture*

*Présenté par :*

M<sup>elle</sup>. AHMED-GAID Zohra

**THEME**

**UTILISATION DE L' ARGILE DANS L'ALIMENTATION  
DES VOLAILLES**

**USE OF CLAY IN POULTRY FEED**

**JURY**

Président: TLIDJANE. M

Examineur: BENNOUNE. O

Examineur: KABOUL. N

Rapporteur: OUACHEM. D

**Grade et Université**

Professeur Université Batna 1.

M.C.A Université Batna 1.

M.C.A Université Batna 1.

M.C.A Université Batna 1.

Année universitaire: 2016-2017

## Remerciements

A la fin de ce travail, je rends grâce à ALLAH qui m'a aidé durant ces années d'étude et qui m'a guidé pour arriver à ce niveau et j'adresse mes vifs remerciements à l'ensemble des personnes qui ont permis la construction et l'aboutissement de ce projet et en particulier les membres de la spécialité « production animale » qui m'ont beaucoup donné, aidé et appris.

Je remercie Monsieur OUACHEM D. de m'avoir encadré tout au long de ce projet. Un grand merci pour sa confiance, son soutien, ses conseils et sa patience.

Je remercie également Pr. TLIDJANE M. pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury, ainsi que Dr. BENNOUNE O. et Dr. KABOUL N. maîtres de conférences A pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie Monsieur NAIM pour m'avoir formé aux analyses statistiques, ainsi que pour son aide, sa rigueur et sa disponibilité.

Je remercie Monsieur AHMED GAID Salah, le vice-ministre de la défense nationale, pour son soutien et son encouragement à poursuivre mes études afin d'atteindre les plus hauts niveaux.

Merci au professeur BELKACEM-BOUZIDA Aissa et au professeur LAMMARI M. pour leur disponibilité et leurs conseils qu'ils m'ont apportés.

Merci à Monsieur HARKAT Saleh pour son accueil au sein de sa coopérative avicole el-rakha wa el-izdihar.

Merci à M<sup>me</sup>. HARROUG Houria pour son aide dans la rédaction de ce mémoire et pour sa patience.

Merci à M<sup>me</sup>. BELLOULA Nacira, docteur en chimie, qui m'a décrit le protocole des analyses des argiles.

Merci à mon frère Imed qui m'a réalisé les analyses des argiles au niveau du laboratoire de chimie à l'Entreprise AVA Drilling Fluids & Services (Wilaya de Hassi Messaoud).

Un grand merci à ma grand-mère Mebarka qui m'a guidé dans la recherche des sites des argiles.

Un autre grand merci aux membres de ma famille pour leur aide précieuse dans l'organisation et la réalisation de mes expérimentations.

Je souhaite saluer mes trois petites nièces qui ont été, des fois, à mes cotés et qui m'ont abimé quelques documents lors de la rédaction : DERBALI Razane (3 ans et demi), KOUICI Alaa (2 ans) et DERBALI Asmaa (1 an).

Et merci à ma seule collègue en Magister Karima Benmessaouda.

Un très grand merci aux étudiants de Master II promotion 2015-2016 et leur enseignant LOMBARKIA Saïd pour leur aide lors de l'étude des rendements en découpe et la morphométrie de l'intestin au sein du laboratoire.

Enfin, je n'oublie pas de remercier aussi Nacer et Djamel, techniciens de l'animalerie du département, pour leur aide.

Zohra.

# DEDICACE

*Je dédie ce travail à ma sœur qui a été toujours là  
pour moi malgré des moments difficiles et pour  
m'encourager encore et toujours ...*

♥ *Chaima* ♥

## **SOMMAIRE**

**TABLE DES ILLUSTRATIONS**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**INTRODUCTION**

## **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **CHAPITRE I : ALTERNATIVES AUX ANTIBIOTIQUES FACTEURS DE CROISSANCE**

1. Population microbienne du tractus gastro-intestinal	2
1.1. Informations générales	2
1.2. Interactions entre les micro-organismes	3
1.2.1. La concurrence sur les éléments nutritifs et les sites d'attachement	3
1.2.2. La production de substances bactéricides et bactériostatiques	4
1.3. Interactions entre les micro-organismes et l'hôte	5
1.3.1. Interactions nutritionnelles	5
1.3.2. Impact de la microflore sur la morphologie et la physiologie intestinale	7
1.3.3. La Microflore et l'immunité de l'hôte	8
2. Résistance aux antibiotiques	9
2.1. Utilisation des antibiotiques	9
2.2. Antibiotique en tant que facteurs de croissance	10
2.3. Résistance aux antibiotiques	12
3. Alternatives aux antibiotiques	14
3.1. Les probiotiques	14
3.2. Les prébiotiques	16
3.3. Les symbiotiques	17

3. 4. Les phytobiotiques	18
3. 5. Les acides organiques	21
3. 6. Les enzymes	23
3. 7. Les argiles	25

## **CHAPITRE II : L'ARGILE COMME ALTERNATIVE EN ALIMENTATION DE VOLAILLE**

1. Informations générales sur les argiles (Silicates d'alumine)	29
1.1. Structure	29
1.2. Classification	31
1.3. Caractéristiques physico-chimiques	32
2. Aperçu sur les objectifs d'utilisation des argiles chez la volaille (poulet de chair)	36
2.1. L'amélioration des performances de croissance	36
2.2. L'amélioration de la digestibilité des éléments nutritifs	43
2.3. Effet des argiles sur le rendement de carcasse	45
2.4. La réduction des effets néfastes de mycotoxines	46
2.5. L'amélioration de l'environnement et de la qualité de la volaille	51

### **PARTIE EXPERIMENTALE**

#### **MATERIEL ET METHODES**

1. Objectifs de l'étude	56
2. Matériel et méthodes	58
2. 1. Période et lieu de l'étude	58
2. 2. Animaux et bâtiment	60
2. 3. Conduite d'élevage	60

2. 4. Aliments, argiles utilisées et prophylaxie	62
2. 5. Analyses des argiles et des aliments utilisés	64
2. 5. 1. Techniques de caractérisation des argiles	64
2. 5. 2. Techniques de caractérisation des aliments	65
2. 6. Paramètres mesurés	67
2. 6. 1. Evaluation des performances de croissance	67
2. 6. 2. Rendements de carcasse et gras abdominal	68
2. 6. 3. Modifications morphologiques des organes internes et de la bourse de Fabricius	71
2. 6. 4. Morphométrie de l'intestin grêle	71
2. 6. 5. Evaluation de qualité de poulet présent à l'abattage	73
2. 7. Analyse statistique	75

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

1. Caractérisation et analyses des argiles étudiées	77
1.1. Analyse chimique par Fluorescence X	77
1.2. Analyse minéralogique (DRX)	78
1.3. La surface spécifique	78
1.4. La capacité d'échange cationique	79
2. Caractérisation et analyses des aliments utilisés	79
3. Paramètres mesurés	80
3.1. Performances de croissance	81
3.2. Rendement en découpe et gras abdominal	90
3.3. Modifications morphologiques des organes internes	94
3.4. Morphométrie de l'intestin grêle	97
3.5. Humidité des fientes et consommation d'eau	101
3. 6. Evaluation de qualité de poulet présent à l'abattage	104

**CONCLUSION**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ANNEXE**

**RÉSUMÉ**

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### 1. Listes des figures

#### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Figure 1</b> : Représentation schématique des structures en feuillets des argiles ( <b>Rautureau et al., 2004</b> ).	32
---	----

#### MATERIEL ET METHODES

<b>Figure 1</b> : Schéma explicatif des deux axes suivis dans cette étude.	58
<b>Figure 2</b> : Photographie du bâtiment d'élevage.	60
<b>Figure 3</b> : Caractérisation des rendements en découpe au sein de laboratoire.	60
<b>Figure 4</b> : Suivi de l'état des fientes au sein de l'animalerie.	60
<b>Figure 5</b> : Différents lots expérimentaux.	61
<b>Figure 6</b> : Conception de poussinière.	62
<b>Figure 7</b> : Copeaux de bois sec.	62
<b>Figure 8</b> : Copeaux de bois dépolvé.	62
<b>Figure 9</b> : Trois argiles utilisées : (a : kaolin, b : Marne grise, c : Marne blanche).	65
<b>Figure 10</b> : Incorporation de 3% d'argile.	65
<b>Figure 11</b> : Réalisation de la pesée et de l'identification.	68
<b>Figure 12</b> : Incision cutanée médiane.	69
<b>Figure 13</b> : Incision de deux cotés.	69
<b>Figure 14</b> : Ouverture de la carcasse.	70
<b>Figure 15</b> : Pesée de carcasse éviscérée.	70
<b>Figure 16</b> : Carcasse disséquée.	70
<b>Figure 17</b> : Pesée des filets.	71
<b>Figure 18</b> : Pesée des cuisses.	71

<b>Figure 19 :</b> Collecte de gras abdominal.	71
<b>Figure 20 :</b> Pesée de gras abdominal.	71
<b>Figure 21(a,b) :</b> Pesée du cœur, foie, gésier et de bourse de Fabricius.	72
<b>Figure 22 (a,b) :</b> Vidange de contenu intestinal.	72
<b>Figure 23 :</b> Division de l'intestin grêle en trois segments.	73
<b>Figure 24 (a,b) :</b> Mesures de longueur et de poids de segments intestinaux.	73
<b>Figure 25 :</b> Appréciation de l'état du plumage.	74
<b>Figure 26 :</b> Appréciation de pododermatite.	75
<b>Figure 27 :</b> Séchage des fientes récupérées.	75

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

<b>Figure 1 :</b> Représentation graphique de l'ingéré des quatres lots selon les phases	81
<b>Figure 2 :</b> Représentation graphique du gain de poids des quatres lots selon les phases	82
<b>Figure 3 :</b> Représentation graphique de l'indice de consommation des quatres lots selon les phases	82
<b>Figure 4 :</b> Représentation graphique du poids d'abattage en fonction des traitements	90
<b>Figure 5 :</b> Représentation graphique des rendements en découpe en fonction des traitements	91
<b>Figure 6 :</b> Représentation graphique du poids relatif du gras abdominal en fonction des traitements	91
<b>Figure 7 :</b> Représentation graphique du poids relatif des organes internes en fonction des traitements	94
<b>Figure 8 :</b> Représentation graphique du poids relatif des differents segments de l'intestin grêle en fonction des traitements	97
<b>Figure 9 :</b> Représentation graphique de la longueur relative des differents segments de l'intestin grêle en fonction des traitements	98

<b>Figure 10 :</b> Représentation graphique de la consommation d'eau en fonction des traitements	101
<b>Figure 11 :</b> Représentation graphique de l'humidité des fientes en fonction des traitements	101
<b>Figure 12 :</b> Représentation graphique de l'état du plumage (%) à 42 jours	104
<b>Figure 13 :</b> Représentation graphique de l'état du plumage (%) à 56 jours	105

## ANNEXE

<b>Figure 01 :</b> Collecte d'argile locale (marne grise) de la région de DHAHR-AZEM (AIN YAGOUT)	
<b>Figure 02 :</b> Collecte d'argile locale (marne blanche) de la région de THAWIT (AIN YAGOUT)	

### 2. Liste des tableaux

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Tableau 1 :</b> Les origines des mycotoxines majeures trouvés en produits alimentaires (Velmurugu, 2010).	47
--	----

## MATERIEL ET METHODES

<b>Tableau 1 :</b> Température et l'hygrométrie ambiantes durant la période d'expérimentation.	62
<b>Tableau 2 :</b> Les caractéristiques alimentaires des aliments utilisés.	63

## RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Tableau 1 :</b> Composition chimique des argiles utilisées (%)	77
<b>Tableau 2 :</b> Les résultats des surfaces spécifiques des argiles étudiées	78
<b>Tableau 3 :</b> Les résultats de la CEC des argiles étudiées	79

<b>Tableau 4 :</b> Recommandations alimentaires et composition chimique des aliments servis	79
<b>Tableau 5 :</b> Effets des régimes testés sur le gain de poids (g), l'ingéré alimentaire (g) et l'indice de consommation	81
<b>Tableau 6 :</b> Effets des régimes testés sur les rendements en découpe et le gras abdominal	90
<b>Tableau 7 :</b> Effets des régimes testés sur le poids des organes internes et de la bourse de Fabricius	94
<b>Tableau 8 :</b> Effets des régimes testés sur la morphométrie des différents segments intestinaux	97
<b>Tableau 9 :</b> Effets des régimes testés sur l'humidité des fientes et la consommation d'eau	101
<b>Tableau 10 :</b> Effets des régimes testés sur l'état du plumage à l'âge de 42 jours et de 56 jours	104

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AF** : Aflatoxine

**AFB1**: Aflatoxine B1

**AFC** : Antibiotiques facteurs de croissance

**ALP** : Phosphatase alcaline

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Alumine

**ANOVA** : Analyse of variance

**BF** : Bourse de fabricius

**CaO** : Chaux

**Ca** : Calcium

**CEC** : Capacité d'échange cationique

**Cu-MMT** : Montmorillonite traitée au cuivre

**DRX** : Diffraction des rayons X

**EM** : Energie métabolisable

**ERV** : Entérocoque résistant à la vancomycine

**FAO** : Food and agriculture organisation

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Sesquioxyde de fer

**GGT** : Gamma glutamyl transférase<sup>4</sup>

**Ig** : Immunoglobuline

**IgA** : Immunoglobuline A

**IgG** : Immunoglobuline G

**j** : jour

**K** : Kaolin

**Kcal** : Kilocalorie

**K<sub>2</sub>O** : Oxyde de potassium

**LI** : Longueur de l'intestin

**M1** : Marne blanche

**M2** : Marne grise

**MIC** : Minimum inhibitory concentration

**MG** : Matière grasse

**MM** : Matière minérale

**MO** : Matière organique

**MS** : Matière sèche

**MMT** : Montmorillonite

**OTA** : Ochratoxine A

**P** : Phosphore

**p** : probabilité

**PAC** : Poulet prêt à cuire

**PB** : Protéine brute

**PH** : Potentiel hydrogène

**ppm** : partie par million

**PNA** : Polysaccharides non amylacés

**PV** : Poids vif

**T** : Témoin

**UFC** : Unités formant colonies

**Vs** : Versus

**ZA** : Zéolite-Attapulgite

## Introduction

Partout dans le monde, les documents écrits les plus anciens témoignent de l'usage des silicates d'alumine (argiles) pour favoriser ou trouver la santé. Elles ont accompagné notre histoire sur les cinq continents : il est rare de trouver une ethnie qui ne les utilise ou ne les a utilisés par le passé pour se soigner.

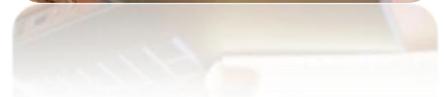
Dans la nature, l'utilisation des éléments du sol est un comportement spontané largement répandu, observé chez de nombreux animaux y compris l'homme. Composants universellement répandus, les argiles et minéraux argileux sont utilisés dans le monde animal au travers de pratiques variées démontrant notamment leurs propriétés curatives. L'une des plus décrites est l'application cutanée d'argiles humides sur des tissus blessés afin d'en faciliter la cicatrisation, propriété que l'on retrouve en médecine humaine dans les cataplasmes depuis maintenant plus de deux millénaires (**Tateo et Summa, 2006**). Une autre utilisation naturelle des argiles, fréquemment observée, est la géophagie ou l'ingestion volontaire de terre. Beaucoup d'études faites sur l'homme comme sur l'animal ont montré que la pratique de la géophagie permettait de traiter des troubles digestifs divers, et pourrait ainsi expliquer sa persistance au cours de l'évolution.

Récemment, une nouvelle branche de recherche a vu le jour « la géologie médicale » permettant d'établir des relations de cause à effet entre l'environnement géologique et problèmes de santé chez les humains, les animaux et les plantes (**Gomes et Silva, 2007**).

En aviculture, les argiles font actuellement l'objet de nombreux protocoles de recherche dans le but d'introduire des additifs naturels en tant qu'alternatives qualifiées de substituer les antibiotiques facteurs de croissance. En effet différents types d'argile ont été testés et recommandés en alimentation animale en tant que substances naturelles pouvant améliorer l'utilisation digestive, l'état sanitaire, les performances de croissance et la qualité de produits (**Ouhida et al., 2000a; Ouhida et al., 2000b; Wester, 2002; Xia et al., 2004; Abdessemed, 2008 ; Ouachem et al., 2009; Ouachem, 2011**).

A la lumière de l'histoire de l'ingestion des argiles dans le monde et de leur usage coutumier traditionnel du paléolithique à nos jours, qu'en est-il de leur usage et les effets de leur addition dans l'alimentation du poulet au pourcentage de 3%.

# *REVUE BIBLIOGRAPHIQUE*



**CHAPITRE I: ALTERNATIVES AUX**  
**ANTIBIOTIQUES FACTEURS DE**  
**CROISSANCE**

## ALTERNATIVES AUX ANTIBIOTIQUES FACTEURS DE CROISSANCE

Les antibiotiques sont fréquemment utilisés en tant que médicaments vétérinaires en thérapie et en prophylaxie des maladies des volailles. Ils ont été aussi des additifs alimentaires comme promoteurs de croissance afin d'améliorer les performances pour de nombreuses années. Il a été jusqu'en **1946** lorsque **Moore et al.** ont signalé la première recherche sur les effets positifs des antibiotiques sur la croissance du poulet. Actuellement, un total de 32 composés antimicrobiens est approuvé pour utilisation dans les aliments du bétail dans les États-unis sans prescription d'un vétérinaire (**Jones et al. 2003**). Ces promoteurs de croissance sont ajoutés aux aliments non seulement dans le but d'améliorer la croissance des poulets, mais aussi pour régler la microflore intestinale et stimuler le système immunitaire.

Cependant, les pressions croissantes exercées par les consommateurs font qu'il est nécessaire de réduire l'utilisation d'antibiotiques en raison de leur effet négatif sur la santé humaine par la résistance aux antibiotiques. En **1994**, **Bates et al.** Les premiers qui ont signalé que l'entérocoque résistant à la vancomycine (ERV) pouvait être attribué aux animaux de ferme en Grande-Bretagne et ils ont suggéré que ces derniers pourraient être un réservoir pour l'infection à l'ERV. **Roy et al., (2002)** ont également signalé que 91 des 92 échantillons de Salmonella isolées de produits de volaille et de l'environnement de la volaille ont été résistantes à l'érythromycine, lincomycine, et la pénicilline.

Par conséquent, et dans le but de maintenir un niveau satisfaisant de production et surtout de consommation, plusieurs produits de substitution ont été proposés après des recherches, entre autres nous citons les probiotiques, les prébiotiques, les symbiotiques, les acides organiques, les enzymes, les huiles essentielles, les extraits des plantes, les électrolytes et les argiles.

Dans ce chapitre, des informations de base sur la population microbienne gastro-intestinale sont introduites, suivies par des questions récentes sur la résistance aux antibiotiques et les stratégies visant à réduire l'utilisation des antibiotiques.

## 1. Population microbienne du tractus gastro-intestinal

### 1.1. Informations générales

Pour comprendre l'effet de la microflore chez la volaille, des travaux ont été réalisés dans les années (1979- 1980) par des équipes anglaises (**Barnes ; Coates et Fuller**) et plus récemment (1984-1994) par des équipes japonaises (**Furuse et Okumura**) en comparant des animaux conventionnels à des animaux axéniques. D'autres ont été effectuées en comparant des animaux nourris avec des aliments contenant ou non des antibiotiques. Suite à l'annonce de la suppression des Antibiotiques Facteurs de Croissance (AFC) on assiste à un nouveau développement des études de la microflore.

Les bactéries, les champignons et les protozoaires, situés dans le tractus digestif, forment la flore digestive. Les populations bactériennes, qui sont les micro-organismes prédominants, représentent une grande variété dans les types métaboliques et morphologiques. Leur nombre dépasse celui des cellules eucaryotes constituant le corps de l'hôte. On distingue les bactéries dominantes ( $>10^6$  Unités Formant Colonies (UFC) /g contenu), sous-dominantes ( $10^3$  à  $10^5$  UFC / g contenu), et résiduelles ( $<10^3$  UFC / g contenu). Le jabot, les caeca, et dans une moindre mesure, l'intestin grêle (**Fuller, 1984**) sont les principaux sites d'activité bactérienne. Ainsi, dans les caeca et l'iléon, on trouve  $10^1$  à  $10^9$  bactéries/ g de contenu respectivement (**Apajalahti et al., 2004**).

La flore, constituée principalement de bactéries à Gram positif, est composée essentiellement d'anaérobies facultatives du jabot à l'iléon terminal, alors que les caeca contiennent en plus des anaérobies strictes, ces dernières étant dominantes (**Fuller, 1984**). Dans le jabot, il y a principalement des lactobacilles attachés à l'épithélium formant presque une couche continue. Il y a aussi des streptocoques, des coliformes et des levures. Dans le gésier et le proventricule, la population bactérienne diminue, ceci est dû au pH faible. Dans le duodénum, les conditions ne sont pas propices au développement de la flore : présence de nombreuses enzymes, forte pression en oxygène, présence de fortes concentrations de composés antimicrobiens tels que les sels biliaires et les mouvements de reflux du jéjunum au gésier entraînent une modification rapide des conditions du milieu. Plus loin dans l'intestin, l'environnement devient plus favorable à la croissance bactérienne. Cependant, si les aliments sont bien digérés, la flore est limitée par manque de substrat. Globalement dans l'intestin grêle, on trouve principalement des bactéries anaérobies facultatives (lactobacilles, streptocoques et coliformes). Dans les caeca, les anaérobies strictes comme les *Eubacterium*, des bifidobactéries ou des clostridies, deviennent dominantes, mais les bactéries

anaérobies facultatives sont aussi présentes. Le développement considérable des bactéries dans les caeca est dû à la faible fréquence du renouvellement du contenu de cet organe (1 à 2 fois par jour). 29 genres bactériens ont été identifiés chez le poulet. Chaque genre étant représenté par 3 à 4 espèces, et chaque espèce par 3 à 4 types métaboliques différents, ce qui ferait plus de 200 souches différentes (**Fuller, 1984 ; Mead, 1989**).

La flore digestive peut se trouver dans la lumière intestinale, enfouie dans la couche de mucus ou adhérente à la muqueuse digestive. La flore luminale dépend des nutriments disponibles, de la vitesse de transit et de la présence ou non de substances antimicrobiennes. La flore mucoale dépend de l'expression par l'hôte de sites d'adhésion spécifiques sur les membranes des entérocytes, de la vitesse de production du mucus, de la production d'anticorps (Ig) sécrétoires, et de l'extrusion de matériel cellulaire de la membrane. Pratiquement, ces organismes qui colonisent l'intestin se multiplient à une vitesse suffisamment rapide pour compenser leur élimination par le transit digestif, ils s'attachent à la muqueuse. Le contact étroit de ces bactéries fixées avec l'hôte, leur rôle dans le contrôle des pathogènes leur modulation de l'immunité et leurs effets sur l'absorption des nutriments par l'hôte leur octroie une importance particulière.

## 1.2. Interactions entre les micro-organismes

### 1.2.1. La concurrence sur les éléments nutritifs et les sites d'attachement

En effet, Il existe des interactions bénéfiques et compétitives entre les différentes populations microbiennes. Bien que le tube digestif aviaire est un habitat idéal pour les micro-organismes, il ne prend pas en charge la croissance microbienne ou la prolifération sans restriction en raison de la disponibilité limitée de l'espace et les éléments nutritifs qui y sont prévues. Par conséquent, la concurrence sur ces ressources entre les micro-organismes est un phénomène commun à l'écosystème intestinal (**Soler et al., 2010**). Un bon exemple est la concurrence pour le zinc dans la microflore intestinale. Le zinc est un oligo-élément nécessaire à la fois pour les cellules eucaryotes ou procaryotes et participe à diverses fonctions cellulaires, telles que les réactions enzymatiques et l'expression des gènes. (**Berg et Shi, 1996 ; Giolda et DiRita, 2012**). **Dofing et Tiedje (1988)** ont signalé des interactions entre les différents composants de la microflore bénéfique avec le transfert de l'acétate interspécifique comme un transporteur d'électrons dans un milieu anaérobie.

Lorsque les nutriments disponibles deviennent limités, une concurrence pour les sources de carbone et d'énergie se développe entre les divers membres de la population microbienne

(Veldkamp et al., 1986). La concurrence entre les populations microbiennes peut être influencée par des facteurs environnementaux tels que les concentrations de substrats de carbone et d'énergie, d'oxygène, d'antibiotiques, la température, la pression osmotique, et le pH (Dofing et Gottschal, 1997).

Afin de causer des infections chez les oiseaux, les agents pathogènes entériques s'attachent d'abord à la barrière épithéliale intestinale puis y pénètrent (Lan et al., 2005). Chez les oiseaux en santé, les populations bactériennes commensales du tube digestif colonisent la muqueuse intestinale et forment une couche de bactéries couvrant sa surface. Le tube digestif des poussins nouvellement éclos est stérile, mais il est immédiatement colonisé par des micro-organismes présents dans l'environnement (Brisbin et al., 2008). Les agents pathogènes entériques peuvent avoir une plus grande possibilité de se fixer et de pénétrer dans la muqueuse intestinale et provoquer une infection chez les poussins en raison de l'absence d'un microbiome intestinal normal. Ce qui peut expliquer pourquoi les poussins nouvellement éclos sont particulièrement vulnérables aux infections entériques telles que l'entérite nécrotique (Lan et al., 2005 ; Dahiya et al., 2006). Afin de protéger les poussins de maladies entériques lors des éclosions, les cultures d'exclusion compétitive ont été utilisées pour aider les poussins à créer rapidement un microbiome intestinal bénéfique. Les cultures d'exclusion compétitive sont des suspensions de contenu intestinal sain obtenu à partir des oiseaux adultes (Nisbet, 2002). Par exemple, l'administration orale de dindonneaux nouvellement éclos, par les cultures d'exclusion compétitive est efficace pour la protection des dindonneaux de l'infection par des agents pathogènes tels que Salmonella et C. perfringens (Hollister et al., 1999 ; Craven et al., 1999).

### 1.2.2. La production de substances bactéricides et bactériostatiques

Une autre stratégie utilisée pour certaines bactéries pour acquérir des avantages compétitifs est de produire des substances bactériostatiques ou bactéricides hostiles aux concurrents. Des études antérieures ont montré que l'acide lactique et certains acides gras à chaîne courte produits par diverses bactéries commensales inhibent certains agents pathogènes. Par exemple, des études in vitro ont montré que les bactéries lactiques fermentent les glucides présents dans l'alimentation des poulets et produisent l'acide lactique, qui abaisse le pH dans le milieu environnant et inhibe la croissance de certains agents pathogènes comme E. coli, Salmonella Typhimurium, et C. perfringens (Hinton et al., 1992 ; Murry et al., 2004). Une étude in vivo a démontré une corrélation négative entre les concentrations des acides gras volatils (en particulier, l'acétate, le

propionate et le butyrate) et l'abondance de la famille des Enterobacteriaceae dans les ceaca des poulets (**Van Der Wielen et al., 2000**). Une telle corrélation négative a été corroborée par une étude in vitro réalisée par les mêmes chercheurs. Il a été proposé qu'en plus de l'abaissement du pH extracellulaire, les AGV non dissociés peuvent diffuser librement dans la membrane des cellules bactériennes, où ils se dissocient dans la cellule, abaissant le pH intracellulaire qui inhibe la fonction de certaines enzymes essentielles ou le métabolisme (**van Der Wielen et al., 2000 ; Van Immerseel et al., 2004 ; Van Immerseel et al., 2006**).

Certaines bactéries peuvent également produire des bactériocines à inhiber sélectivement la croissance d'autres bactéries. Les bactériocines sont un groupe de peptides antimicrobiens produits par les bactéries et les archées (**Dobson et al., 2012**). Diverses souches de *Lactobacillus salivarius* isolées du tractus gastrointestinal de poulet peuvent produire des bactériocines inhibitrices pour certaines bactéries à gram-négatifs et à gram-positifs telles que *Salmonella Enteritidis* et *C. jejuni* (**Steiern et al., 2006 ; Messaoudi et al., 2012**). Les bactériocines produites par des souches de *Enterococcus faecium*, *Pediococcus pentosaceus* et *Bacillus subtilis* isolées de poulets sont capables d'inhiber les *C. perfringens* et *Listeria monocytogenes* (**Teo et Tan, 2005 ; Shin et al., 2008**). L'effet inhibiteur sur les bactéries et pathogènes permet la production de bactériocines fréquemment considérées comme une caractéristique dans la sélection des probiotiques. Néanmoins, il est intéressant de noter qu'une variété de bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus*) produit aussi des bactériocines efficaces contre les bactéries concurrentes (**Wladyka et al., 2013**).

### 1.3. Interactions entre les micro-organismes et l'hôte

#### 1.3.1. Interactions nutritionnelles

De nombreuses interactions se produisent entre la volaille et sa microflore intestinale. Ces interactions se manifestent notamment par l'échange d'éléments nutritifs, la modulation de la morphologie de l'intestin de l'hôte, la physiologie et l'immunité.

Les glucides digestibles sont digérés et absorbés par l'hôte dans la partie proximale de l'intestin, laissant les glucides non digestibles et résiduels, les glucides assimilables à des bactéries qui résident l'intestin distal. (**Hooper et al., 2002**). De nombreuses bactéries intestinales peuvent hydrolyser les polysaccharides alimentaires indigestibles, oligosaccharides et disaccharides qui peuvent ensuite être fermentés par les bactéries intestinales, produisant des acides gras à chaîne courte, principalement l'acétate, le propionate et le butyrate. Ces acides gras peuvent être utilisés par

l'hôte en tant que source d'énergie et de carbone (**Hooper et al., 2002 ; Tellez et al., 2006**). Cette fermentation augmente à mesure que les poulets grandissent. Le contenu caecal d'acétate, du propionate et du butyrate est indétectable dans le premier jour chez le poussin, comme le microbiome caecum s'installe, ces acides atteignent des concentrations élevées dans 15 jours et restent stables par la suite. (**Van Der Wielen et al., 2000**). Une étude antérieure a prouvé que les acides gras à chaîne courte, surtout le butyrate, peuvent servir comme une source importante d'énergie pour les cellules épithéliales intestinales (**Pryde et al., 2002**). En outre, il est rapporté que ces acides gras peuvent réguler le débit sanguin intestinal, stimuler la croissance et à la prolifération des entérocytes, régler la production de mucine, et influencer sur les réponses immunitaires de l'intestin (**Hooper et al., 2002 ; Sanderson, 2004 ; Tellez et al., 2006**).

Les bactéries du caecum peuvent cataboliser l'acide urique à l'ammoniac, qui peut être absorbé par l'hôte et utilisée pour la synthèse quelques acides aminés tels que la glutamine (**Vispo et Karasov, 1997**). Certain azote alimentaire est incorporé dans les protéines cellulaires bactériennes. Par conséquent, les bactéries intestinales peuvent eux-mêmes être une source d'acides aminés (**Metges, 2000**). Cependant, la majorité de ces protéines bactériennes sont perdus de l'hôte avec l'excrétion de matières fécales parce que la plupart des bactéries intestinales chez les oiseaux résident dans le caecum qui n'a pas la capacité de digérer et d'absorber les protéines.

Le microbiome intestinal de volailles peut aussi servir de vitamine (notamment en vitamine B) fournisseur pour son hôte (**Hooper et al., 2002 ; LeBlanc, 2013**). Parallèlement à la protéine bactérienne, la plupart des vitamines synthétisées par les bactéries intestinales sont éliminés avec les excréments parce qu'elles ne peuvent pas être absorbées dans le caecum (**Hooper et al., 2002**). De plus, les oiseaux peuvent également fournir des nutriments aux bactéries intestinales. Par exemple, les mucines produites par les cellules caliciformes de l'intestin sont des sources importantes de carbone, d'azote et d'énergie pour certaines bactéries pathogènes et commensaux (**Hooper et al., 2002**). Peu de rapports sont disponibles sur les bactéries dégradantes de la mucine de volaille, mais des études sur d'autres espèces animales ont montré qu'une variété de bactéries peuvent dégrader les mucines, y compris certaines espèces de *Bifidobacterium* (**Ruas-Madiedo 2008 ; Killer et Marounek, 2011**). Ces bactéries sont capables de se fixer à la couche de mucus et sécréter des enzymes spécifiques de la dégradation de la mucine (**Derrien et al., 2008**).

### 1.3.2. Impact de la microflore sur la morphologie et la physiologie intestinale

La liaison des bactéries à la muqueuse intestinale et leurs différents métabolites permettent des modifications anatomiques et physiologiques des cellules de la paroi intestinale et des muscles lisses (Coates, 1980 ; Furuse et Okumura, 1994). En effet, le nombre de la microflore chez les animaux conventionnels est plus élevé que chez les axéniques, ceci explique la morphologie différente. Ainsi le poids relatif de l'intestin grêle est plus élevé chez les animaux conventionnels que chez les animaux axéniques. Ceci est dû à l'augmentation de la longueur relative de l'intestin, et à l'épaississement de la paroi lié principalement aux tissus connectifs, en particulier la *lamina propria*. Chez l'oiseau conventionnel, les villosités intestinales sont plus hautes dans le jéjunum et l'iléon et de forme moins régulière que chez l'oiseau axénique, mais l'aire développée par les microvillosités par unité de surface est plus faible. Les cryptes sont plus profondes tout le long de l'intestin grêle et le nombre de cellules en division est plus élevé conduisant à un renouvellement cellulaire accéléré du duodénum distal à l'iléon. Les entérocytes atteignent plus rapidement le haut des villosités, et présentent une plus faible maturité. Ainsi, l'activité totale des enzymes digestives intestinales telles que la maltase et la saccharase est moins élevée. Cependant, les activités de ces disaccharidases exprimées par poids d'animal sont similaires. La présence de flore ne modifierait pas l'activité d'autres enzymes impliquées dans la digestion, telles que l'amylase, la lipase ou la trypsine pancréatique dans les contenus de l'intestin grêle (Lepkowsky et al., 1964 ; Philips et Fuller, 1983). L'absorption *in vivo* de nutriments comme la méthionine et le glucose n'est pas modifiée (Yokota et Coates, 1982).

Le poids des caeca est relatif et leur paroi est plus épaisse en présence de micro-organismes (Furuse et Yokota, 1984). Très peu d'études ont été publiées sur les modifications de leur muqueuse des caeca par la flore malgré qu'ils soient les sites principaux de la flore digestive. Une diminution de l'épaisseur de la *lamina propria* et une augmentation de la prolifération cellulaire est entraînée par l'augmentation de la flore lors de l'introduction de lactose dans l'alimentation (Tellez et al., 1993). Selon les études de Takeuchi et al. (1998), le temps de renouvellement cellulaire est plus court dans la partie distale des caeca par rapport à la partie proximale, probablement du fait de la présence importante de la flore dans cette zone.

### 1.3.3. La microflore et l'immunité de l'hôte

La microflore intestinale participe au développement et au maintien d'un système immunitaire intestinal efficace (**Salminen et al., 1998**). Elle développe et régule la réponse immunitaire en influençant le nombre, la distribution et le degré d'activation des populations cellulaires du système immunitaire intestinal. Elle est une source majeure de stimuli antigéniques pour la maturation et la migration des cellules lymphoïdes présentes dans les plaques de Peyer.

Les mécanismes par lesquels les bactéries stimulent le système immunitaire font actuellement l'objet de plusieurs études. Lors d'un contact avec un antigène, et sous l'effet d'une stimulation non spécifique par les micro-organismes, les cellules dendritiques migrent vers les plaques de Peyer ou les ganglions sous-jacents pour commencer une réponse spécifique activant les lymphocytes. Ceux-ci vont sortir des ganglions et retourner vers la muqueuse digestive où ils vont accomplir leurs fonctions produisant des immunoglobulines sécrétoires qui protègent la muqueuse et qui font partie de la première ligne de défense face à un antigène étranger. Ces IgA neutralisent les toxines microbiennes et empêchent la pénétration des bactéries commensales à travers l'épithélium intestinal. Ceci est accompli en coopération avec des mécanismes de défense moins spécifiques, protégeant ainsi l'hôte contre les éléments susceptibles d'altérer l'intégrité de l'épithélium intestinal.

Le déclenchement de la réponse spécifique des organes lymphoïdes secondaires s'effectue lorsque un antigène traverse et parvient au niveau des ganglions drainants, cette réponse spécifique va impliquer un grand nombre de médiateurs comme les cytokines inflammatoires et les chimiokines qui vont conduire à l'activation et au recrutement de lymphocytes cytotoxiques, de plasmocytes à IgA, IgG ainsi que des cellules régulatrices (**Salminen et al., 1998**).

Les bactéries stimulent l'immunité innée en activant la phagocytose et la synthèse de cytokines par les macrophages (**Moreau et Gaboriau-Routhiau, 2000**). Or, ces derniers régulent la réponse inflammatoire. Les cytokines participent à la modification du métabolisme de l'animal, à l'augmentation du catabolisme protéique et à la réduction de la masse musculaire (**Klasing et al., 1991**). Par le détournement des acides aminés provenant des muscles et de l'alimentation vers le foie. Ces acides aminés sont utilisés pour la synthèse des protéines de l'inflammation et aussi pour la synthèse de différents composants du système immunitaire.

La flore digestive en activant continuellement le système immunitaire conduit à la réduction des performances zootechniques (**Klasing et al., 1991**). Cependant, la réponse inflammatoire peut être atténuée par les bactéries (**Neish et al., 2000**).

La réponse immunitaire spécifique se module aussi par la flore digestive. En particulier, la flore commensale peut modifier profondément la tolérance orale aux antigènes alimentaires et bactériens (**Moreau et Gaboriau-Routhiau, 2000**). La réponse immunitaire contre les pathogènes est aussi modulée par la flore digestive.

Les bactéries intestinales ont des propriétés immunomodulatrices différentes suivant les espèces (**Maassen et al., 1998**), liées probablement à la surface de leur paroi cellulaire (**Herich et Levkut, 2002**). Aussi, les conséquences sur la réponse immunitaire de l'animal dépendent de la composition de la flore.

## 2. Résistance aux antibiotiques

### 2.1. Utilisation des antibiotiques

Le premier antibiotique a été découvert au début des années 1900, avec la découverte des produits chimiques Salvarson pour guérir la maladie humaine (syphilis) lorsque prontosil rubrum a protégé des souris et des lapins de l'infection par des staphylocoques et streptocoques (**Jones et al., 2003**). Chez le poulet ce n'est qu'en 1946 que les travaux de **Moore et al., 1946** ont permis de mettre en évidence l'effet des antibiotiques sur la croissance du poulet.

Pendant ce temps, la production de poulets de chair dans les États-Unis a augmenté de façon spectaculaire après la Deuxième Guerre mondiale, d'environ 5 milliards de livres en 1962 et environ de 48 milliards de livres en 2002 (**Usdanass, 2003**). Aujourd'hui, les poulets sont élevés avec une plus grande densité d'élevage (10 000- 20 000 poussins par bâtiment) ce qui augmente la fréquence d'épidémies, et des maladies infectieuses dans les élevages. De nombreuses maladies infectieuses sont contrôlées avec des antibiotiques (**Nasc, 1999**). Un total de 32 composés antimicrobiens sont approuvés pour utilisation dans les aliments du bétail dans les États-Unis sans prescription d'un vétérinaire (**Jones et Rickett, 2003**).

L'utilisation des antibiotiques comme additifs alimentaires sans prescription vétérinaire fut approuvée par l'administration de données alimentaires et de médicaments (United States Food and Administration) en 1951 (**Jones et Rickett, 2003**), alors qu'en Europe, il a fallu attendre les

années 1950 et 1960. A partir de cette époque, l'utilisation de plusieurs antibiotiques comme promoteurs de croissance est devenue courante en production animale, en particulier dans les élevages intensifs.

Onze de ces antibiotiques, y compris la bacitracine, la chlortétracycline, érythromycine, lincomycine, la novobiocine, l'oxytétracycline et la pénicilline, sont utilisés pour la stimulation de la croissance, pour augmenter le gain de poids, améliorer le taux de conversion alimentaire, et diminuer la mortalité par la réduction de la charge microbienne dans le tractus intestinal, donc plus de nutriments disponibles pour l'hôte. **Stutz et al. (1984)** ont signalé une amélioration du gain de poids et une réduction de *Clostridium perfringens* dans l'iléon chez les poulets nourris de 4,4 ppm de lincomycine.

## 2. 2. Antibiotique en tant que facteurs de croissance

D'après l'Office National de Santé vétérinaire de Londres, les AFCs sont utilisés chez les animaux en cours de croissance pour permettre une digestion des nutriments plus efficace, et non pas pour stimuler l'appétit, diminuant ainsi la quantité d'aliment nécessaire à l'engraissement des animaux (**Samandio et Evaggelopoulou, 2008**), et évitant les risques de déséquilibre dans les conditions pratiques pour des raisons prophylactiques et aussi empêchant les baisses de productivité dans les élevages de faible niveau technique dues au stress et au manque d'hygiène des bâtiments (**Page, 2006**).

Jusqu'à ce jour, le mode d'action des antibiotiques comme facteurs de croissance n'est pas encore précisément connu. Ils affecteraient l'activité métabolique de certains microorganismes intestinaux, ou entraîneraient un changement de l'équilibre du milieu intestinal (**Samandio et Evaggelopoulou, 2008**).

Pour cette hypothèse, la microflore intestinale aurait un impact négatif sur la croissance animale, directement ou indirectement, et le mécanisme des AFCs dépendrait de leurs propriétés antibactériennes.

En effet, la multiplication de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin des animaux est inhibée par les antibiotiques promoteurs de croissance. Ces bactéries ne provoqueraient pas forcément de maladies apparentes, mais simplement un ralentissement de la croissance. Il a été démontré que les AFCs, sont plus efficaces dans de mauvaises conditions d'hygiène. Par exemple,

chez le poulet, il est établi que la croissance est meilleure dans un bâtiment neuf ou très propre que dans un bâtiment non nettoyé et donc source d'infections et il a été montré que la croissance optimale des poulets des bâtiments considérés « sales » est restaurée par l'utilisation d'antibiotiques à faible dose (**Coates et Fuller, 1977 ; Fuller et al., 1979**). Chez le poulet, le pathogène *Streptococcus faecium* provoque une dépression de croissance transitoire, laquelle s'arrête par apport de suppléments de pénicilline (**Fuller et al., 1983 et 1984**).

De réelles pathologies intestinales ont été contrôlées par ces additifs antibiotiques même avec de faibles doses (20-60 ppm). Ainsi, l'entérite nécrotique des volailles due à *Clostridium perfringens* est réprimée par la pénicilline à faible dose (**Powell et al., 1974**) et par l'avoparcine, l'avilmycine, et le monensine (**Elwinger et al., 1998**). Un aliment supplémentée par 30 ppm de salinomycine prévient cette diarrhée (**Kyriakis et al., 1995**). Les travaux de **George et al., (1982); Brennan et al., (2003) ; Huyghebaert et al., (2011)** ont montré aussi la réduction de l'incidence des diarrhées non spécifiques.

Cependant, certains auteurs comme Niwold n'adhèrent pas à l'hypothèse d'un effet direct des AFCs sur la microflore, ils pensent que les AFCs ne peuvent pas inhiber les infections sub-cliniques dans la mesure où ils sont utilisées à des concentrations inférieures au MIC (Minimum Inhibitory Effect, i.e. concentration minimale ayant un effet inhibiteur).

D'après les travaux de **Feighner et Dashkevicz (1987) ; Knarreborg et al. (2004) ; Huyghebaert et al. (2011)**. Les AFCs favorisent une réduction des coûts énergétiques engendrés par la détoxification de l'organisme en réduisant la production de métabolites toxiques : Lorsque le foie synthétise de l'urée, en détoxifiant l'ammoniaque libéré dans l'intestin par les uréases bactériennes (**Okumura, et al., 1976**) et qui est toxique pour les cellules de la muqueuse et pour l'organisme (**Visek, 1978**), cet organe utilise beaucoup d'énergie, ce qui affecte négativement la productivité. Les travaux (in vitro et in vivo) de **Visek. (1964, 1978)** ont montré que les antibiotiques à faible dose jouent un rôle dans l'inhibition des uréases bactériennes, et donc le catabolisme de l'urée. Le catabolisme des acides aminés est également réprimé (**Dierick et al., 1986**). En outre, l'ajout d'antibiotiques dans l'aliment entraîne une augmentation des niveaux d'acides aminés dans l'intestin et l'amélioration de l'équilibre azoté.

D'autre part, les antibiotiques à faible dose peuvent inhiber la fermentation des glucides dans l'intestin, notamment la production d'acide lactique à partir du glucose (**Nagaraja et al., 1987**). Ce qui laisse plus de glucose disponible pour l'animal.

Les travaux de **Decuypere et al. (1991)** montrent que l'absorption de nutriments est améliorée chez les animaux recevant les AFCs. Ceci serait dû à l'augmentation de la surface d'absorption intestinale, à la diminution de l'épaisseur de la muqueuse et à la diminution de la vitesse du transit digestif, ces deux derniers sont liés à la diminution de la prolifération de la muqueuse et à la diminution de la concentration en acide lactique dans le contenu intestinal, respectivement.

Le principal mode d'action des antibiotiques est la régulation et le maintien de l'équilibre optimal de la microflore intestinale (entre les bactéries à gram négatif et à gram positif). Au cours d'un stress ou troubles digestifs, le nombre d'organismes pathogènes comme *Escherichia coli* ou autres organismes à gram négatif est augmenté, conduisant à un déséquilibre de la microflore. Les bactéries à gram négatif colonisent l'intestin, adhèrent l'épithélium intestinal et provoquent l'inflammation de la muqueuse intestinale réduisant ainsi l'absorption des nutriments et à leur tour, elle retarde la croissance et la productivité. Les AFCs ont également la capacité de modifier les procédés de la biosynthèse de la mucine et de modifier ses dynamiques qui influencent sur le fonctionnement de l'intestin et de la santé. L'utilisation d'un médicament anticoccidial avec antibiotique comme promoteur de croissance a augmenté la croissance et l'état immunitaire de poulet en environnement contaminé (**Lee et al., 2012**).

### 2.3. Résistance aux antibiotiques

La résistance aux antibiotiques a existé dans la nature avant qu'ils ont été utilisés en médecine humaine et vétérinaire. L'association entre la résistance bactérienne et l'apport d'antibiotiques facteurs de croissance chez les poulets a été rapportée par **Barnes (1958) et Elliott et Barnes (1959)**. En effet, l'utilisation intensive et continue d'antibiotiques conduit à un déséquilibre entre les bactéries pathogènes et la microflore normale ainsi que d'apparition de souches bactériennes résistantes aux antibiotiques (**Murray et al., 1978**). L'acquisition de la résistance par une bactérie se fait soit par mutation du génome bactérien soit par l'acquisition de gènes de résistance à partir de souches déjà résistantes (**Sanders et al., 2011**). L'introduction de la streptomycine pour le traitement de la tuberculose en 1974 a conduit à la sélection de souches résistantes en raison de mutations géniques dans le ribosome (**Zhang et al., 1994**). La résistance aux antibiotiques dans de nombreuses espèces animales a été observée. **McEwen et al. (2002)** ont indiqué que l'utilisation des antibiotiques chez les animaux a provoqué la résistance des bactéries commensales (*Salmonella*, *Campylobacter*, certaines souches d'*E. coli*) et les entérocoques (entéropathogènes zoonotiques dans, la plupart des souches d'*E. coli* générique).

Nombreux travaux ont démontré que tout traitement antibiotique crée une pression de sélection favorable au développement des bactéries résistantes. Cette pression de sélection s'exerce essentiellement sur les bactéries présentes dans le tube digestif qui sont en très grand nombre dans la partie terminale de l'intestin. Une fois la pression aux antimicrobiens a été introduite dans un environnement, la résistance peut rapidement se développer et se propager par transfert horizontal de plasmides (**Salyers et al., 1997**). De nombreux facteurs contribuent à la propagation de la résistance aux antibiotiques, par exemple, le mouvement d'animaux porteurs entre troupeaux et entre les pays et le mouvement des déterminants de la résistance dans l'écosystème au moyen de vecteurs comme les rongeurs, les insectes et les oiseaux. Les déchets fécaux des poulets élevés dans des conditions intensives est souvent répandu sous forme d'engrais (**McEwen et al., 2002**).

La poursuite de l'utilisation des antibiotiques comme additifs dans l'alimentation peut également entraîner la présence de résidus d'antibiotiques dans les produits de volaille. Certains résidus des antibiotiques peuvent provoquer des réactions allergiques ou hypersensibles à des consommateurs. L'application continue d'antibiotiques peut supprimer la microflore naturelle sensible dans le tractus gastro-intestinal comme les saprophytes, les bactéries non pathogènes, les champignons et les levures on peut afficher une croissance compensatoire des bactéries pathogènes et peut même augmenter leur virulence. En outre, l'élimination des micro-organismes dans le tractus gastro-intestinal par l'utilisation continue d'antibiotiques peut entraîner des pertes de vitamines B et K. Depuis 1999, certains antibiotiques comme stimulateurs de croissance, la tylosine, la spiramycine et la virginiamycine bacitracine sont interdites dans l'Union européenne en raison de développement de la résistance chez les bactéries de l'homme et les animaux (**McNamee et al., 2013**). En dehors de cela, beaucoup d'autres antibiotiques couramment utilisés dans l'alimentation avaient été interdits par la commission européenne en raison du développement de bactéries résistantes (**Huyghebaert et al., 2011 ; Devirgiliis et al., 2013 ; Koluman et Dikici, 2013**). À l'heure actuelle, l'utilisation d'antibiotiques comme promoteur de croissance chez les animaux destinés à l'alimentation humaine est devenue une importante préoccupation (**Devirgiliis et al., 2013**).

### 3. Alternatives aux antibiotiques

Des additifs non thérapeutiques tels que les probiotiques, les prébiotiques, les symbiotiques, les phytobiotiques, les acides organiques, les enzymes et les minéraux argileux ont été introduits comme des alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance (**Thacker, 2013**).

#### 3.1. Les probiotiques

L'utilisation intensive d'antibiotiques a conduit à un déséquilibre entre les bactéries pathogènes et la microflore normale ainsi que l'apparition de souches bactériennes résistantes aux antibiotiques. Ainsi, il y a un intérêt accru dans la recherche des solutions de rechange aux antibiotiques pour la production de volailles.

Le mot "probiotique" est dérivé du mot grec "probios" signifiant "pour la vie." Ce terme a eu des significations différentes au fil des ans. **Lilley et Stillwell (1965)** ont défini pour la première fois le terme "probiotique" comme étant un facteur de croissance produit par des micro-organismes. **Parker (1974)** a employé le terme probiotique pour les micro-organismes et les substances qui contribuent à l'équilibre de la flore. **Fuller (1989)** a redéfini le probiotique comme "un supplément alimentaire microbien vivant, qui affecte de façon bénéfique hôte en améliorant l'équilibre de sa flore intestinale". Cette définition est proche du sens actuel qui introduit la notion de souche bien caractérisée d'un point de vue taxonomique ainsi que la notion de quantité apporté à l'organisme.

**Vranesic (1992)** a examiné l'utilisation de probiotiques, des bactéries et ou des cultures fongiques, comme compléments alimentaires et a conclu que les probiotiques stimulent de nombreux processus métaboliques liés à la digestion et l'absorption alimentaire. Il est également d'avis que peu d'auteurs comprennent également les enzymes, les levures et même les acides organiques dans le groupe des probiotiques.

**Palod et Singh (2004)** ont indiqué que les "Probiotiques" dans l'alimentation des poulets sont devenues un nouveau domaine de la biotechnologie. L'utilisation des probiotiques dans l'industrie de la volaille devient rapidement accepté comme une alternative potentielle aux antibiotiques pour une utilisation comme facteurs de croissance, et dans certains cas, pour le contrôle des pathogènes entériques spécifiques (**Anadon et al., 2006 ; Huff et al., 2013**). Les additifs dans l'alimentation

comme les probiotiques ont le potentiel de réduction des maladies entériques de volaille (**Dhama et Singh, 2010 ; Gupta et Das, 2013**). Les probiotiques sont des compléments alimentaires microbiens vivants qui sont utilisés pour équilibrer la population microbienne dans l'intestin par la production de divers composés, l'exclusion compétitive et le déplacement de pathogènes d'entérocytes, ainsi que l'entretien de pH de l'intestin et ainsi améliorer la santé et l'état immunitaire de l'oiseau. Cela aide à la production de viande saine sans avoir de résidus de médicaments vétérinaires (**Alavi et al., 2012**). Les autres résultats ont montré que l'ajout d'primac probiotiques diminue le taux de cholestérol dans le sang, le sang de l'acide urique et l'urée sanguine (**Rezaei et al., 2013**). **Georgieva et al. (2000)** ont observé un gain de poids significatif par moins d'alimentation consommation à 49 jours d'âge en poulets lorsque complété par un Lacto-Sacc probiotiques commerciaux, comparativement à des témoins et les groupes traités aux antibiotiques. **Panda et al. (2000)** ont signalé n'a eu aucune influence sur les probiotiques carcasse ou le poids des organes internes tels que le foie, le cœur et le gésier.

Les probiotiques sont des souches de différentes espèces microbiennes. Actuellement, ils ont été connus comme un substitut d'antibiotiques pour la production de volaille comme promoteurs de croissance (**Ahmad, 2006**). Les différents mécanismes proposés pour expliquer leur action du maintien de la population microbienne bénéfique sont : (1) Favoriser l'équilibre des bactéries de l'intestin par l'exclusion compétitive, (2) s'impliquer dans la maturation de l'intestin, (3) améliorer le système immunitaire (4) améliorer l'activité des enzymes digestives, (5) améliorer l'indice de consommation et la digestion, (6) neutraliser les entérotoxines, (7) stimuler la réponse immunitaire et (8) Agir comme stimulateur de croissance (**Jin et al., 1997 ; Simon et al., 2001**).

Ce sont des organismes vivants qui influencent positivement la santé (**Cortot, 2003**).

D'un point de vue pratique, les connaissances sur l'utilisation potentielle des probiotiques pour optimiser l'équilibre de la microflore dans l'intestin sont essentielles. L'idée que les bactéries intestinales jouent un rôle dans le maintien de la santé a été créée par **Metchnikoff** en **1907** lorsqu'il a étudié " les bactéries lactiques " dans les produits laitiers fermentés.

### 3. 2. Les prébiotiques

Les prébiotiques, stables, moins cher, incorporés facilement dans la nourriture animale, et avec l'absence de difficulté du maintien de la vie présente dans les probiotiques sont plus faciles d'application que ces derniers (**Chambers et Gong, 2011**).

Ils sont définis pour la première fois en **1995** par **Gibson et Roberfroid** comme « des ingrédients alimentaires non-digestibles qui ont une action bénéfique sur l'hôte en stimulant de façon sélective la croissance et/ou l'activité d'une ou d'un nombre limité de bactéries du côlon ». **Gibson** donne une nouvelle définition du prébiotique en **2010** : « un ingrédient, dont la fermentation de façon sélective entraîne des changements spécifiques de la composition et/ou de l'activité du microbiote gastro-intestinal, dont en résultent des bénéfices pour la santé de l'hôte » (**Gibson et al., 2010**).

La plupart des prébiotiques sont des oligosaccharides solubles non-digestibles composés de sucres simples tels que le fructose, le xylose, le glucose, le galactose et le mannose (**Chambers et Gong, 2011**). Le mannose est le monosaccharide le plus communément utilisé comme additif alimentaire (**Van Immerseel et al., 2002**). Pour qu'un ingrédient alimentaire puisse porter l'appellation de « prébiotique », il doit répondre à 3 critères : « (1) le substrat ne doit pas être hydrolysé ni absorbé dans l'estomac ou l'intestin grêle, (2) il doit être sélectif des bactéries commensales bénéfiques du gros intestin telles que les *Bifidobacterium*, (3) la fermentation du substrat doit induire des effets luminaux et systémiques bénéfiques chez l'hôte » (**Gaggia et al., 2010**).

Les prébiotiques stimulent principalement la croissance des *Lactobacillus* et des *Bifidobacterium* (**Chambers et Gong, 2011**). L'efficacité des prébiotiques comme facteurs de croissance est très variable. Les études se contredisent. **Yusrizal et Chen (2003)** ont testé chez la volaille un régime alimentaire additionné de fructosane de chicorée, il en a résulté une augmentation significative de la masse corporelle de l'animal, une amélioration de la conversion alimentaire et une diminution du taux de cholestérol sérique (**Yusrizal et Chen, 2003a; Gaggia et al., 2010**). D'autres études indiquent aussi que l'addition de prébiotiques dans les régimes alimentaires, améliore les performances de croissance, les caractéristiques de carcasse et diminue le taux de cholestérol des poulets à l'âge de 42 jours (**Fallah et Rezaei, 2013**).

Le fructosane de chicorée a stimulé la croissance des *Lactobacillus* du système gastro-intestinal, tandis qu'il a inhibé celle des bactéries pathogènes *Campylobacter* et *Salmonella* (Yusrizal et Chen, 2003b ; Gaggia et al., 2010). Jung et al. (2008) ont obtenu des résultats contradictoires, ils ont évalué l'efficacité des galacto-oligosaccharides comme facteurs de croissance chez la volaille et n'ont observé aucun effet sur la masse corporelle de l'animal, sur le taux de conversion alimentaire, ni sur l'indice de consommation.

En revanche, les galacto-oligosaccharides ont augmenté significativement l'effectif de *Bifidobacterium*. Plusieurs études ont démontré l'efficacité des fructo-oligosaccharides et des mannan-oligosaccharides à réduire la contamination des volailles à *Salmonella* (Chambers et Gong, 2011). Des résultats positifs ont été obtenus encourageant l'utilisation du lactose et de ses dérivés (lactulose, lactosucrose) comme prébiotiques également pour le contrôle de *Salmonella* chez la volaille (Van Immerseel et al., 2002).

« La variabilité des réponses aux prébiotiques peut s'expliquer par des variations dans la qualité du prébiotique et dans les doses requises, des âges variés de volailles ou par des différences dans le niveau d'hygiène des fermes d'élevage » (Chambers et Gong, 2011). Il est possible de combiner des probiotiques avec des prébiotiques et ainsi d'augmenter l'efficacité du traitement. On parle alors de symbiotiques (Chambers et Gong, 2011).

### 3. 3. Les symbiotiques

Un symbiotique est, dans sa définition la plus simple, une combinaison de probiotiques et prébiotiques (Collins et Gibson, 1999). Cette combinaison pourrait améliorer la survie de l'organisme probiotique, parce que son substrat spécifique est disponible pour la fermentation. Cela pourrait entraîner un avantage pour l'hôte grâce à la disponibilité des micro-organismes et des prébiotiques. Des recherches récentes ont montré que les produits symbiotiques améliorent le statut immunitaire des poussins (Zhang et al., 2006).

Selon l'étude d'Awad et al. (2008), les symbiotiques permettent d'améliorer l'absorption du glucose chez le poulet. Les symbiotiques avaient produit un potentiel d'amélioration des performances de poulets traités par l'avilamycine comme stimulateur de croissance (un antibiotique) (Mohnl et al., 2007). Liong et Shah (2006) ont conclu que l'utilisation des

symbiotiques dans l'alimentation de poulets régule la concentration des acides organiques et réduit le taux de cholestérol.

**Bailey et al. (1991)** ont utilisé une combinaison de Fructooligo-saccharides et probiotique pour réduire la colonisation des salmonelles chez les poulets. La combinaison était plus efficace contrairement à l'utilisation du probiotique seul.

### 3. 4. Les phytobiotiques

Les produits végétaux ont été utilisés comme additifs dans l'alimentation pour les animaux de ferme dans les cultures anciennes. Les phytobiotiques ont été définis par **Windisch et Kroismayr (2006)** comme des produits d'origine végétale ajoutés à l'alimentation, afin d'améliorer les performances. Le mécanisme d'action de ces additifs n'est pas complètement clair. Certains extraits de plantes influencent la digestion et la sécrétion des enzymes digestives et d'ailleurs, ils représentent des antibactériens, antiviraux et antioxydants (**Cross et al., 2007**). L'activité antimicrobienne et l'amélioration du système immunitaire sont probablement les deux principaux mécanismes par lesquels les phytobiotiques exercent des effets positifs sur la croissance et la santé des animaux.

Les herbes et les extraits de plantes utilisés en alimentation (appelés aussi souvent phytobiotiques ou phytogéniques) sont définis comme des composés d'origine végétale incorporés dans les régimes alimentaires des animaux dans le but d'améliorer la productivité par l'amélioration de la digestibilité, l'absorption de l'aliment et l'élimination de pathogènes résidants dans le tube digestif des animaux (**Kamel 2001, Balunas et Kinghorn 2005, Athanasiadou et al 2007**).

D'autres termes sont utilisés pour classer la grande variété de composés d'origine végétale selon leur origine et traitement, tels que les herbes et les épices (ex : ail, anis, cannelle, coriandre, origan, piment, poivre, romarin et thym) mais aussi les huiles essentielles ou oléorésines (**Kamel 2000**). On utilise aussi une autre catégorie d'extraits de plantes issus exclusivement de fruits et incluant un groupe de polyphénols solubles dans l'eau connus sous le nom de flavonoïdes (**Lopez-Bote 2004**).

Les propriétés antioxydantes des herbes et des épices ont été bien décrites par **Craig (1999), Nakatani (2000), Lambert et al (2001), Ruberto et al (2002) et Wei et Shibamoto (2007)**. Parmi les variétés de plantes portant des constituants antioxydants, on trouve la famille des labiées

(menthes...) qui ont attiré un grand intérêt. Leurs activités antioxydatives proviennent des terpènes phénoliques (Cuppett et Hall, 1998). D'autres espèces labiées avec des propriétés antioxydatives comme le thym et l'origan contiennent une grande quantité de monoterpènes, le thymol et le carvacrol (Cuppett et Hall, 1998 ; Ruberto et al., 2002) ; les plantes riches en flavonoïdes comme par exemple le thé vert ou d'autres herbes chinoises ont aussi été décrites comme plantes ayant des propriétés antioxydantes (Nakatani 2000, Piao et al 2006 , Wei et Shibamoto 2007).

Le principal potentiel des additifs alimentaires dérivés des plantes de la famille des labiées à base de composés phénoliques pour améliorer la stabilité oxydative des produits d'origine animale a été démontré chez les poulets par plusieurs auteurs (Botsoglou et al., 2002a ; Botsoglou et al., 2003 ; Basmacioglu et al., 2004 ; Giannenas et al., 2005 ; Florou- Paneri et al., 2006 ; Steiner, 2006). La stabilité oxydative a été aussi démontrée avec d'autres produits à base de plantes (Botsoglou et al., 2004 ; Govaris et al., 2004 ; Schiavone et al., 2007).

L'utilisation d'extraits de plantes comme antioxydant n'est pas importante seulement pour la santé des animaux, mais aussi pour la stabilité oxydative de leurs produits (viandes). La complémentation de dindes à 200 mg/kg d'extrait d'origan diminue significativement la peroxydation des lipides des viandes fraîches et cuites durant le stockage réfrigéré (Botsoglou et al., 2003).

Smith-Palmer et al. (1998) ont observé une efficacité de l'extrait de cannelle, de thym et de clou de girofle contre plusieurs bactéries. La cannelle a également une action immunostimulante, que l'on peut attribuer à sa propriété d'anti-oxydante. Chez des poules pondeuses recevant 0,1 g/kg de cannelle, Lee et al. (1999) ont constaté une augmentation du taux d'anticorps dans les œufs.

Jamroz et al. (2006) ont constaté aussi que les additifs phytobiotiques (origan, 5g/kg ; thym, 1,0g/kg ; piment rouge, 1,0g/kg), possédaient un effet stimulateur intestinal (sécrétion du mucus) chez les poulets. Cet effet consisterait à compromettre l'adhérence de pathogènes et donc à contribuer à stabiliser l'équilibre microbien dans l'intestin des animaux.

Ces améliorations pourraient être dues aussi aux modifications morphologiques qui ont été observées au niveau intestinal comme la modification de la taille des villosités et des cryptes dans le jéjunum des poulets traités avec l'origan, le thym et le piment rouge (*Capsicum oleoresin*) (Jamroz et al., 2006).

**Ayachi et al., (2009)** ont étudié l'effet de quelques extraits de fruits des bois, de dattes et du thym pour lutter contre *E. coli* et les salmonelles isolées chez le poulet et caractérisés par des résistances aux antibiotiques. Ces auteurs ont conclu que seul le thym aurait une efficacité contre les salmonelles.

L'épice curcuma est issue du rhizome de *Curcuma longa*, elle est utilisée comme colorant alimentaire, mais aussi à des fins médicinales. Le composant actif est le curcumin, un composé phénolique présent à des concentrations de l'ordre de 1 à 5 % ; il possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-tumorales. Chez le poulet infecté avec *E. maxima*, des régimes complétés avec 1 % d'épice de curcuma améliorent le gain de poids, réduisent les lésions intestinales et les quantités d'oocystes excrétés. Le curcumin exercerait son effet anticoccidien par son action antioxydante sur le système immunitaire (**Allen et al., 1998**).

En plus de toutes ces implications antimicrobiennes, il y a aussi l'effet de l'amélioration de l'hygiène microbienne des carcasses et la qualité de leur conservation, grâce aux propriétés antimicrobiennes et antioxydantes des phytobiotiques (**Botsoglu et al., 2002b ; Ruberto et al., 2002, Aksit et al., 2006**). La complémentation d'extraits de plantes dans les régimes alimentaires et/ou leur utilisation sur les surfaces de carcasses diminue le degré de contamination des produits à base de volailles (**Gulmez et al., 2006**). Pour l'hygiène microbienne des carcasses, ce sont surtout les huiles extraites de plantes (origan, romarin, sauge) qui ont un effet positif (**Young et al., 2003, Govaris et al., 2007**).

**Cabuk et al. (2006)** a mesuré les paramètres de production des poulets, dont l'alimentation a été complétement par une mixture d'origan, de laurier, de sauge, d'anis, et d'huiles essentielles d'agrumes (24 mg/kg). La mixture d'huiles essentielles a significativement amélioré l'indice de conversion chez les poulets de chair, grâce apparemment à un écosystème intestinal plus performant.

**Lippens et al. (2005)** ont essayé d'évaluer l'efficacité d'une mixture composée de cannelle, d'origan, de thym, de poivre de Cayenne, d'extraits d'agrumes et une autre mixture d'extraits de plantes et d'acides organiques en comparaison avec l'avilamicine dans l'alimentation des poulets. Le groupe d'animaux complétement avec les extraits de plantes a atteint un poids corporel beaucoup plus important que les autres. Le poids corporel final a été significativement affectée par la complémentation alimentaire ( $P = 0,036$ ) avec des valeurs significativement plus élevée pour les

traitements avec les extraits de plantes additionnés d'acides organiques et la mixture (2665 vs 2654 g) par rapport à l'avilamicine (2569 g). Apparemment, l'augmentation du poids corporel a été due à l'augmentation de la consommation. Il y'a une différence significative ( $P = 0,042$ ) entre l'indice de conversion dans le groupe alimenté avec les extraits de plantes qui était de 0,4% inférieur à celui du groupe alimenté avec l'avilamicine et de 2,9% inférieur à celui du groupe alimenté avec les acides organiques.

### 3. 5. Les acides organiques

Les acides organiques ont une activité bactériostatique et bactéricide. Ils peuvent pénétrer à l'intérieur de la bactérie lorsqu'ils sont sous forme indissociée, puis une fois à l'intérieur de la bactérie, ils se dissocient et font ainsi décroître le pH intracellulaire ce qui a pour cause de stopper les réactions enzymatiques et ainsi la prolifération bactérienne (**Plumed-Ferrer et Von Wright, 2009; Thewis, 2010**).

Des acides organiques sont ajoutés à l'eau et à la nourriture de l'animal d'élevage dans le but de réduire la contamination à *Salmonella*. Optimizer™ est un supplément alimentaire développé à base d'acides organiques et de minéraux (acide lactique, acide acétique, acide propionique, acide caprylique, protéinate de cuivre, protéinate de zinc). Il est destiné chez la volaille à favoriser la consommation d'eau. Il a démontré son efficacité à augmenter la masse corporelle d'oiseaux d'élevage (**Pixley et al., 2010**), ainsi qu'à réduire la contamination à *Salmonella typhimurium* (**Menconi et al., 2013**). Menconi et al. ont testé également un nouveau mélange d'acides organiques composé d'acide citrique, acétique et propionique et ont observé la même efficacité qu'Optimizer™ à réduire la contamination à *Salmonella typhimurium* du jabot et du caecum de poulets de chair (**Menconi et al., 2013**).

**Byrd et al. (2001)** ont observé qu'en ajoutant de l'acide lactique ou de l'acide formique à l'eau à boire de volailles, il était possible de réduire significativement la contamination à *Salmonella* et à *Campylobacter* des jabots et des carcasses (**Byrd et al., 2001**). Les réductions n'ont pas été significatives avec l'ajout d'acide acétique. Les acides gras à chaîne moyenne (acide laurique, caprique, caproïque et caprylique), de 6 à 12 carbones, sont plus efficaces contre *Salmonella* que les acides gras à chaîne courte (acide butyrique, acétique et propionique), de 1 à 6 carbones (**Thewis, 2010**).

L'utilisation d'acides organiques comme additifs alimentaires offre néanmoins des résultats variables. Le mode d'administration, le type d'acide organique administré, sa concentration, le niveau de stress de l'animal sont des facteurs qui influencent l'efficacité du traitement (**Thewis, 2010**).

Certaines études ne donnent pas les résultats escomptés, certaines d'entre elles montrent même que les acides organiques peuvent favoriser la virulence de *Salmonella* ou générer des *Salmonella* résistantes aux acides (**Thewis, 2010**).

Il est possible d'améliorer l'efficacité du traitement en encapsulant les acides organiques de manière à éviter leur absorption dans la partie supérieure du tractus gastro-intestinal. On retrouve sur le marché par exemple des billes de silice contenant de l'acide formique et propionique, (**Thewis, 2010**).

L'alimentation des animaux par bouillie liquide fermentée utilise également les propriétés acidifiantes des acides organiques. La bouillie liquide est un type d'alimentation qui est composé d'un tiers de nourriture solide et de deux tiers d'eau (**Plumed-Ferrer et Von Wright, 2009**). La fermentation peut être spontanée ou induite. Elle a lieu spontanément lorsque les bactéries endogènes fermentent les sucres présents en acide lactique et en acide acétique (**Plumed-Ferrer et Von Wright, 2009**).

En effet, la présence d'acides abaisse le pH, ce qui rend le milieu hostile aux *Enterobacteriaceae* (**Plumed-Ferrer et Von Wright, 2009**). **Plumed-Ferrer et Von Wright (2009)** jugent la fermentation induite préférable à la fermentation spontanée. Il a été démontré qu'elle est bénéfique pour la santé de l'animal. En outre, elle peut améliorer la croissance, l'efficacité alimentaire et la digestibilité. Elle influe sur le tractus gastro-intestinal en abaissant le pH, en augmentant la concentration d'acide lactique et d'acides gras volatiles, en réduisant la présence d'*Enterobacteriaceae* et en modifiant le ratio vili/cryptes (**Plumed-Ferrer et Von Wright, 2009**).

### 3. 6. Les enzymes

Depuis plus de 20 ans, les enzymes exogènes sont couramment utilisées en alimentation animale et cette technologie ne cesse de croître car elle ouvre beaucoup de perspectives en matière d'alimentation animale.

Les enzymes sont des protéines catalytiques, capables d'accélérer des réactions chimiques. Elles peuvent couper les liaisons chimiques des substrats et ainsi libérer différents produits. Elles sont obtenues à partir de bactéries, de champignons et de levures (**Kiarie et al., 2013**).

Quatre raisons essentielles justifient les usages des enzymes exogènes en alimentation animale : (1) Pour inhiber l'action des facteurs antinutritionnels contenus dans les aliments et qui ont des effets délétères sur le processus de la digestion et la santé de l'animal ; (2) Pour augmenter l'accessibilité des nutriments contenus dans les aliments par les enzymes endogènes de l'animal ; (3) Pour pallier l'absence chez l'animal d'enzyme capable d'hydrolyser des liaisons chimiques particulières ; (4) Pour pallier le manque d'enzyme au niveau d'un tube digestif immature. Le plus souvent, les préparations enzymatiques employées en alimentation animale cumulent plus d'une raison.

Les enzymes exogènes utilisées pour promouvoir la croissance animale ont plusieurs modes d'action; dégrader les composés alimentaires qui ne peuvent être dégradés par les enzymes endogènes de l'animal, inactiver les facteurs anti-nutritionnels tels que les acides phytiques et pallier à une quantité éventuellement insuffisante d'enzymes endogènes (telles les amylases, protéases, lipases) (**Kiarie et al., 2013; Thacker, 2013**).

Les polysaccharides non-amylacés (PNA) sont ce qu'on appelle des fibres alimentaires. Ils composent les parois cellulaires des végétaux et se caractérisent par le fait qu'ils sont non-digestibles. On retrouve parmi eux la cellulose, l'hémicellulose, les pectines, les xylanes, les  $\beta$ -glucanes et les  $\alpha$ -galactosides (raffinose, stachyose et verbascose) (**Thacker, 2013**). Les PNA réduisent la valeur nutritionnelle des aliments, tout d'abord parce qu'ils ne peuvent être digérés par les enzymes endogènes de l'animal, il y a ainsi perte énergétique, ensuite en formant une cage (*cage effect*) autour de nutriments digestibles (amidon, graisses, protéines), ceux-ci se trouvant alors inaccessibles à l'hôte et enfin en augmentant la viscosité intestinale ce qui a un effet néfaste sur la croissance (**Thacker, 2013**).

Les enzymes ajoutées en supplément dans l'alimentation animale augmentent l'accessibilité aux nutriments, car elles sont capables de dégrader les PNA. Les « cages » formées par les PNA peuvent alors être dissoutes, les nutriments libérés et la viscosité intestinale réduite (**Kiarie et al., 2013**). La xylanase,  $\beta$ -glucanase,  $\beta$ -mannanase,  $\alpha$ -galactosidase, et pectinase sont des enzymes dégradant les PNA (**Kiarie et al., 2013**).

En outre, les enzymes modulent le microbiote intestinal de plusieurs façons (**Kiarie et al., 2013; Thacker, 2013**). Il a été démontré que l'aliment influe grandement sur la composition du microbiote intestinal, or les enzymes modifient la digestibilité de l'aliment, elles augmentent la disponibilité en nutriments. Les pressions sélectives sur le microbiote intestinal sont inévitablement modifiées (**Kiarie et al., 2013**). Les enzymes modifient également la composition du microbiote intestinal en libérant des oligosaccharides à chaîne courte, lors de la dégradation des PNA, qui agissent comme prébiotiques.

La phytase est l'enzyme la plus commercialisée, puis suivent les carbohydrases parmi lesquelles se classent les xylanases et les cellulases (**Kiarie et al., 2013**). Les phytases sont des enzymes capables d'extraire le phosphore du phytate et elles sont présentes dans les végétaux ou synthétisés par les micro-organismes, voire certains tissus animaux.

L'ajout de phytases aux régimes s'accompagne dans certaines études d'un effet positif sur la digestibilité des acides aminés dans l'intestin grêle chez les volailles, l'énergie métabolisable des régimes et sur la digestibilité du calcium alimentaire chez ces animaux. D'autres travaux n'aboutissent cependant pas à de telles conclusions.

Il est manifeste que les phytates sont capables d'interagir avec d'autres molécules comme les protéines, les cations en formant des complexes insolubles. De ce point de vue, les phytases peuvent limiter ces réactions en détruisant partiellement ou totalement l'acide phytique en inositol et ions phosphates avant la formation des complexes insolubles. D'autres travaux ont aussi montré que les phytates étaient responsables d'une augmentation des sécrétions endogènes d'acides aminés dans le tube digestif du poulet et que les phytases s'opposaient à cette perte.

Les premières phytases utilisées en pratique étaient d'origine fongique, des données montrent que les phytases bactériennes (*E. coli*) seraient plus efficaces pour extraire le phosphore des phytates, notamment grâce à leur plus grande résistance à la protéolyse leur donnant la possibilité de s'exprimer aussi dans l'intestin grêle.

### 3. 7. Les argiles

Les minéraux argileux contenant des molécules comme le silicium, l'aluminium et l'oxygène, sont formés par des couches octaédriques et tétraédriques. Ils peuvent immobiliser les matériaux toxiques dans le tube digestif en se liant avec elles (Phillips, 1999 ; Lemke et al., 2001 ; Phillips et al., 2002 ; Trckova et al., 2004 ; Vondruskova et al., 2010). Cela entraîne un ralentissement de l'activité biologique ainsi qu'une réduction de la toxicité (Owen et al., 2012). Les aflatoxines peuvent être liés aux minéraux argileux ainsi que les métaux lourds et les toxines. La composition chimique des minéraux argileux, détermine le degré d'adsorption. Toutefois, leurs ions échangeables et leurs propriétés de surface ainsi que la structure fine des particules argileuses déterminent le taux d'absorption (Vondruskova et al., 2010).

Zhou et al. (2014) ont indiqué que les argiles utilisées dans l'alimentation des volailles peuvent améliorer leurs performances lors de régimes censés contenir des mycotoxines. Il a été également rapporté que certaines argiles telles que la bentonite, la zéolite, le kaolin, la montmorillonite, l'illite, la smectite, la biotique et la clinoptilolite ont des effets bénéfiques sur la santé intestinale du poulet (Thacker, 2013). Des recherches sont en cours pour l'exploitation de l'argile comme additif dans l'alimentation des volailles pour l'amélioration de leur croissance (Safaei et al., 2014).

#### a. La capacité d'adsorption et les effets des minéraux argileux

La caractéristique commune des minéraux argileux est la capacité d'absorption déterminée par leur structure stratifiée. À l'intérieur des couches de ces argiles, la substitution de certains ions métalliques comme le silicium ou l'aluminium peut se produire entraînant une charge nette négative sur la surface de la plaquette d'argile. Ce déséquilibre de charge est compensé par les cations hydratés, principalement  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{+2}$ . Ces cations interlaminaires peuvent être échangés avec d'autres cations métalliques. En solution aqueuse, l'eau est intercalée dans l'espace interlaminaire d'argile, conduisant à une expansion de l'industrie des minéraux (Ma et Guo, 2008).

En raison de leur capacité d'absorption et l'absence de toxicité primaire, les minéraux argileux sont considérés comme un outil simple et efficace pour la prévention chimique d'une série de matériaux toxiques, non seulement dans l'environnement, mais aussi dans le corps vivant. Plusieurs études ont confirmé les propriétés de décontamination des minéraux argileux.

Ils peuvent se lier aux :

- aflatoxines (Shi et al., 2005, 2007 ; Maciel et al., 2007 ; Magnoli et al., 2008 ; Nguyen et al., 2008),
- métabolites des végétaux (Dominy et al., 2004),
- métaux lourds (Hassen et al., 2003 ; Katsumata et al., 2003 ; Lin et al., 2004 ; Xu et al., 2004 ; Yu et al., 2005, 2008 ; Abbes et al., 2007),
- toxines (Knezevich a et Tadic, 1994).

Les médicaments à base de kaolin sont utilisés pour le traitement de la diarrhée et les troubles digestifs en médecine humaine (Heimann, 1984 ; Madkour et al., 1993 ; Kasi et al., 1995 ; Knezevich a, 1998 ; Gebesh et coll., 1999 ; Narkeviciute et coll., 2002 ; Gonzalez et al., 2004). La capacité des minéraux argileux, d'adsorption des agents pathogènes et des entérotoxines au niveau des liaisons hydrogènes ou entre les feuillets, et de réduire leur nombre dans l'intestin a été démontrée in vivo (Trckova et al. 2009) et in vitro (Novakova, 1968 ; Brouillard et Rateau, 1989 ; Ramu et al., 1997 ; Hu et coll., 2002 ; Hu et Xia, 2006).

Le degré d'adsorption est déterminé par la composition chimique des minéraux argileux, les ions échangeables, les propriétés de surface (Williams et al., 2008) et la structure fine des particules d'argile (Hassen et al., 2003). Le pH, le dosage et le temps d'exposition aux argiles ce sont aussi des facteurs importants qui déterminent ce degré d'adsorption (Brouillard et Rateau, 1989).

Nakaue et Koellkier (1981) ; Ouhida et al. (2000b) ont indiqué que les argiles, plus particulièrement la sépiolite et la clinoptilolite ont une capacité de diminuer l'humidité des fientes. De plus, la sépiolite augmente le temps de rétention des aliments, diminue la viscosité du contenu intestinal et améliore légèrement la digestibilité des matières organiques (Ouhida et al., 2000). En outre, la capacité des minéraux argileux d'immobiliser les éléments antinutritionnels dans l'aliment (Albengres et coll., 1985 ; Ma et Guo, 2008), de réduire le nombre de micro-organismes pathogènes et d'inhiber l'activité des enzymes bactériens dans le digesta intestinal (Gonzalez et al., 2004 ; Xia et al. 2004, 2005 ; Trckova et al., 2009), empêche l'irritation et les dommages de la muqueuse intestinale et améliore les caractéristiques morphologiques de celle-ci (Albengres et al., 1985 ; Xia et al. 2004, 2005 ; Trckova et al., 2009).

La supplémentation d'un régime alimentaire avec 1 à 3 % d'argile est généralement recommandée. Néanmoins, les régimes alimentaires complétés par une proportion plus élevée sont également volontairement ingérés par les animaux (Castro et Elias, 1978 ; Vrzgula et al., 1982 ; Bartko et al., 1983 ; Castro et Iglesias, 1989), aucun effet indésirable sur la croissance et la performance n'est observé (Castro et Elias, 1978 ; Castro et Iglesias, 1989). De nombreuses études ont documenté des améliorations significatives du gain de poids et de la conversion alimentaire lors d'un régime alimentaire supplémenté en argile (Chen et al., 2005 ; Kolacz et al., 2005 ; Alexopoulos et al., 2007 ; Prvulovic et al., 2007 ; Trckova et al., 2009).

#### b. Les argiles modifiées

La modification des argiles, par l'ajout de  $\text{Cu}^{+2}$  peut améliorer leur activité antibactérienne (Ye et al., 2003 ; Zhou et al., 2004 ; Xia et al. 2004 ; 2005 ; Hu et Xia, 2006), qui est alors le résultat de deux mécanismes : l'un est l'attraction électrostatique qui favorise l'adhérence de *E. coli* à la surface des argiles et l'autre est la lente libération de  $\text{Cu}^{+2}$ , qui peut tuer les bactéries (Xia et al., 2004). Contrairement à la montmorillonite (MMT) non traitée qui adsorbe *E. coli* et *S. aureus* et qui n'a aucun effet bactéricide ou bactériostatique, le Cu-MMT révèle bien ces activités comme l'a montré l'étude in vitro de Hu et al. (2002).

Damiri et al. (2011) ont montré que l'addition de 2.25 à 3.00 % de la bentonite de sodium a des effets avantageux sur les performances et les caractéristiques de carcasse, par conséquent sur la productivité. De plus, certaines études ont montré que l'utilisation de la bentonite de sodium dans l'alimentation de poulets améliore leur gain de poids (Taquir et al., 2001 ; Prvulovic et al., 2008 ; Safaeikatouli et al., 2010). Aussi, Salari et al. (2006) ont indiqué que les poulets nourris des aliments supplémentés en 1 et 2 % de la bentonite sodique consomment plus d'aliment, ont un gain de poids élevé et un taux de conversion alimentaire bas. Le régime alimentaire contaminé d'aflatoxine a des effets négatifs sur les performances des volailles. La bentonite sodique comme un détoxifiant remarquable diminue l'effet indésirable de l'aflatoxine (Fairchild et al., 2008 ; Shi et al., 2009) provoquant ainsi l'amélioration de la performance (Ahsan-ul-Haq et al., 2000 ; Magnoli et al., 2007 ; Pasha et al., 2007) et diminuant les concentrations de mycotoxines dans le foie des poulets affectés (Bailey et al., 2006).

Les modifications chimiques et physiques des argiles, particulièrement les nanocomposants (**Lin et coll., 2004 ; Xu et al., 2004 ; Shi et al., 2007 ; Yu et al., 2008**), et les complexes avec les matières organiques (**Xu et al., 1997 ; Herrera et al., 2000 ; Koh et Dixon, 2001**), se caractérisent par des capacités d'adsorption élevées par rapport à celles des argiles naturelles. L'effet des minéraux argileux peuvent également être renforcés par l'ajout d'autres composants tels que le charbon de bois ou des antioxydants (**Bonna et al., 1991**).

**CHAPITRE II: L'ARGILE COMME**  
**ALTERNATIVE EN ALIMENTATION**  
**DE VOLAILLE**

---

## L'ARGILE COMME ALTERNATIVE EN ALIMENTATION DE VOLAILLE

Traditionnellement, les argiles ont été incorporées dans le régime alimentaire des animaux (10-20 g/kg) comme un additif technologique (lubrifiant ou agglomérant) afin d'améliorer la fabrication des aliments du bétail (**Angulo et al., 1995**).

En 1965, les chercheurs japonais ont indiqué que l'utilisation des argiles dans l'alimentation des volailles améliore leur performance. Dès lors, il y a eu plusieurs études sur les effets de ces silicates d'alumine (argiles) sur le rendement ainsi que sur la santé des volailles.

En effet, diverses études montrent que l'utilisation des argiles dans l'alimentation de la volaille pourrait améliorer la productivité (**Santurio, 1999; Taquir et al., 2001 ; Hesham et al., 2004; Miles et Henry, 2007**). Le mécanisme par lequel les argiles améliorent les performances de la volaille n'est pas suffisamment claire. La capacité d'échange cationique et les propriétés d'absorption de ces minéraux argileux, sans grand changement dans leur structure, causent à accroître l'efficacité alimentaire de la volaille (**Shariatmadari, 2008**). Outre, les propriétés ci-dessus, **Pond (1995)** a indiqué que les effets physiologiques des zéolites semblent reliés à leur haute capacité d'échange cationique qui affecte l'absorption tissulaire.

Le but de ce chapitre est de mettre l'accent sur les diverses argiles qui ont été prises en compte dans les recherches récentes et de discuter autour de leur potentiel d'améliorer les performances de croissance, la digestibilité, le rendement de carcasse, de réduire les effets néfastes des mycotoxines et d'améliorer l'environnement et la qualité de volaille.

## 1. Informations générales sur les argiles (Silicates d'alumine)

### 1.1. Structure

La définition du mot « ARGILES » prête à confusion, car chaque domaine lui donne une signification spécifique qui lui est particulière :

- En géologie, les argiles se définissent comme étant des roches caractérisées par un toucher assez doux à l'état sec, une malléabilité à l'état humide, et une affinité pour l'eau se traduisant par le fait que le matériau sec happe à la langue.
- En agronomie, génie civil et en physique, il s'agit d'une définition purement granulométrique, le terme désignant l'ensemble des particules minérales ayant une taille inférieure à deux microns. Or cette définition inclut, outre le minéral argileux proprement dit, des débris de quartz très fins (un à deux microns), de la silice plus ou moins hydratée, des oxydes de fer et d'alumine colloïdaux et des cristaux de calcaire très fins. Pour le *physicien*, il s'agit d'un composé dont l'essentiel des propriétés est d'origine physicochimique.
- Mais en pharmacie et en médecine, l'approche est avant tout chimique : les argiles sont des **silicates simples ou complexes d'aluminium, de magnésium et de fer**. Il y a une grande variété d'argiles qui diffèrent par leur structure moléculaire cristalline et leur composition chimique.

La dénomination des différentes espèces minérales argileuses a longtemps prêté à confusion aussi, car elle était attribuée de façon aléatoire selon un lieu d'extraction particulier, ou une application technique particulière.

A titre d'exemple :

- La KAOLINITE (roche KAOLIN) vient du mot chinois Gaoling, "Collines hautes", nom d'une colline argileuse située à Jingdezhen, dans la province de Jiangxi en Chine, où fut découverte la fabrication de la porcelaine, dont cette espèce minérale est la matière première.
- L'ILLITE doit son nom à la région de l'Illinois, aux Etats-Unis.
- La MONTMORILLONITE le doit à la ville de Montmorillon, en France, où en furent découverts les premiers gisements.

L'argile est un matériau fin, dont les constituants sont invisibles à l'oeil nu et à la loupe, et très difficiles à distinguer au microscope optique. De délicates observations au microscope polarisant ont permis les premières observations, mais la différenciation des espèces minérales ne put se faire qu'avec la technique de diffraction des rayons X. En faisant traverser une couche mince du minéral par un faisceau de rayons X qui arrivent sous une incidence variable, on enregistre les angles de diffraction qui correspondent aux espaces interréticulaires, c'est-à-dire à la dimension de la **maille moléculaire (feuillelet + espace interfoliaire)**.

La plupart du temps, les différentes variétés ne se trouvent pas pures dans la nature, mais en mélange entre elles, et associées à du sable, du calcaire (carbonate de calcium cristallisé sous forme de calcite), de la dolomie (carbonate de calcium et de magnésium), des éléments trace, etc. Un échantillon recueilli dans son gisement peut contenir +23% de sable, 13% de calcaire, 9% d'hydroxyde de fer et 55% d'une fraction argileuse vraie, cette dernière étant composée de 1/3 de kaolinite, 1/3 d'illite et 1/3 d'interstratifiés divers.

La structure de l'argile est, en quelque sorte, équivalente au code génétique des espèces biologiques. Selon la nature (structure, organisation et composition) des feuillettes, la charge interfoliaire et la composition des éléments interfoliaires, les minéraux argileux sont classés en différentes espèces, ayant chacune différentes caractéristiques et propriétés (**Brindley et Brown, 1984**).

## 1.2. Classification

Les principaux critères de classification des argiles sont basés sur : (1) la structure et la combinaison des couches ; (2) le type de cations octaédriques ; (3) la charge de la couche interfoliaire; (4) la nature des éléments dans l'espace interfoliaire (cations, molécules d'eau). Des critères additionnels peuvent aussi être considérés comme : (5) le polytypisme (ou mode d'empilement), (6) la composition chimique, (7) le type de couches et la nature des empilements dans les familles interstratifiées régulières ou désordonnées.

Trois grands types d'argile sont distingués selon: le nombre de couches octaédriques et tétraédriques dans le feuillet unité, la distance ( $d_{001}$ ) entre deux feuillettes de base en conditions normales, et la variabilité de la distance ( $d_{001}$ ) après divers traitements (**Figure 01**)

- Les minéraux de type 1:1 (ou T-O) dont le feuillet comprend une couche tétraédrique et une couche octaédrique, correspondent au groupe de la kaolinite. Si l'espace interfoliaire est vide, cas de la kaolinite par exemple,  $d_{001} = 0,71$  nm; avec de l'eau dans l'espace interfoliaire, cas de l'halloysite,  $d_{001} = 1,01$  nm.
- Les minéraux de type 2:1 (ou T-O-T) dont le feuillet comprend une couche octaédrique entre deux couches tétraédriques, correspondent aux groupes des smectites, vermiculites et illites ;  $d_{001}$  varie de 0,93 à 1,5 nm. Si l'espace interfoliaire est vide, cas de la pyrophyllite par exemple,  $d_{001} = 0,93$  nm ; s'il contient des cations (de type K, Na, Ca, etc), cas de l'illite,  $d_{001} = 1$  nm; et avec des cations très hydratés, cas des vermiculites et smectites,  $d_{001} = 1,5$  nm.
- Les minéraux de type 2:1:1 (ou T-O-T-O) dont le feuillet comprend une couche octaédrique entre deux couches tétraédriques et dont l'espace interfoliaire est rempli par une couche octaédrique, correspondent au groupe des chlorites ;  $d_{001} =$  environ 1,4 nm.

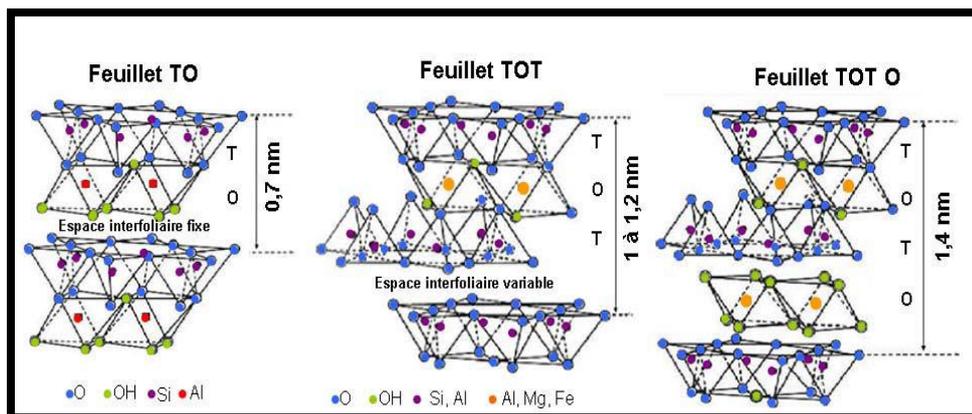


Figure 01. Représentation schématique des structures en feuillets des argiles (Rautureau et al., 2004).

### 1.3. Caractéristiques physico-chimiques

Les argiles ne sont pas de la terre, mais une roche fractionnée en milliards de particules extrêmement petites et de formes planes, de l'ordre du micron dans leur longueur, et mesurant quelques nanomètres dans leur épaisseur. Chaque particule, appelée « cristallite », est constituée d'un empilement de très nombreuses lamelles ou feuillets - d'où le nom de phyllite - à la manière d'un cahier ou d'une pile d'assiettes. Chaque feuillet est constitué à son tour par deux à quatre couches planes, dont la succession se répète toujours à l'identique pour chaque espèce argileuse : couches de tétraèdres à coeur de silice et couches d'octaèdres à coeur d'alumine. A l'intérieur d'une

couche, les atomes sont liés entre eux par des transferts d'électrons d'un atome à son voisin, principalement par l'intermédiaire de groupements  $O^{2-}$  et  $OH^-$ . Deux catégories distinctes d'argiles sont utilisées en thérapeutique. Les phyllites proprement dites, et les pseudo-phyllites, dont les feuillets sont intercalés en bandes alternées, créant ainsi des espaces tubulaires qui augmentent de façon considérable la surface spécifique du matériau et ses capacités d'absorption et d'adsorption (sépiolites et attapulgites actuellement dénommées palygorskites). Ces espèces minérales ont de nombreuses applications dans l'industrie.

L'intérêt des argiles en thérapeutique est lié à leur pouvoir couvrant et à leurs propriétés de surface et réactivité qui leur confèrent des propriétés d'adsorption, chélation et capture des particules externes, ainsi qu'à leur capacité d'absorption, aux propriétés spécifiques des silicates et des alumines qui les composent, et à celles de leurs ions de compensation.

- L'**absorption** est la propriété que présentent les solides et les liquides de retenir certaines substances (gaz ou liquides) dans la totalité de leur volume (comme dans une éponge). Remplissage passif d'un corps poreux, capillarité.
- L'**adsorption** est un phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides (**adsorbats**) se fixent sur une surface solide (**adsorbant**) selon divers processus plus ou moins intenses. Un atome adsorbé est un **adatome**. Ce phénomène a une très grande importance dans l'évolution de nombreuses réactions chimiques. Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, notamment sous l'action de l'élévation de la température, ou de la baisse de pression, se nomme la désorption.

#### a. Ionisation

Des substitutions d'atomes, par exemple des substitutions d'aluminium par du fer ou du magnésium dans les couches octaédriques, ou des substitutions de silicium dans les couches tétraédriques, surviennent dans ces minéraux au cours de leur formation. Lorsque ces substitutions ne sont pas homovalentes, c'est-à-dire lorsque les ions de remplacement n'ont pas la même charge électrique, par exemple lorsqu'un  $Mg^{2+}$  en position octaédrique est remplacé par un  $Al^{3+}$  cela va créer un défaut de charge à l'intérieur des feuillets, attirant dans l'espace entre deux feuillets successifs des **ions de compensation** qui, selon les différentes espèces argileuses, seront plus ou moins facilement échangeables avec le milieu extérieur. Des substitutions pourraient également survenir au niveau des oxygènes, remplacés parfois par des ions fluor. Il est important de savoir si

les substitutions hétérovalentes se situent dans la couche tétraédrique ou dans la couche octaédrique (la force exercée par le défaut de charge diffèrera).

Les silicates d'alumine étant porteurs de charges majoritairement négatives, leur ionisation est mesurée indirectement par la **Capacité d'Echange Cationique** (C.E.C.), très variable d'une espèce minérale à une autre :

- CEC de 1 à 10 mEq/100 grammes pour une kaolinite,
- CEC de 10 à 40 mEq/100 grammes pour une illite,
- CEC de 80 à 150 mEq/100 grammes pour une smectite.

### **b. Surface spécifique**

La surface spécifique des silicates d'alumine hydratés est considérable. En effet, en milieu liquide les particules d'argile ne s'entassent pas en conglomérats, mais s'étalent sous forme d'un film continu. Les éléments glissent les uns sur les autres comme les tuiles d'un toit, d'où la plasticité, et s'imbriquent sans laisser d'espace libre, selon les lois de l'encombrement stérique : ainsi un gramme de poudre de smectite naturelle, telle qu'elle sort du lieu d'extraction, peut-il recouvrir cent mètres carrés.

En conséquence, une suspension de silicates d'alumine va former sur la paroi digestive un gel adhérent et durable. Trois grammes contenus dans un sachet pharmaceutique de cette argile peuvent aisément couvrir l'ensemble de la zone de l'intestin grêle où les particules alimentaires sont absorbées par la muqueuse, estimée à deux cents mètres carrés en tenant compte des villosités et des microvillosités.

### **c. Adhérence et capacité de fixation**

Lorsque les feuillets d'argile se fixent sur un support, l'adhérence qui en résulte est efficace. Les forces mises en jeu peuvent être de différents types, dont :

- simples attractions de type Van Der Waals ;
- fixation par le biais des ions compensateurs ;
- charges des faces latérales des feuillets.

Ces propriétés d'**adhérence** permettent à l'argile de recouvrir en continu la surface exposée, à la manière d'un pansement protecteur, et/ou d'enrober plus ou moins complètement un petit ensemble bien différencié mobile ou fixé telle une bactérie, et de l'inhiber en l'isolant du milieu, ce qui limite

considérablement son action. A la surface extérieure des argiles, il faut ajouter la **surface intérieure** des particules, car les argiles vont piéger des éléments du milieu à différents endroits :

- au coeur des feuillets des ions simples,
- entre les feuillets des molécules plates ou petites, telles que la toxine hémolytique et la toxine cytotoxique du staphylocoque,
- à la périphérie des feuillets des macromolécules.

#### d. Cavités hexagonales

En surface des argiles, l'arrangement des oxygènes des tétraèdres conduit à la formation de cavités de forme hexagonale, zones basales vides d'électrons, qui ont une importance notable car elles facilitent l'interaction avec des molécules ou des ions extérieurs. Ces derniers peuvent venir s'y encastrer de façon parfois irréversible. La superposition des cavités hexagonales des feuillets crée un couloir électrostatique, dont le rôle est peut-être déterminant en thérapeutique.

#### e. Echanges d'eau

La réactivité des argiles en milieu aqueux est aussi corrélée à la capacité d'échange d'eau. Celle-ci est plus ou moins étroitement liée à la structure :

- eau libre entre les particules (macroporosité, capillarité, **eau dite hygroscopique**),
- eau captée entre les différents feuillets par les ions de compensation (nanoporosité, **eau dite d'hydratation**), et qui permet l'écartement de ces mêmes feuillets ou « gonflement »,
- eau intégrée à la structure même des feuillets (hydroxyles, **eau dite de constitution ou de cristallisation**), qui ne sera libérée que lorsque ceux-ci seront détruits, par une trop forte cuisson, par exemple.

Grâce à leurs propriétés d'absorption, les argiles sont capables de capter les liquides environnants. Dans les sols, les particules d'argile servent de banque d'eau, la captant lorsqu'elle est abondante, la relarguant lorsque le milieu s'assèche. S'équilibrant avec le milieu, les argiles servent également de banque de minéraux pour les plantes, les livrant à celles-ci en fonction de leurs besoins : sans argiles, un sol ne pourrait produire. Ce sont elles qui déterminent en grande partie sa porosité, le liant lorsqu'il est acide, le dispersant lorsqu'il est basique.

## f. Composition chimique

Actuellement, les chercheurs s'intéressent tout particulièrement aux échanges de macro et micro éléments véhiculés par les argiles.

Des recherches portent aussi sur le rôle des argiles en tant que condensateurs énergétiques, car les charges portées par les feuillets superposés sont très proches mais ne se touchent pas. Il semblerait que les silicates d'alumine agissent à la manière des enzymes, orientant les molécules, facilitant leurs rencontres tout en leur imposant une forme en « 3D » particulière (stéréochimie), dans un rôle de biocatalyseurs.

## 2. Aperçu sur les objectifs d'utilisation des argiles chez la volaille (poulet de chair)

### 2.1. L'amélioration des performances de croissance

En **1965**, des chercheurs japonais ont rapporté que l'utilisation de silicates minéraux dans l'alimentation de la volaille améliore leurs performances. Depuis, il y a eu plusieurs études concernant les effets de ces silicates minéraux sur la performance ainsi que sur la santé de la volaille. Le Kaolin, la bentonite et la zéolite sont les silicates minéraux les plus utilisés dans l'alimentation de la volaille (**Safaeikatouli et al., 2012**).

La stratégie d'utilisation des argiles pour améliorer les performances de volailles a suscité une attention considérable dans la recherche. De nombreuses études ont documenté une amélioration significative des performances des animaux nourris avec des aliments supplémentés en argiles.

Le potentiel des performances de croissance représente un index important dans la recherche. Certaines études montrent que l'utilisation de minéraux silicatés dans les régimes alimentaires des poulets de chair permettrait d'améliorer leur gain de poids (**Tauqir et Nawaz, 2001; Prvulovic et al., 2006**). Différentes recherches (**Elliot et Edwards, 1991; Hesham et al., 2004 ; Pasha et al., 2008**) ont montré que l'utilisation de ces minéraux entraîne une diminution de l'indice de consommation.

L'utilisation d'argiles comme le kaolin, agissant comme matière inerte dans l'alimentation animale, a été très commun en élevage de poulets de chair et de poules pondeuses (**Safaeikatouli et al., 2011**).

Les études utilisant le kaolin dans l'alimentation des volailles à concentration plus élevée que son utilisation dans la forme inerte, visant à améliorer la digestion et l'absorption des nutriments, qui ont montré une amélioration, compte tenu de l'application de cette substance est de promouvoir la réduction des toxines qui causent des blessures à l'épithélium intestinal, par l'absorption et l'excrétion de l'agent pathogène afin de protéger la muqueuse intestinale, d'où l'amélioration de la performance de la volaille (**Trckova et al., 2004 ; Owen et al., 2012**).

L'addition du kaolin à l'alimentation de la volaille jusqu'à 30 g/kg n'a pas d'effet néfaste sur la croissance. Il a été observé que les poulets nourris avec des aliments supplémentés en 10 -30 g/kg du kaolin consommaient moins lorsqu'ils sont comparés au groupe témoin. Cela a été reflété dans le rapport entre l'efficacité de l'alimentation même si le gain de poids similaire a été signalé dans les groupes traités et le groupe témoin.

**Ousterhout (1967)** rapportée par **Ouachem (1997)**, et plusieurs autres chercheurs ont rapporté que les argiles kaoliniques peuvent être utilisées avantageusement dans l'alimentation de volailles.

En effet, il a été signalé que l'aliment contenant le kaolin favorise l'augmentation de gain de poids et l'amélioration de l'efficacité alimentaire (**Mumpton, 1999**) et réduit les effets néfastes des régimes alimentaires contaminés par les mycotoxines (**Tauqir et Nawaz, 2001**). Le kaolin protège également la muqueuse intestinale, en adhérant à l'agent pathogène de façon sélective (**Droy-lefain et al., 1985**).

D'après l'étude **d'Owen et al. (2012)**, il y a une indication que l'addition du kaolin comme additif dans l'alimentation de volaille peut améliorer l'efficacité alimentaire à tous les niveaux de l'inclusion (1% ; 2% ; 3%) par rapport au témoin. Il est donc conclu que le kaolin avait des effets bénéfiques sur la croissance des poulets.

**Lemos et al. (2015)** ont démontré que la consommation alimentaire a été réduite de façon significative ( $P < 0,05$ ) après l'ajout de kaolin dans l'alimentation pendant la période de 15 à 21 jours d'âge et de 22 à 34 jours d'âge. La prise de l'alimentation la plus faible a été observée après l'ajout de 1,5 % de kaolin dans la période de 15 à 21 jours d'âge. De plus, Le gain de poids a augmenté de façon significative ( $P < 0,05$ ) après l'ajout de kaolin durant toutes les périodes analysées. Concernant le paramètre de l'indice de consommation, une amélioration significative ( $P < 0,05$ ) a été remarquée après l'ajout de kaolin dans l'alimentation au cours des périodes de 15 à 21 jours d'âge et de 34 à 52 jours d'âge par rapport au témoin, les traitements (0,75% ; 1,5%) qui ne

diffèrent l'une de l'autre ( $P > 0,05$ ). Tandis que, au cours de la période de 22 à 34 jours d'âge aucun effets amélioratifs de l'ajout de kaolin ( $P > 0,05$ ) ont été observés sur l'indice de consommation.

L'utilisation de l'argile bentonite comme additif alimentaire dans la fabrication des aliments du bétail et de volaille n'est pas nouvelle. Depuis de nombreuses années, la bentonite a été utilisée comme liant dans l'industrie des aliments (**Grosicki, 2008**).

Les argiles bentonites compactées avec de fortes propriétés colloïdales qui absorbent l'eau rapidement entraînent un gonflement et une augmentation de leur volume, donnant naissance à une substance gélatineuse thixotrope (**Pasha et al., 2008**). La bentonite est en réalité un mélange de minéraux de montmorillonite avec groupe déférent de cations (**Huntington et al., 1977 ; Walz et al., 1998**).

Des études précédentes ont montré que l'alimentation de volaille supplémentée avec l'argile bentonite peut améliorer les performances de croissance et la digestibilité des nutriments chez les poulets de chair (**Southern et al., 1994 ; Santurio et al., 1999**). De même, la bentonite comme additif alimentaire a été utilisée avec succès dans l'alimentation des volailles sans effets nocifs (**Prvulovic et al., 2008 ; Safaeikatouli et al., 2010**).

En effet, des chercheurs avaient trouvé que l'addition de la bentonite à l'alimentation de poulets a un effet significatif sur leur gain de poids (**Grosicki et al., 2004 ; Salari et al., 2006 ; Pasha et al., 2008**).

Une diminution de l'indice de consommation avec l'ajout de 2%, 3% et 4 % de SB à l'alimentation a été rapportée chez les poussins (**Taquoir et Nawaz, 2001**). D'après le travail de **Khanedar et al. (2012)**, leurs résultats n'ont montré aucune différence significative entre les groupes expérimentaux pendant les deux phases démarrage et croissance, mais la quantité d'aliment consommée a diminué, et l'indice de consommation a été amélioré par l'ajout de 1 % de bentonite durant la phase finition et au cours du cycle total d'élevage ( $P < 0,05$ ). La tendance déprimante dans la consommation était en conformité avec les résultats de **Seller et al. (1980) et Petkova et al. (1982)**. Plus de résultats souhaitables par l'addition de faibles niveaux de SB (3 % et moins) pourraient être attribuables à une augmentation de la durée de rétention du bol alimentaire dans l'intestin et une utilisation plus efficace des nutriments.

Par ailleurs, certaines études ont montré que l'utilisation de la bentonite de sodium dans les régimes alimentaires de poulets permettrait d'améliorer leur gain de poids (**Tauqir et al., 2001 ; Prvulovic et al., 2008 ; Safaei et al., 2010**).

Les résultats de l'étude de **Tauqir et al (2001)** ont montré que l'addition de 1% ; 2% et 3 % de bentonite de sodium (SB) améliore significativement ( $P < 0,05$ ) le gain de poids, l'efficacité de l'alimentation et le poids final de poulets, mais l'ajout de 4 % SB les diminue. Ces résultats sont en accord avec d'autres rapports de **Kermanshahi et al. (2009)**.

**Damiri et al. (2012)** ont mené une expérience dans la quelle les poulets sont nourris avec des aliments supplémentés en différents niveaux de la bentonite sodique. Ils ont signalé que l'addition de 2,25 - 3% SB pourrait améliorer les performances de croissance.

Les zéolites sont des aluminosilicates avec propriétés physico-chimiques tels que la capacité d'échange d'ions, l'absorption, la diffusion, la déshydratation, la déshydratation réversible et la catalyse qui encouragent l'utilisation de ces produits dans l'alimentation des animaux (**Bish et Ming, 2001 ; Eleroğlu et Yalçin, 2005**).

Les zéolites sont des aluminosilicates hydratées, cristallines, composées de trois dimensions des réseaux de  $\text{SiO}_4^{4-}$  et de  $\text{AlO}_4^{5-}$  tétraèdres, liés par le partage d'atomes d'oxygène (**Papaioannou et al., 2005**).

Parmi leurs nombreuses propriétés mentionnées au-dessus, il y a deux qui se rapportent à leur efficacité dans l'alimentation animale : leur capacité à perdre et gagner de l'eau de façon réversible et la capacité d'échanger des cations constituantes sans grand changement au niveau de leur structure (**Mumpton et Fishman, 1977 ; Chariatmadari, 2008**).

La base de l'intérêt pour les effets biologiques des zéolites concerne un ou plusieurs de leurs propriétés chimiques et physiques, tels que la capacité d'échange ionique, et les propriétés d'adsorption (**Papaioannou et al., 2002**).

Il a été signalé que les zéolites contiennent beaucoup de macro et d'oligo-éléments qui sont essentiels pour la croissance des animaux aquatiques, du bétail et de la volaille. Ces éléments à l'état ionique peuvent être libérés dans l'organisme des animaux pour améliorer leur état de santé et leurs performances (**Wu et al., 2013a**). De plus, les toxines, les métaux lourds et les

radicaux libres peuvent être adsorbés et excrétés des organes d'animaux par les zéolites (**Wu et al., 2013b**).

Il existe des rapports contradictoires dans la littérature sur les effets de la zéolite sur les performances de croissance des poulets. **Wu et al. (2013b)** ont signalé que les effets de la zéolite naturelle (de la clinoptilolite) sur les performances de croissance des poulets étaient négligeables.

Cependant, **Elliot et Edwards (1991)** ont montré que l'addition de la zéolite naturelle améliore l'indice de conversion alimentaire. Outre, il a été signalé que le ratio de conversion alimentaire a été amélioré par l'ajout des argiles aux régimes contenant des aflatoxines (**Ledoux et al. 1999 ; Shi et al., 2009**).

**Acosta et al. (2005)** ont indiqué que l'ajout de 1 % de la zéolite dans les régimes alimentaires a diminué l'ingestion de nourriture.

**Ly et al. (2007)** ont rapporté que la supplémentation de la zéolite dans l'alimentation a entraîné une augmentation du poids corporel et une amélioration de l'indice de conversion alimentaire des animaux.

**Pasha et al. (2008)** et **SafaeiKatouli et al. (2010)** ont montré que la zéolite naturelle améliore l'indice de consommation. De même, **Oguz et Kurtoglu (2000)** et **Shi et al. (2009)** ont rapporté une amélioration de l'indice de consommation par l'ajout de minéraux silicatés.

**Mallek et al. (2012)** ont constaté que la supplémentation de l'alimentation de poulets en zéolite a eu un effet positif sur leurs performances, les paramètres organoleptiques et principalement l'augmentation de taux de l'acide gras d'Omega 3.

D'après une étude de **NIKOLAKAKIS et al. (2013)**, en comparaison avec le lot témoin, les rations contenant 2 % et 3 % de zéolite ont montré une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) augmentation du gain de poids et une amélioration significative de l'indice de consommation pour la période totale d'élevage.

Selon les résultats de l'étude de **Zhou et al. (2014)**, il a été indiqué que la supplémentation en zéolite-attapulгите (ZA) (2%) pourrait améliorer la performance de poulets par l'augmentation du gain de poids et l'ingéré alimentaire.

Il est conclu que la zéolite a largement été ajoutée à la nourriture des poulets pour améliorer leurs performances de croissance et leur santé, réduire les résidus de produits toxiques et aussi les coûts de production, d'après la description ci-dessus.

La Clinoptilolite est un minéral dérivé de l'aluminosilicate hydraté qui contient des ions métalliques tels que le Ca, K, Na et Mg. Les clinoptilolites peuvent échanger leurs ions de façon sélective et propre pour des ions du milieu (**Boranic, 2000 ; Melenová et al., 2003**). Une étude de **Suchy et al. (2006)** a montré que l'addition de la clinoptilolite à un niveau de 1 % et 2 % a un effet bénéfique sur le gain de poids des poulets. L'effet principal de ce produit aux deux niveaux de supplémentation (1 % et 2 %) a été détecté chez les poulets à l'âge de 40 jours. Sur la base de leurs résultats, l'utilisation de la clinoptilolite peut être recommandée. Cependant, le dosage de cet additif dans les régimes alimentaires doit être ajusté à l'égard de l'âge des poulets. Les résultats de cette expérience ont confirmé que le niveau d'addition de la clinoptilolite peut être augmenté avec l'âge des poulets où les doses élevées de la clinoptilolite (2 %) chez les jeunes poulets (jusqu'à 30 jours) peut avoir un effet suppressif et réduire les performances des poulets de chair. Cette conclusion est également suivie par le haut indice de consommation chez le groupe expérimental supplémenté en (2 %) durant la période entre 12 et 30 jours. A la fin de l'expérience, c'est-à-dire entre 31 et 40 jours, l'addition de 2 % de la clinoptilolite n'a eu aucun effet sur l'indice de consommation mais ont montré un effet très bénéfique sur le gain de poids chez les poulets.

**Parizadian et al. (2013)**, lors de l'évaluation de l'inclusion de l'argile (de la clinoptilolite) dans le régime alimentaire des poulets (1,5 % et 3 %) ils ont également observé une amélioration significative de l'indice de conversion par rapport au témoin (sans inclusion d'argile dans l'alimentation).

Selon le rapport du panel de **l'EFSA (2013)** sur les additifs et les produits ou les substances utilisées en alimentation animale, plus de 20 études sur les poulets de chair, les poules pondeuses, les porcs et les lapins indiquent que la sépiolite peut être utilisée jusqu'à 2 % sans effets indésirables chez ces espèces. La sépiolite peut remplacer les facteurs de croissance chez la volaille (**Tortuero et al., 1992 ; Galan, 1996 ; Viseras et al., 1999**).

La sépiolite, un silicate de magnésium hydraté appartenant à la famille de phyllosilicate. En raison de sa structure moléculaire, la sépiolite a une grande capacité d'adsorption.

L'utilisation de sépiolite dans l'alimentation des animaux est fondée sur sa surface miroir (structure), et son transfert de cations. En outre, il a été montré que la sépiolite a un effet positif sur les performances en ralentissant le passage d'aliments dans le tube digestif.

**Ouhida et al. (2000b)** ont signalé que la supplémentation du régime avec 2 % de sépiolite pourrait accroître les performances des jeunes poulets. Dans leur étude, le gain de poids a été augmenté de 6 %.

**Ayed et al. (2008)** ont montré que l'incorporation de sépiolite (0,5 % ; 1% ; 2%) dans l'alimentation de poulets améliore les performances de croissance et l'efficacité alimentaire. Bien que, les relations des gains de poids et des indices de consommation avec le pourcentage de sépiolite incorporé dans la ration semblent linéaires, de meilleures performances ont été obtenues dans les périodes de démarrage et de croissance. L'ajout d'une dose de 2 % semble donner les meilleurs résultats.

Les résultats de l'étude **d'Eser et al. (2012)** indiquent que l'addition de sépiolite dans le régime alimentaire de poulets améliore leur gain de poids. L'amélioration de la performance la plus élevée est remarquée avec le régime alimentaire supplémenté avec 1 % de sépiolite durant la période de démarrage.

La montmorillonite (MMT), un aluminosilicate de l'argile, a une structure de couche 2:1. La couche intérieure est composée d'une feuille octaédrique, qui est situé entre SiO<sub>4</sub> feuilles tétraédrique. Le remplacement d'Al<sub>3</sub> pour Si<sub>4</sub> dans la couche tétraédrique et Mg<sub>2</sub> ou Zn<sub>2</sub> pour Al<sub>3</sub> dans la couche octaédrique entraîne une charge nette négative sur la terre battue. Ce déséquilibre de charge est compensée par les cations hydratées intercalaires, la principale étant la Na et Ca<sup>2+</sup>. En raison de ces caractéristiques structurelles, le MMT a des propriétés physico-chimiques telles que la grande surface d'échange, d'absorption forte et puissante, une haute stabilité structurelle, une inertie chimique, et une forte capacité de former des suspensions stables à de faibles concentrations (**Borchardt et al., 1989**).

L'alimentation animale contenant de MMT a montré une amélioration de la prise de poids et de l'efficacité alimentaire, l'addition de MMT permet aussi de réduire les effets néfastes des régimes alimentaires contaminés par les mycotoxines (**Schell et al., 1993 ; Slamova et al., 2011**). Au cours des dernières années, la MMT est utilisée comme opérateur pour la modulation de l'administration

de médicaments, en raison de sa grande superficie, sa forte capacité d'adsorption, sa haute capacité d'échange cationique, et sa capacité de l'adhésion (**Hu et al., 2013**).

D'après la connaissance de **Xia et al. (2004)**, il n'existe pas de données sur les effets des aliments contenant Cu-MMT sur les performances de poulets. Par conséquent, leur expérience a été réalisée pour étudier les effets de Cu-MMT sur les performances de croissance, la microflore intestinale, les activités des enzymes digestives de pancréas et le contenu intestinal et la morphologie intestinale de poulets. Les résultats de leur expérience ont montré que la supplémentation de régime avec Cu-MMT a considérablement amélioré les performances de croissance comparativement au régime témoin, et que les poulets nourris avec Cu-MMT (1,5 g/kg) avaient un gain moyen quotidien élevé que ceux nourris avec le MMT ou CuSO<sub>4</sub>. Dans cette étude, les poulets nourris avec MMT avaient un peu plus de gain de poids et une réduction de l'indice de consommation comparativement au témoin bien que la différence n'était pas significative. La raison de l'absence d'effet de l'addition de MMT dans l'aliment de poulets sur leurs performances de croissance dans cette étude peut être parce que la concentration du MMT (1,5 g/kg) n'était pas suffisante.

## 2.2. L'amélioration de la digestibilité des éléments nutritifs

Les mécanismes d'action des argiles sur les performances de volaille ne sont pas suffisamment clairs. Il y a eu diverses études et des raisons différentes ont été rapportées à ce sujet (**Safaeikatouli et al., 2012**).

Certains chercheurs ont suggéré que les minéraux argileux en stimulant le tractus gastro-intestinal peuvent améliorer la digestibilité des nutriments ainsi que les performances. En effet, les propriétés d'absorption et d'échange de cations de ces minéraux sans changement majeur dans leur structure causent l'augmentation de l'efficacité alimentaire (**Chariatmadari, 2008**).

En effet, selon les travaux de **Pond et Yen (1983)** et de **Jain (1999)** cités par **Eleroglu et al. (2011)**, il a été rapporté que les zéolites ont des fonctionnalités de liaisons cationiques qui pourraient protéger les animaux de l'accumulation de matières toxiques au niveau des tissus et influencer sur l'utilisation de Ca et P (**Leach et al., 1990 ; Watkins et Southern, 1991 ; Frost et al., 1992**). Des effets bénéfiques peuvent aussi être attribuées à la teneur en Si, Al ou en Na

contenant dans les zéolites parce qu'il a été établi que ces minéraux peuvent influencer le métabolisme de Ca (**Edwards, 1987 ; Öztürk et al., 1998**).

Là où des améliorations des performances de volaille ont été constatées, une des explications les plus probables pour l'amélioration des performances est le fait que la supplémentation de leurs rations alimentaires en argile a été montrée pour augmenter la digestibilité des éléments nutritifs (**Cabezas et al., 1991 ; Paolo et al., 1999 ; Ouhida et al., 2000a ; Alzueta et al., 2002**).

A partir de plusieurs études anciennes (**Mumpton et Fishman, 1977**) cité par **Safaeikatouli et al. (2012)**, il a été suggéré que la zéolite peut augmenter la digestibilité des aliments ainsi que les performances de poulets.

**Southern et al. (1994) ; Santurio et al. (1999)** ont également montré que l'alimentation supplémentée avec la bentonite peut améliorer les performances de croissance et la digestibilité des nutriments chez les poulets. De plus, récemment, **Pasha et al. (2008)** ont signalé que les poulets nourris de rations contenant la bentonite de sodium traitées soit par 0,5 % ou par 1,0 % d'acide acétique avaient sensiblement augmenté le coefficient d'efficacité protéique et la digestibilité des protéines par rapport au témoin.

**Safaeikatouli et al. (2012)** ont également signalé que l'ajout de 3% du kaolin et de zéolite à l'aliment de poulets améliore significativement la digestibilité de l'énergie et de protéines ainsi que le coefficient d'efficacité protéique.

Où l'amélioration de la digestibilité des éléments nutritifs a été observée, plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer cette amélioration. Tout d'abord, il a été rapporté que les argiles réduisent la vitesse de passage des aliments dans le tube digestif (le taux de transit de digesta réduit) (**Castaing, 1989 et Angulo et al., 1995**) qui donnerait plus de temps pour la digestion des aliments, ce qui cause ainsi l'amélioration de la digestibilité chez la volaille. D'après les travaux de **Damiri et al. (2010)**, la bentonite peut ralentir le taux de passage d'alimentation pour une meilleure utilisation des éléments nutritifs. Dans d'autre expérience (**Damiri et al., 2012**), les mêmes chercheurs ont montré que l'addition de faibles niveaux de bentonite de sodium (3% et moins) pourrait être attribuable à une augmentation de la durée de rétention du bol alimentaire dans l'intestin et d'utilisation des nutriments.

Deuxièmement, certains auteurs ont indiqué que l'amélioration des performances de croissance avec l'utilisation de sépiolite peut s'expliquer que cette argile peut augmenter le temps de

rétenion de digesta et cette augmentation peut permettre à l'activité des enzymes endogènes d'être plus efficace pour la digestion des graisses, des protéines et des glucides et améliorer leur absorption (Tortuero et al., 1992 ; Ouhida et al., 2000 ; Alzueta et al., 2002). Dans une expérience ultérieure, Parizadian et al. (2013), ces auteurs aussi ont indiqué que l'ajout d'argile (clinoptilolite) à l'alimentation améliore l'activité enzymatique des sécrétions gastro-intestinales et la digestibilité des nutriments.

Troisièmement, selon Martin-kleiner et al. (2001), les propriétés d'ions d'argiles peuvent modifier le pH et la composition ionique des liquides gastrointestinaux, modifiant ainsi l'activité enzymatique de sécrétions gastro-intestinales et l'augmentation de la digestibilité des nutriments favorisant l'amélioration des performances des animaux.

Teimuraz et al. (2009) ont indiqué que les micro-éléments présents dans la zéolite, comme le calcium, potassium, sodium, ainsi que la majorité des micro-éléments peut améliorer le métabolisme minéral, augmenté le contenu de la macro- (Ca, K, Na) et oligo-éléments dans les tissus et les organes. En raison de la présence de ces éléments, qui sont capables de s'impliquer dans l'échange, la composition ionique des liquides gastrointestinaux, qui normalise le pH et optimise l'activité des enzymes digestives, cet effet favorable améliore la digestibilité des nutriments.

Enfin, Ma et Guo (2008) ont signalé que la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes de duodénum, jéjunum et de l'iléon a indiqué que le traitement de l'alimentation des poulets avec Cu<sup>2</sup> chargé de la montmorillonite (CM) ou de la montmorillonite améliore la morphologie de la muqueuse de l'intestin grêle. Aussi la présence de CM dans l'alimentation des poulets augmente significativement les activités de la maltase, l'aminopeptidase et de phosphatase alcaline au niveau de l'intestin grêle. De même, Tatar et al. (2008) ont observé que la digestibilité iléale de protéines pour les régimes contenant de la zéolite augmente et ils ont estimé que la zéolite peut stimuler les villosités de la muqueuse intestinale.

Dans une autre étude (Hu et al., 2013), il a été montré que le ZnO-MMT supprime significativement le *Clostridium perfringens* au niveau de l'intestin. Ces changements dans l'écosystème microbien en présence de ZnO-MMT pourrait avoir contribué à l'amélioration de l'activité des enzymes digestives parce que *Clostridium perfringens* peut endommager les villosités et micro-villosités de la muqueuse intestinale et inhibe la sécrétion d'enzymes digestives (Mitsch et al., 2004).

### 2.3. Effet des argiles sur le rendement de carcasse

La consommation de viande de poulet devrait augmenter jusqu'à 34 % avec une baisse de prix jusqu'à 15 % en 2018 (OECD -FAO, 2009). Cependant, l'augmentation de la demande des consommateurs pour l'amélioration de la qualité plutôt que la quantité de viande de poulet a motivé les producteurs de poulets de la tentative d'identifier un moyen de produire une viande de poulet de qualité supérieure.

Une meilleure compréhension de la nutrition a conduit à des améliorations considérables pour l'efficacité de la production animale et la composition des carcasses et leur qualité, du moins en ce qui concerne l'adiposité des carcasses et le rendement musculaire (Dunshea et al., 2005).

En général, le mode d'action des modificateurs métaboliques est d'augmenter les dépôts de protéines musculaires et souvent tout en réduisant simultanément le stockage de graisse. En outre, un certain nombre de technologies qui augmentent l'efficacité de l'alimentation ont été développées

La composition en acides gras de la viande a été touchée par plusieurs facteurs tels que le régime alimentaire, l'âge, et le génotype (Wattanachant et al., 2004 ; Tang et al., 2009 ; Jung et al., 2010).

D'après Grashon et Brose (1997) ; Mallek et al. (2012) cité par Ouachem et al. (2015), en plus de l'effet sur les performances, il a été rapporté dans un nombre limité de documents que l'utilisation de l'argile améliore le rendement en découpe, la valeur sensorielle, les paramètres organoleptiques de la viande de poulet et ses capacités de transformation.

L'utilisation de sépiolite dans l'alimentation des animaux est fondée sur sa surface miroir (structure), et son transfert de cations et ses propriétés liantes d'ammonium. En outre, il a été montré pour augmenter la qualité de la carcasse, il a un effet positif sur les performances en ralentissant le passage d'aliments dans le système digestif.

Mallek et al. (2012) ont constaté que la supplémentation de l'alimentation de poulets en zéolite a eu un effet positif sur le rendement, les paramètres organoleptiques et principalement l'augmentation de taux d'Omega 3. Selon le rapport d'Ouachem et al. (2014), les effets de l'argile sur le rendement de coupes et sur la qualité de la viande n'ont pas été étudiés et les informations scientifiques sur ce sujet sont très rares.

## 2.4. La réduction des effets néfastes de mycotoxines

Le terme "mycotoxine" se réfère à toutes les toxines produites par différents types de champignons lorsqu'ils se développent sur les produits agricoles avant ou après la récolte ou au cours du transport ou du stockage. Les produits alimentaires les plus souvent atteints sont les céréales et les oléagineux. Ces toxines ont la capacité non seulement d'altérer les performances d'oiseaux, mais aussi d'affecter les humains par des résidus de toxines qui peuvent se déposer dans les tissus des animaux. De nombreuses mycotoxines avec différentes structures chimiques et biologiques n'ont été pas identifiées. Le tableau 01 présente une liste des principales mycotoxines responsables des pertes économiques importantes dans l'alimentation des volailles.

Lorsque les conditions environnementales sont propices à la croissance fongique, la contamination par les mycotoxines des grains peut commencer dans les champs, et peut également avoir lieu au cours de la transformation et le stockage des produits récoltés.

**Tableau 01.** Les origines des mycotoxines majeures trouvés en produits alimentaires (Velmurugu, 2010).

Mycotoxines	Espèces fongiques
Aflatoxines	<i>Aspergillus flavus</i> ; <i>A. parasiticus</i>
Ochratoxines	<i>A. ochraceus</i> ; <i>Penicillium viridicatum</i> ; <i>P. cyclopium</i>
Trichothécènes	
Déoxynivalénol	<i>Fusarium culmorum</i> ; <i>F. graminearum</i>
Toxine T-2	<i>F. sporotrichioides</i> ; <i>F. poae</i>
Zéaralénone	<i>F. culmorum</i> ; <i>F. graminearum</i> ; <i>F. poae</i>
Fumonisines	<i>F. moniliforme</i>

Les souches toxigènes d'*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* et *Aspergillus nomius* produisent un groupe de métabolites secondaires tels que les aflatoxines, qui sont connus pour être les puissants mutagènes, cancérogènes, tératogènes, hépatotoxiques et immunosuppresseurs, qui inhibent plusieurs systèmes métaboliques (Li et al., 2012). Les aflatoxines sont des métabolites fongiques trouvés comme contaminants dans une large gamme de produits alimentaires et agricoles.

Selon le degré de la contamination, les mycotoxines pourraient éventuellement avoir des effets négatifs sur les performances des animaux. Il est souvent difficile de diagnostiquer les effets d'une mycotoxine parce qu'ils ne sont pas nécessairement uniques à une mycotoxine donnée, mais ils peuvent être partagés par d'autres ou amplifiés par les interactions avec d'autres. De nombreuses espèces de champignons sont également capables de produire plusieurs mycotoxines.

Des données récentes ont mis en évidence la contamination des échantillons d'alimentation avec plusieurs mycotoxines, qui a de graves conséquences, tant pour la sécurité des aliments pour animaux et les performances animales. En outre, selon le degré de contamination, les mycotoxines ou leurs métabolites peuvent être déposés dans la viande, les viscères et les œufs. Leur concentration dans les produits d'origine animale est considérablement plus basse que celle présente dans les aliments consommés par les animaux, et elle ne cause pas de toxicité aiguë chez les humains, mais les résidus de mycotoxines cancérigènes, comme les aflatoxines et l'ochratoxine A, peuvent affecter la santé humaine. Cependant, dans la plupart des cas, la principale source de mycotoxines pour les humains est des céréales et des légumes contaminés plutôt que des produits d'origine animale.

L'alimentation a été considérée comme la question la plus importante dans l'élevage de volailles. Selon la FAO, 25 % des céréales du monde sont contaminés par des mycotoxines. Ces dernières sont de plus en plus discutées et parmi elles, l'aflatoxine qui est la plus dangereuse et toxique dans l'élevage avicole (**Hedayatibet al., 2014**).

L'inclusion des adsorbants, type liants, peut efficacement réduire les effets négatifs de certaines mycotoxines (aflatoxines, ochratoxines et fumonisines), tandis que d'autres (trichothécènes et zearaléones) ne peuvent être supprimés que par la désactivation. Parmi ces adsorbants de mycotoxines : les aluminosilicates de sodium et de calcium hydratés, les levures estérifiées, les polysaccharides, et les argiles naturelles comme les zéolites et les bentonites. Ces différents adsorbants ont des affinités pour les mycotoxines spécifiques.

Les argiles sont des adsorbants naturels composés chimiquement de silicates ou d'aluminosilicates. Ils proposent une gamme de produits tels que les aluminosilicates de sodium et de calcium hydraté (HSCAS), qui sont des argiles modifiées et préparées par l'échange de cations avec des composés d'organo-alkylammonium, la montmorillonite, la bentonite et la zéolite (ces deux dernières sont des argiles d'origine volcanique).

L'argile bentonite exerce une charge ionique négative forte ce qui provoque son "attirance magnétique" de toute substance avec une charge ionique positive (bactéries, toxines, métaux lourds, etc.). Ces substances sont à la fois adsorbées (collées à l'extérieur) et absorbées (tirées à l'intérieur) par les molécules argileuses. L'argile joue une action immédiate sur l'organisme et particulièrement sur le tube digestif, ceci dû à son caractère d'adsorption des toxines avec lesquelles sera éliminer dans les excréments, les empêchant ainsi d'être réabsorbées dans la circulation sanguine (**Hussain et al., 2010**).

Il est clair que la plus grande partie des recherches menées sur les liants avec les mycotoxines a été faite avec des silicates et spécifiquement avec les HSCAS. Ces liants ont la propriété d'adsorber les substances organiques sur leurs surfaces extérieures ou au sein de leurs espaces laminaires. Par conséquent, les mycotoxines peuvent être adsorbées par cette structure poreuse et piégée par les charges électriques (**Manafi, 2010**).

**Eralsan et al. (2005)** ont rapporté une amélioration de performances modérées de poulets par l'ajout de plus de 0,3 % de bentonite sodique hydratée dans un aliment contaminé en aflatoxine. Ils ont également signalé que cette supplémentation a indiqué un effet protecteur sur les sections histopathologiques du foie de poulet. **Eralsan et al. (2006)** ont rapporté l'efficacité de la bentonite sodique à diminuer les dommages causés en raison de la présence d'aflatoxines (1ppm) dans les 45 jours.

Un Aluminosilicate de calcium et de sodium hydraté (HSCAS) à partir de la zéolite naturelle est l'agent le plus largement étudié séquestrant les mycotoxines. **Santin et al. (2002)** ont nourri les poulets de l'ochratoxine A au niveau de 2 ppm dans la présence ou l'absence d'HSCAS (2,5 %), cette étude a été effectuée sur l'histologie de certains organes et sur la réponse immunitaire humorale des poulets vaccinés contre la maladie de Newcastle, ils ont observé que l'aluminosilicate n'a pas atténué les effets délétères de l'ochratoxine A (OTA). De même, dans une autre étude, **Watts et al. (2003)** ont évalué les effets de l'alimentation contenant des combinaisons de mycotoxines dans le régime alimentaire des poussins et des dindonneaux dans la présence ou l'absence d'HSCAS (0 ou 1 %) pendant 21 jours, ils ont démontré que l'ajout de HSCAS aux régimes alimentaires contenant plusieurs mycotoxines n'empêche pas les effets négatifs observés chez les poussins et les dindonneaux. En outre, **Bhanuprakash et al. (2006)** ont évalué le rôle des HSCAS sur les effets toxiques de l'AFB1, d'ochratoxine A (OTA) et de leur combinaison dans la nourriture donnée à 240 jours des poussins. Cette étude n'a révélé aucun effet protecteur mais une réduction de gamma-

glutamyl transférase (GGT) et des enzymes sériques : la phosphatase alcaline (ALP) a été remarquée.

Le plus étudié de ces matériaux ce sont les aluminosilicates de calcium et de sodium hydratés (HSCASs), sur lesquels plusieurs informations sont disponibles ((**Ramos et al. 1996; Doll et al. 2004; Avantaggiato et al. 2005**). Un total de 80 % de l'AFB1 pourrait être adsorbé par HSCASs in vitro (**Phillips et al., 1988**) et pourraient empêcher l'aflatoxicosis.

Selon l'étude de **Justin et al. (2015)** faite pour évaluer les effets de l'aflatoxine sur la croissance, sur le poids relatif des organes internes, et sur l'accumulation de résidus d'aflatoxine B1 dans le foie des poulets et les effets de l'addition de bentonite de calcium dans l'alimentation. Ils ont confirmé que l'aflatoxine a des effets négatifs sur la croissance, sur l'efficacité alimentaire, et sur la fonction des organes internes des poulets de chair. De plus, ils ont signalé que cet effet est cumulatif ; le poids corporel, le poids relatif des reins, et le taux de mortalité n'ont pas été touchés par l'aflatoxine jusqu'à la deuxième semaine, puis il y avait d'autres effets sur la conversion alimentaire et sur le poids relatif du foie et de la rate à la troisième semaine. L'ajout de bentonite de calcium dans l'alimentation (0,2 %) peut réduire l'accumulation de résidus d'aflatoxine B1 dans le foie au cours de la première semaine.

Nombreuses études ont examiné aussi les effets bénéfiques des silicates modifiés chimiquement. **Doll et al. (2004)** ont examiné un aluminosilicate chimiquement modifié qui permet une bonne liaison avec la zéaralénone in vitro, confirmant des travaux antérieurs (**Lemke et al. 1998 ; Tomasevic-Canovic et al. 2003**). D'autres ont montré que les modifications chimiques ont augmenté la liaison des HSCAS avec la zéaralénone (**Pimpukdee et al., 2004**).

Concernant les argiles naturelles telles que la montmorillonite et la bentonite, en raison de leur composition, elles forment des gels thixotropiques, comme résultat de leur capacité d'échange d'ions, elles sont largement utilisées comme agent séquestrant les mycotoxines (**Duarte et Smith, 2005**). Ces argiles naturelles ont beaucoup suscité l'intérêt des chercheurs dans le but de la prévention des mycotoxines.

A titre d'exemple, la bentonite peut adsorber la toxine T-2, cette dernière est produite par *Fusarium* et considérée comme étant la plus toxique parmi les 16 trichothécènes étudiés (**Atroshi et al., 2002**), elle a été signalée pour provoquer une diminution de gain de poids, de l'indice de consommation et des anticorps contre la maladie de Newcastle chez les poulets (**Hoerr et al., 1982**

; **Huff et al., 1988 ; Raju et Devegowda, 2000**), ainsi le niveau d'incorporation de la bentonite dans l'alimentation doit être environ 10 fois plus (100 g/kg) que le niveau efficace pour les aflatoxines (**Carson et Smith, 1983**). D'après **Miazzo et al. (2005)**, une augmentation du gain de poids (9 %) a été observée chez les poulets traités avec de la bentonite lorsque leur alimentation contient un mélange de l'AFB1 et FB1.

Les zéolites naturelles ont été utilisés pour absorber l'AFB1 et elles ont essentiellement servi à adsorber l'OTA et la zéaralénone (**Dakovic et al. 2003, 2005, 2007**). Comme la plupart des argiles, les phyllosilicates tels que kaolin et sépiolite ne sont pas efficaces contre les mycotoxines contrairement aux aflatoxines (**Schell et al., 1993**).

Par ailleurs, il convient de noter que l'argile peut adsorber des micronutriments et avoir des effets négatifs sur la biodisponibilité des minéraux et oligo-éléments au niveau de l'intestin (**Ward et al., 1991**). De plus, le risque des argiles naturelles d'être contaminées par les dioxines est à prendre en considération. En outre, le taux d'inclusion (**Devegowda et al., 1998**), l'interaction avec les éléments nutritifs essentiels (**Moshtaghian et al., 1991**) et l'absence d'effet contraignant contre de nombreuses mycotoxines d'importance pratique (**Chestnut et al., 1992**) restent des inconvénients de l'utilisation des argiles naturelles. La plupart d'entre eux ont été reconnus comme liants efficaces d'aflatoxines (**Smith et al., 1994**) lorsqu'il est ajouté à une concentration de 10 g/kg (intervalle de 5 à 20 g/kg) dans l'alimentation. Cependant, leur efficacité contre les fusariotoxins comme les fumonisines et les trichothécènes est très limitée ou près de zéro (**Huwig et al., 2001**).

## 2.5. L'amélioration de l'environnement et de la qualité de la volaille

Pour s'accroître et émerger leur potentiel génétique, les volailles ont besoin d'un bon environnement, ceci est fortement dépendant de la qualité de la litière. Une litière mauvaise est la cause primaire de la volatilisation de l'ammoniac qui peut entraîner de nombreux effets négatifs sur l'environnement et donc sur la santé de l'animal. Il est l'un des facteurs les plus graves affectant négativement la production de volailles. (**Reece et al., 1980**).

L'ammoniac est un gaz incolore irritant généré à partir de la fraction azotée des effluents d'élevage par l'activité microbienne dans le poulailler. La conversion de l'azote en ammoniac excrété est liée à la température, l'humidité, le pH de la litière et à la fréquence de ventilation (**Miles, 2008**).

Bien que nombreux producteurs vont à sous-estimer les effets nuisibles de l'ammoniac, les animaux sont sensibles à ce dernier et leur exposition prolongée à des niveaux élevés (50 - 100 ppm) peut créer de graves problèmes de santé diminuant l'efficacité de la production. (**Beker et al., 2004 ; Miles et al., 2006**). Actuellement, la plupart des études de la toxicité de l'ammoniac ont porté sur le système nerveux et le tube digestif chez les mammifères. Cependant, quelques études détaillées ont été menées sur la toxicité de l'ammoniac chez la volaille.

La nécessité d'établir des pratiques de gestion afin de réduire ou d'éliminer les polluants atmosphériques provenant des élevages de volailles nécessite la recherche sur les alternatives naturelles pour une utilisation en toute sécurité dans la production de volailles. Parmi ces alternatives les argiles naturelles, elles sont utilisées en raison de leurs effets favorables sur la croissance et la performance des différentes espèces d'animaux, y compris les volailles (**Ramos et Hernandez, 1997 ; Christaki et al., 2001 ; McCrory et Hobbs, 2001 ; Christaki et al., 2006 ; Suchy et al., 2006**).

Par ailleurs, ces argiles naturelles sont utilisées comme un moyen de réduire les odeurs et les émissions d'ammoniac provenant de poulaillers (**Amon et al., 1997 ; McCrory et Hobbs, 2001 ; Al Homidan et al., 2003**) et comme un supplément dans les matériaux de remplissage (**Ullman et al., 2004 ; Eleroglu et Yalcin, 2005**). Cependant, peu d'informations sont disponibles sur l'impact de la clinoptilolite sur la croissance et le rendement des poulets lorsqu'elle est utilisée à la fois en tant que complément dans l'alimentation et dans la litière (**Karamanlis et al., 2008**).

En effet, il a été également signalé dans d'autres études que la vermiculite et la perlite pourraient réduire l'odeur et la volatilisation de l'ammoniac dans la litière de volaille (**Turan, 2009**). Le gel de silice a été récemment mis en cause comme un absorbant d'ammoniac in vitro par **Helminen et al., (2000)** et in vivo par **Pillai et al., (2012)**. Le dioxyde de silicium est un minéral pur et naturel qui a, à son tour, un impact sur l'environnement et il est prometteur pour la réduction des odeurs d'ammoniac et pour l'amélioration de la qualité de la litière.

Des études antérieures sur l'utilisation de la clinoptilolite comme additif dans la litière de poulets avaient démontré un effet positif sur la concentration d'ammoniac. Par exemple, **Nakaue et al. (1981)** ont montré qu'un taux d'application de 5 kg/m<sup>2</sup> de la clinoptilolite réduit la concentration d'ammoniac jusqu'à 35 %.

D'après **Nahm (2005)** les excréments, l'alimentation, les plumes et la litière sont les composants de la litière de volaille, par conséquent ils sont tous associés à la santé, à la performance et au bien-être des volailles et ils peuvent être la source de problèmes environnementaux et de gestion de l'industrie de la volaille (**Blair et al., 1999 ; Islam et al., 2003**). Plusieurs facteurs peuvent affecter l'humidité de cette litière, comme le type de régime alimentaire, la prise d'eau, la température, la ventilation de l'environnement et surtout le type du matériel d'abreuvement utilisé (**Oliveira et al., 2004**).

Comme le contrôle de la qualité de la litière et de l'humidité des excréments est l'une des principales préoccupations de l'industrie avicole (**Francesch et Brufau, 2004 ; Kim et al., 2006**), diverses recherches ont été menées pour trouver des solutions diminuant la propagation des polluants d'exploitations avicoles. Ces recherches ont proposé des moyens importants qui pourraient modifier la qualité de la litière de volaille, ces moyens ayant un aspect nutritionnel en jouant le rôle d'additifs (**Moore et al., 1996 ; Francesch et Brufau, 2004 ; Karamanlis et al., 2008**). L'argile est l'un de ces moyens, selon les études de **Shariatmadari (2008) ; Safaeikatouli et al. (2010)** le kaolin et la zéolite avec leurs propriétés d'adsorption ont été largement utilisés pour résoudre des problèmes de la litière.

Une étude menée par **Olver (1997)** a montré que l'utilisation de la zéolite provoque un abaissement de l'humidité des fientes et de la litière. Récemment, plusieurs études rapportent que la zéolite peut être efficace pour améliorer l'état de la litière ainsi que l'environnement du poulailler (**Cabuk et al., 2004 ; Eleroglu et Yalcin, 2005 ; Tatar et al., 2012**).

Par l'inclusion de 25, 50 et 75 % de zéolite dans la litière, **Eleroglu et al. (2005)** ont observé que le taux d'humidité de la litière réduit de 36,20 % (sans inclusion de zéolite) à 25,20 %, 23,60 % et 21,80 %, respectivement. Selon les auteurs, ce résultat est attribuable à la capacité élevée de la zéolite d'absorption de l'humidité.

Des résultats similaires ont été obtenus par **Karamanlis et al. (2008)** qui ont montré que l'incorporation de la clinoptilolite dans l'alimentation (2%) et dans la litière (2 kg /m<sup>2</sup>) a eu un effet positif sur la croissance des poulets et aussi sur la qualité de leur litière.

Il est extrêmement important de surveiller l'humidité des excréments. Un des moyens pour réaliser ce contrôle est par l'utilisation de substances adsorbantes, comme les argiles, qui forment

un complexe avec de l'eau empêchant son état libre dans les fèces excrétées (**Madkour et al., 1993**).

Parmi les argiles les plus utilisées les zéolites naturelles et synthétiques (**Saada et al. 1994**), la bentonite, la smectite (**Spinosa et al., 2002**) et également la sépiolite (**Alvarez et Peres, 1982 ; Tortuero, 1983 ; Castaing, 1989 ; Schutte et Langhout, 1998 ; Ouhida et al. 2000a**). Leur utilisation dans l'alimentation animale est de plus en plus propagée en raison de leurs effets positifs sur la digestion et l'assimilation des nutriments, ainsi que sur la réduction de l'humidité des fèces (**Evans, 1993 ; Ferrell et Olver, 1997**).

En outre, le colloïde protecteur forme un couvercle sur l'épithélium intestinal, ce qui empêche l'irritation de la muqueuse due à l'action des substances potentiellement nuisibles. De cette façon, les argiles améliorent l'efficacité digestible de la matière organique, réduisent aussi l'humidité des fèces (**Shutte et Langhout, 1998**), et permettent une meilleure utilisation des minéraux (**Tortuero, 1983 ; Saada et al. 1994**). À la lumière de ces avantages, l'utilisation de la bentonite de sodium et aluminosilicates, ont été largement étudié chez beaucoup d'animaux, avec des résultats prometteurs.

En ce qui concerne la capacité d'augmenter la viscosité du contenu intestinal due à l'enlèvement de l'eau par la molécule de l'aluminosilicate et, ainsi, prolonger le temps de transit dans le tube digestif. **Schutte et Langhout (1998)** ont constaté une tendance à l'augmentation de la viscosité de l'iléum, une réduction de la fluidité des matières fécales due à l'absorption de l'eau des fèces par ces molécules argileuses. De plus, cette eau n'est pas libre dans les fèces.

Concernant la modification du transit intestinal, la plupart des études montrent les mêmes observations. La supplémentation avec 1,5 % de sépiolite dans les rations de poulets, conduit à l'extension de 2 à 3 heures de la durée moyenne de la rétention du bol alimentaire (**Tortuero, 1983**), ce qui permet, en plus d'éviter la diarrhée, donc une plus grande absorption des nutriments.

**Delbecque (1995)**, a montré que chez les volailles, les porcs et les veaux, les argiles utilisées pour la prévention et le traitement de la diarrhée peuvent réduire l'humidité des matières fécales jusqu'à 25 %, sans aucun effet négatif sur l'absorption et la digestion alimentaire.

Une étude de **SafaeiKatouli et al. (2010)** a été menée afin de mieux évaluer les effets de l'apport du kaolin, de bentonite et de zéolite chez le poulet de chair sur l'humidité des fientes. Les

résultats de cette étude ont montré que l'utilisation de minéraux silicatés la diminue significativement ( $p < 0,05$ ).

**Parizadian et al. (2013)** ont également observé une réduction significative de la teneur en humidité des excréments et de l'amélioration de la qualité de la litière après l'inclusion de l'argile (de la clinoptilolite) dans l'alimentation des poulets. Ces auteurs indiquent que la litière du poulet à l'état humide est un environnement propice à la croissance des bactéries et des champignons ; et également la cause principale de l'émission d'ammoniac, l'un des plus graves facteurs environnementaux qui influent sur la production de poulets de chair.

**Castaing (1989) et Olver (1997)** affirment que l'utilisation de l'argile peut entraîner la réduction de l'humidité de la litière de poulets de chair et de poules pondeuses en raison la capacité de cette substance à absorber et retenir l'ammoniac, étant un excellent outil pour la prévention de la diarrhée et des problèmes avec un excès d'ammoniac dans l'environnement.

L'état de santé de l'appareil locomoteur en poulet de chair est un paramètre important à la fois de l'évaluation du bien-être et de la valeur économique de la production, prenant en compte les pododermatites de contact qui provoquent des problèmes locomoteurs.

**Dawkins et al. (2004)** ont montré que non seulement la densité de mise en place, mais également de nombreux paramètres d'élevage tels que la température, l'hygrométrie, l'humidité de la litière, avaient un rôle majeur sur la santé de l'appareil locomoteur et sur le bien-être en général des poulets.

La litière humide est le facteur le plus important à l'origine des pododermatites chez la volaille (**Shepherd et Fairchild, 2010**).

Les pododermatites est caractérisée par l'inflammation et les brûlures sur les doigts et les coussinets qui peut conduire à l'abcès des tissus sous-jacents (**Greene et al., 1985**), qui affectent non seulement la capacité de marche, mais aussi la qualité de la carcasse (**Bradshaw et al., 2002**). Il y a plusieurs facteurs associés à la présence de pododermatite, y compris la conception des abreuvoirs, la température ambiante et l'humidité, et le type, la qualité et la quantité de litière (**Collette, 2006**). Il a également été signalé que la mauvaise qualité de la litière peut augmenter la charge microbiologique exposant ainsi les oiseaux aux parasites, protozoaires, champignons, virus entériques et bactéries de l'environnement (**Norton et al., 2000 ; Ritz et al., 2009**).

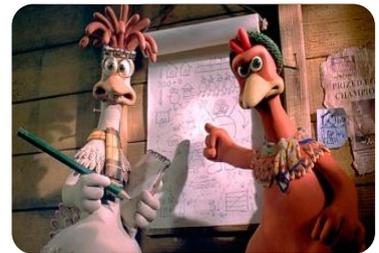
La conduite alimentaire peut être impliquée dans l'apparition de difficultés locomotrices, de troubles digestifs, de dégradation de litière et, par conséquent, de lésions cutanées (pododermatites, brûlures des tarses, ampoules du bréchet), d'agressions respiratoires, et enfin de la mortalité (arrêt cardiaque, stress thermique, ascites). Différentes solutions alimentaires peuvent améliorer le bien-être du poulet en termes notamment d'adaptation de la composition de l'aliment. Il a par exemple été montré que l'incorporation d'argiles dans l'aliment entraînait des modifications sur la digestibilité des nutriments, sur le temps de transit ou encore sur la morphologie du tube digestif. Ceci est dû à leur haute capacité de capture de  $\text{NH}_4^+$  réduisant ainsi la volatilisation de  $\text{NH}_3$  (Tran et Smith, 2014).

L'adjonction d'argile induit des consommations légèrement inférieures, ce qui peut être relié, en plus de l'assèchement des fientes, à la réduction des quantités du fumier. Ceci peut expliquer également la diminution des taux de pododermatites et l'amélioration de la qualité du plumage. Selon l'étude de Lavigne et al. (2015), l'adjonction d'argile dans l'aliment des oies a induit une réduction des quantités du fumier (-25% ;  $p < 0,047$ ). Les taux de pododermatites ont été diminués (-20% ;  $p < 0,05$ ), et la qualité du plumage améliorée (+30% ;  $p < 0,05$ ).

Malheureusement, il n'y a pas suffisamment d'informations concernant l'effet de la supplémentation alimentaire des argiles sur l'humidité des fientes de volaille et plus particulièrement sur la prévalence de pododermatites (Al-Homidan et al. 2003 ; Islam et al. 2003). L'apparition des dermatites de contact est liée à l'humidité des litières, donc tout ce qui favorise le maintien d'une litière sèche et friable est à rechercher.

**PARTIE EXPERIMENTALE**

# *MATERIEL ET METHODES*



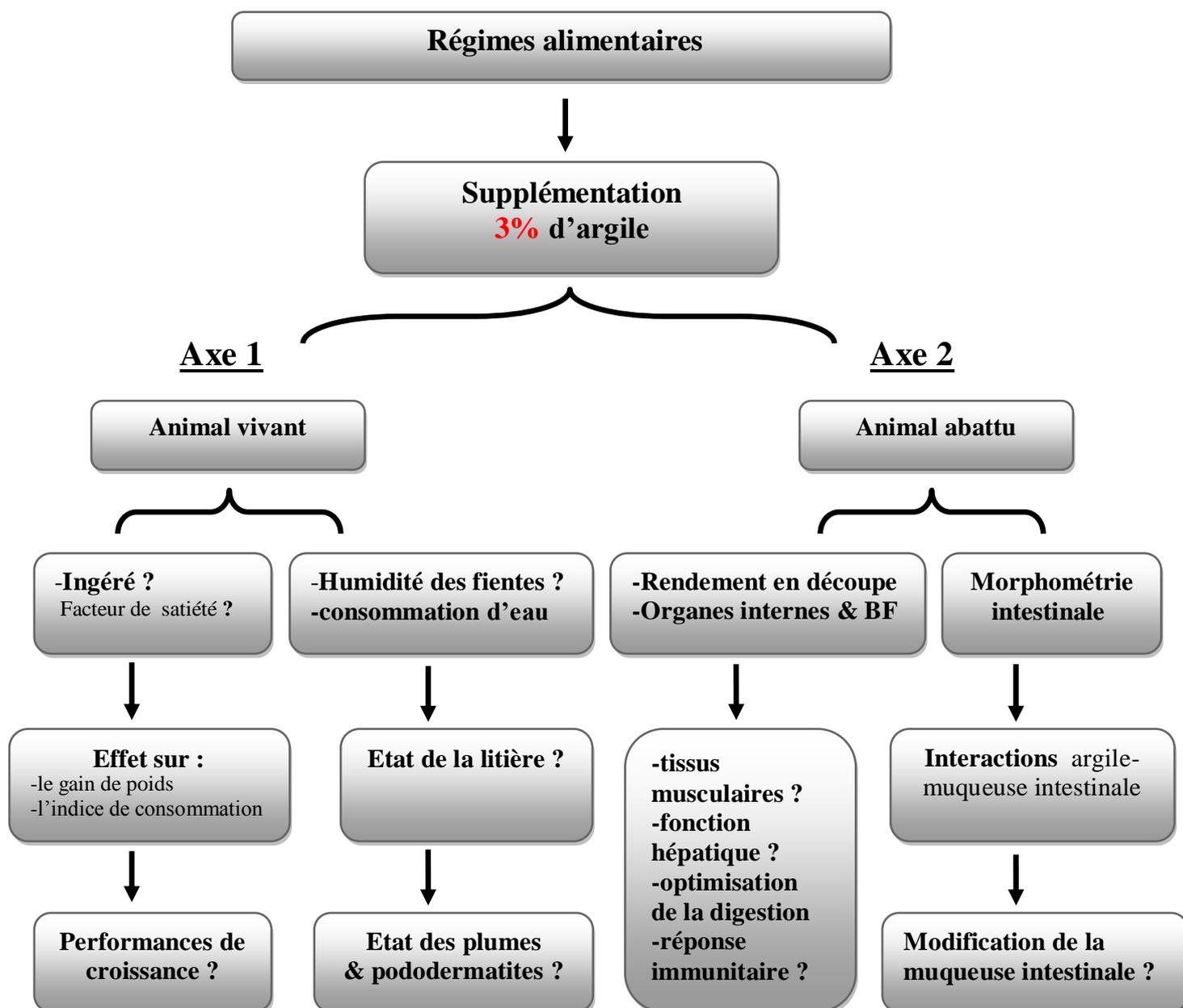
## 1. Objectifs de l'étude

Considérées dans leur ensemble, les données bibliographiques sur les effets des argiles, montrent qu'elles ont un réel impact sur le système digestif de l'animal. Leur action se situe essentiellement à deux niveaux : **(1) en assurant une protection de la muqueuse intestinale et (2) en facilitant l'assimilation des nutriments.**

La démarche méthodologique adoptée dans ce travail vise à atteindre trois objectifs :

- Le premier objectif, consiste à étudier les effets de l'incorporation de 3% d'argile naturelle (Marne ou Kaolin) dans l'aliment du poulet de chair au cours d'un cycle d'élevage de 56 jours sur les performances de croissance : Gain de poids, Indice de consommation et Ingéré alimentaire ;
- Le second objectif était consacré à l'étude des effets d'une telle supplémentation sur le rendement en découpe (rendement du poulet prêt à cuire, rendement en filet, cuisse, pilon et le gras abdominal), sur le poids des organes internes (cœur, gésier, foie, bourse de Fabricius) et sur la morphométrie de l'intestin grêle;
- En fin d'expérience, le travail a été étendu à l'étude des effets de la supplémentation sur la qualité du poulet et le bien être à travers trois principaux indicateurs : état des plumes, présence de pododermatites et humidité des fientes.

Le schéma de la figure **01**, représente les étapes de travail adoptées pour atteindre les objectifs fixés dans le présent mémoire.



**Figure 01.** Schéma explicatif des deux axes suivis dans cette étude.

En Algérie, l'usage des argiles comme alternatives aux antibiotiques en élevage avicole n'a pas eu l'essor escompté par manque de vulgarisation et la rareté des travaux scientifiques portant sur ce thème d'une part, et des conditions d'élevage qui ne correspondent pas aux normes de l'élevage intensif (majorité des bâtiments sont de type traditionnel) d'autre part.

## 2. Matériel et méthodes

### 2. 1. Période et lieu de l'étude

La période de notre expérimentation s'est étalée de Février à Mai 2015. Le vide sanitaire et la préparation du bâtiment d'élevage ont eu lieu au cours du mois de Février 2015, la mise en place du cheptel et le suivi de l'élevage durant la période de Mars à Mai 2015 et les analyses chimiques et minéralogiques des argiles utilisées ont été réalisées du mois de Juin à Août.

L'expérimentation s'est déroulée au sein d'un bâtiment d'élevage avicole situé à la commune d'Ain Yagout (Wilaya de Batna) (figure **02**). Puis, au sein de laboratoire de Département d'Agronomie, les poulets abattus et prêts à cuire ont été déplacés afin d'apprécier les rendements en découpe, la modification morphologique des organes internes et la morphométrie intestinale (figure **03**). Par ailleurs, une mise du reste de poulets vivants a été réalisée au niveau de l'animalerie de Département pour but de suivre l'état des fientes au cours des trois derniers jours de période d'élevage (figure **04**).

Les analyses chimiques et minéralogiques des argiles utilisées ont été réalisées au laboratoire de chimie à l'Entreprise AVA Drilling Fluids & Services (Wilaya de Hassi Messaoud).



**Figure 02.** Photographie du bâtiment d'élevage.



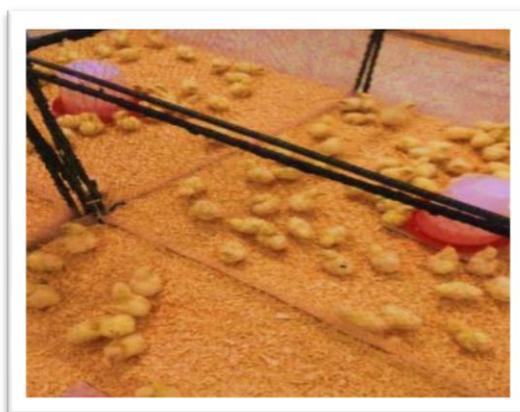
**Figure 03.** Caractérisation des rendements en découpe au sein du laboratoire.



**Figure 04.** Suivi de l'état des fientes au sein de l'animalerie.

## 2. 2. Animaux et bâtiment

Au total, 200 poussins chair âgés d'un jour, appartenant à la souche Hubbard F15, de sexes mélangés, d'un poids homogène, provenant d'un même couvoir. 160 poussins ont été pesés, bagués et divisés en quatre lots expérimentaux, à savoir : lot "Témoin", lot "Kaolin", lot "Marne grise" et lot "Marne blanche" (figure 05).



**Figure 05.** Différents lots expérimentaux.

Les animaux ont été mis en place, le 3 Mars pour une durée d'une bande (56 jours), vivant dans les mêmes conditions d'ambiance.

Il est à noter qu'un lot supplémentaire de 40 poussins (hors essai) a été utilisé pour permettre le remplacement de la mortalité accusée lors des 3 premiers jours de l'expérimentation qui est due au stress de transport.

## 2. 3. Conduite d'élevage

Nous avons procédé tout d'abord à un nettoyage puis une désinfection du bâtiment, y compris les salles utilisées (sol, parois et plafonds), ainsi que le matériel (mangeoires et abreuvoirs), à l'aide d'un produit iodé.

- **Vide sanitaire**

Le vide sanitaire d'une durée de 15 jours a été pratiqué dans le but de prolonger l'action du désinfectant et d'assécher les sols et les parois du bâtiment.

- **Mise en place du cheptel**

Nous avons conçu des poussinières pour les 16 parquets par la mise en place des poussins dans une garde en film plastique, chaque parquet pourvu d'un abreuvoir cloche et 2 assiettes (figure 06) placés dès le 2<sup>ème</sup> jour d'âge.



**Figure 06.** Conception de poussinière.

- **Litière**

La litière est constituée de copeaux de bois (sec et dépoussiéré) (figures 07 et 08). Au cours de la phase démarrage, nous avons utilisé une épaisseur d'environ 10 cm contrairement aux phases de croissance et de finition où elle n'était que d'environ 5 cm.



**Figure 07.** Copeaux de bois sec.



**Figure 08.** Copeaux de bois dépoussiéré.

- **Température et hygrométrie**

La température ambiante contrôlée 2 fois par jour (8 heures et 16 heures) a été appliquée au cours de la période de l'élevage ; l'hygrométrie a été mesurée tout au long de la période de l'élevage. Les valeurs sont rapportées dans le tableau 01.

**Tableau 01.** Température et l'hygrométrie ambiantes durant la période d'expérimentation.

Phases	Jours	Température (°C)	Hygrométrie (%)
<b>Démarrage</b>	J <sub>1</sub> à J <sub>3</sub>	33 - 32	55 - 60
	J <sub>4</sub> à J <sub>7</sub>	32 - 31	55 - 60
	J <sub>8</sub> à J <sub>14</sub>	30 - 28	55 - 60
<b>Croissance</b>	J <sub>15</sub> à J <sub>21</sub>	28 - 27	55 - 60
	J <sub>22</sub> à J <sub>24</sub>	27 - 25	55 - 65
	J <sub>25</sub> à J <sub>28</sub>	25 - 23	55 - 65
	J <sub>29</sub> à J <sub>30</sub>	23 - 22	55 - 65
	J <sub>31</sub> à J <sub>42</sub>	23 - 22	60 - 70
<b>Finition</b>	J <sub>43</sub> à J <sub>56</sub>	23 - 22	60 - 70

## 2. 4. Aliments, argiles utilisées prophylaxie

- **Aliments**

Les aliments que nous avons utilisés durant cette expérimentation ont été fabriqués à l'unité des aliments de bétail (Oued Taga, Wilaya de Batna).

Les animaux ont été nourris *ad libitum* avec un aliment démarrage au cours des deux premières semaines puis avec un aliment croissance jusqu'à la fin de l'essai (tableau 02). Les régimes alimentaires ont été composés principalement par le complexe maïs-soja dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau 02.

**Tableau 02.** Les caractéristiques alimentaires des aliments utilisés.

Composants (%)	Phases		
	Démarrage	Croissance	Finition
Maïs	61	62	64
Tourteau de soja	33	32	30,5
Argile	3	3	3
Poly-vitamines	1,67	1,62	1,25
Méthionine	0,4	0,38	0,35
CaCO <sub>3</sub>	0,73	0,8	0,7
Sel	0,2	0,2	0,2

Unité de fabrication des aliments de bétail (Oued Taga, Wilaya de Batna).

- **Argiles**

Les trois argiles utilisées sont naturelles, l'argile kaolin (**K**) a été prélevée de la commune d'Ain Touta, elle est de couleur jaune et les deux argiles marneuses ont été prélevées de deux régions différentes de la commune d'Ain Yagout (**M<sub>1</sub>** : de région de Thawit, **M<sub>2</sub>** : de région de Dhahr-Azem) elles se différencient par leur couleur : Marne blanche (**M<sub>1</sub>**) et Marne grise (**M<sub>2</sub>**) (figure 09).

Il est à noter que les deux argiles marneuses n'ont été jamais utilisées pour l'alimentation animale par contre l'argile kaolin a été utilisée dans les travaux précédents par **Ouachem et al. (2012)**.

L'argile a été incorporée à raison de **3%** (30 g d'argile / kg d'aliment) et utilisée durant tout le cycle d'élevage, signalons que l'argile a fait l'objet d'un broyage préalable et tamisée (tamis de 1,5 mm) (Figure 10).



**a**                      **b**                      **c**

**Figure 09** : Trois argiles utilisées :  
(a : kaolin, b : Marne grise, c : Marne blanche).



**Figure 10** : Incorporation de 3% d'argile.

- **Eau de boisson**

L'eau de boisson distribuée aux 4 lots provenait d'une citerne alimentée par l'eau de ville contrôlée régulièrement par le bureau d'hygiène communal.

- **Prophylaxie**

Aucun prophylaxie n'a été effectuée afin d'évaluer l'effet d'argile sur la santé du poulet.

## 2. 5. Analyses des argiles et des aliments utilisés

### 2.5. 1. Techniques de caractérisation des argiles

Les propriétés de surface des argiles mettent en évidence la complexité et la très grande diversité des minéraux argileux. Les substitutions, l'état d'empilement des feuillets et les impuretés sont susceptibles d'influencer les propriétés de surface ainsi que la réactivité des minéraux argileux. D'où la nécessité de les caractériser avant tout usage.

Pour cela, les argiles naturelles ont été caractérisées par différentes méthodes d'analyses physico-chimiques à savoir la composition chimique, la diffraction des rayons X, la mesure des surfaces spécifiques, et la mesure de la capacité d'échange cationique (**Benguella, 2009**).

Nous avons essayé de mener une étude minéralogique et chimique sur les trois échantillons spécifiques prélevés. Nous avons effectué la préparation des échantillons, destinés aux analyses chimiques et minéralogiques.

### 2. 5. 2. Techniques de caractérisation des aliments

Les régimes alimentaires ont été analysés pour leurs teneurs en matière sèche (MS), matière minérale (MM), matière azotée totale (MAT) et matière grasse (MG) selon les méthodes préconisées par **AFNOR (1985)** et aussi en énergie brute (EB).

- **Matière sèche**

La teneur en matière sèche est obtenue après séchage de l'échantillon dans une étuve réglée à 105°C pendant 24 heures. La matière sèche a été calculée par l'expression suivante :

$$MS(\%) = \frac{Pt - Pc}{Pa} \times 100$$

Avec :

**MS** : matière sèche en %.

**Pc** : poids du creuset (g).

**Pa** : poids initial de l'échantillon (g).

**Pt** : poids sortie étuve (Creuset + l'échantillon) (g).

- **Matière minérale et matière organique**

La teneur en cendres brutes est obtenue après calcination de 2g de matière sèche de l'échantillon dans un four à moufle à une température de 550°C pendant 4 heures. Le taux de la matière minérale correspond à la différence de poids qui résulte avant et après la calcination. La matière minérale et la matière organique sont exprimées en % de la matière sèche, et sont calculées selon les expressions suivantes :

$$MM(\%) = \frac{Pt - Pc}{Pa} \times 100$$

$$MO(\%) = 100 - MM\%$$

Avec:

**MM** : matière minérale, exprimée en % par rapport à la matière sèche.

**MO** : matière organique, exprimée en % par rapport à la matière sèche.

**Pa** : poids initial de l'échantillon (g).

**Pc** : poids du creuset (g).

**Pt** : poids du creuset avec l'échantillon après leur sortie du four (g).

- **Protéines brutes**

La teneur en matières azotées totales est obtenue après une minéralisation puis une distillation et une titration selon la méthode de Kjeldhal. Le pourcentage en azote total se calcule selon la formule :

$$\text{MAT}(\%) = \frac{(\text{V1} - \text{V2}) \times 1.4 \times 6.25}{1000} \times 100$$

**Avec :**

**MAT** : matière azotée totale exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche.

**V<sub>1</sub>** : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.1 N) en ml.

**V<sub>2</sub>** : volume de NaOH (0.1 N) en ml.

**6,25**: 1g d'azote correspondant à 6,25g de MAT d'origine végétale.

- **Matière grasse**

Les lipides sont extraits en continu et à froid par extraction continue à l'éther diéthylique dans un appareil adéquat type Soxhlet Tecator à 06 postes. Cette méthode est la plus utilisée en analyse courante, les graisses ainsi dosées se nomment extrait étheré (EE). La matière grasse est solubilisée dans l'éther di éthylique (50ml). La méthode consiste en la distillation de l'échantillon d'aliment ou de fèces en poudre (2g), mélange avec 1g de sulfate de sodium anhydre pendant une heure à 110 °C puis séparation de l'éther volatil et quantification de la matière grasse par pesée après évaporation complète de l'éther à l'étuve. La teneur en matière grasse est calculée selon l'expression :

$$\text{MG} (\%) = \frac{\text{P1} - \text{P0}}{\text{Pe}} \times 100$$

**Avec :**

**MG** : matière grasse exprimée en (%) par rapport à la matière sèche.

**P0** : poids de la capsule vide en (g).

**P1** : poids de la capsule après extraction en (g).

**Pe** : poids de la prise d'essai en (g).

- **Energie brute**

L'énergie brute est déterminé à l'aide d'un calorimètre adiabatique (IKA<sup>®</sup>-WERKE) relié à un écran et une imprimante. 1g de l'échantillon broyé est compressé pour la préparation d'une pastille de 7 mm de diamètre et 8 mm d'épaisseur. L'échantillon préparé est introduit dans le creuset de la bombe calorimétrique où il subit au cours de son séjour une combustion en présence d'oxygène envoyé avec une pression de 30 bars. Le résultat de la combustion exprimé en calories par gramme d'échantillon est lu sur écran.

## 2. 6. Paramètres mesurés

### 2. 6 .1. Evaluation des performances de croissance

Durant les trois phases d'élevage, le gain de poids et l'indice de consommation étaient les principales performances zootechniques contrôlées dans le cadre de cette expérience. Le poids vif individuel des sujets des différents lots a été enregistré chaque semaine jusqu'à la fin du cycle à l'aide d'une balance électronique (figure 11), la consommation alimentaire collective a été contrôlée quotidiennement, à la même heure, puis cumulée par phase et pour tout le cycle.



**Figure 11.** Réalisation de la pesée et de l'identification.

- **Le Gain de poids (GP)**

Le gain de poids moyen a été calculé par phase et par cycle selon les expressions suivantes :

$$GP_{\text{phase}} \text{ (g)} = P2 - P1 \quad ; \quad GP_{\text{cycle}} \text{ (g)} = Pa - Pi$$

Avec :

**P1** : poids du début de chaque phase.

**Pa** : poids à l'abattage (g)

**P2** : poids de la fin de chaque phase.

**Pi** : poids initial (g).

- **Indice de Consommation (IC)**

L'indice de consommation ou la conversion alimentaire correspond à la quantité d'aliment consommée en kg pour la production de 1kg de poids vif. Cet indice a été calculé pour chaque phase par la formule suivante :

$$IC = \frac{\text{quantité d'aliment consommée}}{\text{gain de poids}} \quad (\text{g/g})$$

### 2. 6. 2. Rendements en découpe et gras abdominal

Dans cet essai, un abattage a été effectué à l'âge de 56 jours où 32 sujets (8 sujets par lot) ont été choisis d'une façon aléatoire. A cet âge, les effets des différentes argiles sur les rendements en découpe et la qualité de viande (gras abdominal) ont également été mesurés.

Les poulets ont été abattus, saignés, échaudés, déplumés, effilés puis éviscérés. On a pratiqué une incision cutanée médiane au sommet du bréchet sur la paroi abdominale. Cette incision médiane est complétée par des incisions du côté droit et gauche de la peau (figures 12, 13).



**Figure 12.** Incision cutanée médiane.



**Figure 13.** Incision de deux cotés.

Pour l'ouverture de la carcasse on a pratiqué une boutonnière avec des ciseaux à la pointe du bréchet, on a incisé de part et d'autre du bréchet puis on a sectionné les muscles pectoraux et les cotes au niveau du cartilage de jonction, des os coracoïdes et claviculaires (figure 14).



**Figure 14.** Ouverture de la carcasse.

Après l'ouverture des carcasses, la totalité du tube digestif a été prélevée au moment de l'éviscération, puis les poulets prêt à cuire (PAC) ont été pesés (figure 15) et disséqués afin de mesurer les rendements en en filet, en cuisse et en pilon (figures 16, 17 et 18).



**Figure 15.** Pesée de carcasse éviscérée.



**Figure 16.** Carcasse disséquée.



**Figure 17.** Pesée des filets.



**Figure 18.** Pesée des cuisses.

Le pourcentage de gras abdominal a aussi été déterminé, et pour faciliter la récupération de la totalité du gras abdominal, les graisses ont été retirées après refroidissement des carcasses pendant 12 heures à 2°C comme il a été décrit par **Ouachem et al. (2012)** (figure 19) et puis elles ont été pesées (figure 20).



**Figure 19.** Collecte de gras abdominal.



**Figure 20.** Pesée de gras abdominal.

### 2. 6. 3. Modifications morphologiques des organes internes et de bourse de Fabricius

La totalité du tube digestif a été prélevée au moment de l'éviscération puis disséquée afin d'obtenir le poids des différents compartiments digestifs. Ceux-ci sont exprimés en proportion du poids vif des animaux au moment de l'abattage. La méthode de dissection utilisée est celle décrite par **Ricard (1964)**.

Le poids des organes internes (foie, gésier et cœur) a été mesuré (figure 21) et la bourse de Fabricius a également été prélevée et pesée.



**Figure 21.** Pesée du cœur, foie, gésier et de la bourse de Fabricius.

#### 2. 6. 4. Morphométrie de l'intestin grêle

Afin d'évaluer les effets des différents types d'argile sur la morphométrie intestinale, les segments intestinaux ont été excisés. Après une légère pression, le contenu de l'intestin grêle a été vidé (figure 22) et ce dernier a été pesé puis divisé en trois segments : le duodénum (de sortie du gésier à la fin de boucle du pancréas), le jéjunum (de la fin de boucle du pancréas au diverticule de Meckel) et l'iléon (du diverticule de Meckel à la jonction du caecum) (figure 23). La longueur et le poids de ces différents segments ont été enregistrés (figure 24 (a,b)).



**Figure 22.** Vidange du contenu intestinal.



**Figure 23.** Division de l'intestin grêle en trois segments.



(a)



(b)

**Figure 24.** Mesures de la longueur (a) et du poids des segments intestinaux (b).

### 2. 6. 5. Evaluation de qualité de poulet présent à l'abattage

L'état corporel individuel a été évalué à 42 jours et à 56 jours d'âge, les différentes appréciations sont réalisées par un seul observateur.

- **Etat du plumage**

Quant à l'appréciation de l'état du plumage (figure 25), on a utilisé l'échelle (scores) de notation de **Welfare Quality Assessment protocol for poultry (2009)**.

Scores du plumage :

- Propre (score 0)
- Moins propre (score 1)
- Moyen (score 2)
- Sale (score 3)



**Figure 25.** Appréciation de l'état du plumage.

- **Présence de pododermatite**

Une notation de la prévalence des pododermatites a été effectuée selon la grille de **Bignon (2010)**, (figure 26).

Scores de pododermatite :

- Pas de lésion et hyperkératose (score 0)
- Ecailles allongée colorées en marron, taille < 50% du coussinet plantaire (score 1)
- Ecailles allongée colorées en marron, taille > 50% du coussinet plantaire (score 2)
- Perte de substance recouverte généralement d'une croute importante marron ou noire, taille < 50% du coussinet plantaire (score 3)
- Perte de substance recouverte généralement d'une croute importante marron ou noire, taille > 50% du coussinet plantaire (score 4)



**Figure 26.** Appréciation de pododermatite.

- **Etat de fientes**

Par ailleurs, l'état des fientes a été apprécié par la collecte totale et fréquente. Quatre sujets par lot avec poids corporels identiques ont été choisis et élevés en cage (8 cages de 2 poulets) durant les trois derniers jours d'élevage (figure 04).

Les fientes ont été récupérées à l'aide d'un film plastique placé sous les cages, puis pesées et séchées à l'étuve à 80°C pendant 72 heures (figure 27), la teneur en matière sèche a été estimée à partir de la moyenne des résultats de trois jours.



**Figure 27.** Séchage des fientes récupérées.

## 2. 7. Analyse statistique

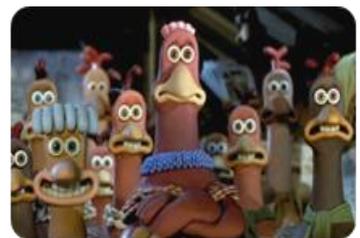
Les données ont été analysées par l'utilisation du logiciel d'analyse statistique **Excel Stat 2009** en incluant l'effet de la supplémentation en argile.

Des comparaisons statistiques des données expérimentales ont été effectuées par la procédure **ANOVA** (test paramétrique) et la différence entre les moyennes est déterminée par le **test de Tukey**.

Les données sont présentées sous forme « moyenne  $\pm$  écart type ». Le niveau de confiance statistique a été placé à  $p < 0.05$ , il n'est indiqué que lorsqu'il est significatif.

Le test de **Khi-deux** a été utilisé pour comparer les scores de l'état plumage des sujets de différents lots.

# *RESULTATS ET DISCUSSION*



### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 1. Caractérisation et analyses des argiles étudiées

Plusieurs méthodes d'investigations ont été utilisées pour la caractérisation des argiles à savoir : l'analyse de la composition chimique par Fluorescence X, en prenant en compte l'analyse minéralogique par la diffraction des rayons X, la surface spécifique et la capacité d'échange cationique.

##### 1.1. Analyse chimique par Fluorescence X

Ces argiles ont été dosées par cette technique afin de déterminer leur composition chimique en termes de pourcentage d'oxydes, le tableau 01 montre les résultats en pourcentage de chaque élément chimique.

**Tableau 01.** Composition chimique des argiles utilisées (%)

% massique	Kaolin	Marne1	Marne2
SiO <sub>2</sub>	49,30	44,23	43,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,00	13,34	18,37
Na <sub>2</sub> O	0,16	1,12	1,13
CaO	0,08	7,86	5,02
K <sub>2</sub> O	2,90	2,02	1,80
MgO	0,40	2,10	2,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,50	3,74	5,56
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,49	3,31	2,38

D'après ces résultats, on remarque que les argiles analysées sont des argiles silicatées, riches en alumine. Le rapport SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour les deux argiles marneuses est en accord avec celui des montmorillonites compris entre 2 et 5,5 (Güngör et Karaoglan, 2001 ; Jozja et al., 2003). Ces deux argiles renferment des teneurs importantes en CaO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Alors que la composition du kaolin associée à une teneur importante en K<sub>2</sub>O, ceci peut être dû à la présence d'une phase micacée.

Il ressort de l'examen des résultats de la composition chimique que ces trois argiles présentent une teneur élevée en  $\text{SiO}_2$  à tendance aluminique.

### 1.2. Analyse minéralogique (DRX)

D'après les résultats de la diffraction des rayons X, les phases cristallines principales trouvées dans les deux argiles marneuses sont : la calcite, le chlorite, la dolomite, le quartz, la kaolinite, la montmorillonite et l'illite. D'autre part, la phase principale constituant le kaolin est la kaolinite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou l'halloysite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;  $n \geq 4$ ), avec présence d'autres minéraux détritiques comme l'halloysite, quartz, feldspath, muscovite et la calcite.

### 1.3. Surface spécifique

Les résultats des surfaces spécifiques des argiles testées sont présentés dans le tableau 02.

**Tableau 02.** Les résultats des surfaces spécifiques des argiles étudiées

Argiles	Surface spécifique ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
Kaolin	20,57
Marne1	38
Marne2	36,5

Les valeurs de surface spécifique des échantillons Marne1 et Marne2 sont respectivement de  $38 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  et  $36,5 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  et celle d'échantillon Kaolin est de  $20,57 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . En effet, d'après **Ferrari et Gualtieri (2006)**, la kaolinite conduit toujours à des surfaces proches de  $20 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . La détermination des surfaces spécifiques apporte une aide précieuse dans l'estimation des compositions minéralogiques des phases fines telles que les silicates lamellaires.

#### 1.4. Capacité d'échange Cationique

Les résultats de la capacité d'échange cationique des trois argiles (kaolin, marne1 et marne2) sont regroupés dans le tableau 03.

**Tableau 03.** Les résultats de la CEC des argiles étudiées

Argiles	CEC (meq/100g)
Kaolin	20.5
Marne1	36,5
Marne2	38

D'après le tableau 03, on constate que les deux argiles marneuses possèdent la plus grande capacité d'échange cationique par rapport au kaolin.

#### 2. Caractérisation et analyses des aliments utilisés

Les caractéristiques nutritionnelles et la composition chimique des régimes de démarrage, de croissance et de finition servis dans le cadre de cette expérience sont représentées dans le tableau 04.

**Tableau 04.** Recommandations alimentaires et composition chimique des aliments servis

(EM en Kcal/Kg ; composition en % de la MS)

Composition	EM	MM	MO	PB	MG	P	Ca
<b>Aliment démarrage</b>							
Recommandations (*)	3250	/	/	22	/	0,42	1
Composition d'aliment	3369	7,0	93	23,4	4,2	/	/
<b>Aliment Croissance</b>							
Recommandations (*)	3250	/	/	22	/	0,42	1
Composition d'aliment	3568	5,4	94,6	22,7	3,7	/	/
<b>Aliment Finition</b>							
Recommandations (*)	3250	/	/	17	/	0,38	0,9
Composition d'aliment	3420	6,0	94	19	4,1	/	/

(\*) : Larbier et Leclercq (1992).

Les aliments utilisés au cours de cet essai sont caractérisés par des concentrations énergétiques élevées (**3,66%**) que celles recommandées pour le poulet de chair. Le même constat a été relevé pour les taux de protéine brute qui étaient relativement élevés et notamment dans l'aliment finition. Cependant, il est connu que tout accroissement de l'ingéré énergétique s'accompagne d'un effet similaire sur le gain de poids et une meilleure efficacité alimentaire à condition que la concentration énergétique reste dans la limite de 3250Kcal car au delà de cette valeur, il y a risque de dépôt de gras et pertes économiques (**Larbier et Leclercq, 1992**).

Ainsi, des teneurs élevées en protéine brute peuvent provoquer des troubles digestifs, des lésions rénales et une sensibilité générale de l'organisme.

### **3. Paramètres mesurés**

Les résultats concernant l'efficacité des argiles testées sur les paramètres mesurés (performances de croissance, rendements en découpe, poids des organes internes, morphométrie intestinale, état du plumage et état des fientes) dans le cadre de cette expérimentation sont présentés dans les tableaux (**05 - 10**) et illustrés aux figures (**01 - 13**).

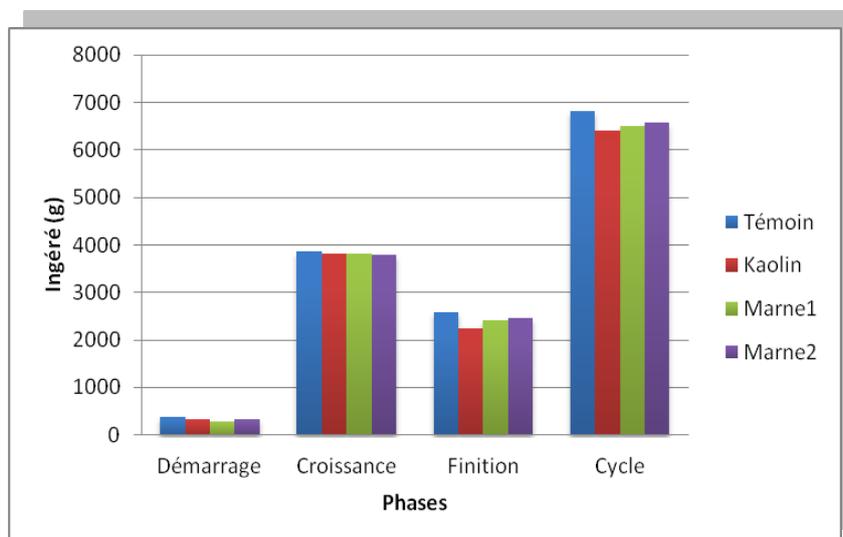
#### **3.1. Performances de croissance**

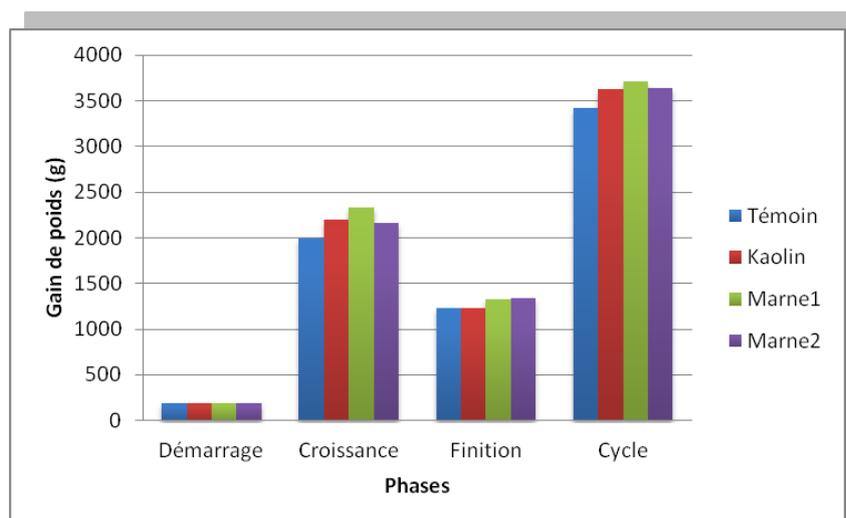
Les résultats des performances de croissance des poulets nourris avec des régimes standard ou supplémentés en différents types d'argiles (kaolin, marne blanche et marne grise), sont présentés dans le tableau **05** et illustrés aux figures **01, 02** et **03**.

**Tableau 05.** Effets des régimes testés sur le gain de poids (g), l'ingéré alimentaire (g) et l'indice de consommation

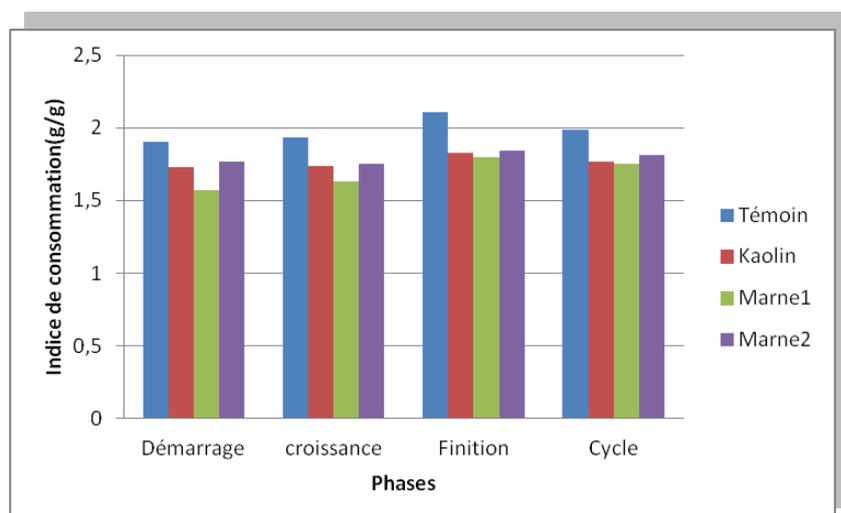
Paramètres	Traitements				valeur-p
	T	K	M1	M2	
<b>Gain de poids</b>					
1-14 J	194 ± 3,6	193 ± 7	185 ± 5	185 ± 5	0,6
15-42 J	1996 <sup>c</sup> ± 11	2200 <sup>b</sup> ± 16	2334 <sup>a</sup> ± 15	2162 <sup>b</sup> ± 19	< 0,001
43-56 J	1226 <sup>b</sup> ± 8	1230 <sup>b</sup> ± 14	1328 <sup>a</sup> ± 15	1338 <sup>a</sup> ± 8,5	0,01
1-56 J	3416 <sup>b</sup> ± 24,3	3623 <sup>ab</sup> ± 18,3	3712 <sup>a</sup> ± 14,6	3634 <sup>ab</sup> ± 11,3	0,02
<b>Ingéré alimentaire</b>					
1-14 J	369 <sup>a</sup> ± 10	335 <sup>a</sup> ± 9	292 <sup>b</sup> ± 28	327 <sup>a</sup> ± 8	0,013
15-42 J	3857 <sup>a</sup> ± 41	3825 <sup>ab</sup> ± 13	3807 <sup>ab</sup> ± 18	3794 <sup>b</sup> ± 17	0,018
43-56 J	2586 <sup>a</sup> ± 34	2252 <sup>d</sup> ± 9	2409 <sup>c</sup> ± 21	2460 <sup>b</sup> ± 6	< 0,001
1-56 J	6812 <sup>a</sup> ± 10	6413 <sup>d</sup> ± 8	6508 <sup>c</sup> ± 6	6581 <sup>b</sup> ± 18	< 0,001
<b>Indice de consommation</b>					
1-14 J	1,90 <sup>a</sup> ± 0,06	1,73 <sup>ab</sup> ± 0,09	1,57 <sup>b</sup> ± 0,14	1,77 <sup>ab</sup> ± 0,05	0,04
15-42 J	1,93 <sup>a</sup> ± 0,02	1,74 <sup>b</sup> ± 0,03	1,63 <sup>c</sup> ± 0,04	1,75 <sup>b</sup> ± 0,02	0,01
43-56 J	2,11 <sup>a</sup> ± 0,13	1,83 <sup>b</sup> ± 0,02	1,80 <sup>b</sup> ± 0,08	1,84 <sup>b</sup> ± 0,10	0,03
1-56 J	1,99 <sup>a</sup> ± 0,15	1,77 <sup>b</sup> ± 0,09	1,75 <sup>b</sup> ± 0,07	1,81 <sup>b</sup> ± 0,05	0,02

Différentes lettres (a,b,c) dans la même rangée montrent des différences significatives entre les groupes ( $p < 0,05$  ou plus). **T** : témoin, **K** : kaolin, **M1** : marne blanche, **M2** : marne grise.

**Figure 01.** Représentation graphique de l'ingéré des quatre lots selon les phases.



**Figure 02.** Représentation graphique du gain de poids des quatres lots selon les phases.



**Figure 03.** Représentation graphique de l'indice de consommation des quatres lots selon les phases.

Connaissant la quantité d'aliment consommée, le gain de poids des animaux et leur nombre, nous avons pu calculer les indices de consommation en fonction du traitement.

Globalement, l'analyse des résultats des régimes utilisés au cours de cette expérience a montré que la marne blanche (M1) était plus intéressante pour l'amélioration des performances de croissance. Ainsi, les principaux effets constatés ont été résumés en ce qui suit :

En terme d'ingestion alimentaire, les résultats présentés dans le tableau 01 et illustrés à la figure 01 montrent que quelque soit la phase d'élevage, les poulets des lots kaolin (K), marne blanche (M1) et marne grise (M2) avaient tendance à consommer moins d'aliment que leurs homologues du lot témoin (T), cette ingestion alimentaire a été réduite de façon significative ( $p < 0,05$ ). La prise alimentaire la plus faible a été observée après l'ajout de 3% de marne blanche

(M1) pendant la phase démarrage (-20 %). Aussi, on observe durant la même phase que l'ajout d'autres types d'argiles (kaolin et marne grise) diminue la quantité d'aliment ingérée par rapport au témoin où les diminutions significatives observées sont : (-9 %) pour le traitement K et (-11,4 %) pour le traitement M2. Tandis que, au cours de la phase croissance, on constate une légère diminution de la consommation : (-1 %) pour le lot K, (-1,3 %) pour le lot M1 et (-1,63%) pour le lot M2. Concernant la phase finition, les diminutions significatives remarquées sont : (-12,9 %), (-6,8 %) et (-4,8 %) pour les lots K, M1 et M2 respectivement, et par conséquent sur l'ensemble de la période d'élevage, on constate les réductions alimentaires suivantes : (-5,8 %), (-4,5 %) et (-3,5 %) pour les lots K, M1 et M2 respectivement.

Les résultats susmentionnés concernant l'ingéré alimentaire étaient en général en conformité avec les résultats de **Seller et al. (1980)** et de **Patckova et al. (1982)**. Une diminution de l'ingéré alimentaire avec l'ajout de 2 %, 3 % et 4 % de bentonite de sodium a été rapportée chez les poulets de chair par **Taquir et Nawaz (2001)**. De plus, **Acosta et al. (2005)** ont rapporté que l'addition de 1% de zéolite à l'alimentation de poulet de chair réduit l'ingéré alimentaire. Cette réponse a aussi été confirmée par les résultats observés chez les poulets à l'âge de 36 jours par **Hadj Ayed et al. (2008)** après une incorporation de 2 % de sépiolite où la diminution était 6 %. Un effet similaire à celui observé dans la présente expérimentation a été obtenu par **Owen et al. (2012)** qui ont rapporté que la consommation quotidienne était la plus élevée dans le lot témoin (91,07g) et variait entre 83,93g – 87,50g dans les régimes supplémentés en kaolin (1 %, 2 % et 3 %). Une différence significative ( $p < 0,05$ ) existait aussi en faveur de l'alimentation totale durant une période d'élevage de 56 jours. Le lot témoin a enregistré le plus haut total de l'ingéré de 5,10 kg, les données ont montré que les poulets des lots additionnés par 10g, 20g et 30g de kaolin avaient une consommation alimentaire durant la période totale de l'étude : 4,70 kg, 4,90 kg et 4,80 kg respectivement. **Hu et al. (2013)** ont également rapporté une réduction de la consommation alimentaire après une addition de l'argile (montmorillonite) à l'alimentation de poulets de chair. Aussi, selon l'étude de **Khanedar et al. (2013)**, leurs résultats ont montré que l'ingéré a été significativement plus faible dans le traitement de 1 % de bentonite durant la phase finition et durant toute la période d'élevage par rapport au lot témoin. En outre, il est à noter que dans une étude d'**Ouachem et al. (2014a)**, les poulets recevant des régimes supplémentés en même type d'argile (marne ou kaolin) et avec même niveau d'incorporation (3 %) ont une consommation alimentaire inférieure à celle de poulets nourris avec un régime témoin (sans supplémentation) : 276g vs 289g ( $p= 0,03$ ) ; 283g vs 289g pour le lot marne et le lot kaolin respectivement pendant la

phase démarrage. **Lemos et al. (2015)** ont également montré que la quantité d'aliment consommée a été réduite de façon significative ( $p < 0,05$ ) après une supplémentation en kaolin pendant la période de 15 à 21 jours d'âge et de 22 à 34 jours d'âge. Pour finir, chez les autres types d'élevage avicole (l'élevage de la caille japonaise et l'élevage des oies), des observations similaires (**Niamat, 2014 ; Lavigne et al., 2015**) confirment le pouvoir bénéfique des argiles testées lors de cette étude sur l'ingéré alimentaire de poulet de chair.

Cependant, les effets des argiles sur les performances de croissance des animaux sont variables (**Almeida et al., 2014**), et contrairement aux résultats mentionnés ci-dessus, certaines études ont rapporté aucun effet d'argile n'a été observé à l'égard de l'ingéré alimentaire. A titre d'exemple, selon **Esmeralda et al. (1992)** aucun effet d'argile n'a été constaté sur la quantité d'aliment consommée par les poulets durant la phase démarrage et croissance. **Salari et al. (2006)** ont aussi rapporté que l'ajout de 1 % ou 2 % de bentonite de sodium n'affecte pas la consommation sur la période de 1 - 28 jours et de 29 - 42 jours et au cours du cycle total d'élevage (1 - 49 jours). De plus, il a été indiqué par **Safaeikatouli et al. (2010)** que la consommation n'a pas été touchée par l'addition de 1,5 % ou 3 % du kaolin, bentonite ou zéolite pendant la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> semaine d'élevage. Les mêmes résultats ont été trouvés par **Cabuk et al. (2004)** et **Grosickietal et al. (2010)** cités par **Safaeikatouli et al. (2010)**. Outre, **Ouachem et al. (2011)** ont rapporté que l'addition de marne (3%) à l'aliment contenant l'huile acide (5%) n'affecte pas l'ingéré alimentaire durant la phase démarrage. De même, dans une étude ultérieure d'**Ouachem et Kaboul (2012)**, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été obtenue après une incorporation de 3 % de marne dans les régimes de poulet de chair au cours de phase démarrage. Des réponses similaires ont été signalées par **Nikolakakis et al. (2013)** et **Ouachem et al. (2014b)**.

Inversement, d'autres résultats contradictoires aux résultats actuels indiquent que l'inclusion des argiles dans l'aliment de volailles, pourrait augmenter de façon significative la quantité d'aliment consommée. Parmi ces études, on mentionne l'étude de **Pasha et al. (2008)** qui ont utilisé différents niveaux d'addition de bentonite de sodium et ils ont rapporté que plus d'aliment a été consommé par les poulets recevant des régimes supplémentés en 1 % de bentonite de sodium. De plus, la même étude mentionnée précédemment de **Safaeikatouli et al. (2010)** a montré que l'ingéré alimentaire a été significativement plus élevé avec 1,5 % de bentonite à la 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine et avec 1,5 % de zéolite ; 3 % de bentonite durant la 5<sup>ème</sup> semaine en comparaison avec le lot témoin. Des travaux récents ont des effets similaires à celui indiqué par **Safaeikatouli et al. (2010)**, ont été rapportés par **Damiri et al. (2012)** et **Ani et al. (2014)**.

Concernant le gain de poids, l'évolution de ce paramètre en fonction du traitement sur la période expérimentale (démarrage, croissance, finition et cycle total) est présentée dans la figure 02. Les différents traitements n'affectent pas le gain de poids durant la phase démarrage ( $p > 0,05$ ), les poulets du lot témoin (T) et ceux nourris aux aliments supplémentés en argiles (K, M1 et M2) avaient pratiquement le même gain de poids. En revanche, sur les phases croissance, finition et sur l'ensemble de la période d'élevage, on constate des améliorations significatives du gain de poids pour les sujets des lots K, M1 et M2 en comparaison avec ceux du lot T et plus précisément ces augmentations du gain de poids sont: (+ 10 % pour lot K), (+ 16 % pour lot M1) et (+ 8,3 % pour lot M2) ( $p < 0,001$ ) pendant la phase croissance ; (+ 8,3 % pour lot M1), (+ 9 % pour lot M2) ( $p = 0,01$ ) pendant la phase finition ; (+ 6 % pour lot K), (+ 8,6 % pour lot M1) et (+ 6,4 % pour lot M2) ( $p = 0,02$ ) au cours du cycle total d'élevage.

Les résultats obtenus lors de la phase démarrage ont également été observés par **Elliot et Edwards (1991)** et par **Altiner et al. (2009)** qui ont trouvé que l'addition de zéolite naturelle au régime de poulets n'a aucun effet sur le poids corporel ( $p > 0,05$ ), les résultats de la présente étude sont également en accord avec d'autres rapports (**Xia et al., 2004 ; Kermanshahi et al., 2009**). La même réponse a été obtenue par **Khanedar et al. (2013)** avec l'ajout de deux types de bentonite (bentonite de sodium et bentonite de calcium).

Cependant, des résultats de diverses études sur les effets d'argiles sur la croissance des animaux étaient généralement incohérents (**Poulsen et Oksbjerg, 1995**). Selon **Ouhida et al. (2000c)**, l'ajout de sépiolite (2%) a eu un effet bénéfique sur le gain de poids notamment au cours de la phase démarrage. Aussi, des récents résultats obtenus avec l'argile marneuse ont indiqué une augmentation de gain de poids durant cette phase (**Ouachem et al., 2010 ; Ouachem et Kaboul, 2012**). Outre, **Niamat (2014)** a conclu que, chez la caille japonaise, l'addition de bentonite sodique à 6% a eu des effets bénéfiques sur sa croissance pendant la phase démarrage.

En revanche, les améliorations observées concernant le gain de poids au cours de phases restantes d'élevage (croissance et finition) et pour le poids corporel final (cycle total) étaient en général en conformité avec les résultats de précédents travaux qui ont montré un effet favorable de la supplémentation avec des argiles sur la croissance de poulets de chair lorsque les animaux ont été élevés dans des conditions standard (**Nowar et al., 1989 ; Nasir et Haq, 2001 ; Tauqir et al., 2001 ; Grosick et al., 2004 ; Trckova et al., 2004 ; Salari et al., 2006 ; Karamalis et al., 2008 ; Hadj Ayed et al., 2008**). Selon **Pasha et al. (2008)**, des améliorations de gain de poids, après une incorporation de 0,5 et 1% de bentonite de sodium, ont été rapportées, ce qui confirme les résultats de la présente expérience.

De plus, **Safaeikatouli et al. (2010)** ont comparé l'effet de l'ajout du kaolin, de bentonite et de zéolite, ils ont trouvé que les régimes contenant 3% de zéolite et de bentonite augmentent le gain de poids au cours de la 1<sup>ère</sup> et 6<sup>ème</sup> semaine et 1,5 % du kaolin et de zéolite augmentent significativement le gain de poids en 5<sup>ème</sup> semaine par rapport au lot témoin, respectivement. Dans une expérience ultérieure, **Mallek et al., (2012)** ont mené une expérience dans laquelle les poulets nourris avec un régime supplémenté en clinoptilolite, ils ont trouvé que les poulets du lot de 1 % d'argile avaient un poids corporel plus élevé que ceux du lot témoin à l'âge de 45 jours (2,44 kg vs 2,24 kg ;  $p < 0,001$ , respectivement). Aussi, **Eser et al. (2012)** ont signalé une amélioration du poids corporel et du gain de poids chez les poulets recevant des rations supplémentées en argile sépiolite. Récemment, d'après l'étude de **Nikolakakis et al. (2013)**, en comparaison avec le lot témoin les rations contenant 2 % et 3 % de zéolite ont montré une augmentation du gain de poids au cours de la période totale d'élevage. Pour une étude qui a duré les quatre dernières semaines d'élevage (**Ani et al., 2014**), la croissance la plus sensiblement élevée (le poids corporel final et le gain moyen quotidien) a été observée pour les poulets nourris avec un régime contenant 5 % d'argile par rapport au lot témoin. De même, l'étude d'**Ouachem et al. (2014a)** a également révélé que la marne améliore significativement ( $p=0,02$ ) le gain de poids à l'âge d'abattage (56 jours) (3491 g pour lot marne contre 3222 g pour lot témoin). Selon **Lemos et al. (2015)**, le poids moyen a augmenté significativement ( $p < 0,05$ ) après l'ajout du kaolin durant toutes les périodes analysées. Dans leur étude, sur la période de 15 à 21 jours d'âge, les deux niveaux d'incorporation du kaolin (0,75% ou 1,5%) testés ont augmenté le poids moyen par rapport au témoin, alors que durant les périodes (22 à 34 jours et 35 à 52 jours d'âge) l'inclusion de 1,5% du kaolin a donné lieu au meilleur poids corporel. Ces résultats confirment ce qui a été observé pour le lot kaolin dans la présente expérience, sauf que durant la phase finition (43 à 56 jours) on a remarqué que le kaolin (3%) n'a eu aucun effet bénéfique sur le gain de poids.

En revanche, dans certaines études, il a été rapporté qu'aucune amélioration de gain de poids n'a été notée par **Kermanshahi et al. (2009)** qui ont révélé cette réponse après l'incorporation de bentonite à l'alimentation de poulet de chair. De plus, durant la période de croissance l'ajout de 0,5 % et 1% de sépiolite n'affecte pas la croissance de poulets (**Eser et al., 2012**). Dans une expérience ultérieure, **Khanedar et al. (2013)** n'ont signalé aucun effet améliorant sur le gain de poids des poulets recevant un régime contenant deux types de bentonite.

Les résultats de diverses études concernant les effets d'argiles sur les performances des animaux étaient généralement incohérents (**Poulsen et Oksbjerg, 1995 ; Ouhida et al., 2000**).

Concernant l'efficacité alimentaire, d'après la première lecture du tableau **01**, l'analyse statistique montre que l'addition de 3% du kaolin et de deux types de marne (marne blanche et marne grise) entraîne une amélioration de l'indice de consommation d'une manière significative ( $p < 0,05$ ) par rapport au lot témoin.

L'exploitation du tableau donne d'autres détails, contrairement à une légère différence entre lot témoin et les deux lots kaolin (K) et marne grise (M2), une différence significative entre lot témoin (T) et lot marne blanche (M1) ( $p < 0,04$ ) a été observée au cours de la phase démarrage. Dans la phase croissance, une amélioration significative de l'indice de consommation dans tous les lots expérimentaux (K, M1 ou M2) est apparente par rapport au lot témoin. Il est à noter que l'indice de consommation dans le lot marne blanche (M1) était le meilleur (1,63 ;  $p = 0,001$ ). Pendant la phase finition, une différence significative ( $p = 0,03$ ) a aussi été observée entre le lot témoin et les trois lots supplémentés. Alors que, entre ces trois, aucune différence n'a été remarquée. Par conséquent pendant l'ensemble de la période d'élevage, l'utilisation de trois types d'argile affecte d'une manière identique et significative l'indice de consommation contrairement au lot témoin non additionné.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par diverses recherches (**Elliot et Edwards, 1991 ; Hesham et al., 2004; Pasha et al., 2008**) qui montrent que l'utilisation des argiles entraîne une amélioration de l'indice de consommation. **Elliot et Edwards (1991) et Pasha et al. (2008)** ont montré que l'ajout de zéolite et de bentonite à l'alimentation de poulets a amélioré significativement ce paramètre. Aussi, **Ledoux et al. (1999), Oguz et Kurtoglu (2000), Rosa et al. (2001), Pasha et al. (2007) et Shi et al. (2009)** ont rapporté une amélioration de l'indice de consommation après l'addition des aluminosilicates aux aliments contaminés par des aflatoxines. De plus, Une amélioration significative de l'indice de consommation durant les phases d'élevage (démarrage et croissance) a été remarquée par **Haj Ayed et al. (2008)** après une incorporation de 0,5%, 1% et 2% de sépiolite. Dans d'autres recherches, **Safaeikatouli et al. (2010)** ont rapporté un effet significatif de la bentonite, de zéolite et du kaolin sur l'indice de consommation de poulets de chair. D'après eux, ce dernier paramètre, chez les poulets nourris de régimes additionnés par 3% du kaolin durant la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> semaine et par 3% de zéolite durant la 1<sup>ère</sup> semaine, a significativement été amélioré ( $p < 0,05$ ) en comparaison avec celui du lot témoin. Selon **Khanedar et al. (2013)**, l'indice de consommation a été amélioré par l'addition de 1% de bentonite durant la phase finition et le cycle total d'élevage ( $p < 0,05$ ). En comparaison avec le lot témoin, les régimes alimentaires contenant 2 % et 3% de zéolite ont montré une amélioration significative ( $p < 0,05$ ) de l'indice de consommation durant la deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième semaine

et donc pour l'ensemble de la période d'élevage. L'addition de 1% de zéolite pendant la 5<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> semaine favorise aussi significativement l'efficacité alimentaire (**Nikolakakis et al., 2013**).

Dans une autre étude réalisée chez la caille japonaise, **Niamat (2014)** a rapporté que le meilleur indice de consommation a été noté chez les sujets recevant des aliments contenant des doses plus élevées (4% et 6%) de bentonite en comparaison avec ceux du lot témoin à 21 jours d'âge. D'après une récente étude de **Lemos et al. (2015)**, l'indice de consommation a été amélioré significativement ( $p < 0,05$ ) après une addition du kaolin à l'alimentation durant les périodes de 15 à 21 jours et de 34 à 52 jours d'âge en comparaison avec le lot témoin.

Paradoxalement, **Cabuk et al. (2004)** ont rapporté que la supplémentation d'aliment en zéolite n'affecte pas l'indice de consommation. De plus, ce dernier n'a pas significativement été influencé par la supplémentation en argile, cette réponse est également en accord avec les résultats de **Nasir et Haq (2001)**, **Damiri et al. (2010)** et **Eser et al. (2012)**. Par ailleurs, **Kermanshahi et al. (2009)** ont aussi rapporté que la supplémentation en bentonite n'affecte pas l'indice de consommation. Egalement, l'utilisation de 1% et de 2% de l'argile palygorskite (une argile avec des caractéristiques physicochimiques similaires à celles de sépiolite) n'a eu aucun effet significative sur l'efficacité alimentaire (**Pappas et al., 2010**). Plus récemment, **Ani et al. (2014)** n'ont signalé aucun effet significatif de l'argile (1%, 2%, 3%, 4% ou 5%) sur l'efficacité alimentaire de poulet durant la phase démarrage (10 jours).

Comme nous l'avons vu, la supplémentation des régimes alimentaires en argiles diminue la prise alimentaire durant les différentes phases d'élevage. Ainsi, les animaux recevant ces régimes supplémentés ont un gain de poids élevé. Nous pouvons en conclure que la présence des particules argileuses dans la lumière intestinale optimise l'efficacité alimentaire. Ces observations confirment les effets bénéfiques des argiles testées lors de cette étude sur les performances de croissance de poulet de chair. Ces effets peuvent être expliqués par une amélioration de la digestibilité de la ration alimentaire sous l'action des particules argileuses sur le temps de transit. D'une part, en réduisant la viscosité intestinale (**Pasha et al., 2008 ; Damiri et al., 2010**) et permettant un meilleur accès des enzymes endogènes aux nutriments et d'autre part, en activant la fonction des enzymes elles-mêmes (**Tortuer et al., 1992 ; Ouhida et al., 2000 ; Alzueta et al., 2002**). Ces phénomènes permettent d'augmenter l'énergie métabolisable des rations et ainsi les performances des animaux.

En effet, l'incorporation des argiles dans l'alimentation des poulets réduit le taux de transit alimentaire améliorant ainsi la digestibilité des nutriments ce qui affecte leur prise alimentaire et

leur exigence d'ingestion pour répondre à leurs besoins nutritionnels (**Casting, 1989 ; Angulo et al., 1995**).

A partir de plusieurs études anciennes et récentes (**Mumpton et Fishman, 1977** cités par **Safaeikatouli et al., 2012 ; Paolo et al., 1999 ; Ouhida et al., 2000<sub>a</sub> ; Alzueta et al., 2002 ; Pasha et al., 2008 ; Damiri et al., 2010 ; Safaeikatouli et al., 2012**), il a été suggéré que les argiles peuvent augmenter la digestibilité des nutriments ainsi que les performances des poulets. A titre d'exemple, les travaux de **Damiri et al. (2012)** ont montré que l'addition de faibles niveaux de bentonite sodique (3% et moins) pourrait être attribuable à une augmentation de la durée de rétention du bol alimentaire dans le tractus intestinal et par conséquent optimiser l'utilisation des nutriments en améliorant leur digestibilité.

Par ailleurs, **Reichard (2008)** et **Hubold et al. (2009)** cités par **Dia Mohamed et al. (2015)** évoquent la capacité des argiles à favoriser le contact entre les enzymes et les nutriments, mais aussi la présence de **co-facteurs** enzymatiques dans les argiles sous formes d'ions métalliques, permettant une meilleure activité enzymatique. Ces ions métalliques comme le cuivre ou le zinc semblent efficacement avoir la capacité d'activer certaines enzymes (**Niederhoffer, 2000 ; Joudreveille et al., 2002**).

Outre, d'après diverses expériences de complémentation des régimes avec des argiles (**Huntington et al., 1977 ; Southern et al., 1994 et Trckova et al., 2004**), il a été rapporté que les animaux nourris avec une ration avec au moins 5% de bentonite sur une période longue consomment moins d'aliment pour un gain de masse corporelle similaire à celui du témoin. Selon **Reichard (2008)** a rapporté que ces données bibliographiques amènent à penser que la réduction de l'ingéré alimentaire pourrait être médiée par des peptides impliquées dans la régulation de la balance énergétique. Aussi, le même chercheur a indiqué que les rats nourris avec des régimes complétés en kaolin présentent des concentrations plasmatiques en leptines supérieures à celles peptidiques sont secrétées majoritairement par les tissus adipeux après absorption des lipides, et agit sur le métabolisme énergétique et la régulation de la masse corporelle en diminuant la prise alimentaire et en stimulant la dépense énergétique (**Houseknecht et al., 1998 ; Parrachin et al., 2005**). En outre, un régime comprenant 30% de kaolinite induit l'augmentation de concentration du peptide **YY** dans le plasma (**Goodlad et al., 1987 ; 1989**). Ce peptide est un facteur de satiété à court terme exprimé par l'intestin (**Konturek et al. 2004**).

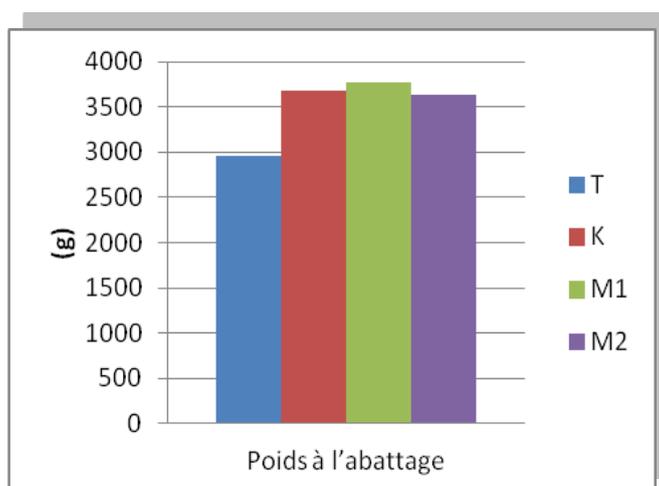
### 3.2. Rendements en découpe et gras abdominal

Les différents résultats concernant le rendement de carcasse et le gras abdominal mentionnés dans le tableau 06 et les figures 04, 05 et 06.

**Tableau 06.** Effets des régimes testés sur les rendements en découpe et le gras abdominal

Paramètres	-----Traitements-----				valeur-p
	T	K	M1	M2	
Poids à l'abattage	2958 <sup>(c)</sup> ± 3	3680 <sup>(ab)</sup> ±	3777 <sup>(a)</sup> ± 11	3636 <sup>(b)</sup> ± 8	0,02
----Rendements en découpe -----					
(% PV)					
Poulet prêt à cuire	65 <sup>(c)</sup> ± 9	77 <sup>(b)</sup> ± 6,7	81 <sup>(a)</sup> ± 1,06	78 <sup>(b)</sup> ± 3,7	0,03
Filet	18 <sup>(c)</sup> ± 1,5	21 <sup>(b)</sup> ± 4	24 <sup>(a)</sup> ± 3	22 <sup>(b)</sup> ± 2	0,01
Cuisse	12,5 ± 1,6	12,24 ± 5,7	12,28 ± 9	12 ± 8	0,4
Pilon	10,24 ± 3	9,5 ± 3,7	10,5 ± 2,8	10 ± 5	0,8
Gras abdominal (% PAC)	1,67 <sup>(a)</sup> ± 0,4	1,58 <sup>(b)</sup> ± 0,5	1,49 <sup>(c)</sup> ± 0,6	1,52 <sup>(c)</sup> ± 0,4	0,02

Différentes lettres (a,b,c) dans la même rangée montrent des différences significatives entre les groupes ( $p < 0,05$  ou plus). **T** : témoin, **K** : kaolin, **M1** : marne blanche, **M2** : marne grise. **PV** : poids vif, **PAC** : poulet près à cuire.



**Figure 04.** Représentation graphique du poids d'abattage en fonction des traitements.

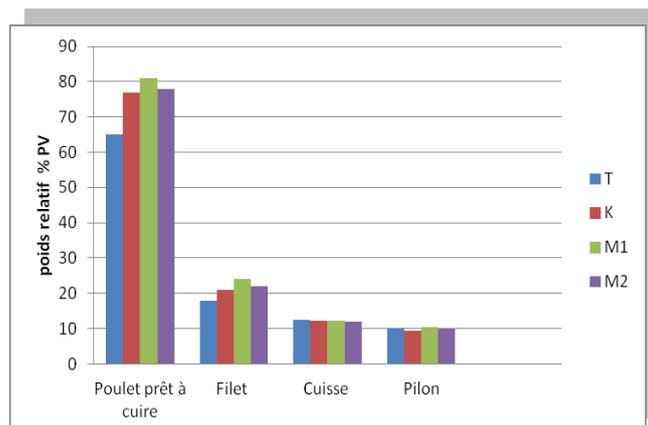


Figure 05. Représentation graphique des rendements en découpe en fonction des traitements.

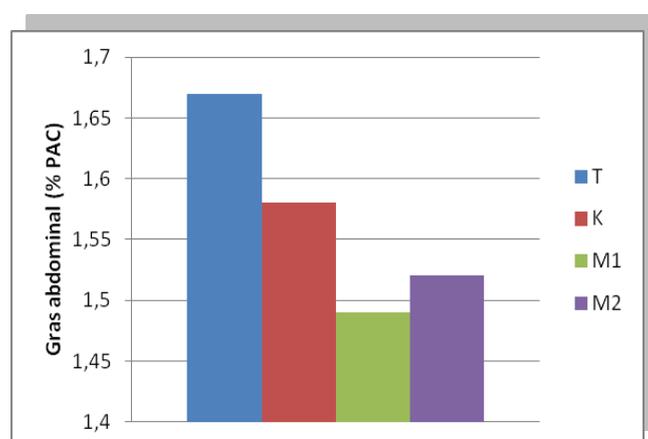


Figure 06. Représentation graphique du poids relatif du gras abdominal en fonction des traitements.

Les résultats du tableau 06 représentent les effets des régimes testés sur le poids à l'abattage, les rendements en découpe et le gras abdominal. Sous la lumière des résultats obtenus, il est possible de faire la comparaison entre les régimes testés, on constate que les trois argiles affectent significativement le poids à l'abattage, le rendement du poulet prêt à cuire, en filet et le gras abdominal mais ils n'ont pas un effet significatif sur le poids relatif de cuisse et du pilon.

L'exploitation du tableau permet de constater que les trois lots supplémentés en argiles ont une différence significative par rapport au lot témoin en ce qui concerne le poids à l'abattage ( $p=0,02$ ). Les lots kaolin (K) et marne blanche (M1) étaient les meilleurs (+ 24,4 % ; + 27,68 %). Aussi, il y a une différence significative ( $p=0,03$ ) entre les trois lots traités et le lot témoin en ce qui concerne le poids relatif de poulet prêt à cuire.

Parallèlement, les trois argiles accroissent le rendement en filet, le lot M1 réalise le meilleur résultat (+33,3%). Par ailleurs, les effets des régimes supplémentés en M1, M2 et K sur le rendement en cuisse et en pilon n'étaient pas significatifs ( $p=0,4$  ;  $p=0,8$  respectivement). On constate également que ces argiles participent à faire baisser le taux du gras abdominal. La

différence est significative entre les lots traités et le lot témoin ( $p=0,02$ ). Les sujets des lots M1, M2 réalisent les meilleurs résultats (-11 %, -9 %, respectivement).

En fait, les études qui portent sur l'effet de la supplémentation en argile sur le rendement de carcasse sont beaucoup moins nombreuses tandis que les données les plus documentées portent sur les performances de croissance. Les résultats de la présente étude sont en accord avec ceux rapportés par **Guerder et al. (2009)**, selon lesquels les argiles ont un effet positif sur le développement en viande et notamment celui du poulet prêt à cuire et celui du filet. D'après **Grashon et Brose (1997)** ; **Mallek et al. (2012)** cité par **Ouachem et al. (2015)**, en plus de l'effet sur les performances, il a été rapporté dans un nombre limité de documents que l'utilisation de l'argile améliore le rendement en découpe, la valeur sensorielle, les paramètres organoleptiques de la viande de poulet et ses capacités de transformation. De même, selon le rapport d'**Ouachem et al. (2014b)**, les effets de l'argile sur les rendements en découpe et sur la qualité de la viande n'ont pas été étudiés et les informations scientifiques sur ce sujet sont très rares. **Mallek et al. (2012)** ont constaté que la supplémentation de l'alimentation de poulets en zéolite a eu un effet positif sur le rendement, les paramètres organoleptiques et principalement l'augmentation de taux d'Omega 3.

En revanche, aucun effet n'a été observé sur les rendements en découpe après supplémentation des régimes de poulets supplémentés en sépiolite (0,5%, 1% et 2%) (**Hadj Ayed et al., 2008**). Certaines expériences réalisées par **Yalcin et al. (1995)**, **Salari et al. (2006)** et **Karmanchahi et al. (2009)** n'ont montré aucune différence dans le rendement de carcasse. De plus, selon **Safaeikatouli et al. (2012)**, il n'y avait pas de différences dans le rendement de carcasse et de filet dans tous les traitements expérimentaux et dans le témoin. En outre, aucun effet de l'addition d'argile (sépiolite) n'a été obtenu sur le rendement de carcasse ( $p>0,05$ ) (68,7% pour lot témoin ; 69,1% pour lot de 0,5% de sépiolite ; 69,1% pour lot de 1% de sépiolite) (**Eser et al.2012**). Selon l'étude de **Khanedar et al., (2013)**, le rendement de carcasse, le filet, la cuisse n'ont pas été affectés par la supplémentation en deux types de bentonite (bentonites sodique et calcique) avec différents niveaux d'incorporation (1% et 1,5%).

En interprétant les résultats de la présente expérience, on peut dire que l'amélioration de ces rendements s'explique par l'effet positif de l'argile sur l'utilisation digestive des protéines, c'est ce qui a été décrit antérieurement par **Ouhida et al. (2000b)** ; **Xia et al. (2004)** et **Ouachem et al. (2009 et 2010)**. Cet effet n'exclut probablement pas l'amélioration de la digestibilité de certains acides aminés telle que la lysine. En effet, selon beaucoup d'auteurs, la lysine constitue un facteur limitant pour les rendements en filet et en poulet prêt à cuire (**Berri, 2000** ; **Kidd et Fancher,**

2001 ; Quentin et al., 2004 ; Berri et al., 2005 et Doussrat et al., 2005). L'utilisation de sépiolite dans l'alimentation des animaux est fondée sur sa surface miroir (structure), et son transfert de cations et ses propriétés liantes d'ammonium. En outre, il a été montré pour augmenter la qualité de la carcasse, il a un effet positif sur les performances en ralentissant le passage d'aliments dans le système digestif.

Concernant la qualité de la viande, l'utilisation de la marne blanche (M1), marne grise (M2) et du kaolin (K) a été efficace sur l'abaissement du taux de gras abdominal (-11% ; -10% et -5,4%,  $p=0,02$ , respectivement). La baisse du gras constatée dans la présente expérience confirme les résultats rapportés par Luca et al. (2004) et ceux d'Ouachem et al. (2009, 2011, 2012 et 2014b). Anciennement, Lon-wo et al. (1993) ont indiqué que l'ajout de la zéolite à l'alimentation de poulets a donné lieu à une diminution du gras abdominal par rapport au lot témoin. De plus, Lotfollohan et al. (2004) ont signalé que l'utilisation de la zéolite à faible niveau (2%) a entraîné une diminution du gras abdominal, mais avec une augmentation du niveau de zéolite (4% à 6%) a entraîné une augmentation de la quantité du gras abdominal. D'après l'étude d'Eser et al. (2012), le poids relatif du gras abdominal a été diminué après une addition de 1% de sépiolite (témoin : 1,73% ; 1% sépiolite : 1,36%). Selon l'étude de Safeikatouli et al. (2012), la quantité du gras abdominal diminue significativement ( $p<0,05$ ) dans les traitements de 1,5% de bentonite et du kaolin par rapport au témoin. En outre, Ouachem et Kaboul (2012) ont rapporté une diminution significative du poids relatif (%PAC) de gras abdominal de 5,08% ( $p=0,04$ ) après une supplémentation en 3% de marne. Et plus récemment, une diminution du taux de gras abdominal de 11,8% avec l'ajout de même type d'argile et avec le même taux d'incorporation a été observée par le même auteur (Ouachem et al., 2014). Par ailleurs, selon l'étude de Khanedar et al. (2013), le gras abdominal n'a pas été affecté par la supplémentation en bentonite.

A priori, l'origine de la diminution du gras abdominal semble, en partie, être motivée par une meilleure disponibilité des protéines, comme cela a été rapporté par Jjali et al. (2009).

Au cours des dernières décennies, les consommateurs ont accordé une attention croissante à la qualité de la viande et de produits carnés transformés en raison des effets possibles sur la santé (Luna et al., 2010). L'un des principaux facteurs affectant la qualité de la viande de poulet est l'oxydation des lipides, en particulier les acides gras, qui non seulement affecte à la fois le sensoriel et la qualité nutritionnelle des aliments, mais influe sur la durée de stockage des produits alimentaires (Yanishlieva et al., 1999).

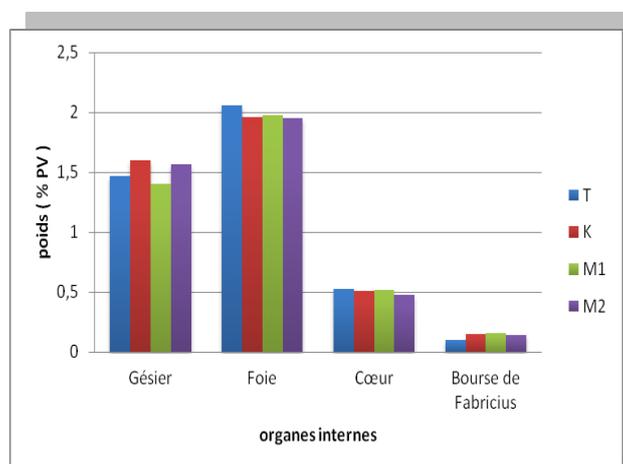
### 3.3. Modifications morphologiques des organes internes

Les différents résultats des poids relatifs des organes internes et de la bourse de Fabricius sont consignés dans le tableau **07** et illustrés à la figure **07**.

**Tableau 07.** Effets des régimes testés sur le poids des organes internes et de la bourse de Fabricius

Organes (% PV)	----- Traitements -----				valeur-p
	T	K	M1	M2	
Gésier	1,47 ± 0,13	1,60 ± 0,38	1,40 ± 0,27	1,57 ± 0,18	0,4
Foie	2,06 ± 0,17	1,96 ± 0,14	1,98 ± 0,20	1,95 ± 0,25	0,6
Cœur	0,53 ± 0,07	0,51 ± 0,12	0,52 ± 0,06	0,48 ± 0,11	0,7
Bourse de Fabricius	0,10 <sup>b</sup> ± 0,12	0,15 <sup>a</sup> ± 0,09	0,16 <sup>a</sup> ± 0,13	0,14 <sup>a</sup> ± 0,23	<0,01

Différentes lettres (a,b,c) dans la même rangée montrent des différences significatives entre les groupes ( $p < 0,05$  ou plus). **T** : témoin, **K** : kaolin, **M1** : marne blanche, **M2** : marne grise.



**Figure 07.** Représentation graphique du poids relatif des organes internes en fonction des traitements.

Les résultats de la présente étude montrent que le poids relatif du gésier, du foie et du cœur n'a pas été affecté par les régimes alimentaires testés ( $p > 0,05$ ). Une étude ancienne de **Tortuero et al. (1992)** était en cohérence avec la présente étude où ils ont montré que le poids relatif du

gésier, du foie, de la rate et du cœur n'a pas été affecté par la supplémentation en sépiolite. Aussi, ces résultats sont en conformité avec ceux rapportés par **Santinet et al. (2002)** ; **Grosick et al. (2004)** ; **Ltsham et al. (2004)** ; **Shi et al. (2009)** cité par **Safaeikatouli et al. (2010)**. De plus, ces conclusions confirment les résultats de l'étude de **Bouley et al. (2006)** qui ont conclu que l'utilisation de la bentonite dans les régimes de poulets de chair n'a pas affecté le poids relatif du cœur et du foie. Cependant, **Prvulovic et al. (2008)** ont rapporté que le poids relatif de la rate est significativement plus élevé ( $p < 0,05$ ) dans le traitement de 5 % de zéolite tandis que le poids des autres organes internes n'a pas été affecté par cette supplémentation. Aucun effet des argiles (kaolin, bentonite ou zéolite) sur le poids relatif des organes internes n'a été observé selon l'étude de **Safaeikatouli et al. (2010)**. L'argile sépiolite aussi n'avait aucun effet sur le poids relatif du gésier, du foie, du cœur et de la rate selon l'étude d'**Eser et al. (2012)**. Les mêmes résultats ont été rapportés par **Khaneder et al. (2013)** avec l'argile bentonite sodique et calcique. Récemment, des études portant sur la caille japonaise ont également montré qu'il n'y a pas d'effet significatif de différents taux d'incorporation de bentonite sodique sur le poids relatif des organes internes (**Niamat, 2014**).

Les organes internes des volailles peuvent être touchés par les mycotoxines. Les effets des aluminosilicates cristallines sont examinés par **Gilani et al. (2016)**. Ce point a été largement revu précédemment (chapitre II) et ne fera qu'être brièvement décrit dans la présente partie. Les volailles sont très sensibles à la présence d'aflatoxines et les effets les plus observés chez le poulet de chair (**Eraslan et al. 2004a**) et chez la caille japonaise (**Eraslan et al. 2004b**) sont des dommages au foie et des augmentations de sa masse et de son poids, un retard de croissance, une diminution de la prise alimentaire et un affaiblissement du système immunitaire. Des agents de liaison incorporés dans l'alimentation animale avec des taux couramment utilisés, et qui ont une structure absorbante et parmi eux les aluminosilicates (**Eraslan et al. 2005**), ont été utilisés pour prévenir et réduire les effets néfastes des mycotoxines chez les poulets, les dindes, et les cailles. **Miazzo et al. (2005)** ont découvert que l'ajout de 0,3 % de bentonite sodique à un régime contenant de l'AFB1 a réduit l'incidence et la gravité des changements histopathologiques hépatiques associées à l'aflatoxicosis. L'histopathologie du foie, comme l'organe cible de l'AFB1, a montré que les lésions attribuées à l'aflatoxicosis ont été améliorées par l'ajout de 0,3 % de bentonite (**Magnoli et al., 2008 ; 2010**). L'ajout de 2 % de la clinoptilolite à un régime alimentaire contenant de l'AF a atténué la gravité des lésions dans le foie des poulets (**Safameher, 2008**). L'ajout de la clinoptilolite (1,5% et 2,5 %) à un régime alimentaire contenant les aflatoxines affecte partiellement à la fois l'incidence et la gravité des lésions dans les organes des poussins (**Ortaltali et al., 2005**). En outre, **Eckhardt et al. (2014)**

ont récemment indiqué que l'ajout de montmorillonite traitée en calcium dans l'aliment de poulets contre les aflatoxines entraîne l'amélioration du gain du poids, de l'ingéré alimentaire et de l'indice de consommation de poulets de chair. Le principal mécanisme d'adsorption de l'AF à travers ces adsorbants implique la formation de doubles liaisons hydrogène entre l'AFB1 et de l'aluminosilicate (**Desheng et al., 2005**). Il semble que l'adsorption des aflatoxines est liée à la fois à la substitution isomorphique de la structure de la montmorillonite et des interactions électrostatiques avec les charges de surface.

Contrairement aux études mentionnées ci-dessus, certains chercheurs ont indiqué que les aluminosilicates cristallines ne sont pas efficaces pour toutes les mycotoxines (**Huff et al., 1992 ; Baily et al., 1998**). L'efficacité de ces additifs dépend apparemment de leur capacité de lier l'AF dans l'intestin, et d'empêcher l'absorption des toxines (**Gray et al., 1998**). La taille des pores et la pureté de la montmorillonite (principalement évaluée par le pourcentage de quartz contenu) semblent n'avoir aucun effet sur l'adsorption des aflatoxines. Théoriquement, l'efficacité de la bentonite pour la désintoxication peut différer d'une phase géologique à l'autre et même au sein d'un lot à partir d'une source particulière (**Magnoli et al., 2008**).

Une attention particulière a été portée sur l'importance de présence des particules argileuses dans l'alimentation des volailles afin d'améliorer leur réponse immunitaire. Une augmentation significative du poids relatif de la bourse de Fabricius observée à l'âge d'abattage semble renforcer la réponse immunitaire et maintenir une condition favorable pour une croissance optimale.

Sous la lumière des résultats obtenus sur le poids relatif de la bourse de Fabricius, il est possible de faire la comparaison entre les régimes testés, on constate que les trois argiles affectent le poids relatif de la bourse de Fabricius d'une façon significative ( $p < 0,01$ ) en comparaison avec le lot témoin. Cette réponse est en accord avec les observations de **Hecham et al. (2004)** avec la supplémentation en kaolin et avec celles de **Pasha et al. (2007)** avec l'addition de bentonite de sodium. En effet, d'après ces auteurs, l'augmentation du poids de la bourse de Fabricius est accompagnée d'une amélioration de l'immunité. De plus, avec l'ajout de l'argile marneuse, **Ouachem et Kaboul (2012)** ont signalé une augmentation du poids relatif de la bourse de Fabricius (+24,3% ;  $p = 0,01$ ).

En revanche, **Safaeikatouli et al. (2010)** n'ont noté aucun effet améliorant de l'ajout de trois types d'argile (kaolin, bentonite ou zéolite) sur le poids de la bourse de Fabricius. De plus, la même observation a été rapportée par **Eser et al. (2012)** après une supplémentation en sépiolite avec une différence non significative entre le poids de BF de sujets de lot témoin et ceux de lot additionné par 1% de sépiolite (0,11% et 0,12% respectivement).

### 3.4. Morphométrie de l'intestin grêle

Les résultats des modifications morphométriques des différents segments intestinaux et de l'intestin grêle sont consignés dans le tableau 08 et illustrés aux figures 08 et 09.

**Tableau 08.** Effets des régimes testés sur la morphométrie des différents segments intestinaux

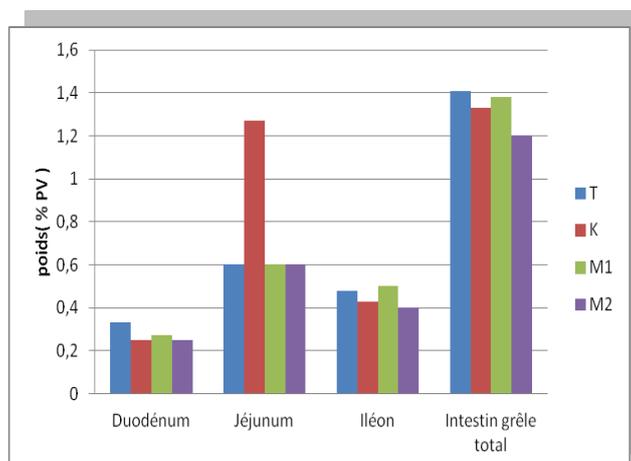
Paramètres	Groupes				valeur-p	
	T	K	M1	M2		
Duodénum	%PV	0,33 <sup>a</sup> ± 0,07	0,25 <sup>b</sup> ± 0,04	0,27 <sup>ab</sup> ± 0,04	0,25 <sup>b</sup> ± 0,04	0,02
	%LI	20 ± 3,7	19,5 ± 1,5	19 ± 2,9	20 ± 4,4	0,8
Jéjunum	%PV	0,6 <sup>b</sup> ± 0,08	1,27 <sup>a</sup> ± 0,9	0,6 <sup>b</sup> ± 0,05	0,6 <sup>b</sup> ± 0,09	0,03
	%LI	43,7 ± 3,9	46,2 ± 1,03	45,2 ± 3	45,87 ± 3	0,3
Iléon	%PV	0,47 ± 0,04	0,43 ± 0,15	0,48 ± 0,09	0,4 ± 0,09	0,4
	%LI	36 ± 2,5	34,6 ± 1,8	36,6 ± 4,43	35 ± 4	0,2
Intestin grêle total	%PV	1,41 ± 0,09	1,33 ± 0,26	1,38 ± 0,13	1,2 ± 0,21	0,1

%PV : poids relatif en % du poids vif

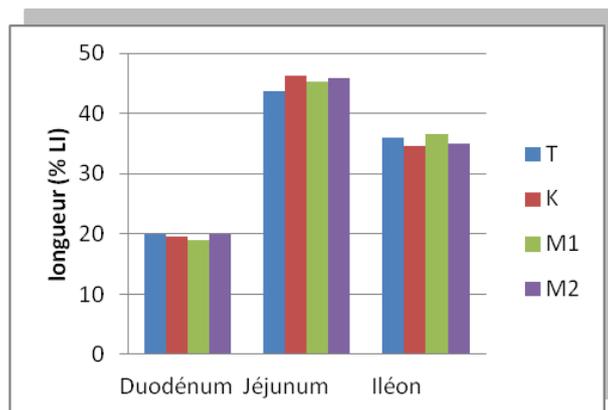
%LI : longueur en % de la longueur totale de l'intestin

Différentes lettres (a, b, c) dans la même rangée montrent des différences significatives entre les groupes (p<0,05)

T : témoin, K : kaolin, M1 : marne blanche, M2 : marne grise.



**Figure 08.** Représentation graphique du poids relatif des différents segments de l'intestin grêle en fonction des traitements.



**Figure 09.** Représentation graphique de la longueur relative des différents segments de l'intestin grêle en fonction des traitements.

Le tableau **08** montre les effets des argiles testées sur la morphométrie des différents segments intestinaux. Concernant le poids relatif (par rapport au poids vif) des trois segments de l'intestin grêle (duodénum, jéjunum et iléon), on constate qu'il y a une différence significative entre lot témoin et lots testés pour chacun du duodénum et du jéjunum, par contre, pour l'iléon la différence entre le lot témoin et les lots testés n'est pas significative ( $p > 0,05$ ). En ce qui concerne la longueur relative des trois segments de l'intestin grêle (par rapport à la longueur totale de l'intestin), la différence n'est pas significative entre les lots pour le jéjunum et l'iléon contrairement au duodénum.

L'exploitation du tableau donne d'autres détails, pour le poids relatif du duodénum on constate une différence significative entre le lot T et le lot M2 et aussi entre le lot T et le lot K, des différences non significatives sont signalées entre lot T et lot M1, entre lot M1 et lot M2 et entre les lots M1 et K. Donc aucun effet de l'argile M1 sur le poids relatif du duodénum alors que chacun du K et M2 le diminuent.

Pour le jéjunum, les différences significatives pour le poids relatif sont enregistrées entre le lot K et chacun des autres lots, alors qu'elles ne sont pas significatives entre les lots M1 et M2, M1 et T et entre M2 et T. Pour sa longueur relative, aucune différence significative n'a été observée. Pour l'iléon, aucune différence significative n'a été remarquée concernant le poids et la longueur relatifs. A propos de l'intestin grêle dans sa totalité, les trois argiles utilisées n'affectent pas son poids relatif ( $p = 0,1$ ), ceci s'explique par la compensation qui a eu lieu entre le duodénum et le jéjunum. Cette constatation concerne tous les lots.

La littérature à ce sujet est très restreinte, on ne trouve sur l'effet de l'argile sur les dimensions de l'intestin grêle du poulet que très peu d'indications. Selon **Parizadian (2013)**, l'addition de

clinoptilolite n'affecte pas la longueur et le poids du duodénum, jéjunum et de l'iléon ( $p > 0,05$ ) alors qu'elle affecte la hauteur des villosités d'une façon considérable au niveau du duodénum et du jéjunum.

Il a été démontré que les cellules épithéliales des villosités intestinales et leur morphologie affectent la fonction de l'intestin et le taux de croissance (**Ruttanavut et al. , 2009**) et ceci comme il a été signalé par **Lauronen et al. (1998)** qui ont rapporté que la grande taille des villosités a été associée à l'activité de la prolifération des cellules. De même, **Larighout et al. (1999)** ont rapporté que la grande taille des villosités et de nombreuses cellules en mitose dans l'intestin sont des indicateurs que la fonction des villosités intestinales est activée. Selon **MACARI et al. (2002)**, la capacité d'absorption de l'intestin sera directement proportionnelle à la taille des villosités. En effet, l'état des villosités intestinales est un indicateur fiable de l'absorption des nutriments chez les poulets (**Moneewan et Yamauchi, 2005**) et chez les porcs (**Mekbungwan et Yamauchi, 2004**). Selon **Yamauchi et al. (2006)**, plusieurs cellules épithéliales ont été observées sur la surface apicale des villosités chez les poulets ayant un poids corporel élevé et plusieurs cellules protubérantes ont été situées dans la lumière intestinale vue leur hypertrophie. Selon **Incharoen et al. (2009)**, le mélange de zéolite et d'extraits des plantes pourrait améliorer les performances de croissance de poulet en raison de l'hypertrophie des cellules épithéliales. En outre, **Khambuali et al. (2009)** ont rapporté que la supplémentation en zéolite et l'ajout d'extraits de plantes ont entraîné une augmentation de la hauteur des villosités intestinales (hypertrophie), de la zone des villosités, de la surface cellulaire, de la mitose des cellules épithéliales chez le canard, par conséquent une amélioration du gain de poids. De plus, **Parizadian et al. (2013)** ont signalé qu'une augmentation de la hauteur des villosités et une diminution de la profondeur des cryptes de la muqueuse intestinale de poulets nourris sur des régimes alimentaires contenant la clinoptilolite ont été observées où l'effet bénéfique de cette dernière était relativement plus marqué sur le duodénum suivi du jéjunum puis l'iléon. D'autre part, l'étude de **Lemos et al. (2015)** a révélé que la hauteur des villosités du duodénum de poulet a été influencée ( $p < 0,05$ ) par l'inclusion du kaolin où les moyennes des hauteurs étaient plus élevées comparativement au lot témoin. Une réduction de la surface des villosités était accompagnée de courtes villosités (**Park et al., 1998**), ce qui a conduit à réduire les fonctions d'absorption. Selon **Zijlstra et al. (1997)**, les villosités courtes correspondent à la réduction de l'activité des enzymes, telles que la lactase et les phosphatases alcalines. Les conclusions de **Maneewon et Yamauchi (2005)** ont également montré qu'il existe une relation positive entre le poids corporel et la hauteur des villosités chez les poulets.

La morphologie intestinale peut révéler des informations sur la santé intestinale. Un raccourcissement des villosités reflète une atrophie villositaire et une diminution de la surface d'absorption des nutriments. Selon **Ma et Guo (2008)**, la crypte peut être considérée comme usine des villosités et une grande crypte indique le renouvellement tissulaire rapide. Certains auteurs rapportent que l'augmentation de la profondeur des cryptes peut indiquer l'activité de la prolifération cellulaire, qui prend généralement la forme d'une réponse à une certaine lésion épithéliale de la muqueuse intestinale et cherche à renouveler les pertes dans la hauteur des villosités (**Furlan et al., 2004**). Ce renouvellement, selon **Markovic et al. (2009)**, demande de l'énergie et de protéines, ce qui peut réduire la croissance et le développement d'autres tissus et dans les études de **Parizadian et al. (2013)**, ceci n'était pas observé où ils ont rapporté que l'utilisation de clinoptilolite diminue significativement la profondeur des cryptes de l'intestin de poulets ( $p < 0,05$ ). De même **Lemos et al. (2015)** ont également trouvé que l'inclusion du kaolin n'affecte pas la profondeur des cryptes ( $p > 0,05$ ). En effet, les résultats de l'amélioration de l'intégrité intestinale observée dans les études de **Parizadian et al. (2013)** et de **Lemos et al. (2015)** a été reflétée dans les résultats des performances, puisque selon **Xu et al. (2003)**, la supplémentation en argile peut améliorer l'intégrité intestinale grâce à son rôle dans l'adsorption et l'élimination des microorganismes pathogènes du tube digestif de volailles, ce qui favorise l'amélioration de l'environnement et de l'épithélium intestinaux et par conséquent une plus grande utilisation des nutriments. Anciennement, il a été signalé d'après l'étude d'**Olver et al. (1983)** que la zéolite naturelle réduit le nombre de colonies microbiennes dans l'intestin proximal et distal et décrit une baisse de la mortalité chez les poulets de chair et poules pondeuses. En outre, il a été signalé que la clinoptilolite, « un stabilisateur du mucus » influence efficacement sur les effets néfastes des toxines (**Albengres et al., 1985**). Récemment, il s'est révélé que la raison en est que la clinoptilolite pourrait réduire le nombre d'*Escherichia coli* et de *Clostridium perfringens* en déprimant l'activité de leurs enzymes dans l'intestin grêle de poulets (**Xu et al., 2003**). De plus, pour l'argile montmorillonite, **Hu et al. (2013)** ont observé une amélioration de l'intégrité intestinale mesurée par la hauteur des villosités en fournissant cette argile aux poulets. Ces auteurs ajoutent que le maintien de l'intégrité intestinale est indispensable au bon fonctionnement des cellules épithéliales et l'utilisation d'argiles dans l'alimentation de volaille est une excellente alternative aux antibiotiques pour maintenir la santé intestinale et par conséquent les performances des animaux.

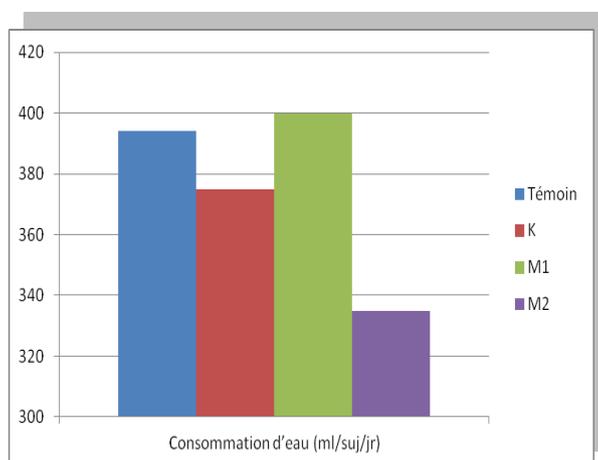
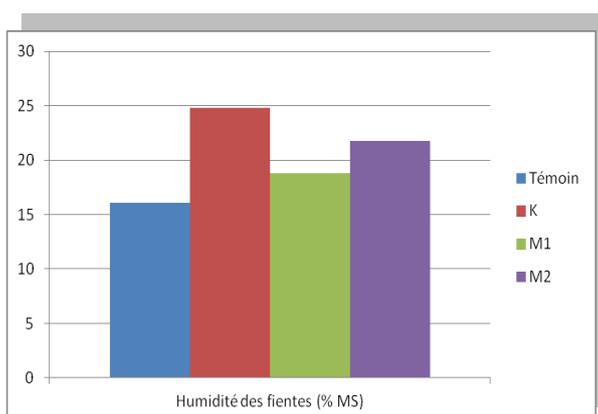
### 3.5. Humidité des fientes et consommation d'eau

Les résultats de l'humidité des fientes et de consommation d'eau sont présentés dans le tableau **09** et illustrés aux figures **10** et **11**.

**Tableau 09.** Effets des régimes testés sur l'humidité des fientes et la consommation d'eau

Paramètres	Traitements				valeur- p
	T	K	M1	M2	
Consommation d'eau (ml/suj/j)	394 ± 5	400 ± 7,07	375 ± 35	335 ± 44	0,6
Humidité des fientes (% MS)	16,10 <sup>c</sup> ± 1,4	18,8 <sup>bc</sup> ± 1,6	24,8 <sup>a</sup> ± 1,93	21,8 <sup>ab</sup> ± 2,23	0,002

Différentes lettres (a,b,c) dans la même rangée montrent des différences significatives entre les groupes ( $p < 0,05$  ou plus). **T** : témoin, **K** : kaolin, **M1** : marne blanche, **M2** : marne grise. **% MS** : pourcentage en matière sèche.

**Figure 10.** Représentation graphique de la consommation d'eau en fonction des traitements.**Figure 11.** Représentation graphique de l'humidité des fientes en fonction des traitements.

L'analyse statistique des résultats de l'humidité des fientes montre que l'apport d'argile apporte des changements significatifs ( $p=0,002$ ) à leur teneur en matière sèche bien que la quantité d'eau consommée était la même durant les trois derniers jours d'élevage. La lecture du tableau 09 permet de constater que le taux de matière sèche des fientes pour le lot marne blanche (M1), qui a réalisé le meilleur résultat, s'élève de (55 %) de celui du lot témoin (T). Alors que, les lots kaolin (K) et marne grise (M2) réalisent les augmentations suivantes : 17,5% et 36,25%, respectivement.

Ces résultats sont en accord avec ceux qui ont été obtenus par **Madkour et al. (1993)** selon lesquels les argiles, substances absorbantes, représentent un moyen pour réaliser le contrôle de l'humidité des excréments grâce leur propriété de former un complexe avec de l'eau empêchant son état libre dans les fèces excrétées. D'autre part, en ce qui concerne la consommation d'eau, nos résultats ont été similaires à ceux obtenus par **Suchy et al. (2006)** où aucune différence significative entre les lots expérimentaux n'a été observée.

Comme le contrôle de la qualité de la litière et de l'humidité des excréments est l'une des principales préoccupations de l'industrie avicole (**Francesch et Brufau, 2004 ; Kim et al., 2006**), diverses recherches ont été menées pour trouver des solutions diminuant la propagation des polluants des exploitations avicoles. Ces recherches ont proposé des moyens importants qui pourraient modifier la qualité de la litière de volaille, ces moyens ayant un aspect nutritionnel en jouant le rôle d'additifs (**Moore et al., 1996 ; Francesch et Brufau, 2004 ; Karamanlis et al., 2008**). L'argile est l'un de ces moyens, selon les rapports de **Shariatmadari (2008)** et **Safaeikatouli et al. (2010)**.

Parmi les argiles les plus utilisées, les zéolites naturelles et synthétiques (**Saada et al., 1994**), la bentonite, la smectite (**Spinosa et al., 2002**) et également la sépiolite (**Alvarez et Peres, 1982 ; Tortuero, 1983 ; Castaing, 1989 ; Schutte et Langhout, 1998 ; Ouhida et al. 2000a**). Leur utilisation dans l'alimentation animale est de plus en plus propagée en raison de leurs effets positifs sur la digestion et l'assimilation des nutriments, ainsi que sur la réduction de l'humidité des fèces (**Evans, 1993 ; Ferrell et Olver, 1997**). De plus, l'étude menée par **Olver (1997)** a montré que l'utilisation de la zéolite provoque un abaissement de l'humidité des fientes et de la litière. Récemment, plusieurs études rapportent que la zéolite peut être efficace pour améliorer l'état de la litière ainsi que l'environnement du poulailler (**Cabuk et al., 2004 ; Eleroglu et Yalcin, 2005 ; Tatar et al., 2012**). En effet, selon **Safaeikatouli et al. (2010)**, l'humidité de la matière fécale pour les lots traités par 1,5% de kaolin, 3% de bentonite et de zéolite était significativement ( $p<0,05$ ) différente de celle du lot témoin. **Miles et Henry (2007)** cités par le même auteur ont

également rapporté une diminution linéaire ( $p < 0,001$ ) de l'humidité des excréments en réponse à l'augmentation du niveau d'incorporation des aluminosilicates de sodium et de calcium hydratés dans l'aliment du poulet. De plus, **Ouachem et Kaboul (2012)** ont rapporté que l'ajout de 3% de marne a contribué à augmenter significativement la matière sèche des fientes (+18% ;  $p = 0,02$ ). Aussi, **Parizadiane et al. (2013)** ont également observé une diminution significative de l'humidité des fientes et une amélioration de la qualité de litière après une inclusion de l'argile clinoptilolite dans l'alimentation de poulet de chair. Par ailleurs, **Delbecque (1995)**, a montré que chez les volailles, les porcs et les veaux, les argiles utilisées pour la prévention et le traitement de la diarrhée peuvent réduire l'humidité des matières fécales jusqu'à 25 %, sans aucun effet négatif sur l'absorption et la digestion alimentaire.

En effet beaucoup d'auteurs ont rapporté que l'humidité des fientes est étroitement liée à la viscosité du contenu digestif et que les régimes à caractère viscosant entraînent le plus souvent des modifications histo-morphologiques avec des conséquences digestives négatives responsables de baisses sous-jacentes des performances (**Carré et al., 2003**) et ont tendance à augmenter l'humidité des fientes (**Ouhida et al., 2000b ; Francesch, 2005 et Tiwari, 2007**). Pour limiter les problèmes liés à la viscosité et les fientes humides, avec 2% de bentonite, **Leibetseder et skalicky (1974)** cités par **Melcion (1995)** avaient augmenté la teneur en matière sèche des fientes de 4 %. Dans le même contexte, la sépiolite avait réduit la fréquence d'animaux souillés par les fientes humides (**Ouhida et al., 2000b**) et les diarrhées chez le porcelet (**Luca et al., 2004**).

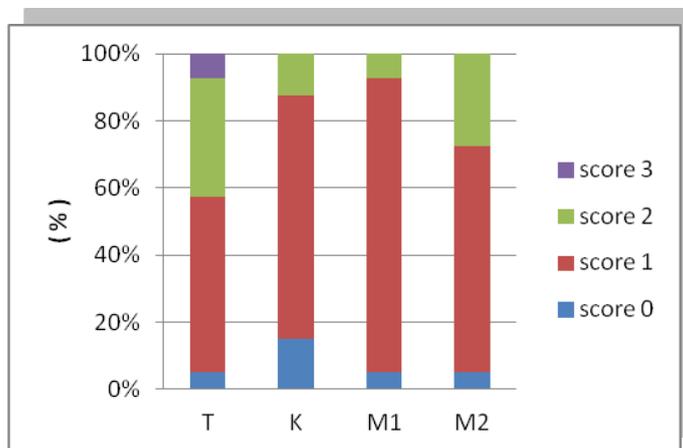
**3. 6. Evaluation de qualité de poulet présent à l’abattage (état du plumage et pododermatite)**

Les résultats de l’état du plumage à l’âge de 42 jours et de 56 jours sont consignés dans le tableau 10 et illustrés aux figures 12 et 13.

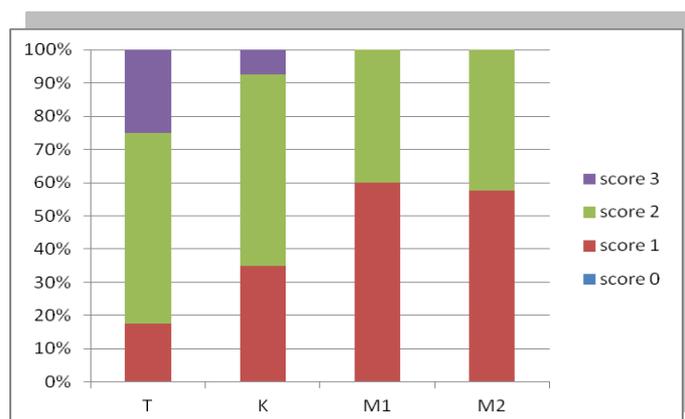
**Tableau 10.** Effets des régimes testés sur l’état du plumage à l’âge de 42 jours et de 56 jours.

Traitements	Scores (%)			
	42 jours			
	0	1	2	3
<b>T</b>	5 ±2,5	52,5 ±0,3	35 ±0,2	7,5 <sup>a</sup> ±1
<b>K</b>	15 ±0,2	72,5 ±0,2	12,5 ±0,2	0 <sup>b</sup>
<b>M1</b>	5 ±0,1	87,5 ±0,5	7,5 ±0,5	0 <sup>b</sup>
<b>M2</b>	5 ±0,6	67,5 ±0,3	27,5 ±0,3	0 <sup>b</sup>
<b>Valeur – p</b>	p=0,4	p=0,2	p=0,03	p=0,001
Traitements	56 jours			
	0	1	2	3
<b>T</b>	0	17,5 <sup>c</sup> ±0,2	57,5 ±0,2	25 <sup>a</sup> ±0,26
<b>K</b>	0	35 <sup>b</sup> ±0,4	57,5 ±0,3	7,5 <sup>b</sup> ±0,1
<b>M1</b>	0	60 <sup>a</sup> ±0,4	40 ±0,1	0 <sup>c</sup>
<b>M2</b>	0	57,5 <sup>a</sup> ±0,4	42,5 ±0,1	0 <sup>c</sup>
<b>Valeur – p</b>	---	p=0,02	p=0,8	p=0,02

Différentes lettres (a,b,c) dans la même colonne montrent des différences significatives entre les groupes (p<0,05 ou plus). **T** : témoin, **K** : kaolin, **M1** : marne blanche, **M2** : marne grise.



**Figure 12.** Représentation graphique de l’état du plumage (%) à 42 jours.



**Figure 13.** Représentation graphique de l'état du plumage (%) à 56 jours.

Les réponses positives constatées après l'utilisation des argiles sur l'humidité des fientes expliquerait l'amélioration de la qualité de la litière et par conséquent la qualité de produit (plumage propre, prévalence de pododermatites moindre).

Les résultats obtenus sur les scores de propreté du plumage de poulets des différents lots expérimentaux à la fin des phases croissance (42j) et finition (56j) sont présentés dans le tableau 10 et illustrés aux figures 12 et 13.

A 42 jours, les scores de propreté de plumage varient d'un lot à l'autre. Ainsi, on constate que le plumage est globalement "moins propre" dans tous les lots et aucune différence significative n'a été observée (T : 52,5% ; K : 72,5% ; M1 : 87,5% et M2 : 67,5% de score "1"). On note encore qu'il n'y a aucune différence significative entre les lots pour le score "0" soit plumage propre, à l'égard des taux à score "2" (plumage moyen), les lots diffèrent entre eux d'une manière significative ( $p=0,03$ ), en étant le taux le plus enregistré (35%) chez les sujets du lot témoin alors que ceux du lot M1 avaient le taux le plus bas (7,5%). En ce qui concerne le score "3" (plumage sale), il ne s'observe que pour le lot témoin avec un taux de 7,5% ( $p=0,001$ ).

A 56 jours, on observe une amélioration de l'état corporel de poulets (état du plumage) chez les sujets des lots supplémentés en argile (score "1",  $p=0,02$ ) et ceci notamment pour les lots M1 et M2 (60% et 57,5% respectivement). Pour le score "2" aucune différence significative n'a été remarquée entre les différents lots ( $p=0,8$ ) tandis que le score "3" n'apparaît que pour les lots témoin et kaolin mais avec des taux faibles (25%, 7,5% respectivement).

Il est bien de noter que l'addition des trois types d'argile testées n'a pas affecté la prévalence de pododermatites (score "0" : pas de lésion ni d'hyperkératose, est dominant) (données non présentées) et ceci pourrait être due aux conditions d'élevage qui étaient favorables comme

**Dawkins et al. (2004)** l'ont signalé en citant les différents facteurs influençant la santé de l'appareil locomoteur et le bien-être du poulet (température, aération, ventilation, hygrométrie, humidité de la litière et gestion d'abreuvement).

Les résultats de la présente expérience ont permis de valider l'efficacité des argiles pour améliorer la qualité de la litière et ainsi de réduire la dégradation de l'état du plumage et la prévalence des pododermatites. En effet, **Lavigne et al. (2015)** ont rapporté que l'addition de l'argile (2% de bentonite + zéolite) à l'aliment des oies a induit une réduction du fumier (-25%), de pododermatites (-20%) et une amélioration de qualité du plumage (+30%).

L'impact de la supplémentation en argile sur la qualité des fientes et par conséquent l'état de la litière présente des intérêts, tout d'abord pour l'éleveur en réduisant la dégradation de la litière, les difficultés locomotrices et les lésions cutanées chez le poulet (pododermatites, brûlures des tarses et ampoules du bréchet) cela signifie une réduction du nombre des poulets sales, ensuite pour la sécurité alimentaire du consommateur.

## Conclusion et recommandations

Les résultats de cette expérience ont permis de faire le point sur l'impact positif de la supplémentation des aliments de volaille en argiles locales (kaolin et marnes) sur :

- Les performances de croissance, sur le plan indice de consommation le meilleur résultat a été réalisé chez le lot M1 (marne blanche) (-12%) ( $p=0,01$ ) sur l'ensemble de la période d'élevage et sur le plan gain de poids le lot M1 a réalisé aussi le bon résultat (+8,66%) ( $p=0,02$ ).
- Les rendements en découpe, où le lot M1 a réalisé les meilleurs résultats pour le poulet prêt à cuire (+24,66%) ( $p=0,03$ ) et le filet (+33,5%) ( $p=0,01$ ).
- Le gras abdominal où la marne blanche a été la plus efficace en le diminuant (-11%).
- La bourse de Fabricius : une augmentation significative a été observée chez les trois lots supplémentés (+50%) ( $p<0,01$ ).
- La morphométrie de l'intestin grêle où le lot K (kaolin) a réalisé le poids du jéjunum le plus élevé.
- L'humidité des fientes : le taux de la matière sèche des fientes pour le lot M1 s'est élevé de 55% ( $p=0,002$ ).
- L'état du plumage :
  - A 42 jours : le taux de score 1 (moins propre) le plus élevé a été observé chez le lot M1 (87,5%).
  - A 56 jours : le taux le plus élevé du même score a été encore observé chez le même lot (60%).

Enfin, les réponses positives signalées devraient encourager les producteurs d'aliments de volaille de prendre en considération les additifs naturels afin de les intégrer en tant que composant dans leurs diverses formulations d'aliments.

- ❖ Un point important et novateur de notre travail est l'évaluation de l'effet d'argile sur la propreté de plumage et la prévalence de pododermatites et afin de confirmer ces résultats on recommande de reproduire cet essai.
- ❖ Et comme perspective, on appelle à faire une étude qui pourrait valider l'hypothèse suivante : « La différence dans les réponses aux divers types d'argile pourrait être due aux diversités au niveau de la composition chimique des argiles ».

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



## Références bibliographiques

- Abdessmed F., 2008.** Utilisation de l'argile dans l'alimentation des animaux domestiques. Mémoire Docteur Vétérinaire. Département Vétérinaire, Université de Batna, Algérie 65p.
- Ahmad I., 2006.** Effect of probiotics on broilers performance. *Int. J. Poult. Sci.*, 5: 593-597.
- Aksit M., Goksoy E., Kok F., Ozdemir D., Ozdogan M., 2006.** The impacts of organic acid and essential oil supplementations to diets on the microbiological quality of chicken carcasses. *Archiv Fur Geflugelkunde*. 70:168-173.
- Al-Homidan A., Robertson. J. F., Petchey. A. M., 2003.** Review of the effect of ammonia and dust concentration on broiler performance. *Poult. Sci.* 59:340-349.
- Allen PC., Danforth HD., Augustine PC., 1998.** Dietary modulation of avian coccidiosis. *Intenational Journal of Parasitology*. 28: 1131-1140.
- Amon M., Dobeic M., Sneath R. W., Phillips V. R., Misselbrook T. H., Pain B. F., 1997.** A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase® for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Biores. Technol.* 61 : 229-237.
- Anadon A., Martinez Larranaga MR., Aranzazu Martinez M., 2006.** Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and safety assessment. *Regul Toxicol Pharmacol* .45:91–5
- Apajalahti J., Kettunen A., Graham H., 2004.** Characteristics of the gastrointestinal microbial communities, with special reference to the chicken. *World's Poult. Sci. J.* 60 : 223-232.
- Athanasiadou S., Githiori J., Kyriazakis I., 2007.** Medicinal plants for helminthes parasite control: facts and fiction. *Animal*. 9:1392–1400
- Atroshi F., Rizzo A., Westermarck T., Ali-vehmas T., 2002.** Antioxidant nutrients and mycotoxins. *Toxicology*. 180:151-167.
- Avantaggiato G., Solfrizzo M., Visconti A., 2005.** Recent advances on the use of adsorbent materials for detoxification of Fusarium mycotoxins. *Food Addit Contam.* 22 :379–388.
-

- Ayachi A., Alloui N., Bennoune O., Yakhlef S., Daas Amiour W., Bouzdi. S., Djemai Zoughlache K., Boudjellal K., Abdessemed H., 2009.** Antibacterial Activity of Some Fruits; Berries and Medicinal Herb Extracts Against Poultry Strains of *Salmonella*. American-Eurasien Journal of Agricultural & Environmental Science. 6 : 12-15.
- Ayed MH., Zghal I., Rekik B., 2008.** Effect of sepiolite supplementation on broiler growth performances and carcass yield. Proceedings, Western Section, American Soc Anim Sci. 59: 169-172.
- Balunas M. J., Kinghorn A. D., 2005.** Drug discovery from medicinal plants. Life Science. 5 : 431-441
- Barnes E.M., 1979.** The intestinal microflora of poultry and game birds during life and after storage. J. Appl. Bacteriol. 46 : 407-419.
- Basmacioglu H., Tokusoglu O., Ergul M., 2004.** The effect of oregano and rosemary essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance and lipid oxidation of meat enriched with n-3 PUFAs in broilers. South African Journal of Animal Science. 34:197–210.
- Bates J., Jordens J. Z., Griffiths D. T., 1994.** Farm animals as a putative reservoir for vancomycin-resistant enterococcal infection in man. J Antimicrob. Chemother. 34: 507-514.
- Beker A., Vanhooser S., Swartzlander J., Teeter R., 2004.** Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. J Appl. Poult. Res. 13:5–9.
- Berg JM., Shi Y., 1996.** The galvanization of biology: a growing appreciation for the roles of zinc. Science.10: 5 271-1081.
- Bessei W., 2006.** Welfare of broilers: A review, Worlds Poultry Sci. J., 62: 455–466.
- Bhanuprakash, Sathyanarayana ML., Vijayasarithi SK., Upendra HA., 2006.** Serum biochemistry, organ weights and performance of broiler chickens fed aflatoxin, ochratoxin A and toxin binder. Indian Vet J. 83: 159-161.
- Bhat GA., Khan AA., Mattoo FA., 2003.** Use of probiotic feed supplement in high fiber broiler ration. Poultry Guide.2: 18–20.
-

- Bish. DL., Ming. DW., 2001.** Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications: Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Mineralogical Society of America. 8: 650-654.
- Blair. R., Jacob J. P., Ibrahim S., Wang. P., 1999.** A quantitative assessment of reduced protein diets and supplements to improve nitrogen utilization. J. Appl. Poult. Res. 8 : 25-47.
- Botsoglou N. A., Florou-Paneli P., Christaki E., Fletouris D. J., Spais A. B., 2002b.** Effect of dietary oregano essential oil on lipid oxidation in raw and cooked chicken during refrigerated storage. Meat Science. 62: 259-265.
- Botsoglou N. A., Florou-Paneri P., Christaki E., Fletouris D. J., Spais AB., 2002a.** Effect of dietary oregano essential oil on performance of chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues. British Poultry Science 43: 223–230.
- Botsoglou N. A., Christaki E., Florou-Paneri P., Giannenas I., Papageorgiou G., Spais A. B., 2004.** The effect of a mixture of herbal essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance parameters and oxidation of body lipid in broilers. South African Journal of Animal Science. 34: 52–61.
- Botsoglou N.A., Grigoropoulou S. H., Botsoglou E., Govaris A., Papageorgiou G., 2003.** The effects of dietary oregano essential oil and [alpha]-tocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. Meat Science. 65: 1193–1200
- Bradshaw R. H., Kirkden R. D., D. M. Broom, 2002.** A review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. Avian Poult. Biol. Rev. 13:45–103.
- Brisbin JT., Gong J., Sharif S., 2008.** Interactions between commensal bacteria and the gut-associated immune system of the chicken. Anim Health Res Rev. 9:101-110.
- Cabuk M., Bozkurt M., Alçiçek A., Akba Y., Küçükylmaz K., 2006.** Effect of a herbal essential oil mixture on growth and internal organ weight of broilers from young and old breeder flocks. South African Journal of Animal Science. 36 : 135–141.
- Carson MS., Smith TK., 1983.** Role of bentonite in prevention of T-2 toxicosis in rats. J Anim Sci. 57(6):1498–1506.
-

**Chestnut, A. B., Anderson P. D., Cochran M. A., Fribourg H. A., Twinn. K. D., 1992.** Effects of Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate on Fescue Toxicosis and Mineral Absorption. *J. Anim. Sci.* 70 : 2838-2846.

**Choe, J. H., Nam, K. C., Jung, S., Kim, B., Yun, H., Jo, C., 2010.** Differences in the quality characteristics between commercial Korean native chickens and broilers. *Korean J. Food Sci. An.* 30,13-19.

**Christaki E., Florou-Paneri P., A. Tserveni-Gousi, A. Yannakopoulos, P. Fortomaris, 2006.** Effects of dietary inclusion of natural zeolite and flaxseed on broiler chickens' body fat deposition in an extended fattening period *Arch. Geflügelk.* 70:106-111.

**Coates M.E., 1980.** The gut microflora and growth. 175-188.

**Coates M.E., 1980.** The gut microflora and growth. 175-188.

**Cortot A., 2003.** Pochites : prise en charge CHU Lille, Cedex France. 187-200.

**Craig WJ., 1999.** Health promoting properties of common herbs. *American Journal of Clinical Nutrition.* 70 : 491-499.

**Craven SE, Stern NJ, Cox NA, Bailey JS, Berrang M., 1999.** Cecal carriage of *Clostridium perfringens* in broiler chickens given Mucosal Starter Culture. *Avian Dis.* 43:484-90.

**Cuppett S. L. et Hall CA., 1998.** Antioxidant activity of Labiatae *Advances in Food and Nutrition. Research.* 42: 245-271.

**Dahiya J, Wilkie D, Van Kessel A, Drew M., 2006.** Potential strategies for controlling necrotic enteritis in broiler chickens in post-antibiotic era. *Anim Feed Sci Technol.* 129:60-88.

**Dakovic A., Matijasevic S., Rottinghaus GE., Dondur V., Pietrass T., Clewett CFM., 2007.** Adsorption of zearalenone by organomodified natural zeolitic tuff. *J Colloid Interface Sci.* 311:8-13.

**Dakovic A., Tomasevic-Canovic M., Dondur V., Rottinghaus GE., Medakovic V., Zaric S., 2005.** Adsorption of mycotoxins by organozeolites. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 46 : 20-25.

**Dakovic A., Tomasevic-Canovic M., Rottinghaus GE., Dondur V., Masic Z., 2003.** Adsorption of ochratoxin A on octadecyldimethyl benzyl ammonium exchanged clinoptilolite-heulandite tuff. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 30:157–165.

**Damiri H, M Chaji, M Bojarpour, M Eslami and M Mamoei, 2012.** The effect of sodium bentonites on economic value of broiler chickens diet. *J Anim Vet Adv*, 9: 2668-26670.

**Désert C., Duclos MJ., Blavy P., Lecerf F., Moreews F., Klopp C., 2008.** Transcriptome profiling of the feeding- to-fasting transition in chicken liver. *BMC Genomics*. 9: 600-611.

**Dobson A., Cotter PD., Ross RP., Hill C., 2012.** Bacteriocin production: a probiotic trait? *Appl Environ Microbiol*. 78:1-6.

**Dofing, J., Gottschal., 1997.** Microbe-microbe interactions. in *Gastrointestinal Microbiology*. Mackie, R.I. ed. Chapman &Hall. New York, 373-389

**Dofing, J., J.M. Tiedje. 1988.** Acetate inhibition of methanogenic, syntrophic benzoate degradation. *Appl. Environ. Microbiol*. 54:1871-1873.

**Doll S., Dañ nicke S., Valenta H, Flachowsky G., 2004.** In vitro studies on the evaluation of mycotoxin detoxifying agents for their efficacy on deoxynivalenol and zearalenone. *Arch Anim Nutr*. 58 :311–324.

**Droy –Lefain, M.T.; Drouet T., Schatz B., 1985.** Sodium glycodeoxycholate and spinability of gastrointestinal mucus: protective effect of smectitite. *Gastroenter*, 88: 1369.

**Duarte, E.D. , T.K. Smith. 2005.** Mycotoxin blue book. Nottingham University press. pp. 323-339.

**Dunsha.F.R., Souza.D.N., Pethick.D.W., Harper.G.S., Warner.R.D. 2005.** Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*. 71. 8–38.

**Eleroğlu H., Yalçın H. 2005.** Use of natural zeolite- supplemented litter increased broiler production. *South African Journal of Animal Science*, 35: 90-97.

**Eleroğlu H., Yalçın H., Yıldırım H., 2011.** Dietary effects of Ca-zeolite supplementation on some blood and tibial bone characteristics of broilers. *S. Afr. J. Anim. Sci*. 41 : 320-330.

**Elliot, M.A. , H.M. Jr. Edwards, 1991.** Comparison the effects of synthetic and natural zeolite on laying and broiler chickens performance. *Poult. Sci.*, 70: 2115-2130.

**Eralan, G., D. Essz, M. Akdogan, F. Sahindokuyucu, L. Altrintas., 2005.** The effects of aflatoxin and sodium bentonite and alone on some blood electrolyte levels in broiler chickens. *Turk Veterinerlik ve Hayvanclık Dergisi.* 29: 601-605.

**Eralan, G., Essz, D., Akdogan, M., Karoz, E., Oncu, M. , Ozyildiz, Z., 2006.** Efficacy of dietary sodium bentonite against subchronic exposure to dietary aflatoxin in broilers. *Bulletin of the veterinary Institute in Puawy.* 50: 107-112.

**Eser H., Yalçın S., Yalçın S., Şehu A., 2012.** Effects of sepiolite usage in broiler diets on performance, carcass traits and some blood parameters. *Kafkas Üniv Vet Fak Derg.* 18 : 313-318.

**Esmeralda L.W., Gonzales J.L., 1992.** Comparative evaluation of zeolit bentonite and kaolin through the productive performance of broiler. *Poult. Abst.* 5:12-17.

**European Food Safety Authority, 2013.** Scientific opinion of the EFSA panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on the safety and efficacy of a preparation of bentonite and sepiolite (ToxFin® Dry) as feed additive for all species. *EFSA Journal*, 11 (4:3179), 1–21.

**Florou-Paneri P., Giannenas I., Christaki E., Govaris A.,Botsoglou NA., 2006.** Performance of chickens and oxidative stability of the produced meat as affected by feed supplementation with oregano, vitamin C, vitamin E and their combinations. *Archiv Fur Geflugelkunde.* 70: 232–240.

**Francesch, M., J. Brufa, 2004.** Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. *World's Poult. Sci. J.* 60:64 - 75.

**Frost, T.J., Roland, D.A., Barnes, D.G., Laurent, S.M., 1992.** The effect of sodium zeolite A and cholecalciferol on plasma levels of 1, 25 dihydroxycholecalciferol, Ca, and P in commercial Leghorns. *J. Poult. Sci.* 71: 886-893.

**Fuller R., 1984.** Microbial activity in the alimentary tract of birds. *Proc. Nutr. Soc.* 43 : 55-61.

**Fuller R., 1989.** Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.* 66:365-378.

- Furuse M., Okumura J., 1994.** Nutritional and physiological characteristics in germ-free chickens. *Comp. Biochem. Physiol.* 109 : 547-556.
- Furuse M., Okumura J., 1994.** Nutritional and physiological characteristics in germ-free chickens. *Comp. Biochem. Physiol.* 109 : 547-556.
- Furuse M., Yokota H., 1984.** Effect of the gut microflora on the size and weight of organs of chicks fed diets of different protein content. *Br. Poult. Sci.*, 25 : 429-439.
- Galan E., 1996.** Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. *Clay Miner*, 31: 443-453.
- Georgieva V., Denev ST., Marinov B., 2000.** Effect of some probiotic and nutritive means on chicken broiler productivity. *Zhivotnov"dni Nauki.* 37:19-23.
- Giannenas I. A., Florou-Paneri P., Botsoglou N. A. , Christaki E., Spais A. B., 2005.** Effect of supplementing feed with oregano and (or) alpha-tocopheryl acetate on growth of broiler chickens and oxidative stability of meat. *Journal of Animal and Feed Sciences.* 14:521–535.
- Gielda LM, DiRita VJ., 2012.** Zinc competition among the intestinal microbiota. *MBio.* 3 : 11- 12.
- Govaris A., Florou Panieri P., Botsoglou E., Giannenas I., Ambrosiadis I. and Botsoglou N. A., 2007.** The inhibitory potential of feed supplementation with rosemary and/or –tocopheryl acetate on microbial growth and lipid oxidation of turkey breast during refrigerated storage. *LWT. Food Sciences Technology.* 40: 331-337.
- Govaris A., Botsoglou NA., Papageorgiou G., Botsoglou E. and Ambrosiadis I., 2004.** Dietary versus post-mortem use of oregano oil and/or alpha-tocophenol in turkeys to inhibit development of lipid oxidation in meat during refrigerated storage. *International Journal of Food Sciences and Nutrition.* 55: 115-123.
- Green AA, Sainsbury DWB, 2001.** The effects of enzyme and probiotic supplementation to diets on broiler performance. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 11:895-903.
- Greene, J. A., R. M. McCracken and R. T. Evans, 1985.** A contact dermatitis of broilers-Clinical and pathological findings. *Avian Pathol.* 14:23–38.

**Grosicki A, 2008.** Bentonite influence on manganese uptake in rats. Bull Vet Inst Pulawy, 52: 441-444.

**Grosicki, A., B. Kowalski, D. Bik, 2004.** Influence of bentonite on trace element kinetics in rats. II. Calcium. Bull. Vet. Inst., 48: 337-340.

**Gulmez M., Oral N., Vatansever L., 2006.** The Effect of Water Extract of Sumac (*Rhus coriaria* L.) and Lactic Acid on Decontamination and Shelf Life of Raw Broiler Wings. Poultry Science. 85: 1466-1471.

**Hedayati M., M Manafi, M. Yari, S. V. Mousavipour, 2014.** Commercial Broilers Exposed to Aflatoxin B1: Efficacy of a Commercial Mycotoxin Binder on Internal Organ Weights, Biochemical Traits and Mortality. International Journal of Agriculture and Forestry, 4(5): 351-358.

**Helminen J., J. Helenius, E. Paatero, 2000.** Comparison of sorbents and isotherm models for NH<sub>3</sub>-gas separation by adsorption. AIChE J.46: 1541-1555.

**Hennig A., Ludke H., Schone F., Meixner B., 1993.** Some aspects of the use and evaluation of substances stabilizing intestinal microorganisms. Poult. Abstr. 19:1312.

**Herich R., Levkut M., 2002.** Lactic acid bacteria, probiotics and immune system. Vet. Med. 47 : 169-180.

**Hinton A Jr., Corrier D, DeLoach J., 1992.** In vitro inhibition of *Salmonella* Typhimurium and *Escherichia coli* 0157: H7 by an anaerobic gram-positive coccus isolated from the cecal contents of adult chickens. J Food Prot. 5 : 162-166.

**Hoerr, F. J., W. W. Carlton, B. Yagen, A. Z. Joffe, 1982.** Mycotoxicosis produced in broiler chickens by multiple doses of either T-2 toxin or diacetoxyscirpenol. Avian. Pathol. 11:269-383.

**Hollister AG, Corrier DE, Nisbet DJ, DeLoach JR., 1999.** Effects of chicken-derived cecal microorganisms maintained in continuous culture on cecal colonization by *Salmonella* typhimurium in turkey poults. Poult Sci.78:546-9.

**Hooper L.V., Midtvedt T., Gordon JL, 2002.** How hostmicrobial interactions shape the nutrient environment of the mammalian intestine. Annu Rev Nutr. 22:283-307.

- Hu C. H., Qian Z. C., Song J., Luan Z. S., Zuo A. Y., 2013.** Effects of zinc oxide-montmorillonite hybrid on growth performance, intestinal structure, and function of broiler chicken. *Poult. Sci.* 92 : 143-150.
- Huff GR, Huff WE, Jalukar S, Oppy J, Rath NC, Packialakshmi B., 2013.** The effects of yeast feed supplementation on turkey performance and pathogen colonization in a transport stress/*Escherichia coli* challenge. *Poult Sci.* 92:655–62
- Huff, W. E., R. B. Harvey, L. F. Kubena, G. E. Rottinghaus, 1988.** Toxic synergism between aflatoxin and T-2 toxin in broiler chickens. *Poult. Sci.* 67:1418-1423.
- Hussain, Z., M. Z. Khan, A. Khan, I. Javed, M. K. Saleemi, S. Mahmood, M. R. Asi., 2010.** Residues of aflatoxin B1 in broiler meat: Effect of age and dietary aflatoxin B1 levels. *Food Chem. Toxicol.* 48:3304–3307.
- Huwig, A., Freimund, S., K`appeli, O., Dutler, H., 2001.** Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicol. Lett.* 122, 179–188.
- Islam, M. A., K. N. Monira, M. J. Alam, M. A. Wahid, 2003.** Effect of litter materials on broiler performance and evaluation of manure value of used litter in late autumn. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16:555-557.
- Jain, S.K., 1999.** Protective role of zeolite on short- and long-term lead toxicity in the teleost fish *Heteropneustes fossilis*. *Chemosphere* 39, 247-251.
- Jamroz D., Wertelecki T., Houszka M., Kamel C., 2006.** Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 90: 255–268.
- Jin, L.Z., Y.W. Ho, N. Abdullah, S. Jalaludin, 1997.** Probiotics in poultry: Modes of action. *World's Poult. Sci. J.*, 53: 351-368.
- Jones, F. T., S. C. Ricket. 2003.** Observations on the history of the development of antimicrobials and their use in poultry feeds. *Poult. Sci.* 82: 613-617.
-

**Jozja N., Baillif P., Touray J.S., Pons C.H., Muller F., Burgevin C., 2003.** Impacts « multi-échelle » d'un échange (Mg,Ca)–Pb et ses conséquences sur l'augmentation de la perméabilité d'une bentonite. *Comptes Rendus Géoscience*, 335, 729–736.

**Jung, S., Choe, J. H., Kim, B., Yun, H., Kruk, Z. A., Jo, C., 2010.** Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers. *Meat Sci.* 86, 520-526.

**Justin Fowler, Wei Li, Christopher Bailey, 2015.** Effects of a Calcium Bentonite Clay in Diets Containing Aflatoxin when Measuring Liver Residues of Aflatoxin B1 in Starter Broiler Chicks. *Toxins*, 7, 3455-3464.

**Kamel C., 2000.** A novel look at a classic approach of plant extracts. *Feed Mix.* 11: 19-21.

**Kamel C., 2001.** Natural plant extracts: Classical remedies bring modern animal production solutions. *Feed manufacturing in the Mediterranean region. Improving safety: From feed to food.* In Brufau J. (ed.) Zaragoza: CIHEAM-IAMZ. 31-38

**Karamanlis X., Fortomaris P., Arsenos G., Dosis I., Papaioannou D., Batzios C., Kamarianos A., 2008.** The Effect of a Natural Zeolite (Clinoptilolite) on the Performance of Broiler Chickens and the Quality of Their Litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21:1642-1650.

**Kermanshahi, H., A.R. Hazegh and N. Afzali, 2009.** Effect of Sodium Bentonite in Broiler Chickens Fed Diets Contaminated with Aflatoxin B . *J. Anim. Vet. Adv.*, 8: 1631-1636.

**Khanedar F. , Vakili R. and Zakizadeh S., 2013.** Effects of Two Kinds of Bentonite on the Performance, Blood Biochemical Parameters, Carcass Characteristics and Tibia Ash of Broiler Chicks. *Global Veterinaria.* 6: 720-725.

**Killer J., Marounek M., 2011.** Fermentation of mucin by bifidobacteria from rectal samples of humans and rectal and intestinal samples of animals. *Folia Microbiol (Praha).* 56:85

**Kim, W. K., C. A. Froelich, P. H. Patterson and S. C. Ricke, 2006.** The potential to reduce poultry nitrogen emissions with dietary methionine or methionine analogues supplementation. *World's Poult. Sci. J.* 62:338-353.

**Klassing K.C., Johnstone B.J., Benson B.N., 1991.** Implications of an immune response on growth and nutrient requirements of chicks. 135-146.

**Kurnick, A.A. and B.L. Reidm, 1960.** Poultry nutrition studies with bentonit:Feedstuffs, pp: 32.

**Kurnick, A.A. and B.L. Reidm, 1960.** Poultry nutrition studies with bentonit:Feedstuffs, pp: 32.

**Lambert R. JW., Skandamis PN., Coote PJ. and Nychas GJE., 2001.** A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacro. Journal of Applied Microbiology. 91: 453-462.

**Lan Y, Verstegen M, Tamminga S, Williams B., 2005.** The role of the commensal gut microbial community in broiler chickens. Worlds Poult Sci J. 61:95-104.

**Leach Jr., R.M., Hemrichs, B.S. & Burdette, J., 1990.** Broiler chicks fed low calcium diets. I. Influence of zeolite on growth rate and parameters of bone metabolism. Poult. Sci. 69, 1539-1543.

**LeBlanc J.G., Milani C., de Giori G.S., Sesma F., van Sinderen D., Ventura M., 2013.** Bacteria as vitamin suppliers to their host: a gut microbiota perspective. Curr Opin Biotechnol. 24:160.

**Ledoux, D.R., G.E. Rottinghaus, A.J. Bermudez and M.A. Debolt, 1999.** Efficacy of a hydrated sodium calcium aluminosilicate to ameliorate the toxic effects of aflatoxin in broiler chicks. Poult. Sci., 78: 204-210.

**Lee CW., Hong DH. and Han SB., 1999.** Inhibition of human tumor growth by 2'-hydroxy- and 2'-benzoyloxy-cinnamaldehydes, Planta Medica. 65: 263–266.

**Lemke SL, Grant PG, Phillips TD., 1998.** Adsorption of zearalenone by organophilic montmorillonite clay. J Agric Food Chem. 46(9):3789–3796.

**Lemos. M. J., Lima. L. F., Osvanira. C., AlvesI Daniele. S., Brandt. S. B., Leite M. T., 2015.** Kaolin in the diet and its effects on performance, litter moisture and intestinal morphology of broiler chickens. Ciência Rural, Santa Maria, 10 : 1835-1840.

**Li, Y., Liu, Y.H., Yang, Z.B., Wan, X.L. and Chi, F., 2012.** The efficacy of clay enterosorbent to ameliorate the toxicity of aflatoxin B1 from contaminated corn (*Zea mays*) on hematology, serum biochemistry, and oxidative stress in ducklings. J. Appl. Poult. Res. 21:806–815.

- LI. H., XIN. H., LIANG. Y., 2008.** Reduction of ammonia emissions from stored laying hen manure through topical application of zeolite, Al+Clear, Ferix-3, or poultry litter treatment. *Journal of Applied Poultry Research*. 4: 421- 431.
- Lilley DM, Stillwell RH., 1965.** Probiotics: Growth promoting factors produced by microorganisms. *Poult. Sci.* 147:747-748.
- Lippens M., Huyghebaert G. and Cerchiari E., 2005.** Effect of the use of coated plant extracts and organic acids as alternatives for antimicrobial growth promoters on the performance of broiler chickens. *Archiv Fur Geflugelkunde*. 69 (6): 261-266.
- Lopez-Bote C. J., 2004.** Bioflavonoid effects reach beyond productivity. *Feed Mix*. 12: 12-15
- Ma, Y.L. and T. Guo, 2008.** Intestinal morphology, brush border and digesta enzyme activities of broilers fed on a diet containing Cu<sup>2+</sup>- loaded montmorillonite. *British Poult. Sci.*, 49: 65–73
- Maassen C.B.M., Holten J.C.A.M.V., Balk F., Bak-Glashouwer M.J.H.D., Leer R., Laman J.D., Boersma W.J.A., Claassen E., 1998.** Orally administered *Lactobacillus* strains differentially affect the direction and efficacy of the immune response. *Vet. Quarterly*. 20 : 81- 83.
- Mallek Z, Fendri I, Khannous L, Ben Hassena A, Traore AI, Ayadi MA & Gdoura R. 2012.** Effect of zeolite (clinoptilolite) as feed additive in Tunisian broilers on the total flora, meat texture and the production of omega 3 polyunsaturated fatty acid. *Lipids in Health and Disease*, 11: 35.
- Manafi, M., 2010.** Effect of Aflatoxicosis in Hatching Eggs Quality and Immune Status in Broiler Breeders. In: *World Poult. Sci. J. (Spp.)*, 66: 704-705.
- Mandal SK., Biswas TK., Mandal L., 1994.** Efficiency of different growth promoters on the performance of broilers. *Indian J. Poult. Sci.* 29:13-17.
- MARTIN-KLEINER, I. 2001.** The effect of the zeolite clinoptilolite on serum chemistry and hematopoiesis in mice. *Food and Chemical Toxicology*, v. 39, p.717-727,.
- MAURICE D.V., LIGHTSEY S.F., HAMRICK E., 1998.** Alum sludge and zeolite as components of broiler litter. *Journal of Applied Poultry Research*. (7) 3. 263-267.

**Mccrory, D. F. and P. J. Hobbs, 2001.** Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *J. Environ. Qual.* 30:345-355.

**Mead G.C., 1989.** Microbes of the avian cecum. Types present and substrates utilized. *J. Exp. Zool.* 3 : 48-54.

**Messaoudi S, Kergourlay G, Dalgarrondo M, Choiset Y, Ferchichi M, Prévost H, Pilet MF, Chobert JM, Manai M, Dousset X., 2012.** Purification and characterization of a new bacteriocin active against *Campylobacter* produced by *Lactobacillus salivarius* SMXD51. *Food Microbiol.* 32:129- 134.

**Metges CC., 2000.** Contribution of microbial amino acids to amino acid homeostasis of the host. *J Nutr.* 130:1857.

**Miazzo, R., M.F. Peralta, C. Magnole, M. Salvano, S. Ferrero and S.M. Chiacchiera, 2005.** Efficiency of sodium bentonite as a detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin and fumonisin. *J. Poult. Sci.*, 84: 1-8.

**Miles R.D., Harms R.H. and Lourent S.M., 1986.** Influence of sodium zeolite on laying hens performance. *Nutr. Rep. Int.* 34 : 1097-1103.

**Miles DM., Branton SL., Lott BD., 2004.** Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poult Sci.* 83: 1650–1654.

**Miles, D.M., S.L. Branton and B.D. Lott., 2006.** Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poult. Sci.* 83:1650–1654.

**MILES, D.M., 2008.** Vertical stratification of ammonia in a broiler house. *Journal of Applied Poultry Research.* (17) 3. 348-353.

**Mitch P., K. Zitterl-Eglessner, B. Kohler, C. Gabler, R. Losa, et I. Zimernik. (2004).** The effect of two different blends of essential oil components on the proliferation of *Clostridium perfringens* in the intestines of broiler chickens. *Poult. Sci.* 83 : 669-675.

- MIZRAK.C., YENİCE.E., KAHRAMAN.Z., .TUNCA.M., YILDIRIM.U., CEYLAN.N. 2014.** Effects of dietary sepiolite and mannanoligosaccharide supplementation on the performance, egg quality, blood and digestion characteristics of laying hens receiving aflatoxin in their feed.
- Moore, P.R., A. Evenson, T.D. Luckey, E. McCoy, C.A. Elvehjam, and E.B. Hart. 1946.** Use of sulfasuxidine, stretothricin and streptomycin in nutritional studies with chick, J. Biol. Chem. 165: 437-441.
- Moreau M.C., Gaboriau-Routhiau V., 2000.** Influence of resident intestinal microflora on the development and functions of the intestinal associated lymphoid tissue. 69-114.
- Moshtaghian, J., Parsons, C.M., Leeper, R.W., Harrison, P.C., Koelkeberck, K.W., 1991.** Effect of sodium aluminosilicate on phosphorus utilization by chicks and laying hens. Poult. Sci. 70, 955–962.
- Mumpton, F. A. and P. H. Fishman, 1977.** The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. J. Anim. Sci. 45:1188-1203.
- Mumpton, F.A., 1999.** La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. Proc. Natl. Acad. Sci. 96, 3463-3470.
- Murry A Jr., Hinton A Jr., Morrison H., 2004.** Inhibition of growth of *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, and *Clostridia perfringens* on chicken feed media by *Lactobacillus salivarius* and *Lactobacillus plantarum*. Int J Poult Sci. 3:603-607
- Nahm, K. H., 2005.** Factors influencing nitrogen mineralization during poultry litter composting and calculations for available nitrogen. Poult. Sci. 61:238-253.
- Nakatani N., 2000.** Phenolic antioxidants from herbs and spices. Biofactors. 13:141–146.
- Nakaue, H. S., J. K. Koelliker and M. L. Pierson, 1981.** Studies with clinoptilolite in poultry: 2. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite zeolite on clean and reused broiler litter on broiler performance and house environment. Poult. Sci. 60:1221-1228.
-

**Neish A.S., Gewirtz A.T., Zeng H., Young A.N., Hobert M.E., Karmali V., Rao A.S., Madara J.L., 2000.** Prokaryotic regulation of epithelial responses by inhibition of I kappa Balpha ubiquitination. *Science*, 289, 1560-1563.

**Nemeth E, Baird AW, O'Farrelly C., 2009.** Microanatomy of the liver immune system. *Semin Immunopathol.* 31: 333–343.

**Niamat M. El-Abd, 2014.** Effect of feed supplemented with different levels of sodium bentonite on japanese quail performance. *Egypt. Poult. Sci.* 34: 705-713.

**Nisbet D., 2002.** Defined competitive exclusion cultures in the prevention of enteropathogen colonisation in poultry and swine. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 81:481-486.

**Norton, R.A., K.S. MacKlin and B.L McMurtrey, 2000.** The association of various isolates of *Escherichia coli* from the United States with induced cellulites and *colibacillosis* in young broiler chickens. *Avian Pathol.* 29: 571–574.

**Oguz, H., Kurtoglu V., 2000.** Effect of clinoptilolite on performance of broiler chickens during experimental aflatoxicosis. *Br Poult Sci.*, 41: 512-517.

**OLIVEIRA, M.C.; FERREIRA, H.A.; CANCHERINI, L.C., 2004.** Effect of chemical conditioners on poultry litter quality. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.* 4 : 536 - 541.

**Olver M.D., 1983.** The effect of feeding clinoptilolite (zeolite) to laying hens. *South African J. Anim. Sci.* 13, 107-110.

**Olver, M. D., 1997.** Effect of feeding clinoptilolite zeolite on the performance of three strains of laying hens. *Br. Poult. Sci.* 38:220-222.

**Organization for Economic Cooperation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nation (OECD-FAO) (2009) Agricultural Outlook 2009-2018.** Available from: <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/2/31/43040036>.

**Ouhida, I.; Perez, J.F.; Gasa, J., 2000a.** Enzymes and sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broilers chickens. *British Poultry Science*, 41. 5 : 617-624.

**Ouhida I, Perez J F, Piedrafita J, Gasal J., 2000b.** The effects of sepiolite in broiler chicken diets of high, medium and low viscosity. Productive performance and nutritive value. *Anim Feed Sci Tech.* **85**, 183-194.

**Ouhida I, Perez JF, Gasa J, Puchal F., 2000c.** Enzymes (b-glucanase and arabinoxylanase) and/or sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broiler chickens. *Brit Poultry Sci*, 41,617-624,.

**Ousterhaut, L.E., 1967.** The effect of kaolin on the feed efficiency of chickens: In press, pp: 018-00687.

**Owen, O.J.; J.P. Alawa; S.N. Wekhe; N.O. Isirimah; E.C. Chukuigwe; A.O. Aniebo; E.M. Ngodigha and A.O. Amakiri, 2009.** Incorporating poultry litter in rabbit diet: A solid waste management strategy, *Egyptian Journal of Animal Production*. 46(1): 63-68.

**Owen, O.J.; A.O. Amakiri and C.I. Ezeano, 2010.** The cost benefit analysis of incorporating bitter leaf (*V. amygdalina*) meal in broiler finishers diet. *Journal of Environmental Issues and Agriculture in Developing Countries* 2 (1): 131-141.

**Owen, O.J., M.B. Nodu, U.A. Dike and H.M. Ideozu, 2012.** The effects of dietary kaolin (clay) as feed additive on the growth performance of broiler chickens. *Greener J. Agric. Sci.*, 2: 233-236.

**Öztürk, E., Erenler, G. & Sarıca, M., 1998.** Influence of natural zeolite on performance of laying hens and egg quality. *Turkish J. Agric. Forestry* 22, 623-628.

**Palod J, Singh VS., 2004.** Role of probiotics in Broiler feeding. *Sadana's All India poultry Business Directory (Year Book 2003–2004) Special Millennium issue*, 2nd ed. Sadana publishers and Distributors, Ghaziabad. pp. 147-148.

**Panda AK., Reddy MR., Rao SVR., Raju MVL., Praharaj NK., 2000.** Growth, carcass characteristics, immune competence and response to *Escherichia coli* of broilers fed diets with various levels of probiotic. *Archiv fur Geflugelkunde*. 64:152-156.

**Papaioannou, D., P. D. Katsoulos, N. Panousis and H. Karatzias, 2005.** The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or treatment of certain farm animal diseases. *Microp. Mesop. Mat.* 84:161-170.

**Parker R., 1974.** Probiotics, the other half of antibiotic story. *Anim Nutr Health.* 29 : 4-8.

**Pasha, T.N., Farooq M.U., Khattak F.M., Jabbar M.A., Khan A.D., 2007.** Effectiveness of sodium bentonite and two commercial products as aflatoxin absorbents in diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 132: 103-110.

**Pasha, T., A. Mahmood, F. Malik, M. Abdul Jabbar and A.D. Khan, 2008.** The Effect of Feed Supplemented with Different Sodium Bentonite *Anim. Sci.*, 32(4): 245-248.

**Patterson JA, Burkholder KM., 2003.** Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poult. Sci.* 82:627-631.

**Petckova G. et Ivonov K., 1982.** Effect of adding bentonite to mixed forages for broiler chickens. *Zhivotnov dni Nauki.* 19: 69-76.

**Petkova, G. and K. Ivonov, 1982.** Effect of adding Bentonite to mixed forages for broiler chickens. *Zhivotnov dni Nauki*, 19: 69-76.

**Philips S.M., Fuller R., 1983.** The activities of amylase and a trypsin like protease in the gut contents of germ-free and conventional chickens. *Br. Poult. Sci.* 24 : 115-121.

**Philips, T.D.; Kubena, L.F.; Harvey, R.B.; Taylor, D.S. and Heidelbaugh, N.D., 1988.** Hydrated sodium calcium aluminosilicate: a high affinity absorbent for aflatoxin. *Poultry Science.* 67: 243-247.

**Phillips TD, BA Clement and DL Park, 1994.** Approaches to reduction of aflatoxins in foods and feeds. In: *The toxicology of aflatoxins: Human Health, Veterinary and Agricultural Significance* (Eaton DL, Groopman JD, eds): Academic Press, New York, pp: 383-399.

**Piao X. L., Piao X. S., Kim S. W., Park J. H., Kim H. Y. and Cai SQ., 2006.** Identification and characterization of antioxidants from *Sophora flavescens*. *Biological Pharmaceutical Bulletin.* 29: 1911–1915.

- Pillai, S.M., G. Parcsi, X. Wang and R. M. Stuetz. 2012.** Odour abatement of poultry litter using odour control product. *Chem. Engin. Trans.* 30:247–252.
- Pimpukdee K, Tengjaroenkul B, Chaveerach P, Mhosatanun B., 2004.** The characterization of clays and cetylpyridiniumexchanged clays for their ability to adsorb zearalenone. *Thai J Vet Med.* 34:23–31.
- Pond, W.G. & Yen, J.T., 1983.** Protection by clinoptilolite or zeolite NaA against cadmium-induced anemia in growing swine. *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.* 173, 327-337.
- Pond, W. G., 1984.** Response of growing lambs to clinoptilolite or zeolite NAA added to corn, corn-fish meal and corn-soybean meal diets. *J. Anim. Sci.* 59:1320-1328.
- Poulsen, H.D. and N. Oksbjerg, 1995.** Effects of dietary inclusion of a zeolite (Clinoptilolite) on performance and protein – metabolism of young growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 53: 297 -303.
- Prvulovic, D., D. Kogic, G.G. Lasic and S. Kosarcic, 2008.** The effects of dietary inclusion of hydrated aluminosilicate on performance and biochemical parameters of broiler chickens. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, 32: 1–7.
- Prvulovic D, D Kojic, G Grubor-Lajsic and S Kosarcic, 2006.** The effects of dietary inclusion of hydrated aluminosilicate on performance and biochemical parameters of broiler chickens. *Turk J Vet Anim Sci*, 32: 183-189.
- Pryde SE, Duncan SH, Hold GL, Stewart CS, Flint HJ., 2002.** The microbiology of butyrate formation in the human colon. *FEMS Microbiol Lett.* 217:133-139.
- Quentin M., Bouvarel I., Picard M., 2004.** Short- and Long-Term Effects of Feed Form on Fast- and Slow Growing Broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 13: 540-548.
- Raju M, Devegowda G., 2000.** Influence of esterified glucomannan on performance and organ morphology, serum biochemistry and haematology in broilers exposed to individual and combined mycotoxicosis (aflatoxin, ochratoxin and T-2 toxin). *Br Poult Sci.* 41(5):640-650.
-

- Ramos, A. J. and E. Hernandez, 1997.** Prevention of aflatoxicosis in farm animals by means of hydrated sodium calcium aluminosilicate addition to feedstuffs: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 65:197-206.
- Ramos, A.J.; Finkgremmels, S.J. and Hernandez, E., 1996.** prevention of toxic effect of mycotoxins by means of nonnutritive absorbent compounds. *J.Food Protection* 59: 631-641.
- Reece, F.N., B.D. Lott and J.W. Deaton, 1980.** Ammonia in the atmosphere during brooding affects performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 59: 486–488.
- Rezaei H., Jafari Khorshidi K., Fallah R., 2013.** The Effect of Feeding primalac probiotics on growth performance and blood parameters of ostriches. *Mal. J. Anim. Sci.* 16(1):79-86.
- Ritz, C.W., B.D. Fairchild and M.P. Lacy, 2009.** Implications of ammonia production and emissions from commercial poultry facilities: a review. *J. App. Poult. Res.* 13: 684–69.
- Roy, P., A. S. Dhillon, L. H. Lauerma, D. M. Schaberg, D. Bandli, and S. Johson. 2002.** Results of salmonella isolation from poultry products, poultry, poultry environment, and other characteristics. *Avian Dis.* 46: 17-24.
- Ruas-Madiedo P, Gueimonde M, Fernández-García M, de los Reyes-Gavilán CG, Margolles A., 2008.** Mucin degradation by *Bifidobacterium* strains isolated from the human intestinal microbiota. *Appl Environ Microbiol.* 74:1936-1940.
- Ruberto G., Barrata M. T., Sari M. and Kaabeche M., 2002.** Chemical composition and antioxydant activity of essential oils from Algerian *Origanum Glandulosum Desf.* *Flavour and Fragrance Journal.* 17: 251-254.
- Safaeikatouli M, F Boldaji, B Dastar and S Hassani, 2010.** Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *J Biol Sci,* 10: 58-62.
- Safaeikatouli, M., F. Boldaji, B. Dastar and S. Hassani, 2012.** Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *J. Biol. Sci.,* 10: 58–62.

**Safaei M., F. Boldaji, B. Dastar, S. Hassani, M.S.A. Mutalib, R. Rezaei, 2014.** Effects of inclusion kaolin, bentonite and zeolite in dietary on chemical composition of broiler chicken meat. *Asian J. Anim.Vet.Adv.*, 9 : 56-63.

**Salari, S., H. Kermanshahi and H. Nasiri Moghaddam, 2006.** Effect of sodium bentonite and comparison of pellet vs. mash on performance of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.*, 5: 31-34.

**Salminen S., Bouley C., Boutron-Ruault M.C., Cummings J.H., Franck A., Gibson G.R., Isolauri E., Moreau M.C., Roberfroid M., Rowland I., 1998.** Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *Br. J. Nutr.* 80 : 147-171.

**Samooel Jung, Kyung Haeng Lee, Ki Chang Nam, Hee Jun Jeon, Jun Ho Choe, and Cheorun Jo, 2014.** Quality Assessment of the Breast Meat from Woorimatdag™ and Broilers. *Korean J. Food Sci. An.* 34 : 5, 709-716.

**Sanderson IR., 2004.** Short chain fatty acid regulation of signaling genes expressed by the intestinal epithelium. *J Nutr.* 134:245.

**Santin, E., A. C. Paulillo, P. C. Maiorka, A. C. Alessi, E. L. Krabbe, A. Maiorka, 2002.** The effects of ochratoxin/aluminosilicate interaction on the tissues and humoral immune response of broilers. *Avian Pathol.* 31, 73-79.

**Santurio, J.M., C.A. Mallmann, A.P. Rosa, G. Appel, A. Heer, S. Dageforde and M. Bottcher, 1999.** Effect of sodium bentonite on the performance and blood variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxin. *Br Poult Sci.*, 40: 115-119.

**Santurio, J.M., Mallmann, C.A., Rosa, A.P., Appel, G., Heer, A., Dageforde, S. & Bottcher, M., 1999.** Effect of sodium bentonite on the performance and blood variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxins. *Br. Poult. Sci.* 40 : 115-119.

**Sari. M. , Biondi. D. M. , Kaâbeche. M. , Mandalari. G., D'Arrigo. M. , Bisignano. G., Saija A., Daquino. C., Ruberto. G., 2006.** Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil of several populations of Algerian *Origanum glandulosum* Desf. *Flavour and Fragrance Journal.* 21: 890-898.

- Schell, T.C., Lindemann, M.D., Kornegay, E.T, Blodgett, D.J., & Doerr, J.A., 1993.** Effectiveness of different types of clay for reducing the detrimental effects of aflatoxin-contaminated diets on performance and serum profiles of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 71, 1226-1231.
- Schiavone A., Righi F., Quarantelli A., Bruni R., Serventi P. and Fusari A., 2007.** Use of *Sibyllum marianum* fruit extract in broiler chicken nutrition: Influence on performance and meat quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 91: 256–267.
- Sellers R.S., Harris G.C.Jr., Waldroup P.W. 1980.** The effect of various dietary clays and fillers on the performance of broilers and laying hens. *Poult. Sci.* 59 : 1901-1906
- Shariatmadari F., 2008.** The application of zeolite in poultry production. *World's Poult. Sci. J.* 64 : 76-84.
- Sherlock L, McKeegan DE, Cheng Z, Wathes CM, Wathes DC., 2012.** Effects of contact dermatitis on hepatic gene expression in broilers. *Br Poult Sci.* 53: 439–452.
- Shi, Y., Z. Xu, Y. Sun, C. Wang and J. Feng, 2009.** Effects of different types of montmorillonite on growth performance and serum profiles of broiler chicks during aflatoxicosis. *Turk. J. Anim. Sci.*, 33: 15-20.
- Shin MS, Han SK, Ji AR, Kim KS, Lee WK., 2008.** Isolation and characterization of bacteriocin-producing bacteria from the gastrointestinal tract of broiler chickens for probiotic use. *J Appl Microbiol*; 105:2203-212.
- Shlomo Y. 2004.** Ammonia affects performance and thermoregulation of male broiler chickens. *Anim Res.*; 53: 289–293.
- Shurson, G. C., P. K. Ku, E. R. Miller and M. T. Yokoyama, 1984.** Effects of zeolite a or clinoptilolite in diets of growing swine. *J. Anim. Sci.* 59:1536-1545.
- Simon, O., A. Jadamus and W. Vahjen, 2001.** Probiotic feed additives-effectiveness and expected modes of action. *J. Anim. Feed. Sci.*, 10: 51-67.
-

- Skowrońska M, Albrecht J., 2013.** Oxidative and nitrosative stress in ammonia neurotoxicity. *Neurochem Int.* 62: 731–737.
- Smith, E.E., L.F. Kubena, C.E. Braithwaite, R.B. Harvey, T.D. Phillips and A.H. Reine, 1992.** Toxicological evaluation of aflatoxin and cyclopiazonic acid in broiler chickens. *Poul. Sci.*, 71: 1136-1144.
- Smith, E.E., Phillips, T.D., Ellis, J.A., Harvey, R.B., Kubena, L.F., Thomson, J., Newton, G., 1994.** Dietary hydrated sodium calcium aluminosilicate reduction of aflatoxin M1 residue in dairy goat milk and effects on milk production and components. *J. Anim. Sci.* 72, 677–682.
- Smith-Palmer A., Stewart J. and Fyfe L., 1998.** Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. *Letters in Applied. Microbiology.* 26: 118–122.
- Soler JJ, Martín-Vivaldi M, Peralta-Sánchez JM, Ruiz-Rodríguez M., 2010.** Antibiotic-producing bacteria as a possible defence of birds against pathogenic microorganisms. *Open Ornithology Journal.* 3: 93-100.
- Southern, L.L., T.L. Ward, T.D. Bidner and L.G. Hebert, 1994.** Effects of sodium bentonite or hydrated sodium calcium aluminosilicate on growth performance and tibia mineral concentrations in broiler chicks fed nutrient deficient diets. *Poultry Sci.*, 73: 848-854.
- Steiner T, 2006.** Managing gut health – Natural Growth Promoters as a key to animal performance. Nottingham University Press, Nottingham, UK. Pg : 98.
- Stern NJ, Svetoch EA, Eruslanov BV, Perelygin VV, Mitsevich EV, Mitsevich IP, Pokhilenko VD, Levchuk VP, Svetoch OE, Seal BS., 2006.** Isolation of a *Lactobacillus salivarius* strain and purification of its bacteriocin, which is inhibitory to *Campylobacter jejuni* in the chicken gastrointestinal system. *Antimicrob Agents Chemother.* 50:3111-116.
- Suchy P., Strakowa E., Vecerek V., Klouda Z. and Kracmarova E., 2006.** The effect of a clinoptilolite-based feed supplement on the performance of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.* 51 :168-173.

- Takeuchi T., Kitagawa H., Imagawa T., Uehara M., 1998.** Proliferation and cellular kinetics of villous epithelial cells and M cells in the chicken caecum. *J. Anat.* 193 : 233-239.
- Tang, H., Gong, Y. Z., Wu, C. X., Jiang, J., Wang, Y., and Li, K., 2009.** Variation of meat quality traits among five genotypes of chicken. *Poultry Sci.* 88, 2212-2218.
- Tauqir NA et H Nawaz, 2001.** Performance and economics of broiler chicks fed on rations supplemented with different levels of sodium Bentonite. *Int J Agri Biol*, 3: 149-150.
- Tauqir, N.A., Sultan G.I., Nawaz H., 2001.** Effect of different levels of bentonite with varying energy levels on the performance of broilers. *Int. J. Agric Biol.*, 3: 85-88.
- Teimuraz, A., P. Karaman, K. Tengiz, and L. Eprikashvili. 2009.** Possibility of application of natural zeolites for medicinal purposes. *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.* 3:158-167.
- Tellez G., Dean C.E., Corrier D.E., Deloach J.R., Jaeger L., Hargis B.M., 1993.** Effect of dietary lactose on cecal morphology, pH, organic acids, and *Salmonella enteritidis* organ invasion in Leghorn chicks. *Poult. Sci.* 72 : 636-642.
- Tellez G, Higgins S, Donoghue A, Hargis B., 2006.** Digestive physiology and the role of microorganisms. *J Appl Poult Res.* 15:136-44.
- Teo AY, Tan HM., 2005.** Inhibition of *Clostridium perfringens* by a novel strain of *Bacillus subtilis* isolated from the gastrointestinal tracts of healthy chickens. *Appl Environ Microbiol*; 71:4185-190.
- Thacker, P.A., 2013.** Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, Vol. 4. 10.1186/2049-1891-4-35.
- Tomasevic-Canovic M, Dakovic A, Rottinghaus G, Matijasevic S, Duricic M., 2003.** Surfactant modified zeolite: new efficient adsorbents for mycotoxins. *Micropor Mesopor Mater.* 61(1-3):173-180.
- Trckova, M., L. Matlova, L. Dvorska and I. Pavlik, 2004.** Kaolin, bentonite and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Vet. Med. Czech.*, 49: 389-399

- Turan, N.G., 2009.** Nitrogen availability in composted poultry litter using natural amendments. *Waste Manag. Res.* 27:19–24.
- Ullman, J. L., S. Mukhtar, R. E. Lacey and J. B. Carey, 2004.** A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. Remedial management practices. *J. Appl. Poult. Res.* 13:521-531.
- van Der Wielen PW, Biesterveld S, Notermans S, Hofstra H, Urlings BA, van Knapen F., 2000.** Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl Environ Microbiol.* 66: 2536-2540.
- Van Immerseel F, Fievez V, de Buck J, Pasmans F, Martel A, Haesebrouck F, Ducatelle R., 2004.** Microencapsulated short-chain fatty acids in feed modify colonization and invasion early after infection with *Salmonella enteritidis* in young chickens. *Poult Sci.* 83:69-74.
- Van Immerseel F, Russell JB, Flythe MD, Gantois I, Timbermont L, Pasmans F, Haesebrouck F, Ducatelle R., 2006.** The use of organic acids to combat *Salmonella* in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Pathol.* 35:182-188
- Veldkamp, M.J.W., and H. van Gernerden, 1986.** Competition between purple and brown phototropic bacteria in stratified lakes: sulfide, acetate, and light as limiting factors. *FEMS Microbiol Ecol.* 38: 31-38.
- Velmurugu Ravindran, 2010.** Poultry feed availability and nutrition in developing countries. *Poultry Development Review.* 20, 60-78.
- Viseras C, Lopez-Galindo A., 1999.** Pharmaceutical application of some Spanish clays (sepiolite, palygorskite, bentonite): some preformulation studies. *Appl Clay Sci,* 14, 69-82.
- Vispo C. et Karasov WH., 1997.** The interaction of avian gut microbes and their host: An elusive symbiosis. Springer. 116-155.
- Vondruskova, H., R. Slamova, M. Trckova, Z. Zraly and I. Pavlik, 2010.** Alternatives to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets: A review. *Vet. Med.,* 55: 199-224.
-

**Vranesic N., 1992.** Probiotics- useful bacteria as feed additives. *Poult. Abstr.* 18:1-5

**Walz, L.S., T.W. White, J.M. Fernandez, L.R. Gentry, D.C. Blouin, M.A. Froetsche, T.F. Brown, C.J. Lupton and A.M. Chapa, 1998.** Effects of fish-meal and sodium bentonite on daily gain, wool growth, carcass characteristics and ruminal and blood characteristics of lambs fed concentrate diets. *J. Anim. Sci.*, 76: 2025–2031.

**Ward, T.L., Watkins, K.L., Southern, L.L., Hoyt, P.G., French, D.D., 1991.** Interactive effects of sodium zeolite-A and copper in growing swine: growth, and bone and tissue mineral concentrations. *J. Anim. Sci.* 69, 726–733.

**Watkins, K.L. & Southern, L.L., 1991.** Effect of dietary sodium zeolite A and graded levels of calcium on growth, plasma, and tibia characteristics of chicks. *Poult. Sci.* 70, 2295-2303.

**Wattanachant, S., Benjakul, S., and Ledward, D. A., 2004.** Composition, color, and texture of Thai indigenous and broiler chicken muscles. *Poultry Sci.* 83, 123-128.

**Watts CM, Chen YC, Ledoux DR, Broomhead JN, Bermudez AJ, Rottinghaus GE., 2003.** Effects of Multiple Mycotoxins and a Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate in Poultry. *Int J Poultry Sci J.* 2 (6), 372-378.

**Wei A. and Shibamoto T., 2007.** Antioxidant activities and volatile constituents of various essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 55: 1737–1742.

**Wei FX., Xu B., Hu XF., Li SY., Liu FZ., Sun QY., 2012.** The effect of ammonia and humidity in poultry houses on intestinal morphology and function of broilers. *J Anim Vet Adv.*; 11: 3641–3646.

**Windisch W. M., Schedle K., Plitzner C. and Kroismayr A., 2006.** Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science.* 86 : 140–148.

**Wladyka B, Wielebska K, Wloka M, Bochenska O, Dubin G, Dubin A, Mak P., 2013.** Isolation, biochemical characterization, and cloning of a bacteriocin from the poultry-associated *Staphylococcus aureus* strain CH-91. *Appl Microbiol Biotechnol.* 97: 229-239.

**Xia, M.S., C.H. Hu and Z.R. Xu, 2004.** Effects of Copper-Bearing Monmorillonite on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities and Intestinal Microflora and Morphology of Male Broilers. *Poultry Science*, 83: 1868-1875.

**Yalcin, S., S.E. Bilgili and G.R. McDaniel, 1995.** Sodium zeolite A: influence on broiler carcass yields and tibia characteristics. *Appl. Poult. Sci.* 4: 61-68.

**Yang L, Tan GY, Fu YQ, Feng JH, Zhang MH., 2010.** Effects of acute heat stress and subsequent stress removal on function of hepatic mitochondrial respiration, ROS production and lipid peroxidation in broiler chickens. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 151: 204–208.

**Yokota H., Coates M.E., 1982.** The uptake of nutrients from the small intestine of gnotobiotic and conventional chicks. *Br. J. Nutr.* 47 : 349- 356.

**Young JF., Stagsted J., Jensen S. K., Karlsson A. H. and Heckel P., 2003.** Ascorbic acid alpha-tocopherol and oregano supplements reduce stress induced deterioration of chicken meat quality. *Poultry Science.* 82: 1343-1351.

**Zhou, P., Y.Q. Tan, L. Zhang, Y.M. Zhou, F. Gao and G.H. Zhou, 2014.** Effects of dietary supplementation with the combination of zeolite and attapulgit on growth performance, nutrient digestibility, secretion of digestive enzymes and intestinal health in broiler chickens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 27: 1311-1318.

**Zikic D, Peric L, Uscebrka G, Milosevic N, Jotanovic S., 2006.** Probiotici i prebiotici u ishrani brojlera: 1. Efekat na proizvodne rezultate. 11. Savetovanje biotehnologiji, Čačak, 11(2):471.

**Acosta A., Lon-Wo E., Dieppa O., 2005.** Effect of the natural zeolite (clinoptilolite) and of the different feeding schemes on the productive performance of broilers. Cuban J. Agric.Sci., 39: 311-316.

**Albengres E., Urien S., Tillement J.P., Oury P., Decourt S., Flou-vat B., Drieu K., 1985.** Interactions between smectite, a mucus stabilizer and acidic and basic drugs. European J. Clin. Pharmacol. 28 : 601-605.

**Altmer A., Bilal T., Eseceli H., Gürsel F.E., 2010.** Effect of vitamin D3 and/or zeolite supplementation to laying hen rations added microbial phytase on some blood indices 2. Total cholesterol, 1, 25-dihydroxycholecalciferol and oestradiol-17 $\beta$  levels. Kafkas Univ. J. Vet. Fac. 16: 419-424.

**Alzueta C., Ortiz L.T., Rebole A., Rodriguez M.L., Centeno C., Trevino J., 2002.** Effects of removal of mucilage and en-zyme or sepiolite supplement on the nutrient digestibility and metabolizable energy of a diet containing linseed in broiler chickens. Anim. Feed Sci. Technol. 97 : 169-181.

**Ani O.A., Ogbu C.C., Iloh E.A., 2014.** Response of broiler chickens to diets containing graded levels of clay. The Journal of Animal & Plant Sciences. 24: 30-34.

**Ayed. MH., Zghal. I., Rekik. B., 2008.** Effect of sepiolite supplementation on broiler growth performances and carcass yield. Proceedings, Western Section, American Soc Anim Sci. 59: 169-172.

**Bailey, R.H., Kubena, L.F., Harvey, R.B., Buckley, S.A., Rottinghaus, G.E., 1998.** Efficacy of various inorganic sorbents to reduce the toxicity of aflatoxin and T-2 toxin in broiler chickens. Poultry Sci. 77, 1623-1630.

**Berri C., Relandeau C., Le Bellego L., Picard M., 2005.** Effet de la teneur en lysine de l'aliment sur les performances, le pH ultime et les pertes en eau des filets du poulet de chair. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo. 445-449

**Cabuk M., Bozkurt M., Alçiçek A., Akba Y., Küçükylmaz K., 2006.** Effect of a herbal essential oil mixture on growth and internal organ weight of broilers from young and old breeder flocks. *South African Journal of Animal Science*. 36 : 135–141.

**CASTAING J., 1989.** Effet de l'inclusion de 2% de Sepiolite "EXAL" dans les aliments à deux niveaux énergétiques présentés en granulés pour porcelets et porcs charcutiers. *Journées de la Recherche Porcine en France*. 21 : 51-58.

**Damiri H, M Chaji, M Bojarpour, M Eslami and M Mamoei, 2012.** The effect of sodium bentonites on economic value of broiler chickens diet. *J Anim Vet Adv*, 9: 2668-26670.

**Desheng Q., Fan L., Yanhu Y., Niya Z., 2005.** Adsorption of aflatoxin B1 on montmorillonite. *Poultry Sci*. 84: 959-961.

**Dia Mohamed E.H., Coueron E., Pagot E., Trotel A., Ranjouan G., Delaporte B., Gallissot M., 2015.** Effet d'un mélange algues-argiles sur la valorisation par des poulets de chair d'un régime contenant des drèches de maïs. 11<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 25&26 mars. 702-706.

**Doodlad R.A., Ratcliffe B., Fordham J.P., Wright N.A., 1989.** Does dietary fiber stimulate intestinal epithelial-cell proliferation in germ free rats. *Gut*. 30: 820-825.

**Eckhardt J.C., Santurio J.M., Zanette R.A., Rosa A.P., Scher A., Dal Pozzo M., Alves S.H., Ferreiro L., 2014.** Efficacy of a Brazilian calcium montmorillonite against toxic effects of dietary aflatoxins on broilers reared to market weight. *Brit Poultry Sci*. 55: 215-220.

**Eleroğlu H., Yalçın H., 2005.** Use of natural zeolite- supplemented litter increased broiler production. *South African Journal of Animal Science*. 35: 90-97.

**Eleroğlu H., Yalçın H., Yıldırım H., 2011.** Dietary effects of Ca-zeolite supplementation on some blood and tibial bone characteristics of broilers. *S. Afr. J. Anim. Sci*. 41 : 320-330.

**Elliot, M.A. , H.M. Jr. Edwards, 1991.** Comparison the effects of synthetic and natural zeolite on laying and broiler chickens performance. *Poult. Sci.*, 70: 2115-2130.

- Eralan G., D. Essz M. Akdogan, Sahindokuyucu F., Altrintas L., 2005.** The effects of aflatoxin and sodium bentonite and alone on some blood electrolyte levels in broiler chickens. *Turk Veterinerlik ve Hayvanclk Dergisi*. 29: 601-605.
- Eser H., Yalçın S., Yalçın S., Şehu A., 2012.** Effects of sepiolite usage in broiler diets on performance, carcass traits and some blood parameters. *Kafkas Üniv Vet Fak Derg*. 18 : 313-318.
- Esmeralda L.W., Gonzales J.L., 1992.** Comparative evaluation of zeolit bentonite and kaolin through the productive performance of broiler. *Poult. Abst*. 5:12-17.
- Ferrari S., Gualtieri A. F., 2006.** The use of illitic clays in the production of stoneware tile ceramics. *Applied Clay Science*, 32: 73–81.
- Francesch M., Brufa J., 2004.** Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. *World's Poult. Sci. J*. 60 : 64 - 75.
- Gilani1 A., Kermanshahi H., Golian A., Seifi S., 2016.** Appraisal of the impact of aluminosilicate use on the health and performance of poultry. *Turk J Vet Anim Sci*, 40: 1-8.
- Gomes C.S.F., Silva J.B.P., 2007.** Minerals and clay minerals in medical geology. *App. Clay Sci*. 36: 4-21.
- Gray S.J., Ward T.L., Southern L.L., Ingram D.R., 1998.** Interactive effects of sodium bentonite and coccidiosis with monensin or salinomycin in chicks. *Poultry Sci*. 77: 600-604.
- Grosicki A., 2008.** Bentonite influence on manganese uptake in rats. *Bull Vet Inst Pulawy*, 52: 441-444.
- Grosicki A., Kowalski B., Bik D., 2004.** Influence of bentonite on trace element kinetics in rats. II. Calcium. *Bull. Vet. Inst*. 48: 337-340.
- Güngör N., Karaoglan S., 2001.** Interaction of polyacrylamide polymer with bentonite in aqueous systems. *Materials Letters*. 48: 168-175.
- Hesham M.T., Hegazy A.A., Hus Y.A., 2004.** Efficiency of kaolin and activated charcoal to reduce the toxicity of low level of aflatoxin in broilers. *Scientific J. King Faisal Univ*. 5: 1-6.
-

- Houseknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.E., 1998.** The biology of leptin: a review. *J.Anim. Sci.* 76: 1405-1420.
- Hu C. H., Qian Z. C., Song J., Luan Z. S., Zuo A. Y., 2013.** Effects of zinc oxide-montmorillonite hybrid on growth performance, intestinal structure, and function of broiler chicken. *Poult. Sci.* 92 : 143-150.
- Huff W.E., Kubena L.F., Harvey R.B., Phillips T.D., 1992.** Efficacy of hydrated sodium calcium aluminosilicate to reduce the individual and combined toxicity of aflatoxin and ochratoxin A. *Poultry Sci.* 71: 64-69.
- Huntington G.B., Emerick R.J., Embry L.B., 1977a.** Sodium bentonite or sodium bicarbonate as aids on feeding high-concentrate diets to lambs. *J.Anim.Sci.* 45: 804-811.
- Huntington G.B., Emerick R.J., Embry L.B., 1977b.** Sodium bentonite effects when fed at various levels with high concentrate diets to lambs. *J.Anim.Sci.* 45: 119-125.
- Incharoen T., Khambualai O., Yamauchi K., 2009.** Performance and Histological Changes of the Intestinal Villi in Chickens Fed Dietary Natural Zeolite Including Plant Extracr. 3: 42-50.
- Jondreville C., Rychen G., Feidet C., 2002.** Modalités et risques de transfert des contaminants du sol vers les produits issus de volailles élevées en plein air. 7<sup>ème</sup> journées de recherches avicoles. Tours, 28 et 29 Mars: 133-140.
- Jozja N., Baillif P., Touray J.S., Pons C.H., Muller F., Burgevin C., 2003.** Impacts « multi-échelle » d'un échange (Mg,Ca)-Pb et ses conséquences sur l'augmentation de la perméabilité d'une bentonite. *Comptes Rendus Géoscience*, 335, 729-736.
- Karamanlis X., Fortomaris P., Arsenos G., Dosis I., Papaioannou D., Batzios C., Kamarianos A., 2008.** The Effect of a Natural Zeolite (Clinoptilolite) on the Performance of Broiler Chickens and the Quality of Their Litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21:1642-1650.
- Kermanshahi H., Hazegh A.R., Afzali N., 2009.** Effect of Sodium Bentonite in Broiler Chickens Fed Diets Contaminated with Aflatoxin B. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8: 1631-1636.

- Khambualai O., Ruttanavut J., Kitabatake M., Goto H., Erikawa T., Yamauchi K., 2009.** Effects of dietary natural zeolite including plant extract on growth performance and intestinal histology in Aigamo ducks. *Br. Poult. Sci.* 50:123–130.
- Khanedar F. , Vakili R., Zakizadeh S., 2013.** Effects of Two Kinds of Bentonite on the Performance, Blood Biochemical Parameters, Carcass Characteristics and Tibia Ash of Broiler Chicks. *Global Veterinaria.* 6: 720-725.
- Konturek S.J., Konturek J.W., Pawlik T., Brzozowski T., 2004.** Brain-gut axis and its role in the control of intake. *J.Physiol. Pharmacol.* 55: 137-154.
- Langhout D. J., Schutte J. B., van Leeuwen P., Wiebenga J., Tamminga S., 1999.** Effect of dietary high-and low-methylated citrus pectin on the activity of the ileal microflora and morphology of the small intestinal wall of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 40:340–347.
- Larbier M., Leclercq B., 1992.** Nutrition et alimentation des volailles. Edition INRA. Paris (France), 349 p.
- Lauronen J., Pakarinen M. P., Kuusanmaki P., Savilahti E., Vento P., Paavonen T., Halttunen J., 1998.** Intestinal adaptation after massive proximal small bowel resection in the pig. *Scand. J Gastroenterol.* 2:152–158.
- Lavigne F., Dubois J.P., Laurence F.L., Arroyo J., 2015.** Influence de la supplémentation en argile et en grit pendant la période de croissance-finition sur les performances des oies. 11<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 25&26 mars. 707-711.
- Ledoux D.R., Rottinghaus G.E., Bermudez A.J., Debolt M.A., 1999.** Efficacy of a hydrated sodium calcium aluminosilicate to ameliorate the toxic effects of aflatoxin in broiler chicks. *Poult. Sci.*, 78: 204-210.
- Lemos M. J., Lima L. F., Osvanira. C., AlvesI Daniele S., Brandt S. B., Leite M. T., 2015.** Kaolin in the diet and its effects on performance, litter moisture and intestinal morphology of broiler chickens. *Ciência Rural, Santa Maria,* 10 : 1835-1840.
- Lon-Wo E., Zaldvar V., Margoles E., 1993.** Effects of natural zeolite on poultry feeding with nutritional levels or high mycotoxin contamination. *Cuban J. Agric. Sci.* 27: 199-204.

**Lotfollahian H., Shariatmadari F., Shivazad M., Mirhadi S.A., 2004.** Study on the effects of two kinds of natural zeolite in diets on blood biochemical parameters, relative weight of body organs and broilers performance. *Pajouhesh Sazandegi*. 64: 18-34.

**Luca S., Giovanna M., Fernando. E., Paola P., Paolo P., 2004.** The effects of sepiolite-SPLF on piglet and heavy pig production. *Italian Journal Animal Science*. 3: 225-234.

**Ma Y.L., Guo T., 2008.** Intestinal morphology, brush border and digesta enzyme activities of broilers fed on a diet containing Cu<sup>2+</sup>- loaded montmorillonite. *British Poultry Sci.*, 49: 65–73

**Magnoli A.P., Cavaglieri L.R., Magnoli C.E., Monge J.C., Miazzo R.D., Peralta M.F., Salvano M.A., Rosa C.A.D., Dalcero A.M., Chiacchiera S.M., 2008.** Bentonite performance on broiler chickens fed with diets containing natural levels of aflatoxin B-1. *Revista Brasil De Med Vet*. 30: 55-60.

**Mallek Z., Fendri I., Khannous L., Ben Hassena A., Traore A.I., Ayadi M.A., Gdoura R., 2012.** Effect of zeolite (clinoptilolite) as feed additive in Tunisian broilers on the total flora, meat texture and the production of omega 3 polyunsaturated fatty acid. *Lipids in Health and Disease*, 11: 35.

**Maneewan B., Yamauchi K., 2005.** Recovery of duodenal villi and cells in chickens re-fed protein, carbohydrate and fat. *Br. Poultry Sci.* 46 : 415-423.

**Mekbungwan A., Yamauchi K., 2004.** Growth performance and histological intestinal alterations in piglets fed dietary raw and heated pigeon pea seed meal. *Histol. Histopathol.* 19 : 381- 389.

**Miazzo R., Peralta M.F., Magnole C., Salvano M., Ferrero S., Chiacchiera S.M., 2005.** Efficiency of sodium bentonite as a detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin and fumonisin. *J. Poultry Sci.*, 84: 1-8.

**Moore P.R., Evenson A., Luckey T.D., McCoy E., Elvehjem C.A., Hart E.B., 1946.** Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with chick, *J. Biol. Chem.* 165: 437-441.

**Mumpton F. A., Fishman P. H., 1977.** The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *J. Anim. Sci.* 45:1188-1203.

**Nasir A.T., Haq N., 2001.** Performance and economics of broiler chicks fed on rations supplemented with different levels of sodium bentonite. *Intl J. Agri. Biology.* 3: 149-150.

**Niamat M.A., 2014.** Effect of feed supplemented with different levels of sodium bentonite on japanese quail performance. *Egypt. Poult. Sci.* 34: 705-713.

**Nikolakakis I., Dotas V., Kargopoulos A., Hatzizisis L., Dotas D., Ampas Z., 2013.** Effect of natural zeolite (clinoptilolite) on the performance and litter quality of broiler chickens. *Turk J Anim Sci.* 37: 682-686.

**Nowar M.S., Ouadia L., Harb M., Chakib, A., El Fatafta, A., Al Shawabekh K., Khoury H.N., Sayed K., 1989.** Final rep of clay. *Univ of Aman.* 5 : 18-19.

**Oguz H., Kurtoglu V., 2000.** Effect of clinoptilolite on performance of broiler chickens during experimental aflatoxicosis. *Brit Poultry Sci.* 41: 512-517.

**Olver M.D., 1983.** The effect of feeding clinoptilolite (zeolite) to laying hens. *South African J. Anim. Sci.* 13: 107-110.

**Olver M. D., 1997.** Effect of feeding clinoptilolite zeolite on the performance of three strains of laying hens. *Br. Poult. Sci.* 38:220-222.

**Ortatatli M., Oguz H., Hatipoglu F., Karaman M., 2005.** Evaluation of pathological changes in broilers during chronic aflatoxin (50 and 100 ppb) and clinoptilolite exposure. *Res Vet Sci.* 78: 61-68.

**Ouachem D., Soltane M., Kalkil T., Mekaoussi S., Abdessemed F., Soualah Z., Berghouti F., Yakhlef I., 2009.** La marne un produit naturel dans le régime du poulet de chair: conséquences sur les performances et l'état des fientes. 8<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Avicole. St. Malo, 25&26 mars: 507-511.

**Ouachem D., Soltane M., Hadjar A., Bakroune F., Kalkil A., Bensalem A., Smaili A., Haddad S., Abdessemed F., 2010.** Effects of marl on the performance of chicken feeding starting diet containing acid oil. European Poultry Conference. 23-27 August. Tours. France.

**Ouachem D., Bakroune F., Bensalem. A., Hadjar A., Abdesseme F., 2011a.** Effets de la marne sur le rendement en découpe et la qualité de la viande du poulet. 9<sup>ème</sup>Journées de la Recherche Avicole. Tours, 25&26 mars: 507-511.

**Ouachem D., Soltane M., Hadjar A., Bakroune F., Kalkil T., Bensalem A., Smaili A., Haddad S., Abdessemed F., 2011b.** Effects of marl on the performance of chicken feeding starting diet containing acid oil. Banat's Journal of Biotechnology. 1: 3-6.

**Ouachem D., Kaboul N., 2012.** The Marl as a Natural Supply on Broiler Chicken Feed: Effects on the Starter Performance, the Abdominal Fat and the Dropping Moisture. International Journal of Poultry Science. 11 (3): 225-228.

**Ouachem D., Meredef A., Kalli. A., Kaboul. N., Mehdaoui A., Ahmed Gaid Z., 2014a.** Effectsof marl and kaolin on growth performances, digestive efficiency and wet dropping of broiler chickens. Sustainable Livestock Production in the Perspective of Food Security, Policy, Genetic Resources and Climate Change. 4: 1958-1961.

**Ouachem. D., Meredef. A., Kaboul. N., Ahmed Gaid. Z., Bakroune F., Bensalem A., 2014b.** Effects of the marl on the performance, cutting yield and meat quality of broiuler chickens. Banat's Journal of Biotechnology. 10: 71-76.

**Ouhida, I.; Perez, J.F.; Gasa, J., 2000a.** Enzymes and sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broilers chickens. British Poultry Science. 5 : 617- 624.

**Ouhida, I.; Perez, J.F.; Gasa, J., 2000b.** The effects of sepiolite in broiler chicken diets of high, medium and low viscosity: productive performance and nutritive value. Animal Feed Science and Technology. 85: 183-194.

**Ouhida, I., J. F Pérez, and J. Gasay. 2000c.** Sepiolite (EXAL) Decreases Microbial Colonization in The Gastrointestinal Tract of Young Broilers Fed Barley-Wheat based diets. Arch. Zootec. 49: 501-504.

**Owen O.J., Nodu M.B., Dike U.A., Ideozu H.M., 2012.** The effects of dietary kaolin (clay) as feed additive on the growth performance of broiler chickens. *Greener J. Agric. Sci.*, 2: 233-236.

**Pappas A.C., Zoidis E., Theophilou N., Zervas G., Fegeros K., 2010.** Effects of palygorskite on broiler performance feed technological characteristics and litter quality. *Appl. Clay. Sci.* 49 : 276-280.

**Parizadian K.B., Shams S., Hassani M., Mostafalo Y., 2013.** Effects of physical size of clinoptilolite on growth performance, serum biochemical parameters and litter quality of broiler chickens in the growing phase. *Poultry Science Journal*, 2: 93-104,

**Park Y.K., Monaco M.M., Donovan S.M., 1998.** Delivery of total parenteral nutrition (TPN) via umbilical catheterization: development of a piglet model to investigate therapies to improve gastrointestinal structure and enzyme activity during TPN. *Biol. Neonate.* 73 : 295-305.

**Pasha T.N., Farooq M.U., Khattak F.M., Jabbar M.A., Khan A.D., 2007.** Effectiveness of sodium bentonite and two commercial products as aflatoxin absorbents in diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 132: 103-110.

**Pasha, T., A. Mahmood, F. Malik, M. Abdul Jabbar and A.D. Khan, 2008.** The Effect of Feed Supplemented with Different Sodium Bentonite *Anim. Sci.*, 32(4): 245-248.

**Petckova G., Ivonov K., 1982.** Effect of adding bentonite to mixed forages for broiler chickens. *Zhivotnov dni Nauki.* 19: 69-76.

**Poulsen, H.D., N. Oksbjerg, 1995.** Effects of dietary inclusion of a zeolite (Clinoptilolite) on performance and protein – metabolism of young growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 53: 297 -303.

**Prvulovic D., Kogic G.G., Lasic S., Kosarcic D., 2008.** The effects of dietary inclusion of hydrated aluminosilicate on performance and biochemical parameters of broiler chickens. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, 32: 1–7.

**Reichard F., 2008.** Ingestion spontanée d'argiles chez le rat : rôle dans la physiologie intestinale. Thèse Docteur de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg 221p.

**Ricard F.G., 1964.** Annales de Zootechnie. 21 : 49-47.

**Rosa C.A.R., Miazzo R., Magnoli C., Salvano M., Chiacchiera S.M., Ferrero S., Saenz M., Carvalho E.C.Q., Dalcerro A., 2001.** Evaluation of the efficacy bentonite from the south of Argentina to ameliorate the toxic effects of aflatoxin in broilers. *Poult. Sci.* 80, 139-144.

**Ruttanavut J., Yamauchi K., 2010.** Growth performance and histological alterations of intestinal villi in broilers fed dietary mixed minerals. *Asian. J. Anim. Sci.* 4 : 96–106.

**Safaeikatouli M., Boldaji F., Dastar B., Hassani S., 2010.** Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *J Biol Sci*, 10: 58-62.

**Safaeikatouli M., Boldaji F., Dastar B., Hassani S., 2012.** Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *J. Biol. Sci.*, 10: 58–62.

**Safameher A., 2008.** Effects of clinoptilolite on performance, biochemical parameters and hepatic lesions in broiler chickens during aflatoxosis. *J Anim Vet Adv.* 7: 381-388.

**Salari S., Kermanshahi H., Nasiri Moghaddam H., 2006.** Effect of sodium bentonite and comparison of pellet vs. mash on performance of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.*, 5: 31-34.

**Santurio, J.M., Mallmann, C.A., Rosa, A.P., Appel, G., Heer, A., Dageforde, S. & Bottcher, M., 1999.** Effect of sodium bentonite on the performance and blood variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxins. *Br. Poult. Sci.* 40 : 115-119.

**Sellers R.S., Harris G.C.Jr., Waldroup P.W. 1980.** The effect of various dietary clays and fillers on the performance of broilers and laying hens. *Poult. Sci.* 59 : 1901-1906

**Shi Y., Xu Z., Sun Y., Wang C., Feng J., 2009.** Effects of different types of montmorillonite on growth performance and serum profiles of broiler chicks during aflatoxicosis. *Turk. J. Anim. Sci.*, 33: 15-20.

**Southern LL., Ward T.L., Bidner T.D., Hebert L.G., 1994.** Effect of sodium bentonite or hydrated sodium calcium aluminosilicate on growth performance and tibia mineral concentrations in broiler chicks fed nutrient-deficient diets. *Poult.Sci.* 73: 848-854.

**Suchy P., Strakova E., Vecerek V., Klouda Z., Kracmarova E., 2006.** The effect of a clinoptilolite-based feed supplement on the performance of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.* 51 :168-173.

**Tatar A., Boldaji F., Dastar B., Yaghobfar A., 2008.** Comparison of Different Levels of Zeolite on Serum Characteristics, Gut pH, Apparent Digestibility of Crude Protein and Performance of Broiler Chickens, p: 235. International Zeolite Conference, Tehran, Iran

**Tateo F., Summa V., 2006.** Element mobility in clays for healing use. *Applied Clay Science*.36: 64-76.

**Tauqir N.A., Nawaz H., 2001a.** Performance and economics of broiler chicks fed on rations supplemented with different levels of sodium Bentonite. *Int J Agri Biol*, 3: 149-150.

**Tauqir N.A., Sultan G.I., Nawaz H., 2001b.** Effect of different levels of bentonite with varying energy levels on the performance of broilers. *Int. J. Agric Biol.*, 3: 85-88.

**Tiwari J., 2007.** Zeolite as natural feed additives to reduce environmental impacts of swine manure. M.Sc. Thesis, McGill University, Montreal, Canada, pp : 100.

**Tortuero F, Fernandez Gonzalez E, Martin ML., 1992.** Effects of dietary sepiolite on the growth, visceral measurements and food passage in chickens. *Arch Zootec*, 41: 209-217.

**Trckova M., Matlova L., Dvorska L., Pavlik I., 2004.** Kaolin, bentonite and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Vet. Med. Czech.*, 49: 389–399

**Wester L.E., 2002.** Offering sodium bentonite and sodium bicarbonate free choice to lactating dairy cattle. Master of Science Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. 69p.

**Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R., 2004.** Effects of Copper-Bearing Monmorillonite on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities and Intestinal Microflora and Morphology of Male Broilers. *Poultry Science*, 83: 1868-1875.

**Xu Z.R., Ma Y.L., Hu C.H., Xia M.S., Guo T. and Jin H.L., 2003.** Effects of Cu (II)-exchanged montmorillonite on growth performance, intestinal microflora, bacterial enzyme activities, and morphology of broilers. *Asian-australas J. Anim. Sci.* 16 : 1673-1679.

**Yalcin S., Bilgili S.E., McDaniel G.R., 1995.** Sodium zeolite A: influence on broiler carcass yields and tibia characteristics. *Appl. Poult. Sci.* 4: 61-68.

**Yamauchi K., Buwjoom T., Koge K., Ebashi T., 2006.** Histological intestinal recovery in chickens refed dietary sugar cane extrat. *Poult. Sci.* 84: 645-651.

**Zhou P., Tan Y.Q., Zhang L., Zhou Y.M., Gao F., Zhou G.H., 2014.** Effects of dietary supplementation with the combination of zeolite and attapulgate on growth performance, nutrient digestibility, secretion of digestive enzymes and intestinal health in broiler chickens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 27: 1311-1318.

**Zijlstra R.T., Donovan S.M., Odle J., Gelberg H.B., Petschow B.W., Gaskins H.R., 1997.** Protein-energy malnutrition delays small intestinal recovery in neonatal pigs infected with rotavirus. *J. Nutr.* 127 : 1118-1127.

## ANNEXE

### Déroulement de la recherche des ressources locales et l'extraction des silicates d'alumine (argiles)

#### A. Sur le terrain

- ◆ Exploitation de quelques cartes topographiques, géologiques et pédologiques de la région de Ain Yagout récupérées auprès de la mairie qui nous ont guidés au cours de la recherche des sites d'argile.
- ◆ Interrogatoire de quelques paysans et potiers ayant des informations sur les différents sites et types d'argile.
- ◆ Signes indicateurs :
  - Les affleurements des argiles et leur présence aux bords des chemins et des oueds.
  - La rencontre d'artichauts sauvages dans certaines régions est souvent signe de présence de smectites à faible profondeur.
  - Formation de bosses ou renflements à cause du gonflement de l'argile par l'eau des pluies.
  - Formation de fentes de retrait lors des saisons sèches.
- ◆ Tests de terrain
  - Sur un échantillon sec :
    - Test de la langue : mettre un échantillon d'argile sur la langue, s'il la happe il s'agit donc d'argile. Une langue plus experte peut différencier plusieurs types d'argile. En effet, si l'argile happe comme une « ventouse » avec une sensation sèche, ce serait plutôt une attapulgite ou une sépiolite. Par contre, si elle happe juste au début avec sensation de boue et de glissement, ce serait plutôt une smectite.
    - Test de l'eau : la mise d'un morceau d'argile et voir le degré de délitement et de gonflement.
    - Test au calcaire : la mise de quelques gouttes de vinaigre ou d'acide chlorhydrique dilué 10 fois, l'effervescence signe la présence de calcaire.
  - Sur un échantillon humide (prélevé à 20/30 cm de profondeur)

- Malaxage : pour vérifier la plasticité. le glissement du doigt comme du savon (phénomène de « Slikaen side ») signifie qu'il peut s'agir de smectite.
  - Test du boudin : la possibilité de formation d'un nœud par un boudin d'argile oriente fortement vers la kaolinite.
  - Gouter l'argile pour apprécier la pureté ( pourcentage réel d'argile) où la partie argileuse se sent par son délitage (sensation pâteuse alors que le crissement entre les dents indique du sable et du mica.
- ◆ Prélèvements d'échantillon à différents endroits pour éventuels tests ultérieurs, les conserver dans des sacs en plastique, les nommer et les situer.

### **B. Confirmation de la qualité de l'argile au laboratoire**

- ◆ Test du verre d'eau : si le trempage d'un morceau d'argile dans un verre d'eau et suivi d'un éclatement et d'une décomposition pour finir par la sédimentation, ceci indique qu'il s'agit d'une argile gonflante.
- ◆ Contrôle de couleur en mentionnant la couleur dominante et la présence de points ou de passées.

### **C. Evaluation des sites et extraction des argiles :**

Après l'analyse des différents échantillons, on choisit le site le plus adapté à l'extraction en fonction des critères suivants :

- ✓ Ne jamais prélever en zone cultivée ou urbanisée, le gisement doit être dans une zone sans activité industrielle, ni élevage intensif et éloigné des habitations et des latrines.
- ✓ homogénéité du gisement.
- ✓ Facilité d'accès.
- ✓ Propriété du site et droit d'extraction.
- ✓ L'extraction doit se faire sous les fentes de retrait en saison sèche ou à 80 cm de profondeur en saison humide.



**Figure 01** : Collecte d'argile locale (marne grise) de la région de DHAHR-AZEM (AIN YAGOUT)



**Figure 02** : Collecte d'argile locale (marne blanche) de la région de THAWIT (AIN YAGOUT)

## Résumé

Au cours d'une épreuve de 56 jours, on a ajouté 3% d'argile (kaolin ou marne) à l'aliment de poulet et un total de 160 poussins chair âgés d'un jour, appartenant à la souche Hubbard F15, ont été divisés en quatre lots expérimentaux avec quatre répétitions, à savoir lot témoin « T », lot kaolin « K », lot marne blanche « M1 » et lot marne grise « M2 ». Les résultats de cet essai ont montré que les trois types d'argile ont un effet positif sur le gain de poids et par conséquent sur le poids d'abattage et l'indice de consommation, affectent positivement les rendements en découpe (PAC et filet) et participent à faire baisser le taux du gras abdominal, mais n'ont aucun effet sur les rendements en cuisse et en pilon, ni sur le poids relatif des organes internes, ni sur la morphométrie intestinale. Le poids relatif de la bourse de Fabricius a été augmenté et à l'égard de la qualité du poulet, l'état du plumage s'améliore en présence de particules argileuses, la prévalence des pododermatites n'est pas touchée et enfin, une diminution de l'humidité des fientes a été réalisée. Les résultats de la présente étude montrent que l'emploi de kaolin et de marne en tant qu'additifs naturels a un effet positif sur la croissance, le rendement en viande et la qualité du poulet.

**Mots clés :** Argile ; poulet de chair ; performances de croissance ; rendements en découpe ; gras abdominal ; état sanitaire ; humidité des fientes ; la qualité du poulet.

## ملخص

خلال تجربة دامت 56 يوماً، أضفنا 3% من الطين إلى غذاء الدجاج اللحم واستخدمنا 160 صوصاً عمرها يوم واحد، من سلالة هيبارد ف 15 و قسمناها إلى أربع مجموعات و كل مجموعة مكررة أربع مرات: المجموعة الشاهد، المجموعة كاولان، المجموعة مارن أبيض و المجموعة مارن رمادي. بينت نتائج هذه التجربة أن أنواع الطين الثلاثة كان لها تأثير إيجابي على الزيادة في وزن الجسم و بالتالي في وزن الذبيحة و التحويل الغذائي، كما أنها حسنت من خصائص الذبيحة و ساهمت في التقليل من الدهون لكنها لم تؤثر على الوزن النسبي للأعضاء و لا على الوزن و الطول النسبيين للمعي الدقيق. ارتفع وزن جريب فابريسيوس أما فيما يخص جودة المنتج فقد لوحظ تحسن في درجة نقاوة الريش، انعدام التأثير على درجة الإصابة بالتهاب القوائم و انخفاض في درجة رطوبة الفضلات. أثبتت نتائج هذه التجربة أن استعمال الكاولان و المارن كمضافات طبيعية يؤثر إيجابياً على الأداء الإنتاجي، مردود اللحم و جودة المنتج.

**الكلمات المفتاح :** الطين، الدجاج اللحم، أداء الدجاج، خصائص الذبيحة، الدهون، الحالة الصحية، رطوبة الفضلات، جودة المنتج.

## Abstract

During an experiment of 56 days, we added 3% of clay (kaolin or marl) to broiler feed and a total of 160 day-old broilers of Hubbard F15 strain were randomly divided into four groups with four replications. This groups were : control « C », kaolin « K », white marl « M1 » and gray marl « M2 ». Results of this essay showed that the three types of clay improved weight gain and as a result slaughter weight and feed consumption ratio, affected positively cut up pieces yield (ready cook chicken yield and breast meat) and reduce the abdominal fat. However, there is neither effect on thigh and drumstick yields nor on relative organ weights, nor on intestinal morphometry. The relative of Bursa Fabricus was increased and concerning broiler quality, the feathering quality was improved and pododermatitis prevalence was not affected. Finally, a reduction in wet droppings was observed. Results of this study show that using of kaolin and marl as natural additives have a positive effect on growth, meat yield and broiler quality.

**Key words :** Clay ; broiler ; growth performance ; yield carcass ; abdominal fat ; health status ; droppings ; broiler quality.