



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE**



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ECOLOGIE

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité Nutrition et Production Animale

THEME

**LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE POULET DE
CHAIR RECEVANT UN ALIMENT ADJUVE EN ENZYMES**

Réalisé par :

MOUMENI Siham

MOUSSAOUI Soumia

Devant le jury composé de :

Mme MAHMOUDI N.	MCB	USDB 1	Présidente
Mme MEFTI KORTEBY H.	Professeur	USDB 1	Promotrice
Mme SID S.	MAA	USDB 1	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020 / 2021

Remerciements

Nous remercions le bon dieu, le tout puissant, qui nous a donné le courage et la volonté pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promotrice Pr. MEFTI KORTEBY Hakima, pour son aide, sa disponibilité, sa patience, ainsi que pour ses conseils.

Nos sincères remerciements vont aussi à Dr MAHMOUDI Nacera d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire.

Nous tenons à remercier également Mme SID Sihem d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos vifs remerciements à tous nos enseignants de la spécialité : Nutrition et production animale.

Pour finir, nous adressons nos remerciements à tous les enseignants de l'Université de Saad DAHLEB BLIDA, de la faculté SNV du département de Biotechnologie et Agro-écologie et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avant tout je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la foi, le courage, la santé et les moyens de conception de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements aux plus chères personnes à mon cœur, mes parents.

Je dédie ce travail

➤ **A mon cher père MOUHAMED**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut vos efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation

➤ **A ma très chère mère FATIMA**

Affable, honorable et aimable : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

➤ *A ma chère sœur AMEL et à mes frères bien aimés" AMINE, SOFIANE, NABIL "mes nièces Nihal et Nesrine .*

Je ne peux exprimer à travers ses lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous, puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais, je vous souhaite la réussite dans vos vies avec tout le bonheur qu'il faut pour vous combler.

➤ *A mon chère chef d'option " Mr BEN CHERCHELI MOHEMED "*

➤ *A ma chère promotrice «MEFTI KORTEBY HAKIMA».*

➤ *A mon binôme que jamais je n'oublierais "MOUSSAOUI SOUMIA ".*

➤ *A mon fiancée " SIFFE EL DINNE " que dieu me le protège.*

➤ *A mes très chères amis : Abdou ,Yacine ,Walid , Abd elmouaine , Amina Bourada , Amina Gouri , pour leurs aides et leurs soutiens durant la réalisation de ce travail.*

Merci et bon courage à toutes mes amies d'étude de la spécialité Nutrition et production animale, je vous dis à vous tous pardon et bonne chance à vous

À toutes et tous, un grand merci !

*À toute personne qui
m'aime À toute personne
que j'aime*

SIHAM (SISSI)

Dédicaces

Avant tout je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la foi, le courage, la santé et les moyens de conception de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements aux plus chères personnes à mon cœur mes parents.

Je dédie ce travail

➤ *A mon cher père MOUHAMED*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation

➤ *A ma très chère mère YAMINA*

Affable, honorable aimable : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance même e étant adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

- *A mes très chères sœurs : FELLA, RANIA, FARAH*
- *A mon chère chef d'option " Mr BEN CHERCHELI MOHEMED "*
- *A ma chère promotrice «MEFTI KORTEBIY HAKIMA».*
- *A mon binôme que jamais je n'oublierais "MOUMENI SIHAM "*
- *A mes tantes : RABEA, FATMA*
- *A ma très chères cousines : MALIKA, SARA, ASIA, ZOLA, NIHAD.*
- *A mes très chers amies : DJIHAD, AMINA, HOUDA, CHAIMA, ABDOU, WALID TAMIM , pour leurs aide et leurs soutien durant la réalisation de ce travail.*

Merci et bon courage à toutes mes amies d'étude de la spécialité Nutrition et production animale, je vous dis à vous tous pardon est bonne chance à vous.

À toutes et tous, un grand

merci À toute personne qui

m'aime.

À toute personne que j'aime.

SOUMIA

Résumé

A l'échelle mondiale, l'aviculture est un domaine prospère aussi bien économiquement que scientifiquement. Durant longtemps les antibiotiques à faibles doses étaient utilisés comme facteur de croissance (A F C.), permettant d'optimiser la rentabilité de l'élevage du poulet de chair. Les voies alternatives aux A. F. C. retiennent l'attention des scientifiques. Parmi leurs concurrents potentiels les enzymes qui sculptent une voie très prometteuse et d'actualité.

Notre choix a porté sur la phytase qui est l'enzyme la plus utilisée industriellement dans la formulation de l'aliment aviaire. A travers l'étude de trois articles scientifiques, il en ressort que l'effet dose peut aller au-delà de 12000 FTU, sans aucun effet de toxicité. La phytase améliore les gains moyens quotidiens et les indices de consommation, améliore la digestibilité et l'assimilation des minéraux.

Elle lyse efficacement les phytates libérant ainsi le Phosphore assimilable et libérant les protéines des phytates, d'où induisant l'activité des protéases permettant ainsi une économie en lysine. Ces effets reconnus de la phytase induisent surement une rentabilité de production.

Mots Clés : Enzyme, Phytase, Dose, Performances, Facteur de croissance, Poulet de chair

ملخص

أداء تربية الحيوانات الدواجن اللاحمة التي تتلقى علفا مساعدا مع الإنزيمات

على الصعيد العالمي، تزدهر تربية الدواجن اقتصاديا وعلميًا. لفترة طويلة، تم استخدام المضادات الحيوية منخفضة

الجرعات كعامل نمو، مما يساعد على تحسين ربحية تربية دجاج التسمين. المسارات البديلة تجذب انتباه العلماء. من بين

منافسيهم المحتملين الإنزيمات التي تشكل مسارا واعدة وموضوعًا للغة.

ركز اختيارنا على إنزيم الفيتاز ، وهو الإنزيم الأكثر استخدامًا صناعيًا في تغذية الطيور. من خلال دراسة ثلاثة مقالات

علمية ، يتبين أن تأثير الجرعة يمكن أن يتجاوز 12000 FTU ، دون أي تأثير سام. يحسن إنزيم الفيتاز مؤشر

الاستهلاك ومتوسط النمو اليومي، ويحسن هضم واستيعاب المعادن. إنها تحلل الفيتات بشكل فعال ، وبالتالي

تطلق الفوسفور القابل للامتصاص وتطلق بروتينات الفيتات ، وبالتالي تحفز نشاط البروتياز ، وبالتالي توفر اللايسين.

هذه التأثيرات المعترف بها للفيتاز تؤدي بالتأكيد إلى ربحية الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: إنزيم ، فيتاز ، جرعة ، قدرة الإنتاج ، عامل النمو ، دجاج التسمين

Summary

Title : Effect of an enzyme supplemented feed on the Zootechnical performance of broilers

Poultry farming is a prosperous field world wide, both economically and scientifically. For a long time, low-dose antibiotics were used as growth promoters (AFC.) to optimize the profitability of broiler production. Scientists are now looking at alternative ways of using growth promoters. Among their potential competitors are enzymes that are carving out a very promising and topical pathway.

We have chosen phytase, the most industrially used enzyme in poultry formulation. Through the study of three scientific articles, it appears that the dose effect can go beyond 12000 FTU , without any toxicity effect. Phytase improves average daily gain and feed conversion, improves digestibility and mineral assimilation.

It efficiently lyses phytates, thus releasing assimilable phosphorus and freeing proteins from phytates, thus inducing protease activity and allowing lysine savings. These recognized effects of the phytase induce surely a profitability of production.

Key words : Enzyme, Phytase, Dose, Performance, Growth factor, Broiler

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les principaux producteurs de viande de volailles dans le monde.....	7
Tableau 02 : Effet de la densité énergétique alimentaire sur le poids (g) et l'indice de consommation	13
Tableau 03 : Recommandations nutritives en acides aminés et protéines pour la formulation de rations avicoles	14
Tableau 04 : Apports recommandés en minéraux et en vitamines dans l'alimentation du poulet de chair	16
Tableau 05 : consommation d'eau et d'aliment en fonction de l'âge chez le poulet de chair.....	17
Tableau 06 : Forme et besoins en nutriments du poulet de chair	18
Tableau 07 : Conversion d'énergie en gain de poids	20
Tableau 08 : Effet du génotype et sexe sur les performances de 22 jours à 35 jours	21
Tableau 09 : Caractéristiques principales de quelques enzymes.....	40
Tableau 10 : Coordonnées des articles	51
Tableau 11 : Matériels utilisés dans chaque article.....	55
Tableau 12 : Performances de croissances des poulets de chair recevant de la phytase de l'éclosion à 21j	60
Tableau 13 : Performances de croissances du poulet de chair recevant de la lysine et de la phytase	61

Tableau 14 : Performances de croissances du poulet de chair recevant de la phytase.....	62
--	----

Liste des figures

Figure 1 : Production de viandes blanches.....	8
Figure 2 : Consommation de viandes blanches (kg / hab / an).....	9
Figure 3 : Composition moyenne d'un aliment Aviaire.....	12
Figure 4 : aliment de type farineux	19
Figure 5 : aliment de type granulé	19
Figure 6 : Présentation de la première page de l'article 1	52
Figure 7 : Présentation de la première page de l'article 2.....	53
Figure 8 : Présentation de la première page de l'article 3.....	54
Figure 9 : La souche Ross 308	55
Figure 10 : La souche Cobb 500	55

Liste des Abréviations

Ac: acide

Ca : calcium

CMV : composé minéraux vitaminé

DEB : équilibre électrolytique alimentaire

D : densité

EM : énergie métabolisable

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FTU : unité de phytase

GMQ : gain moyen quotidien

H : humidité

Hab : habitant

IC : indice de consommation

kcal : kilocalorie

kJ : Kilo Joule

L : lumière

Met : Methionine

Mqt : million de quintaux

P : Phosphore

pH : potentiel hydrogène

PNA : polysaccharides non amylacés

Ppm : Particules par milion

PV : poids vifs

UI : Unité internationale

VIT : vitamines

Sommaire

Introduction générale 2

Partie bibliographique

CHAPITRE I: Poulet de chair dans le monde et enAlgérie 5

CHAPITRE II: Alimentation de poulet de chair 12

CHAPITRE III: Les additifs alimentaires et lesenzymes 24

Partie expérimentale

CHAPITRE I: Matériels et méthodes 50

Chapitre II : Résultats et discussions 59

Conclusion 66

Référence bibliographiques

INTRODUCTION

Introduction

En Algérie, comme dans la plupart des pays en voie de développement, le grand souci depuis l'indépendance est de couvrir les besoins alimentaires de la population, plus particulièrement en matière protéique d'origine animale. Cependant, l'élevage classique (ovin et bovin) n'a pas pu couvrir ces besoins à cause de différentes contraintes, à savoir l'insuffisance des fourrages, la technicité et la longueur du cycle biologique.

Dans le monde entier la consommation de la viande de volaille a augmenté plus rapidement que celle des autres viandes, ce développement résulte de la conjonction de plusieurs facteurs, faible en teneur en graisse par rapport aux viandes rouges (**Salhi, 2016**) et prix attractif. L'aviculture moderne a ainsi connu ces dernières années une extension rapide et s'est montrée comme étant une perspective prometteuse pour répondre aux besoins d'une population sans cesse croissante (**Ndiaye, 1995**).

En élevage, l'expression optimale des performances animales est la résultante de la part génétique de l'animal et des conditions de son élevage. Ces dernières sont essentiellement l'alimentation et la conduite, la qualité de la barrière sanitaire et l'ambiance du bâtiment.

L'alimentation est optimisée par l'ajout permanent ou temporaire d'additifs alimentaires. L'usage des antibiotiques dans les élevages avicoles comme facteur de croissance a engendré un gain certain en performances. Il a été longtemps classé comme meilleur aditif sans concurrent. Cependant l'emploi excessif notamment en prophylaxie a engendré une antibio-résistance de l'humain à certains antibiotiques. De ce fait leur usage a été interdit comme additif pour minimiser les doses d'antibiotiques utilisés en élevage.

Cette situation a amené la recherche à développer des nouvelles stratégies pour trouver des alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance. Parmi les voies alternatives, les probiotiques et enzymes sont en tête de liste. Les probiotiques ont engendré un équilibre du microbiote intestinal un effet sur la santé animale. Cependant leur effet sur les performances n'a pas été concluant. Les enzymes sont actuellement les alternatives proposées, ils sont nombreux pouvant être utilisés seuls ou en multi-enzymes. Leur effet sur les facteurs antinutritionnels

est évident améliorant ainsi, la digestion des nutriments et par conséquent les performances zootechniques de l'animal.

L'enzyme qui peut être utilisée seul mais à de multiples conséquences sur la digestion et sur les performances est la phytase. L'objectif principal de son utilisation est l'amélioration de l'efficacité nutritionnelle d'un aliment (**Maisonnier-Grenier et al., 2004**). C'est dans cette optique que s'inscrit cette recherche bibliographique. Pour baliser notre étude, nous avons opté sur l'enzyme qui est le plus utilisé industriellement dans l'aliment du poulet de chair, en effet le choix a porté sur la phytase. Pour répondre à notre problématique trois articles sont triés parmi une panoplie. Ces articles prouvent l'effet de l'enzyme sur performances, traitent l'effet dose, et celui de l'adjonction de l'effet enzymes à celui de l'acide aminé limitant «la lysine ».

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: POULET DE CHAIR DANS LE MONDE ET EN ALGERIE

Un **poulet** est un jeune volaille, mâle ou femelle, de la sous-espèce *Gallus gallus domesticus*, élevé pour sa chair. Les poulets sont originaires d'Asie du Sud et furent dispersés dans le reste du monde par les marins et les commerçants **(Sonaiya et Swan, 2004)**. A travers le monde *Gallus domesticus* est la sous-espèce de volaille la plus répandue **(Smith, 1997)**.

I.1. Aviculture dans le monde

I.1.1. Le développement de l'aviculture dans le monde

L'aviculture est passée d'une production fermière à une production industrielle organisée et plus spécialisée, cette expansion a commencé après la seconde guerre mondiale **(Bessa, 2019)**. Elle est due au développement de la production intensive menée dans le cadre de ce qu'on a coutume d'appeler la deuxième révolution agricole, fondée sur l'utilisation systématique d'intrants de réalisation de la production, à la maîtrise des conditions technique et sanitaire des élevages et avance technologique (mécanisation, recours à des souches génétiques sélectionnées, aliments industriels adaptés aux souches). Cette révolution, conduite sur le modèle intensif américain, entraîne l'apparition progressive d'un système complexe dit « filière avicole » où interviennent un nombre d'acteurs différents :

- accoueurs (poussin d'un jour),
- habitats, éleveur,
- firmes d'aliments du bétail et abattoirs
- entreprises de pharmacie et vétérinaire,
- grossiste et distributeurs **(Kaci, 2014)**.

Le secteur de la volaille continue à se développer et à s'industrialiser dans de nombreuses régions du monde. Les volailles constituent une source de protéines animales appréciable et économique, notamment pour les pays en voie de développement, ce qui a justifié son développement très rapide sur l'ensemble du globe depuis une trentaine d'années **(Sanofi, 1999)**.

I.1.2. La production mondiale de viande de volaille

L'aviculture est l'une des disciplines d'élevage la plus répandue dans le monde. Elle représente la principale source de production de protéines animales (viande + œufs) dans le monde (**FAO, 2010**). En effet la production mondiale de viande de volaille affiche la plus forte croissance au sein des productions des viandes. En 2017, la volaille devient la première viande produite dans le monde avec 118 millions de tonnes (Mt) devant la viande porcine (117 Mt), la viande bovine (70 Mt) et la viande ovine (14 Mt) (**Bessa, 2019**).

Elle fournit environ un tiers des protéines consommées dans le monde. La production mondiale de viande a été de 245 millions de tonnes en 2003 et a atteint 301,8 Mt en 2012 (**France Agri Mer, 2013**). En 2015, le premier continent producteur de volaille recensé par la FAO, (2019), est l'Asie avec 35 % de la production mondiale (Chine, Inde, Thaïlande, Indonésie), 20% par l'Amérique du Nord (les États-Unis principalement) et 19 % de la production mondiale revient à l'Amérique du Sud principalement par le Brésil. Pour avoir une idée sur l'ampleur de l'évolution de cette production dans le temps, elle est passée de 9 à 120 millions de tonnes entre 1961 et 2016.

Les États-Unis d'Amérique sont le plus grand producteur de viande de volaille, ils produisent en effet 18% de la production mondiale, suivi par la Chine, l'union européenne 28, le Brésil et la Russie (**FAO, 2016**).

Tableau 1: Les principaux producteurs de viande de volailles dans le monde (FAO, 2016)

	Production 2015 en MT	Évolution par rapport 2014
Etats-Unis	21.2	+2.9%
Chine	19.0	+2.8%
Union européenne	13.8	+3.8%
Brésil	13.8	+3.6%
Russie	4.1	+11.4%
Monde	114.8	+3.4%

I.2. Aviculture en Algérie

Dans la plupart des pays en voie de développement, le grand souci depuis leur indépendance est de couvrir les besoins alimentaires de leur population, plus particulièrement en protéines d'origine animale (**Kacimi et Talbi, 2020**).

De toutes les productions animales en Algérie, l'aviculture est la spéculation la plus intensive, qu'elle soit pour la production de viande et pour la production de l'œuf de consommation.

Totalement "artificialisée" depuis les années 80, elle est pratiquée de manière industrielle dans toutes les régions du pays, même dans le Sud, avec une plus grande concentration autour des grandes villes du Nord (**INRA, 2003 cité par Larabi, 2015**).

I.2.1. Structure des élevages avicoles en Algérie

La structure des filières avicoles Algériennes résulte des politiques mises en œuvre par l'Etat, au début des années 80, dans une perspective d'autosuffisante alimentaire. Ces filières ont connues des transformations importantes consécutivement aux réformes économiques et au processus de libération enclenchés depuis le début des années 90 (**FERRAH, 2005**).

La production avicole en Algérie est l'initiative d'éleveurs privés et d'entreprises publiques. La production de ces dernières reste insignifiante par rapport à celle des exploitations privées qui représentent, respectivement 92% et 95% des capacités de production nationale en viandes blanches et en œufs de consommation.

La filière avicole Algérienne dépend du marché mondial en matières premières alimentaires, en matériel biologique et autres intrants nécessaires à la production des produits avicoles (Bessa, 2019).

1.2.1. Production nationale

La production annuelle nationale du secteur avicole Algérienne a enregistré un volume considérable, elle est évaluée à plus de 253 000 tonnes de viandes blanches et environ 4,5 milliards d'œufs de consommation, qui assurent en retour plus de 50 % de la ration alimentaire en produits d'origine animale en 2011 (MADR, 2012).

La production nationale en viande blanche a connu une évolution considérable en 2017, atteignant 5,3 millions de quintaux (Mqt), contre 2,092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153% (MADR, 2017). La figure 1 montre une évolution de la production en viandes blanches de l'année 2000 à 2011 (Ichiou, 2012)

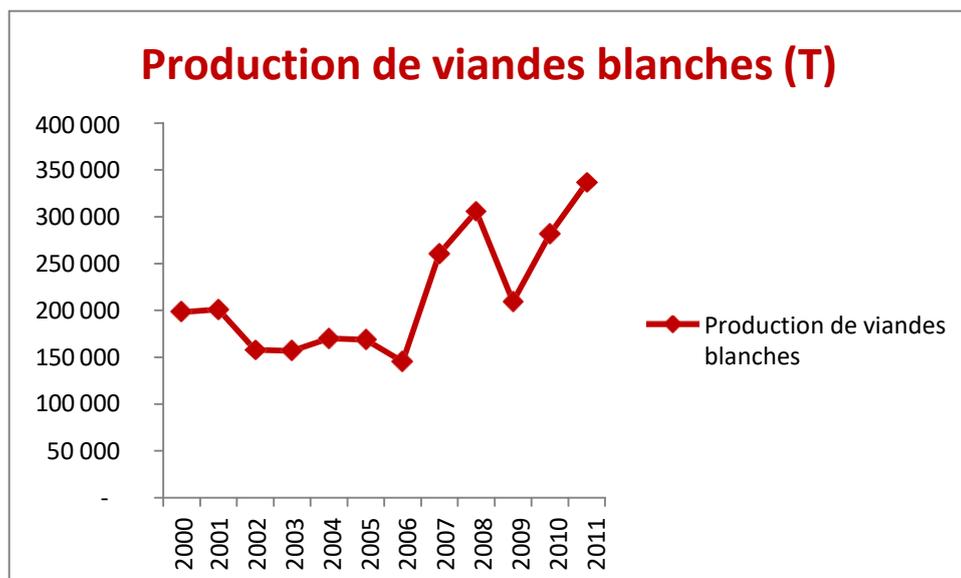


Figure 1 : Production de viandes blanches (Ichiou, 2012)

Le développement de la filière avicole en Algérie a permis une augmentation sensible de la consommation de viande de poulet. Cette dernière, est passée de 0,82 kg/hab/an en 1972 à 9,18 kg/hab/an en 1986 (**Fernadji, 1990**),

à 9,70 kg/hab/an. (FAO, 2005) et à 9kg /hab/an en 2011 (**Ichiou, 2012**)(figure 2). L'Algérien consomme en moyenne 12 kg de viande blanche par an (poulet, dinde...) (**Abachi, 2015**). La progression de production a permis d'améliorer la ration alimentaire moyenne de l'Algérien en protéines animales.

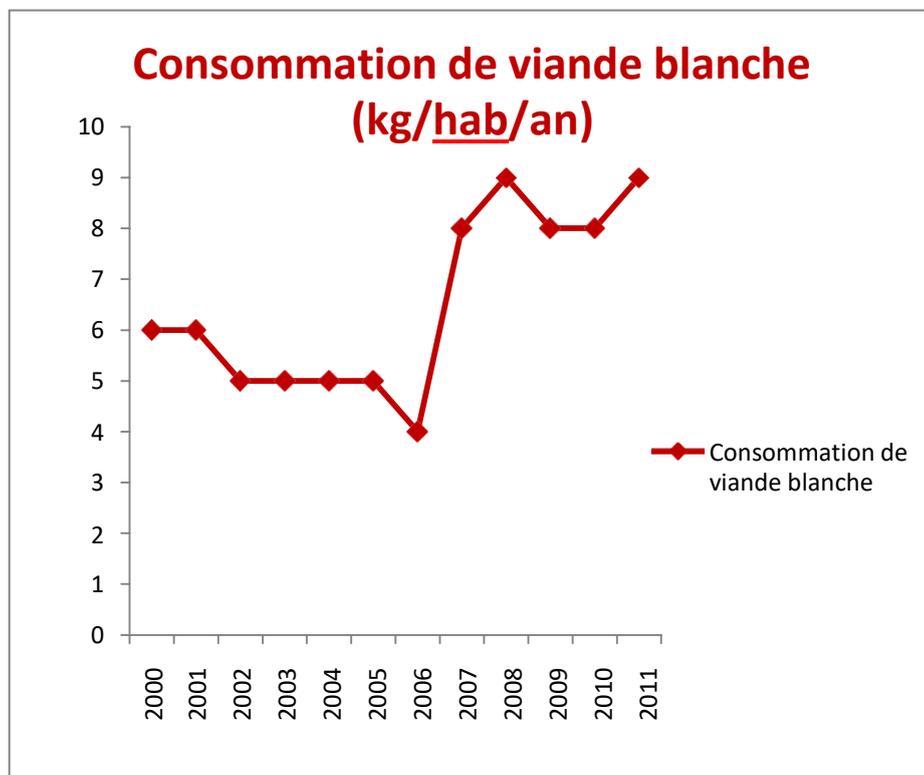


Figure 2 : Consommation de viandes blanches (kg / hab / an)

L'Algérien demeure parmi les plus faibles consommateurs en viandes blanches, loin derrière l'Européen avec ses 23,7 Kg, le Brésilien (37 Kg), ou encore l'Américain (52,6 Kg) (**OFIVAL, 2011**). La demande est très forte sur la viande de poulet durant les fêtes musulmanes (achoura, mouloud et aïd el fitr), le mois de Ramadhan est également caractérisé par une forte demande de la viande en général et la viande de poulet en particulier. Les fêtes de fin d'années (premier

moharrem, yenaair, nouvel an) se caractérisent aussi par des pics de la demande de viande de poulet (**KARWANI 2015**).

CHAPITRE II: ALIMENTATION DU POULET DE CHAIR

II.1. Alimentation

La sélection génétique et la maîtrise de l'alimentation ont contribué à accélérer la vitesse de croissance des poulets de chair. La croissance et le rendement musculaire accrus des poulets sont valorisés par une alimentation plus concentrée en énergie métabolisable et en acides aminés disponibles pour les synthèses protéiques (**Sanchez et al., 2000**).

L'aliment doit être donné en quantité suffisante et doit contenir un bon équilibre d'ingrédients (**Huart, 2004**). Une formule alimentaire mal ajustée peut annuler la marge bénéficiaire de la production de poulet, (**Quentin et al., 2000**)



Figure3 : Composition moyenne d'un aliment Aviaire

II.2. Les besoins nutritionnels de poulet de chair

II.2.1. Besoins en énergie

Les oiseaux utilisent du glucose comme substrat d'oxydation cellulaire, en priorité pour les cellules nerveuses du cerveau. La glycémie, qui est donc l'une des homéostasies les plus contrôlées (Erich, 1975 ; Berama, 2019). Le développement corporel du poulet de chair est d'autant plus rapide que la consommation quotidienne d'énergie métabolisable est élevée (Picard, 2001). La valeur énergétique d'une ration est l'un des principaux facteurs déterminant l'efficacité de son utilisation indispensables à la survie des homéothermes est maintenue aux environs de 1,3 à 2,6 g/l on. Il faut moins d'aliment pour élever un poulet de chair lorsqu'on utilise des rations à haute énergie plutôt qu'à faible énergie. Selon Larbier et Leclercq, 1992, le poulet régule son ingéré alimentaire en fonction de son besoin en énergie. L'accroissement du niveau énergétique conduit toujours à une amélioration de l'indice de consommation et de la vitesse de croissance (Azzouz, 1997)

Tableau 2 : Effet de la densité énergétique alimentaire sur le poids (g) et l'indice de consommation

kcal EM / kg d'aliment	3200		3400	
	Poids(g)	IC	Poids (g)	IC
0 – 4 semaines	705	1,67	738	1,52
4 – 8 semaines	1397	2,30	1401	2,21
0 – 8 semaines	2098	2,09	2141	1,97

Source : Azzouz, 1997

La valeur énergétique des aliments est généralement basée sur leur teneur en énergie métabolisable (EM) (Noblet et al., 2007).

II.2.2 Besoins protéiques

Le premier indicateur de la valeur protéique des aliments est le contenu en protéine brute. En effet, les rations aviaires destinées aux poulets de chair, ont été élaborées de sorte à couvrir les besoins de l'animal (**Fernandez et Ruiz Matas, 2003**) (Tableau 3) en fonction des phases d'élevage.

Tableau 3: Recommandations nutritives en acides aminés et protéines pour la formulation de rations avicoles (**Pontes et Castello, 1995**)

	Démarrage (0-24 j)	Engraissement (25-35 j)	Finition (36-42 j)
Met. kcal/kg	3100	3200	3200
Lysine %	1,26	1,13	1,04
Méthionine+Cystéine %	0,92	0,83	0,77
Tryptophane %	0,22	0,19	0,17
Thréonine %	0,8	0,75	0,72
Protéine Brute %	22,00	20,0	18,50

Les protéines constituent la majeure partie de la viande de poulet et les besoins en protéines sont donc importants chez la volaille. Les 20% à 25% de la carcasse dégraissée de la volaille sont formés de protéine (**Rekhis, 2002**).

Les volailles ont un indice de digestibilité de protéines brutes assez élevé (80-85%) (**Fernandez et Ruiz Matas, 2003**) mais qui peut être affecté par différents facteurs antinutritionnels. C'est pourquoi actuellement, la valeur protéique est exprimée en fonction de la digestibilité réelle des acides aminés et particulièrement de la disponibilité en lysine, méthionine, tryptophane et thréonine. Les apports recommandés pour ces acides aminés varient de 1,15 à 1,3g/100g et 0,65 à 0,75g/100g d'aliment respectivement pour la lysine et la méthionine.

La quantité quotidienne de méthionine et de lysine ingérée influence directement au dépôt de protéines corporelles. Ainsi, ajuster leur concentration dans l'aliment en

fonction du potentiel de croissance des animaux et de leur capacité d'ingestion permet d'optimiser non seulement la croissance mais également l'efficacité alimentaire (**Franck, 1980; Lachapelle, 1995**).

II.2.3. Besoin en minéraux et en vitamines

Les minéraux sont classés en macro-minéraux et en Oligo-minéraux. Il est essentiel de respecter les taux suffisants et l'équilibre appropriés des macro-minéraux pour soutenir la croissance, le développement du squelette, le système immunitaire et l'IC, ainsi que pour préserver la qualité de la litière. Ils sont particulièrement nécessaires aux poulets de chair très performants (**Broiler handbook, 2018**). Les macro-minéraux concernés sont le calcium, le phosphore, le sodium, le potassium et le chlore. Le calcium et le phosphore jouent un rôle spécialement important dans le développement normal du squelette. Un excès de sodium, de phosphore et de chlore peut entraîner une consommation accrue d'eau et par extension, des problèmes de qualité de litière.

La complémentation appropriée de ces oligo-éléments dépend des ingrédients utilisés dans l'aliment, des processus de fabrication de l'aliment, de la logistique impliquée dans la manipulation de l'aliment (les conditions de stockage et la durée de conservation dans les silos), des conditions locales (les sols où poussent les ingrédients composant les aliments (**Broiler handbook, 2018**)).

Il faut généralement faire appel aux ressources riches en minéraux (coquilles d'huîtres, de mollusques, phosphates, sels) pour couvrir les besoins des oiseaux. Les oligo-éléments et les vitamines (liposolubles et hydrosolubles) sont généralement formulés au-dessus des besoins propres de l'animal dans le but de prévenir d'éventuelles déficiences. Ils sont apportés dans l'alimentation sous forme de compléments minéral-vitaminés (CMV) ou prémix contenant généralement un antioxydant pour la protection des vitamines sensibles (**ITAVI. ,2003**). Les apports recommandés en minéraux et en vitamines dans l'alimentation de la volaille sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Apports recommandés en minéraux et en vitamines dans l'alimentation du poulet de chair (ITAVI, 2003).

.Minéraux et Vitamines	0 à 4 semaines	5 à 8 semaines
Calcium (%)	0,95-1,05	0,85-0,95
Phosphore disponible (%)	0,43	0,37
Phosphore total (%)	0,78	0,67
Sodium (%)	0,15	0,18
Fer (mg/kg)	80	80
Cuivre (mg/kg)	10	10
Zinc (mg/kg)	80	80
Vit. A (UI/kg)	12000	10000
Vit. D3 (UI/kg)	2000	1500
Vit. E (ppm)	30	20
Vit. K3 (ppm)	2,5	2
Thiamine (B1) (ppm)	2	2
Riboflavine (B2) (ppm)	6	4
Ac. Pantothénique (ppm)	15	10
Pyridoxine (B6) (ppm)	3	2,5
Vit. B12 (Ppm)	0,02	0,01
Vit. PP (Ppm)	30	20
Acide folique (Ppm)	1	20
Biotine (Ppm)	0,1	0,05
Choline (Ppm)	600	500

II.2.4 .Besoin en eau

L'eau est le principal constituant du corps et représente environ 70 % du poids vif total. L'ingestion d'eau augmente avec l'âge de l'animal et avec la température ambiante du poulailler. En général, les volailles consommeraient environ deux fois plus d'eau que d'aliments. En effet, l'eau d'abreuvement permet l'absorption d'éléments nutritifs et l'élimination des matières toxiques et son absence à des répercussions négatives sur les performances des oiseaux. Il est donc indispensable qu'une eau propre et fraîche leur soit apportée en permanence. Par ailleurs, la

consommation d'eau augmente avec l'âge, le type de production et la température ambiante du poulailler (**Bastianelli et Rudeaux, 2003**).

Selon **Larbier et Leclercq, 1992**, une alimentation riche en protéines conduit à une légère sur consommation d'eau (tableau 5) qui s'expliquerait par les mécanismes de digestion protéique et d'excrétion rénale d'acide urique. En effet, les oiseaux ont la particularité physiologique de résorber l'eau des urines lorsqu'ils n'en disposent pas en abondance dans leur abreuvement. Cette eau remonte le long du colon, provoquant la précipitation de l'acide urique sous forme d'urates.

Tableau 5 : consommation d'eau et d'aliment en fonction de l'âge chez le poulet de chair (**Larbier et Leclercq, 1992**).

Age(j)	Poids moyen (g)	Indice de consommation	Aliment ingéré (g/j)	Eau ingérée (g/j)	Rapport eau/aliment
7	180	0,88	22	40	1,8
14	380	1,31	42	74	1,8
21	700	1,40	75	137	1,8
28	1080	1,55	95	163	1,8
35	1500	1,70	115	210	1,8
42	1900	1,85	135	235	1,8
49	2250	1,95	155	275	1,8

II.3. Présentation de l'aliment :

L'aliment destiné aux oiseaux est généralement un mélange de matières premières de diverses origines et de composition complexe (**Larbier et Leclercq, 1992**). L'aliment doit au préalable être en quantité suffisante et doit contenir un bon équilibre de nutriments (**Huart, 2004**).

A 21 jours d'âge, les oiseaux alimentés avec une ration de 53,8% de blé moulu moyennement (1,13 à 1,23 mm) et grossièrement (2,01 à 2,16 mm) présentent une ingestion alimentaire, un poids et une efficacité alimentaire supérieurs à des oiseaux alimentés avec une ration finement moulu (**Joseph, 1999**).

L'aliment du commerce peuvent se présenter sous formes différents, farine, granulés de différentes tailles, miettes de différentes tailles ou graines entières. Les aliments

en granulés ou extrudés sont généralement plus facile à gérer par rapport à l'aliment en farine .d'un point de vue nutritionnel (**COBB, 2010**). Le tableau 6 récapitule les besoins et la présentation de l'aliment poulet de chair en fonction des phases d'élevage.

Tableau 6 : Forme et besoins en nutriments du poulet de chair

Phase d'élevage	Forme d'aliment	Composition d'aliment			
		Energie EM Kcal/kg	Protéines brutes (%)	Ca (%)	P (%)
Démarrage	Farine ou miette	2800-2900	22	1,10	0.45
Croissance	Granulé	2900-3000	20	0.90	0.38
Finition	Granulé	3000-3200	18	/	/

Source : ITELV(2001)

II.3.1. Aliment farineux

L'aliment présenté sous forme de farine (fig. 4) durant toute la conduite d'élevage, révèle une dégradation de l'Indice de consommation IC et une sous-consommation alimentaire, même si la teneur énergétique est élevée (**ITAVI, 1980**). L'introduction de 50% de granulés dans le régime farine, fait augmenter la consommation et l'efficacité alimentaire, réduit la taille du gésier et le temps passé à manger, au-delà l'augmentation de la dureté des particules tend plutôt à diminuer l'ingéré sans améliorer la productivité (**Abessolo, 2008**).

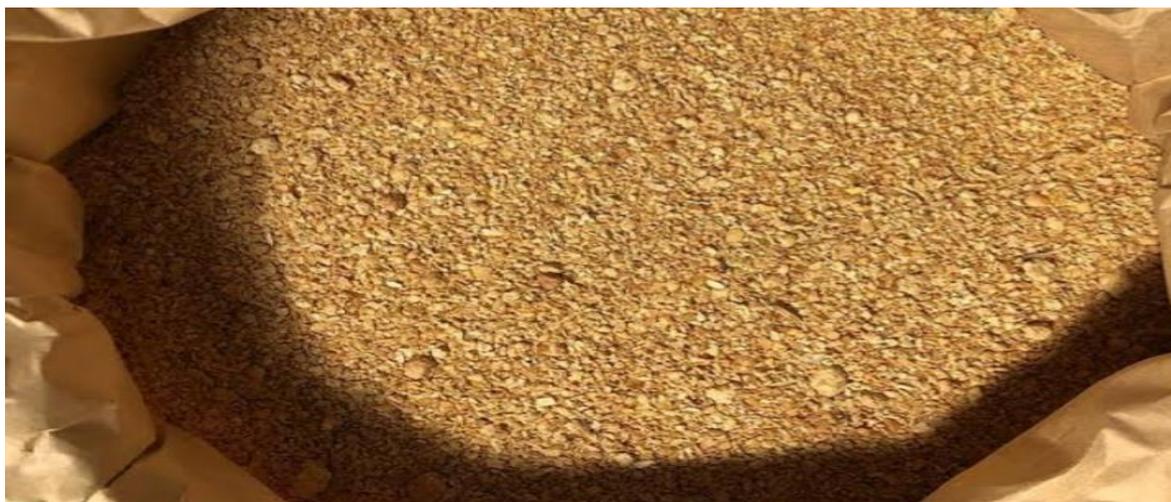


Figure 4 : Aliment de type farineux (Fr.wikipedia.org)

II.3.2 .Aliment granulé

Les volailles consomment les particules suffisamment grosses pour être saisies efficacement par le bec. Ces préférences correspondent à une optimisation énergétique du comportement alimentaire, elles sélectionnent leurs prises alimentaires en fonction de la taille relative des particules, ce qui conduit à un déséquilibre alimentaire. La granulation par son action de compactage, permet d'améliorer l'efficacité de la prise alimentaire **(INRA, 2010)**.

Les aliments <<croissance et finition >> sont généralement présentés en miettes ou granulés **(Morinière, 2015, Magnin et Bouvarel, 2011)** indiquent que la consommation est réduite de 22% avec un aliment farineux comparée à un aliment granulé.

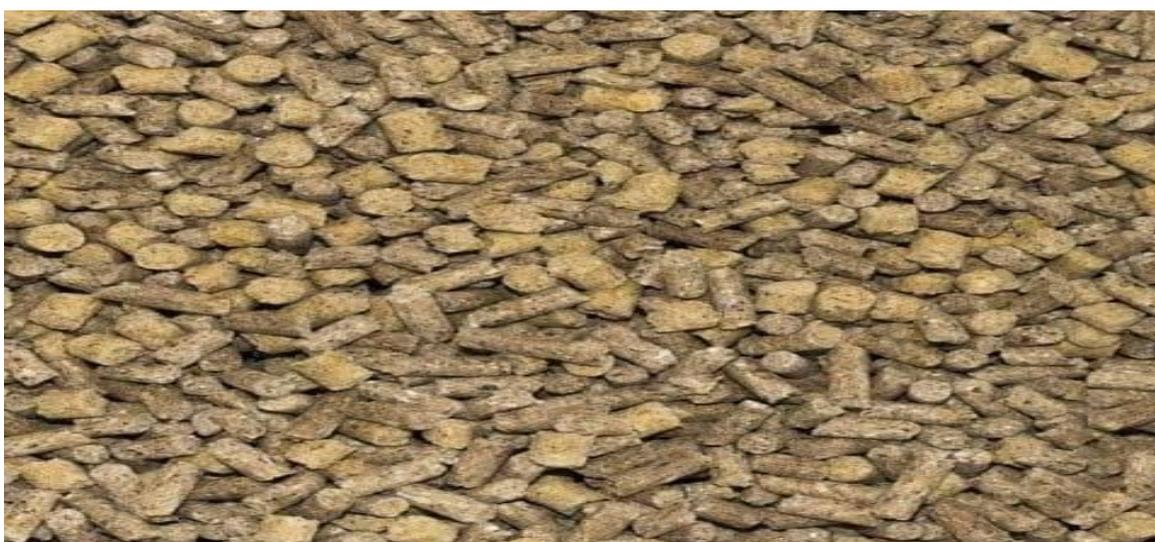


Figure 5 : Aliment de type granulé(alamyimages.fr)

II.3.3. Aliment céréales entières

L'utilisation de céréales entières distribuées avec un aliment complémentaire dans l'alimentation du poulet de chair présente un intérêt dans l'élevage. Le poulet digère aussi bien les céréales entières que broyées, il est capable de s'adapter rapidement à un régime comportant une céréale entière en modifiant son comportement alimentaire (INRA, 2000).

II.4. Facteurs affectant l'efficacité alimentaire

II.4.1. Facteurs intrinsèques

II.4.1.1. Le sexe

Les poulets mâles utilisent mieux leurs aliments que les femelles, les femelles sont donc moins efficaces (Benyi, 2015)(tableau, 7). Les mâles utilisent moins d'énergie métabolisable pour la convertir en gain de poids (Leeson 2000)

Tableau 7 : Conversion d'énergie en gain de poids (Mcal d'énergie Met / kg gain de poids)

Semaines	Males	Femelles	Sexe mixte
4	-	5,15	-
5	5,35	5,60	5,48
6	5,75	6,05	5,90
7	6,20	6,60	6,40
8	6,65	-	-
9	7,10	-	-

(Leeson,2000)

II.4.1.2. Effet âge

L'efficacité alimentaire décline avec l'âge, plus l'animal vieillit moins il est efficace (Benyi, 2015).

II.4.1.3. Effet souche

La souche recouvre une fraction d'animaux d'une race que des traitements particuliers d'amélioration génétique ont eu. pour effet de distinguer des autres animaux de la race (Ndiayé, 1995). Dans le secteur moderne d'aviculture, l'élevage des poulets de chair n'utilise que des souches commercialisables sélectionnées par des firmes étrangères. Le niveau de productivité dépend du sexe et du génotype comme le montre le tableau 8.

Tableau 8 : Effet du génotype et sexe sur les performances de 22 jours à 35 jours

Génotype	Sexe	PV g (35j)	I. Conversion
Ross	M	2158	2,04
	F	2051	2,16
Cobb	M	2252	1,90
	F	1930	2.19

(Benyi, 2015)**II.4.1.4 .Gènes et hormones**

Plusieurs hormones sont impliquées dans la régulation de l'ingestion (Insuline, Glycogène, leptine,...). Elles interviennent en modulant l'expression du gène codant pour la leptine qui est synthétisée dans le foie et le tissu adipeux, elle aide à réguler l'appétit. Une sécrétion intense en leptine dans le sang diminue la consommation d'aliment (**Cossy et al, 2001**).

II.4.2. Facteurs extrinsèques à l'animal**II.4.2.1. Qualité de l'aliment**

Le principal élément de la ration qui conditionne la production de l'animal est l'énergie nette. Le poulet privilégie un aliment plus énergétique. Une élévation du taux énergétique du régime s'accompagne d'une réduction de la consommation d'aliment (**Bouvarel et al, 2010**).

Chez les volailles, des modifications de l'ingestion sont observées en fonction des teneurs en protéines de l'aliment, lorsque l'apport en énergie est maintenu constant. Une teneur réduite en protéines de l'aliment de 20% conduit au maintien de l'ingestion, tandis que l'ingestion est réduite avec une teneur élevée en protéines (20 à 30%) pour les souches à croissance rapide.

Bouvarel, 2010; Tesseraud et al., 1999, ont montré que dès que le taux de protéines dépasse 60% dans la ration, on observe une baisse d'appétit. Une supplémentation en certains acides aminés essentiels tel que la lysine, font accroître l'efficacité alimentaire (**Cissé et al, 2001**).

II.4.2.2. Effet des facteurs antinutritionnels

Certains aliments comme le soja brut, contiennent un nombre de facteurs antinutritionnels (antitrypsique) qui inhibent l'activité de la trypsine pancréatique et inhibent la digestion des protéines alimentaires. Par conséquent, les poulets nourris au soja présentent souvent une faible consommation et une baisse de l'efficacité alimentaire (**Benyi, 2015**)

II.4.2.3. La restriction alimentaire et l'efficacité alimentaire

La restriction alimentaire consiste à limiter le niveau de consommation d'un aliment en temps et en quantité. Cette pratique est utilisée en élevage pour diminuer le taux de graisse dans la carcasse, l'amélioration de l'efficacité alimentaire et la réduction de la fréquence de pathologies associées à une vitesse de croissance élevée tels que les ascites (**Afsharmanesh et al., 2016**). Parmi les restrictions retenues est la réduction de la durée d'éclairage, elle influence l'ingestion alimentaire par conséquent l'efficacité alimentaire des poulets (**Bigot et al., 2001**).

II.4.2.4. Supplémentation en additifs ou enzymes

De nombreuses enzymes sont utilisées comme additifs pour l'aliment, particulièrement chez le poulet de chair, pour améliorer la digestion et l'absorption des nutriments. Plusieurs études ont montré une amélioration significative de l'efficacité alimentaire une fois que les enzymes sont supplémentées dans le régime alimentaire sans pour autant affecter le poids et l'ingestion alimentaire. Toutefois, la supplémentation en enzymes améliore la valeur énergétique de la ration (**John et Tim, 2016**).

CHAPITRE III: LES ADDITIFS ALIMENTAIRE ET LES ENZYMES

III.1. Les additifs alimentaires

Les additifs utilisés en alimentation animale jouent un rôle non négligeable dans l'élevage moderne et constituent l'un des thèmes importants du cadre de l'union européenne dans ce domaine. **D'après Courailler (2004)**, ils sont considérés comme un des facteurs essentiels de l'efficacité de l'alimentation des animaux d'élevage, les additifs suscitent par ailleurs depuis quelques années, de nombreuses critiques, notamment de la part des consommateurs et de leurs association. La plupart des additifs sont fabriqués par l'industrie chimique pour être introduits, le plus souvent des mélange intermédiaires (pré-mélanges, composés minéraux), entrant leur tour dans la composition des aliments complet ou complémentaires.

Les additifs peuvent avoir trois origines différentes :

- **Les additifs naturels** : il s'agit de produits issus du monde minéral, végétal ou animal
- **Les additifs synthétiques** : ce sont des substances existant à l'état naturel qu'il est nécessaire, voir préférable de fabriquer pour des raisons de réduction des couts liés aux traitements des substances naturelles .les condition de fabrication doivent être rigoureuses, car leur production exige parfois l'utilisation de solvants pour la santé qui ne sont pas entièrement éliminés.
- **Les additifs artificiels** : il s'agit d'additifs qui n'existent pas dans la nature et qui doivent être fabriqués (**Immoume, 2015**).

III.1.2. Définitions des additifs alimentaires

Les additifs utilisés en alimentation animale peuvent être définis comme des substances chimiques pures d'origine naturelle ou synthétique ,des préparations enzymatiques ou des micro-organisation qui sont ajoutés intentionnellement aux aliment en faible quantité pour modifier ou améliorer leurs propriétés technologiques, ou augmenter leur efficacité zootechnique (**Blain, 2002**).

Les additifs pour l'alimentation des animaux sont ajoutés aux aliments pour animaux ou dans l'eau pour remplir notamment une ou plusieurs des fonctions suivantes (**Aimene, 2015**).

- Répondre aux besoins nutritionnels des animaux
- Avoir un effet positif sur les caractéristiques des aliments pour animaux ou des produits d'origines animales
- Limiter les conséquences environnementales de la production animale.
- Améliorer les performances zootechniques, le rendement et le bien-être des animaux
- Délimiter la dose journalière admissible des additifs alimentaires en relation qualité / prix.

III.1.3. Les additifs

Les additifs alimentaires sont des substances, de micro-organismes ou des préparations, autres que les matières premières et les pré-mélanges en alimentation animale. Ils sont intentionnellement ajoutés aux aliments ou à l'eau en vue de réaliser des performances. **D'après Courailler (2004)**, ils sont considérés comme l'un des facteurs essentiels de l'efficacité de l'alimentation des animaux d'élevage. Ils peuvent abaisser les coûts de production et influencer les caractéristiques des produits animaux (**Gadoud, 2004**).

Le développement de l'utilisation des additifs est étroitement lié à l'industrialisation des productions animales. En outre, le développement de l'industrie des aliments composés a facilité considérablement la distribution de ces additifs avec une sécurité suffisante (**Guide UE, 2007**).

Dans la pratique courante, pour des raisons de commodité, de gestion des stocks, on utilise des prés-mélange, des dilutions de concentrés vitaminés dans un support, afin d'empêcher les phénomènes de ségrégation et d'obtenir un aliment homogène .le rapport de dilution peut être de 0,25-0 ,50 à 10% (**GUEYE, 1998**).

Les additifs alimentaires procurent plusieurs avantages :

- améliorer la santé ou les gains de croissance de l'animal, ou l'efficacité des aliments qu'il consomme (**Murphy, 2003**).

- avoir un effet positif sur la production, le bien-être des animaux, notamment en influençant la flore gastro-intestinale ou la digestibilité des aliments pour animaux (**Guide UE, 2007**).
- ont un effet positif sur les caractéristiques des aliments pour animaux et des produits d'origine animale.
- répondent aux besoins nutritionnels des animaux.
- ont une influence favorable sur les conséquences environnementales de la production animale (**Synpa, 2011**).

Les additifs aux aliments permettent de mieux produire en fonction des conditions diverses d'élevage. Ils permettent de présenter au consommateur un produit offrant les garanties nécessaires sur le plan de l'innocuité, de l'hygiène, de la nutrition et du goût.

III.2.1. La dose journalière admissible

C'est la quantité d'un additif alimentaire, exprimée sur le poids corporel, qui peut être ingérée chaque jour pendant toute une vie sans risque pour la santé du consommateur (**Codex alimentarius, 2012**).

III.2.2. Classification des additifs et modes d'action

III.2.2.1. Améliorateurs de la digestibilité

Les additifs améliorateurs de digestibilité sont des additifs dits zootechniques puisqu'ils ne sont pas destinés à combler les besoins nutritionnels des animaux. Ce type d'additif a pour principale fonction de favoriser une meilleure assimilation des nutriments contenus dans les aliments. Ce type d'additif peut favoriser de meilleures performances de croissance ou une meilleure santé digestive (Efsa, .

1 <http://www.efsa.europa.eu/fr/search/doc/2536.pdf>

2 http://www.platform-fefana.org/Website/DOCS/IMG_0224%20-%20copie.pdf

III.2.2.2. Enzymes

Une enzyme est une protéine favorisant l'activation ou l'accélération des réactions chimiques, c'est un catalyseur biologique. Ce type de protéine améliore la

digestibilité des aliments contribuant ainsi à une meilleure assimilation de la ration et à une diminution des rejets.

- Phytase
- Enzymes dégradant les polysaccharides non amylacés (PNA)
- Protéase

III.2.2.3 Stabilisateurs de la flore intestinale

Les additifs stabilisateurs de la flore intestinale sont tous comme les améliorateurs de digestibilité, des additifs dits zootechniques puisqu'ils ne sont pas destinés à combler les besoins nutritionnels des animaux. Ces additifs sont davantage destinés à maintenir une bonne santé intestinale en limitant l'implantation des bactéries pathogènes ou en entrant en compétition avec ces dernières. Par conséquent, cette amélioration de la stabilité de la flore intestinale peut parfois entraîner de meilleures performances de croissance.

III.2.2.4 Correcteurs d'acidité

Les additifs correcteurs d'acidité ont pour fonction de réguler la croissance des bactéries par le biais du pH présent dans le tractus digestif. À titre d'exemple, l'ajout d'additifs acidifiants aux aliments entraîne une baisse du pH dans le tractus digestif, réduisant la prolifération de certaines bactéries pathogènes cas des acides organiques

III.2.2.5 Minéraux

Les minéraux sont des additifs communément utilisés en alimentation animale de façon à répondre aux besoins nutritionnels des animaux. Cependant, certains minéraux montrent des effets positifs sur la flore intestinale lorsqu'ils sont intégrés à des doses plus élevées que les besoins nutritionnels (**Stein, 2007**).

Additifs alimentaires ayant des effets sur la santé ou sur les performances de croissance chez le porc et la volaille.

III.2.2.6. Phytobiotiques

Les phytobiotiques sont des produits dérivés des plantes qui, lorsqu'ajoutés à l'alimentation des animaux, montrent des effets positifs sur la santé digestive et sur

les performances de croissance (**Jacela et al., 2010, Fallah et al., 2013**). On peut citer les herbes et épices ainsi les huiles essentielles dérivées de ces produits.

III.2.2.7. Protéines fonctionnelles

Des ingrédients protéiques sont communément utilisés en alimentation animale afin de combler les besoins en acides aminés et en protéines des animaux. Cependant, certains types de protéines dites fonctionnelles auraient d'autres fonctions que de fournir uniquement des nutriments pour la croissance des animaux. En effet, à titre d'exemple, certains types d'ingrédients protéiques contenant des immunoglobulines ou des anticorps ont montré des effets positifs sur l'immunité des animaux ainsi que sur la flore intestinale (**Stein, 2007**). On cite l'anticorps de jaune d'œuf et les peptides antimicrobiens.

III.2.2.8. Microorganismes

Les microorganismes administrés dans l'alimentation des animaux ont pour fonction d'améliorer la flore intestinale, soit en colonisant le tractus digestif, soit en entrant directement en compétition avec les bactéries pathogènes ou, encore, en détruisant ces dernières (**Huyghebaert et al., 2011, Broadway et al., 2014**). Les probiotiques constituent la catégorie d'additifs de microorganismes utiles pouvant être utilisés à grande échelle en alimentation animale.

III.2.2.9. Substances non digestibles

Les additifs non digestibles par l'organisme ont généralement pour fonction de favoriser la croissance des bactéries aptes à consommer ces substances en question ou encore à séquestrer les toxines ou bactéries et à les évacuer de l'organisme animal, favorisant ainsi une meilleure santé intestinale (**Fallah et al., 2013**).

La classification des additifs est fixée par le Règlement (CE) N°1831/2003 est basée sur leur fonctionnalité et non leur composition (**Didier, 2005 cité par Aimene, 2015**). Différents additifs alimentaires peuvent avoir la même fonction, mais chaque additif présente des caractéristiques et des performances différentes. Ils sont donc classés dans une ou plusieurs des cinq catégories (**Blain, 2002**). Ils peuvent être additifs technologiques, additifs sensoriels, additifs nutritionnels, additifs

zootechniques, coccidiostatiques et histomonostatiques. Ces catégories sont elles-mêmes divisées en groupes fonctionnels organisés selon les fonctions principales des additifs. Les vitamines, les enzymes et les acides aminés sont quelques-uns des additifs les plus souvent utilisés en alimentation animale (**Snia, 2014**).

Le choix d'un additif en alimentation animale est fait par les caractéristiques de l'additif, par la nature et la fonction de l'aliment et de son procédé de fabrication (granulé, poudre, etc.) et par l'espèce animale considérée (**Synpa, 2012**).

III.3. LES ADDITIFS SENSORIELS

- **Les colorants:** Les pigments caroténoïdes et xanthophylles, naturels ou de synthèse, sont utilisés dans les aliments destinés aux volailles en raison de leur influence sur la couleur du jaune d'œuf ou des pattes et de la peau des poulets. Certains caroténoïdes sont convertis en vitamine A (**Drogoul, 2004 ; Synpa, 2014**)
- **Les Plantes ou substances aromatiques:** C'est des substances qui ajoutées à un aliment pour animaux en augmentent l'odeur et la palatabilité. Elles sont extraites du monde végétal ou obtenus par synthèse; ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent l'odeur et la palatabilité. Ils sont des stimulateurs de croissance aussi efficaces que les antibiotiques et sont inoffensives pour l'environnement.
- **Les huiles essentielles :** Les huiles essentielles sont extraites des végétaux, elles ont des propriétés antimicrobiennes et antiseptiques. Elles stimulent également l'appétit, les sécrétions digestives et améliorent la digestion (**Drogoul, 2004**).

III.4. Les additifs technologiques

Ils agissent directement sur l'aliment en modifiant ses propriétés physiques, son aptitude à la conservation, ou qui vont réduire les nuisances provoquées par les déjections animales, en les modifiant quantitativement ou qualitativement, ou en augmentant aussi la digestibilité de certains constituants.

- **Conservateurs:** Ce sont des substances qui assurent la conservation des aliments en les protégeant des altérations microbiologiques qui peuvent

entraîner notamment le développement de toxines. Principalement composés d'acides organiques ou de sels d'acides organiques, ils opèrent une action antibactérienne (salmonelles) et antifongique dans l'alimentation de toutes les espèces animales. Ils servent non seulement à assurer la sécurité sanitaire mais aussi à garantir la stabilité organoleptique des aliments (**GUIDE UE, 2007**).

- **Antioxydants** : Ce sont des substances prolongeant la durée de conservation des aliments et des matières premières pour aliments. Ils protègent les aliments pour animaux des altérations dues aux microorganismes ou à leurs métabolites et empêchent les fermentations. Ce sont des molécules qui aident à protéger et à préserver la qualité nutritionnelle des aliments contre les réactions d'oxydation qui accélèrent le vieillissement et le rancissement des produits renfermant des matières grasses ; notamment les acides gras insaturés et les vitamines (**Elatyqy, 2011**).

- **Acides organiques** : les acidifiants (ou acides organiques : formique, acétique, propénoïque, tartrique, lactique, citrique, maléique, fumarique, sorbique) ont été longtemps cantonnés à leur rôle de conservateur des aliments alors qu'ils offrent en condition d'élevage, des avantages zootechniques et sanitaires substantiels. D'une manière générale, les acides organiques sont de plus en plus considérés comme des produits de substitution aux facteurs de croissance dans le sens où eux aussi sont capables d'inhiber une partie de la flore intestinale pathogène (**Devie et al., 2005**). Leur mode d'action est :
 - Ils réduisent le pH de l'estomac.
 - Ils inhibent la croissance de certaines bactéries pathogènes.
 - Ils constituent une source d'énergie par une meilleure digestibilité.
 - Ils améliorent la biodisponibilité des minéraux en formant des complexes.
 - Ils stimulent la sécrétion des enzymes endogènes par le biais de l'acidification.
 - Ils améliorent les performances de croissance des volailles (**Fallah et al., 2013, cités par Larabi, 2014**).

III.4.1. Modificateurs des propriétés physiques des aliments

- **Émulsifiants:** substances qui permettent d'obtenir une meilleure dispersion des constituants dans le cas d'aliments destinés à une utilisation sous forme liquide (aliments d'allaitement).
- **Stabilisants:** substances qui permettent à l'animal de maintenir son état physicochimique (Additifs pour l'ensilage, Anti-mottant, Correcteurs d'acidité).
- **Les émulsifiants et les stabilisants:** Les émulsifiants sont des substances qui jouent un rôle fondamental dans la formulation des aliments et influent sur leurs caractéristiques physiques et organoleptiques. Ils sont indispensables dans les procédés de fabrication utilisant des matières grasses ou des huiles et de l'eau. Ils permettent de mélanger et de stabiliser plusieurs phases telles que l'huile et l'eau qui ne peuvent être mélangés qu'en leur présence (**GUIDE UE, 2007**). Les stabilisants permettent aussi de maintenir l'état physicochimique de l'aliment auquel ils sont rajoutés (**SYNPA, 2014**).
- **Les épaississants et gélifiants:** Ce sont des substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent la viscosité, lui confère de la consistance par la formation de gel (**Synpa, 2014**).
- **Les liants:** Ce sont des substances qui agissent sur la texture des aliments principalement solides pour en faciliter l'utilisation. Ils interviennent sur leur structure physique pour une meilleure agrégation des matières premières mises en œuvre, ce qui permet de limiter la présence de particules fines sous forme de poussières d'aliments préjudiciables à la présentation et à la consommation de l'aliment (**GUIDE UE, 2007**).
- **Les Correcteurs d'acidité:** Ce sont substances qui modifient ou limitent le pH d'un aliment pour animaux (**Synpa, 2014**).

III.4.2. Modificateurs de la digestibilité

L'utilisation d'enzymes sous forme d'additifs, permet d'améliorer la digestibilité et la biodisponibilité de certains nutriments des matières premières de céréales ou de tourteaux. Elles rendent davantage de nutriments accessibles à l'animal, en améliorant l'assimilation des aliments. Les enzymes contribuent à une production animale respectueuse de l'environnement, en diminuant notamment les rejets de phosphore. Ils modifient les caractéristiques physiques ou chimiques des excréments, de diminuer dans certains cas les nuisances qui y sont associées dans les élevages industriels. Les enzymes appartiennent à deux catégories :

- Ceux qui viennent renforcer les enzymes digestives déjà produites par l'animal (protéases et amylases chez les jeunes animaux) ;
- Ceux non synthétisés par l'animal, qui permettent la dégradation des constituants des matières premières non hydrolysées par les enzymes endogènes de l'animal et leur transformation en nutriments absorbables (phytases et xylanase)(Drogoul,2014).

III.5. ADDITIFS ZOOTECHNIQUES

Ce sont des substances qui agissent directement sur l'animal, en améliorant ses performances zootechniques ou en prévenant les carences nutritionnelles ou certaines maladies parasitaires. Les additifs zootechniques se divisent en deux groupes : les nutriments rajoutés à l'état pur aux aliments, les non-nutriments : facteurs de croissance ou de prévention de maladies.

III.5.1.Nutriments

III.5.1.1.Acides aminés

- **Lysine** : Acide aminé essentiel à la synthèse des protéines, peut également être ajouté sous forme synthétique.
- **Méthionine/méthionine protégée** : Acide aminé renfermant du soufre; il est essentiel à la synthèse des protéines. Le qualificatif «protégée » signifie qu'elle résiste à la digestion dans le rumen.

Les farines animales sont bien équilibrées en acides aminés essentiels (lysine et méthionine) mais leur utilisation est interdite depuis la crise de la vache folle (**Dormont, 2000**).

III.5.1.2. Vitamines

Ces micronutriments de la famille des additifs nutritionnels sont essentiels à la vie. Ils jouent un rôle primordial dans les grandes fonctions de l'organisme. Compte-tenu de la variabilité des apports par les matières premières, une supplémentation en vitamines à chaque espèce et stade physiologique est nécessaire. Aujourd'hui, les nutritionnistes prennent de plus en plus en compte les bienfaits d'un apport optimal en vitamines pour la production d'aliments sains et nutritifs contribuant au bien-être animal (**SYNPA, 2014**). Les sources de vitamines sont naturelles ou artificielles. Les naturelles proviennent des aliments simples particulièrement riches en vitamines, tels que les huiles de foie de poissons, de tourteau de soja, de céréales...etc. ceux de synthèse sont généralement issus de dérivés du pétrole.

Elles sont présentées :

- Sous forme de poudres dans lesquelles les vitamines A, D, E et C sont le plus souvent protégées par divers procédés, comme l'enrobage.
- Sous forme d'hydrosols pour l'adjonction à l'eau de boissons.
- Sous forme de complexes vitaminiques, en poudre ou en hydrosols, associant plusieurs vitamines.

Les présentations pour l'élevage varient aussi, des composés minéraux vitaminés (C.M.V), ou des pré-mélanges plus ou moins concentrés, destinés exclusivement aux fabricants d'aliments composés et aux éleveurs fabriquant eux-mêmes leurs aliments.

III.5.1.3. Oligoéléments

Les composés d'oligo-éléments sont au nombre de 8 (fer, zinc, sélénium, iode, cobalt, cuivre, manganèse et molybdène) et sont apportés en très faibles quantités, ces minéraux « trace » interviennent dans un grand nombre de processus vitaux (immunité, stress oxydatif, reproduction, ossification, ...). Les oligo-éléments

existent

classiquement sous forme minérale et sous forme organique souvent plus disponible pour l'animal, permettent ainsi une meilleure assimilation et moins de pertes (**Synpa, 2014**). Deux oligo-éléments, le cuivre et le zinc, ont des effets reconnus sur les performances de croissance des animaux. Des concentrations élevées en cuivre semblent avoir des effets bénéfiques sur la santé du système digestif favorisant ainsi les performances de croissance (**Jacela et al., 2010**). Le cuivre dans les aliments pourrait avoir des fonctions antibactériennes. Le zinc est un composant structurel de plusieurs enzymes et sa disponibilité semble requise pour leur activation. Il est également impliqué dans la régulation du métabolisme des acides aminés et des protéines. De plus, il contribue à la stabilisation de la muqueuse intestinale, à l'inhibition de la croissance de certaines bactéries pathogènes et finalement, à l'amélioration de la réponse immunitaire contre les infections (**Vondruskova et al., 2010**). Il favorise de meilleures performances de croissance, comme il stabilise la microflore intestinale.

L'apport alimentaire d'oligo-éléments peut être réalisé de plusieurs manières :

- Sous forme de sels solubles entrant dans la composition des aliments minéraux en poudre ou en granulés, ou de pierres à lécher (**Normand et al., 2005**).
- Sous forme de sels solubles en solutions : plus rapidement assimilables que dans les mélanges en poudre. Elles apportent aussi plus ou moins le phosphore, le calcium et le magnésium, mais c'est un procédé coûteux.
- Sous forme d'algues : Des poudres d'algues brunes séchées à basse température et broyées, riches également en vitamines hydro et liposolubles, et en substances de croissance (**Soltner, 1999**).

III.6. Facteurs de croissance

III.6.1. Antibiotiques

Les antibiotiques sont utilisés en continu sous forme d'additif alimentaire. Pendant plusieurs décennies, les antibiotiques facteurs de croissance ont été utilisés en productions animales afin d'éviter les maladies (indépendamment du fait que l'animal

soit infecté ou non) et d'augmenter la production, en favorisant la croissance par l'administration régulière de faibles doses (additifs), en particulier dans l'élevage du poulet où leur introduction permet d'améliorer l'indice de croissance de 3 à 12%. Cependant, l'utilisation de ces antibiotiques à des doses thérapeutiques ou sous thérapeutiques à des animaux dont la viande ou le lait entrent ensuite dans le circuit de la consommation humaine, est considérée comme un facteur de risque de plusieurs problèmes (persistance de résidus antibiotiques à dose toxique, action des résidus sur la flore digestive humaine) dont la sélection de bactéries résistantes pathogènes pour l'homme (**Chatellet, 2007**). Ce qui a entraîné l'interdiction complète de ces antibiotiques facteurs de croissance dans l'Union Européenne depuis 2006. Toutefois, cette interdiction a eu des conséquences négatives pour l'élevage, entraînant une réduction des performances de croissance, le développement de maladies et un accroissement de l'utilisation d'antibiotiques thérapeutiques à des fins préventives (**Guardia, 2011**). Avec le développement de l'utilisation d'alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance (AFC) dans l'alimentation dont certaines donnant des résultats prometteurs d'autres des résultats variables, un nombre important de produits est mis sur le marché. Les produits les plus couramment utilisés sont les probiotiques (microorganismes vivants), les prébiotiques (substrats pour la croissance de certaines bactéries du microbiote digestif et indigestibles par l'animal hôte), les enzymes, les acides gras organiques et les phytobiotiques naturels ou de synthèse (métabolites secondaires de plantes) (**Guardia, 2011**). Ils sont incorporés à la ration alimentaire en très faibles quantités : en moyenne entre 5 et 50 ppm. A cette concentration, les antibiotiques sont considérés comme n'ayant aucun effet sur les pathologies infectieuses. L'efficacité des antibiotiques facteurs de croissance dépend de nombreux facteurs et notamment de l'espèce animale, de la nature et de la dose des substances employées, de l'âge et de l'état des animaux (**Blain, 2002**).

III.6.2. Probiotiques

Parmi les additifs alimentaires susceptibles de remplacer l'utilisation des antibiotiques comme facteurs de croissance pour l'amélioration des performances ou en prophylaxie pour la prévention des maladies, les probiotiques suscitent beaucoup d'intérêt.

Les probiotiques ont été commercialisés et utilisés dans les fermes à partir des années 1960. Leur utilisation a été encouragée par le Comité Swann en 1969 qui recommandait de restreindre l'usage des antibiotiques en alimentation animale à la seule fin thérapeutique (leur utilisation « facteurs de croissance » étant associée à l'augmentation des résistances bactérienne) (**Callaway et al 2004; Samli et al 2007; Trufanov et al 2008 ; Bernardeau et al 2009**). par la nécessité de faire face aux conséquences d'une production animale toujours plus intense et stressante pour les animaux (économie d'échelle, augmentation de la taille des élevages, concentration des animaux, sevrage précoce, ...) (**Mountzouris et al., 2007; Yun et al., 2009**).

Entre les années 1970 et 1990, les micro-organismes probiotiques revendiquaient des propriétés zootechniques, amélioration du gain de poids, du coefficient de digestibilité, et également des effets sanitaires (diminution des diarrhées, de la morbidité, ...). Mais cette période est aussi marquée par l'absence de cadre réglementaire contribuant à réduire la confiance des utilisateurs et dès le début des années 1990, on observe un déclin de l'utilisation des probiotiques sur le marché européen. Cette première vague d'utilisation des probiotiques en alimentation animale jusqu'en 1993 a été définie par **Bernardeau et Vernoux(2009)**, comme « la première génération de probiotiques », caractérisée par une efficacité supposée et un cadre réglementaire peu adapté.

L'absence d'efficacité **Simon et al.,(2001)**, de compréhension du mécanisme d'action et le manque de données scientifiques ont amené les professionnels de la production animale (vétérinaires, nutritionnistes, éleveurs) à considérer le concept probiotique avec grand scepticisme (**Bernardeau et Vernoux, 2009**).

Les microorganismes les plus fréquemment utilisés dans les préparations de probiotiques en alimentation animale sont principalement des souches bactériennes appartenant à différents genres, par exemple *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Pediococcus* et *Bacillus*.

D'autres probiotiques sont des champignons microscopiques incluant des levures du genre *Saccharomyces*. Certains microorganismes probiotiques font partie du tube digestif de l'hôte normal, alors que d'autres ne le sont pas (**Guillot, 2001**).

Selon **Yoruk et al.,(2004)**, le genre *Lb.* species utilisé chez les poules pondeuses, (fin de période), augmente la production d'œufs, diminue la mortalité, améliore le taux de conversion mais pas la qualité des œufs.

III.7. Utilisation des additifs chez le poulet de chair

III.7.1. Utilisation des probiotiques

Les probiotiques sont essentiellement utilisés dans le but d'apporter des micro-organismes bénéfique, absent du tractus digestif. Ces bactéries sont nécessaires pour une bonne hygiène digestive et un bon développement des poules, et peuvent être absentes du tube digestif pour diverses raisons :

- Les poussins nouvellement écolos sont, en élevage, séparés de leur parents cela empêche la transmission verticale des bactéries bénéfique
- Les condition d'élevage stressent les animaux et détruisent l'équilibre de l'écologie digestive.

Il existe deux grandes catégories de préparation de probiotique (**Barrow,1992**).

- Celles ayant une action efficace au niveau du jabot, et de la partie antérieure de l'intestine grêle.
- Celles qui ont une action principalement dirigée au niveau du caecum.

Ces préparations sont pratiquement toutes à base de *lactobacillus*. Ceci s'explique par le fait :

- -Que ce sont des bactéries présentes dans la microflore normale des volailles (**Gourniere-Chateau et al.,1994**).
- Que les bactéries lactiques sont capable de survivre dans le tractus digestif (elle résiste au pH acide de gésier et du jabot)

Les *lactobacillus* ont un effet préventif sur les désordres digestifs

III.7.2. Les levures et leur utilisation

Depuis de nombreuses années, les levures sont également utilisées en additifs alimentaires chez les animaux pour améliorer les performances zootechniques et comme régulateur de la flore intestinale chez l'homme. Ils induisent des effets

positifs en termes de performances de productions chez plusieurs espèces des ruminants et monogastriques, mais ne peuvent pas coloniser le tractus digestif. Les levures utilisées comme probiotiques sont des souches de *Saccharomyces cerevisiae*. Une souche bien déterminée de cette levure est dénommée *Saccharomyces boulardi* (Rolfe, 2000; Toma et al., 2005).

III.7.3. Pré biotiques

Les pré biotiques, sont définis comme des suppléments alimentaires indigestibles, capables de stimuler la croissance et/ou l'activité d'un nombre limité de bactéries au niveau colique, modifiant l'équilibre microbien intestinal (le micro biote) de l'hôte, contribuant ainsi à la santé de l'hôte (Butel, 2009). Ces additifs non digestibles par l'organisme ont généralement la capacité à séquestrer les toxines ou les bactéries nuisibles et à les évacuer de l'organisme animal, favorisant ainsi une meilleure santé intestinale (Fallah et al., 2013).

III.7.4. Utilisation des enzymes en alimentation avicole

L'usage des enzymes exogènes dans les aliments des animaux est recommandé dans les situations suivantes :

- pour détruire les facteurs antinutritionnels présents dans beaucoup d'aliments et qui ont des effets délétères sur le processus de la digestion et la santé des animaux.
- pour augmenter l'accessibilité des nutriments par les enzymes produites par l'animal. Dans les tissus végétaux, des nutriments sont emprisonnés dans des matrices fibreuses non digestibles par les enzymes sécrétées par l'animal ou forment des entités chimiques non digestibles par ces enzymes (le phosphorephytique).
- pour pallier chez l'animal l'absence d'enzymes capables d'hydrolyser des liaisons chimiques particulières (les liaisons du type β) de manière à fournir davantage de nutriments à l'animal.
- pour aider les jeunes animaux à digérer les aliments ingérés car leur système digestif peut se révéler immature pour produire les enzymes en quantité suffisante, pour une digestion efficace (Beckers et al., 2005).

III.8. Les enzymes exogènes utilisées dans l'alimentation des volailles

Les matières premières d'origine végétale utilisées dans l'alimentation avicole renferment des composés hydrosolubles peu digestibles. Citons notamment la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les bêta-glucanes qui sont classés dans le groupe des polysaccharides non-amylacés hydrosolubles (PNAH).

Chez la volaille, ces composés sont à l'origine de problèmes de viscosité intestinale qui se traduisent par une réduction de digestibilité et d'absorption des nutriments, et des problèmes immunitaires au niveau de l'intestin, liés à des désordres digestifs. Dans son intervention, **Larbier(1992)** a mis l'accent sur l'effet de l'addition des enzymes exogènes de type xylanase, beta-glucanase ou autres (tableau 9). L'expérience a montré qu'elles permettent la réduction de la viscosité, l'amélioration de la valeur énergétique, de la digestibilité des protéines et de la disponibilité des lipides. De plus, l'addition de ces enzymes rend le milieu digestif plus favorable à produire les lactobacilles au détriment des colibacilles qui constituent la flore pathogène.

Les xylanases et bêta-glucanases offrent l'opportunité, d'une part d'améliorer l'efficacité et la rentabilité des élevages, et d'autre part de favoriser l'utilisation de matières premières diverses (blé, triticales, seigle, orge, avoine, maïs) et de sous-produits issus de l'industrie agroalimentaire (tourteaux de tournesol et de soja, son de blé, farine de riz...), réduisant ainsi la forte dépendance au marché mondial. Du point de vue technologique, l'expert recommande aux fabricants d'aliments ayant recours à ces enzymes, de ne pas aller au-delà d'une température de 80°C lors de l'étape de granulation afin d'éviter leur dégradation.

Tableau 9 : Caractéristiques principales de quelques enzymes (**Neerusha , 2011**)

ENZYMES	MODE D'ACTION	AVANTAGES PREVUS
β-Glucanases	Conversion des β-Glucanes en oligosaccharides +glucose	Réduction des fientes collantes et amélioration de la digestibilité
Cellulases	Conversion de la cellulose en glucose +d'autres saccharides	Améliore la disponibilité d'énergie
Xylanases	Conversion du xylane en xylose	Améliore la qualité de litière et améliore la digestibilité
Phytases	Augmente la disponibilité du phosphore	Réduction de la supplémentation en phosphore inorganique
Protéases	Conversion des protéines en peptides + acides aminés	Augmente le taux de croissance

III.8.1. Les carbohydrases

Les enzymes hydrolysant les polysaccharides non amylacées (PNA), principaux composants de la fibre, sont nombreux, chacune d'entre eux hydrolysant un type de PNA particulier. On retrouve dans cette catégorie de produits les enzymes suivantes : xylanase, glucanase, pectinase, mannanase, etc. Ces enzymes hydrolysent les PNA, composants des parois cellulaires de l'endosperme des céréales, libérant ainsi l'amidon et la protéine qui y sont encapsulés. La digestibilité de l'énergie et de la protéine est ainsi améliorée (**Slominski, 2011**).

Effets métaboliques et biologiques observés sont selon **Seal et al.,(2013)**.

- Réduction de la viscosité du digestat améliorant ainsi la digestibilité des nutriments tels que l'énergie, les protéines et l'amidon.
- La supplémentation des aliments à base de blé avec de la xylanase réduirait les populations de *Clostridium perfringens* chez le poulet de chair.

Dans nos régions, les céréales à paille constituent des aliments de choix pour l'alimentation des volailles. En effet, leur culture y est très répandue et ces céréales possèdent des qualités nutritionnelles indéniables liées à l'importance de leur contenu amylacé. Toutefois les graines de ces céréales contiennent des quantités

non négligeables de composés appartenant au groupe des hémicelluloses (arabinoxylanes, glucanes) et non digestibles par les enzymes endogènes des animaux. Ces molécules ingérées massivement, lors de l'emploi des céréales à paille, ont des effets délétères sur les performances animales conduisant dans certains cas à des déclassements de carcasses à l'abattoir. D'autre part, les hémicelluloses participent à la constitution des membranes des cellules végétales et s'opposent en conséquence à l'action des enzymes endogènes de l'animal sur les constituants intracellulaires. Elles pénalisent donc la digestion des autres constituants. Ces hémicelluloses sont en conséquence qualifiées de facteurs antinutritionnels chez la volaille (**Beckers et Théwis, 2005**). Pour remédier à ces défauts, il est usuel d'incorporer dans les régimes utilisant massivement les céréales viscosantes des enzymes exogènes capables d'inhiber ces facteurs antinutritionnels.

Les préparations enzymatiques ajoutées ont pour première fonction d'hydrolyser ces hémicelluloses en polysaccharides de plus petites tailles de manière à réduire fortement, voire annulé, les effets négatifs de ces molécules sur le fonctionnement du tube digestif des animaux. Classiquement, l'utilité de ces enzymes est démontrée lors d'essais expérimentaux comparant les performances de croissance des animaux alimentés avec un régime supplémenté ou non en enzymes (**Beckers, 2005**).

Les effets bénéfiques des hémicellulases s'expriment de manière variable sur les performances de croissance : ingestion, gain quotidien moyen et indice de consommation. Les xylanases et les glucanases sont à présent largement utilisées avec des régimes contenant du blé, de l'orge, du seigle et du triticale chez les volailles afin de stabiliser, voire d'améliorer, la valeur énergétique et protéique du régime. L'efficacité de ces enzymes est variable en fonction du régime alimentaire, de la nature de l'enzyme, de l'activité microbienne dans le tube digestif, de l'âge des animaux, des traitements subis par les aliments (**Cowieson et al., 2005**). Leur usage est particulièrement préconisé lorsque le maïs se voit substituer par une autre céréale dans le régime (**Garcia et al., 2008**), ou lorsque le tourteau de soja est substitué par une autre source de protéines (**Kiarie et al., 2007, Fang et al., 2009**).

A côté d'une justification technico-économique de ces enzymes, leurs emplois permettent aussi de réduire de manière non négligeable l'incidence

environnementale des productions animales (**Nielson ,2008**). Par exemple, les enzymes capables d'hydrolyser les hydrates de carbone de structure procurent le moyen d'utiliser davantage de co-produits industriels réputés peu digestibles chez la volaille.

III.8.2. Les protéases, amylases et lipases

La majorité des études relatives aux effets nutritionnels des protéases, amylases et lipases exogènes portent sur l'emploi de mélanges de plusieurs enzymes (le plus souvent une xylanase, une amylase et une protéase). Dans le cadre de l'emploi des protéases exogènes, les aliments ciblés sont classiquement les protéagineux, les oléo protéagineux et les coproduits de céréales riches en protéines (**Thorpe et Beal., 2001**). Il a été montré que certaines protéases fongiques et bactériennes pouvaient inactiver in vitro les facteurs antinutritionnels (les inhibiteurs de trypsine et la lécithine) des fèves crues de soja (**Thorpe et Beal, 2001 ; Hong,2002**). De même, des protéases peuvent réduire les effets immunologiques de certaines protéines (**Hong ,2002**).

III.8.3. Le mélange d'enzymes

Beaucoup travaux s'intéressent à la combinaison de plusieurs activités enzymatiques. Le plus souvent les combinaisons portent sur une phytase associée à une enzyme ayant une action sur les hydrates de carbone non amylacés, voire une protéase et une amylase. De ces travaux, il ressort que les combinaisons de deux et plus d'activités enzymatiques peuvent donner des effets synergiques, additifs voire antagonistes sur les performances animales. Parmi ces travaux qui montrent que l'emploi des combinaisons enzymatiques se révèle particulièrement intéressant pour maintenir les performances animales sur des régimes maïs - tourteau de soja sub-carencés en énergie, protéines et minéraux (**Olukosi et al., 2007 ; Tahir et al., 2008 ; Francesch et Geraert,2009**).

Un mélange contenant une xylanase, une amylase et une protéase pourrait agir favorablement via une amélioration de la solubilisation des protéines et de l'amidon dans le chyme gastrique. Il réduirait la sécrétion de pepsine et d'HCl, entraînerait une diminution de la sécrétion intestinale de mucine donc une diminution des pertes endogènes et une amélioration des digestibilités apparentes de certains

acides aminés (**Cowieson et Ravindran, 2008**). De même, l'emploi de ce mélange permet de limiter l'activité de la microflore intestinale et de réduire les pertes endogènes d'azote (**Hong et al., 2002**).

III.8.4 Les phytases

La plupart des graines contiennent des quantités appréciables de phosphore. Cependant, la majorité de ce phosphore est peu assimilable par les volailles (de 12 à 50 %) car il se trouve sous la forme d'acide phytique ou phytate (60 à 80 % du phosphore), cette molécule constituant le principal réservoir en phosphore lors de la germination des graines. L'acide phytique contient 282 g de P/kg. Pour satisfaire les besoins en phosphore des animaux, une complémentation avec une source minérale de phosphore est dès lors pratiquée. Les conséquences de cette pratique sont doubles. D'une part, la complémentation minérale a un impact sur le coût de l'alimentation et d'autre part les volailles rejettent des quantités importantes de phosphore via leurs déjections, ce qui pose un problème environnemental dans les régions à forte concentration d'élevages de monogastriques (**Poulsen ., 1999**).

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.

Les phytases végétales, celles du blé notamment est connue depuis longtemps (**Courtois, 1947**). La présence et l'activité des phytases varient largement entre espèces végétales. L'activité phytasique est variable non seulement entre matières premières mais également intra matières premières (**Tran et Skiba.,2005**). En effet, elles se révèlent très sensibles aux traitements thermiques appliqués lors de la fabrication des aliments (la granulation) et peu actives à des pH acides.

Les phytases fongiques ou microbiennes sont produites par une grande variété d'organisme mais surtout par les microorganismes. Parmi les microorganismes producteurs de phytases on citera notamment les champignons (des genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* et *Rhizopus*), les bactéries (*Pseudomonas sp.*, *Klebsiella sp.*, *Escherichia coli*, *Enterobacter sp.*, *Bacillus subtilis*), et les levures

(*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis*, *Torulopsis candida*, *Debaryomyces castellii*, *Debaryomyces occidentalis*, *Kluyveromyces fragilis* (**WO, 2007**).

Grâce aux progrès du génie génétique et la pression de certaines législations sur les rejets de phosphore dans l'environnement, les phytases commerciales, fongiques pour la majorité, se sont révélées très intéressantes dès le début des années 90 dans l'alimentation des volailles (**Selle et Ravindran,2007**). A présent, elles sont incluses à raison de 500 Unités/kg au minimum dans la majorité des régimes destinés aux volailles. Les phytases fongiques agissent principalement au niveau du jabot de la volaille. (**YABOUE , 2010**).

Aux doses usuelles, l'ajout de phytases dans les régimes des volailles permet de pratiquement doubler la digestibilité apparente du P et de diminuer son excrétion de plus de 30 %. Cette pratique permet de diminuer de manière notable les concentrations en phosphore total des régimes des volailles, et par voie de conséquence de diminuer la demande en phosphore non organique, tout en assurant la couverture des besoins des animaux en cet élément. Les phytases, aussi appelées Myo-inositol-hexa-phosphate hydrolases, sont des enzymes spécifiques de type phosphatase à haut poids moléculaire capables d'hydrolyser les phytates.

III.8.4.1. Role des phytases

Les phytases ont un rôle important sur la digestion des protéines, des minéraux et de l'énergie métabolisable. Les phytases fongiques agissent principalement au niveau du jabot de la volaille. Aux doses usuelles, l'ajout de phytases dans les régimes des poulets permet pratiquement de doubler la digestibilité apparente du phosphore et de diminuer son excrétion de plus de 30% (**Pointillart,1994**). Cette pratique permet de diminuer de manière notable les concentrations en phosphore total des régimes des volailles (**Nyannor ,2009**), et par voie de conséquence de diminuer la demande en phosphore non organique, tout en assurant la couverture des besoins des animaux en cet élément.

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 (**Selle et Ravindran., 2007 et Selle et Ravindran, 2008**).

Les phytases sont responsables d'une augmentation des sécrétions endogènes d'acides aminés dans le tube digestif du poulet et s'opposent à cette perte (**Cowieson et al.,2004**). Le supplément d'énergie métabolisable chez la volaille (3 % en moyenne) consécutif à l'ajout de phytases serait induit par un supplément de digestibilité de l'ensemble des entités de la matière organique (protéine, lipides et amidon) (**Selle et Ravindran, 2007 ; Selle et Ravindran, 2008**).

Les phytases disponibles sur le terrain seraient capables d'extraire moins de 35 % chez la volaille du phosphore des phytates. La mise à disposition de phytates capables d'extraire d'avantage de phosphore laisse présager de réelles avancées dans le futur concernant l'alimentation en phosphore des volailles (**Selle et Ravindran, 2007**).

Zhou et al., (2008) ; Walters et al.,(2019) en supplémentant un régime alimentaire carencé en phosphore disponible par la phytase à des doses variables, ont mis en évidence l'augmentation de la rétention de Ca, P, Zn. Les niveaux de Cu, Zn, Mg et Mn dans l'os du tibia à 28 jours d'âge, du Zn et du Mn à 42 jours d'âge chez les oiseaux nourris avec des régimes avec la phytase étaient plus élevés que ceux des oiseaux nourris avec des régimes témoins sans phytase.

Ravindran et al.,(2001) ont constaté que l'addition de phytase dans l'aliment améliore la valeur de l'énergie métabolisable apparente (AME). Au cours d'une expérimentation, ils ont montré que la supplémentation de phytase dans la ration a augmenté les valeurs énergie métabolisable de l'aliment de 13,36 à 13,54 MJ/Kg de matière sèche -dans les régimes à faibles teneurs en phosphore non phytique et de 12,66 à 13,38 MJ/Kg de matière sèche dans les rations à teneurs adéquates de phosphore non phytique. Cette amélioration est confirmée par (**Lan et al.,2002**). **Shirley et edward., 2003** ont observé une amélioration de l'énergie apparente de 3216 à 3415 kcal/kg d'aliment.

Ces enzymes permettront non seulement de limiter les rejets de phosphore dans l'environnement, mais aussi d'économiser les ressources minérales non renouvelables de phosphore (**Rodehuscord, 2008**).

D'autre part **Agnes et al.,(2007) ;Mellef et al.,(2010) ; Larabi et al.,(2016)** rapportent qu'il y a un effet de phytase sur le taux de ponte.

Des nombreux essais réalisés montrent que l'addition des phytases dans l'alimentation des volailles, permet de réduire le taux d'incorporation du phosphore minéral, dont le prix a connu une envolée remarquable sur le marché. Dans la plupart des aliments, les doses de phytase permettent d'économiser jusqu'à 4,4kg de phosphate monocalcique ou 6,4kg de phosphatedicalcique.

III.8.4.2. Activité enzymatique

D'après **Jondreville et Dourmad, 2005**, une valeur moyenne peut être retenue autour de 0,4 g de phosphore digestible par 500 UI d'activité phytasique.

Une unité d'activité phytasique est définie par la quantité d'enzyme nécessaire pour produire 1 μ mole de P inorganique / minute par 5.1 mmol/l de phytate de sodium à pH 5.5 sous une température de 37°C. La phytase d'origine microbienne correspond en général à 5000 unités d'activité phytasique/g. L'ajout de la phytase à raison de 735 U/kg d'aliment équivaut à 1g de phosphore non phytique chez le poulet de chair nourri avec un aliment à base de maïs-soja et permet l'hydrolyse de 20 à 60 % du phosphore phytique lors d'un ajout progressif de l'enzyme (**Sell et Cowsieson 2012**).

III.8.4.3. Sources de phytases dans le tractus digestif des volailles

Chez les poulets, une activité phytasique a été détectée au niveau de la muqueuse intestinale, principalement dans le duodénum. Cependant, cette activité est influencée par les apports de minéraux et de vitamine D3 dans la ration. Des niveaux élevés de Mg et de Ca dans la ration réduiraient l'activité de la phytase dans l'intestin des poulets, alors que l'ajout de la vitamine D3 et la diminution du P inorganique de 0.48 % à 0.16 % augmenteraient l'activité de la phytase au niveau de la muqueuse intestinale. La valeur de la phytase équivalente au P effectivement libéré par l'ajout de l'enzyme (840 U/kg soit 1 g/kg de P) est inférieure à celle proposée en pratique. En outre, la phytase hydrolyserait environ 45 % des phytates présents dans l'alimentation des poulets de chair, ce qui est probablement une surestimation. Une des raisons à l'origine de cette valeur surestimée serait l'effet positif de la phytase sur le gain de poids (**Mellef et al., 2010**).

III.8.4.4. Perspectives d'utilisation des phytases

L'utilisation actuelle des phytases par les producteurs de volailles est devenue très importante en raison de la prise en compte des pollutions écologiques dues au P, d'une optimisation de l'utilisation de ces enzymes et d'une diminution de leur coût. De ce fait, au cours des quinze dernières années, la recherche sur l'évaluation des phytases microbiennes dans les régimes des monogastriques a connu une croissance rapide, mais cette recherche a porté surtout sur l'évaluation de diverses phytases provenant de différentes sources, plutôt que sur les facteurs sous-jacents à l'origine de la variabilité des réponses à la phytase.

Selon **Selma, 2011**, pour parvenir à une maîtrise optimale de l'alimentation et des rejets en nutriments, il est absolument nécessaire de définir précisément les exigences en P des volailles en fonction de leur sexe et de leur âge et de développer une terminologie appropriée pour exprimer ces exigences de manière uniforme. Les recommandations à la fois en P et en Ca, devraient être redéfinies par rapport à ces évolutions.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODE

I. Matériel et méthodes**I.1. Objectif**

Suite à la prohibition des antibiotiques en alimentation de poulets de chair, les performances de croissance ont régressés entraînant des pertes économiques. L'objectif de ce travail est de développer la voie alternative la plus prometteuse est l'utilisation des enzymes, la plus utilisée et d'une manière spectaculaire c'est la phytase.

I.2. Les coordonnées des articles étudiés

Les coordonnées des articles sont présentées en tableau 10.

Tableau 10 : Coordonnées des articles

Numéro	Titre	Auteurs	Revue
1	Effect of phytase on growth performance, phytate degradation and gene expression of myo-inositol transporters in the small intestine, liver and kidney of 21 day old broilers	C. L. Walk, 1M. R. Bedford, and O. A. Olukosi	Poultry Science Volume 97, Issue 4 , 1 April 2018, Pages 1155-1162
2	Microbial Phytase Improves Performance, Apparent Metabolizable Energy, and Ileal Amino Acid Digestibility of Broilers Fed a Lysine-Deficient Diet V.	Ravindran, 1 P. H. Selle, G. R. avindran, P.C.H. Morel, A. K. Kies, and W. L. Bryden	Poultry Science 2001, 80:338–344
3	Microbial phytase in poultry nutrition	Peter H. Selle a, Velmurugu Ravindran	Animal Feed Science and Technology, 135 (2007) 1–41

I.3. Présentation de la première page de l'article

I.3.1 Article 1

La figure 6 représente la première page de l'article 1

METABOLISM AND NUTRITION

Effect of phytase on growth performance, phytate degradation and gene expression of *myo*-inositol transporters in the small intestine, liver and kidney of 21 day old broilers

C. L. Walk,^{*1} M. R. Bedford,^{*} and O. A. Olukosi[†]

^{*}AB Vista, Marlborough Wiltshire, UK; and [†]Monogastric Science Research Centre, Scotland's Rural College, Edinburgh, EH9 3JG, UK

ABSTRACT An experiment was conducted to evaluate phytase supplementation on growth, phytate degradation, and the gene expression of *myo*-inositol transporters in 21-day old broilers. Ross 308, male broilers ($n = 240$) were assigned to one of four diets, with 10 pens/diet and six birds/pen from day one to 21. The diets consisted of a negative control (NC) formulated to meet or exceed Ross 308 nutrient requirements, with the exception of calcium (Ca) and available P (avP), which were reduced by 0.16 and 0.15%, respectively. The NC diet was supplemented with 0, 500, 1,500, or 4,500 units/kg of phytase (FTU) to create four experimental diets. On day 21, all birds per pen were euthanized to obtain digesta and tissue samples for phytate degradation and gene expression. Data were analyzed as an analysis of variance using the fit model platform in JMP v 13.0. The model included phytase and significant means were separated using orthogonal linear and quadratic contrasts. Phytase supplementation increased gain (linear, $P < 0.05$). Phytate (IP₆; quadratic, $P < 0.05$), phytate ester (IP₅, IP₄, IP₃; quadratic,

$P < 0.05$), and inositol (linear, $P < 0.05$) concentration in the gizzard was influenced by phytase supplementation. Phytate concentration decreased (linear, $P < 0.05$), IP₅ or IP₄ concentration increased and then decreased (quadratic, $P < 0.05$), and inositol concentration increased (quadratic, $P < 0.05$) in the ileal digesta as phytase supplementation increased in the diet. There was a tendency for the gene expression of the H⁺-dependent *myo*-inositol transporter, HMIT, to increase (linear, $P < 0.05$) in the ileum as phytase dose increased. Gene expression of the sodium-dependent *myo*-inositol transporter, SMIT2, increased in the jejunum (quadratic, $P < 0.05$) as phytase dose increased. Intestinal alkaline phosphatase expression increased (linear, $P < 0.05$) in the ileum as phytase supplementation increased in the diet. The influence of phytase on phytate, phytate esters, and inositol may influence intestinal alkaline phosphatase activity and the gene expression of *myo*-inositol transporters in the small intestine.

Key words: broiler, gene expression, *myo*-inositol, phytase, phytate

Fig.6: Présentation de la première page de l'article 1

I.3.2. Article 2.

La figure 7 représente la première page de l'article 2

Microbial Phytase Improves Performance, Apparent Metabolizable Energy, and Ileal Amino Acid Digestibility of Broilers Fed a Lysine-Deficient Diet

V. Ravindran,^{*1} P. H. Selle,^{*} G. Ravindran,^{*} P.C.H. Morel,[†] A. K. Kies,[‡] and W. L. Bryden^{*}

**Department of Animal Science, The University of Sydney, Camden, NSW 2570, Australia; †Institute for Food, Nutrition and Human Health, Massey University, Palmerston North, New Zealand; and ‡DSM Food Specialities/Agri Ingredients, PO Box 1, 2600 MA Delft, The Netherlands*

ABSTRACT An experiment was conducted to examine the effects of adding microbial phytase (Natuphos®) on the performance in broilers fed a phosphorus-adequate, lysine-deficient diet. A wheat-soybean meal-sorghum-based diet, containing 1.00% lysine and 0.45% nonphytate phosphorus, was supplemented with L-lysine monochloride to provide 1.06, 1.12, or 1.18% lysine or with 125, 250, 375, 500, 750, or 1,000 phytase units (FTU)/kg diet. Each diet was fed to six pens of 10 chicks each from Day 7 to 28 posthatching. Addition of lysine to the lysine-deficient diet linearly increased ($P < 0.001$) weight gain and gain per feed of broilers. The response in weight gain to added phytase reached a plateau at 500 FTU/kg diet (quadratic effect, $P < 0.001$). Phytase had no effect on gain per feed to 250 FTU/kg diet and then increased (quadratic

effect, $P < 0.05$) with further additions. Assuming that the observed responses in weight gain and gain per feed to added phytase were due to the release of lysine alone and by solving linear or nonlinear response equations of lysine and phytase levels, the lysine equivalency value was calculated to be 500 FTU phytase/kg diet = 0.074% lysine. Addition of increasing levels of supplemental phytase to the lysine-deficient diet improved ($P < 0.001$) the digestibilities of nitrogen and all amino acids. Phytase also increased the AME, and the response reached a plateau at 750 FTU/kg diet (quadratic effect, $P < 0.001$). These results showed that amino acid and energy responses are responsible for the performance improvements observed when phytase was added to a wheat-soybean meal-sorghum-based diet.

(Key words: phytase, lysine equivalency, amino acid digestibility, apparent metabolizable energy, broilers)

2001 Poultry Science 80:338-344

INTRODUCTION

digestibility (Yi et al., 1996a; Biehl and Baker, 1997; Sebastian et al., 1997; Ledoux et al., 1999; Ravindran et al.,

Fig. 7 : Présentation de la première page de l'article 2

I.3.3. Article 3.

La figure 8 représente la première page de l'article 3



Fig. 8 : Présentation de la première page de l'article 3

I.4. Matériels utilisés dans chaque article

Tableau 11 : Matériels utilisés dans chaque article.

	Nombre de box	Nombre de poussins / box	Souche	Enzymes
1	6	10	Ross 308(21j) N=240	Phytase 500-4500 FTU
2	6	10	Cobb 500(7-28)	Phytase 125-1000 FTU AA :Lysine
3	Non indiqué	Non indiqué	Non indiqué	Phytase 375-1200 FTU



Figure 9 : la souche ROSS 308
(Pocket guide, 2015)

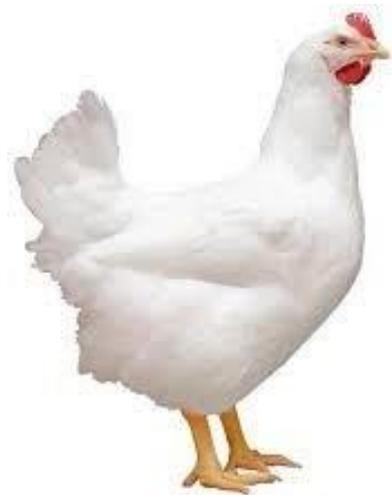


Figure 07 : la souche cobb 500
(Cobb-ventress, 2012)

I.5. METHODES UTILISEES

I.5.1. Article 1(Walk et al. 2018)

L'expérience a été menée pour évaluer l'effet de la supplémentation en phytase sur la croissance, la dégradation des phytates et l'expression des gènes des porteurs de myo-inositol chez des poulets de chair âgés de 21 jours. Il s'agit de la souche Ross 308, les poulets de chair expérimentés sont des mâles (n= 240). Ils ont été assignés à l'un des quatre régimes, avec 10 enclos/régime et six oiseaux/enclos du premier au 21 jour. Le calcium (Ca) et le P disponible sont de 0,16 et 0,15 %, respectivement. Le régime témoin a été complété par 0, 500, 1500 ou 4500 unités/kg de phytase (FTU) pour créer quatre régimes expérimentaux. Deux cent quarante poussins mâles de souche Ross 308 ont été et répartis dans quatre traitements dans une conception de blocs complets randomisés avec six poussins par cage et 10 répétitions par traitement. Les oiseaux ont été logés dans des cages en batterie de couveuses thermo-statées avec des planchers en grillage surélevé avec un programme d'éclairage de 23L:1D de l'éclosion au jour 7 et 14L:10D pour le reste de l'essai de 21 jours. La température dans les cages en batterie a été maintenue à 32 °C pendant le premier jour de l'étude et a diminué à 21 °C au jour 21.

Les poussins ont été nourris avec l'un des quatre traitements qui consistent en un régime basal à faible teneur en Ca et en P disponible complété par 0, 500, 1500 ou 4500 unités/kg de phytase (FTU) (tableau 12). La phytase est d'origine microbienne de troisième génération (Quantum Blue, ABVista, Marlborough, Wiltshire, Royaume-Uni) avec une activité attendue de 5000 FTU/g. Tous les régimes ont été formulés pour répondre aux recommandations nutritionnelles de Ross 308.

I.5.2. Article 2 (Ravindran et al., 2001)

L'expérience a été menée pour montrer les effets de l'ajout de phytase microbienne (Natuphos) sur les performances des poulets de chair nourris d'un apport adéquat en phosphore et un régime carencé en lysine. Un régime à base de farine de blé-soja-sorgho, contenant 1,00 % de lysine et 0,45 % phosphore non phytique, a été complété avec du monochlorure de L-lysine pour fournir 1,06, 1,12 ou 1,18 % de lysine ou avec 125, 250, 375, 500, 750 ou 1 000 unités de phytase (FTU)/kg de régime.

Chaque régime a été distribué à six box de 10 poussins chacun à partir du jour 7 à 28 après éclosion.

CHAPITE II : RESULTATS ET DISCUSSION

II.1 Résultats et discussion

II.1.1. Article 1 (Walk et al. 2018)

Les poussins ont été nourris avec l'un des quatre traitements qui consistaient en un régime basal à faible teneur en Ca et en P disponible complété par 0, 500, 1500 ou 4500 unités/kg de phytase (FTU) (tableau 12). La phytase est d'origine microbienne de troisième génération (Quantum Blue, ABVista, Marlborough, Wiltshire, Royaume-Uni) avec une activité attendue de 5000 FTU/g. Tous les régimes ont été formulés pour répondre aux recommandations nutritionnelles de Ross 308, à l'exception du Ca et de P, qui ont été réduits de 0,16 et 0,15%, respectivement. L'accès à la nourriture et à l'eau a été fourni à volonté tout au long de la période d'alimentation de 21 jours. Les oiseaux ont été surveillés quotidiennement

Les performances de croissance des poulets de chair, le gain de poids corporel et la digestibilité du phosphore augmentaient à mesure que la supplémentation en phytase augmentait. Cela a déjà été signalé dans des régimes à faible teneur en P supplémentés avec 0 à 12 500 FTU/kg (**Karadas et al., 2010**) ou 0 à 24 000 FTU/kg (**Cowieson et al., 2006**) de phytase, indiquant d'autres avantages en termes de digestibilité des nutriments et de croissance pouvant être obtenus avec des doses plus élevées de phytase.

Des améliorations de l'indice de consommation ont cependant été notées, la dose la plus élevée de phytase améliore l'efficacité alimentaire d'environ 14 %. Il est proposé que les mécanismes par lesquels des doses élevées de phytase provoquent des effets bénéfiques sur la performance liés à la dégradation des phytates et de leurs effets antinutritionnels.

Tableau 12 : Performances de croissances du poulets de chair recevant de la phytase de l'éclosion à 21j (**Walk et al., 2018**)

Phytase UP/kg	Quantité ingérée g	GMQ g/j	IC
0	938	581.6	1.64
500	887	603	1.50
1500	978	641	1.55
4500	994	675	1.41

II.1.2. Article 2 (Ravindran et al., 2001)

Il a été démontré (tableau 13) que l'ajout de lysine au régime pauvre en cet acide aminé a augmenté linéairement ($P < 0,001$) la prise de poids, le gain par repas des poulets de chair et l'indice de consommation. L'ajout de niveaux gradués de lysine, à un régime de base contenant 1,00 % de lysine, a augmenté le gain de poids des poulets de chair. L'indice de consommation a augmenté jusqu'à 1,12 % de lysine alimentaire, puis a diminué avec ajout supplémentaire.

La réponse dans la prise de poids à la phytase ajoutée a atteint un plateau à 500 FTU/kg.

La phytase n'a eu aucun effet sur le gain, ni sur l'indice de consommation. Les performances sont comparables à 500 FTU/ kg et plus. Donc la concentration efficace retenue est celle de 500UFTU/ kg.

Une FTU est la quantité d'enzyme qui libère 1 μmol de P/min inorganique à partir de 0,00015 mol/L de phytate de sodium à pH 5,5 à 37° C.

La réponse en gain de poids à l'ajout des niveaux de phytase a atteint un plateau à 500 FTU/kg d'aliment. En cas de gain par repas, la phytase ajoutée n'a eu aucun effet jusqu'à 250 FTU/kg de régime et puis a diminué avec l'ajout de phytase. La prise alimentaire n'a pas été influencée par l'ajout de phytase.

Une fois résolu, le niveau de lysine équivalent à 500 est de 1,0848 %, prédit par la formule :

$$\% \text{ lysine} = 1,1039 (1 - 0,1041e^{-0,00359 \text{ phytase}}) \text{ de Yi et al., 1996}$$

Tableau 13 : Performances de croissances du poulets de chair recevant de la lysine et de la phytase (**Ravindran et al., 2001**)

Lysine	Phytase	Poids	GMQ	IC
1	0	823	558	1.475
1.06	0	850	571	1.489
1.12	0	884	584	1.514
1.18	0	899	612	1.468
1	125	832	558	1.492
1	250	847	559	1.516
1	375	857	568	1.509
1	500	864	577	1.497
1	750	867	581	1.492
1	1000	861	576	1.494

II.1.3. Article 3 (Selle et Ravindran, 2007)

Il a été démontré (tableau14) que l'ajout de la phytase même à faible concentration soit 375FTU a amélioré significativement les performances du poulet de chair. Ce dernier a augmenté linéairement la prise de poids, le gain des poulets de chair et l'indice de consommation. Ajout de niveaux gradués de phytase, a amélioré nettement les performances du poulet de chair. Une dose de 12000 unités phytasiques a permis d'obtenir le meilleur gain de poids et le meilleur indice de consommation comparativement à un témoin et à des expérimentaux dont le taux est plus faible en phytase ajoutée (**Selle et Ravindran, 2007**).

Tableau 14 : Performances de croissances du poulet de chair recevant de la phytase (**Selle et Ravindran, 2007**)

Phytase	GMQ	Quantité ingerée	IC
0	287	381	1.32
375	399	490	1.23
750	424	505	1.19
1500	459	548	1.19
6000	494	580	1.17
12000	515	595	1.15

II.2.Discussion générale

L'inclusion de phytase microbienne seule ou en multienzyme dans l'alimentation des volailles a considérablement augmenté. Principalement en réponse aux préoccupations accrues concernant la pollution par le phosphore (P) de l'environnement, ou pour trouver une alternative aux antibiotiques facteurs de croissance.

La capacité de cette enzyme alimentaire à libérer le P lié au phytate et à réduire l'excrétion de P est certaine. Il semble que la phytase exogène hydrolyse moins de 0,35 du phytate alimentaire chez les poulets de chair au niveau iléal (**Selle et Ravindran, 2018**). Il existe une amélioration nette de la dégradation des phytates par l'introduction de produits efficaces enzymes ou combinaisons d'enzymes. Il est certain que les phytates influencent négativement l'utilisation des protéines et de l'énergie chez la volaille et, comme ces influences seraient améliorées par la phytase, il y a des implications pratiques substantielles. Néanmoins, il n'y a toujours pas consensus quant à la mesure dans laquelle la phytase améliore l'utilisation des protéines et de l'énergie. Les digestibilités des acides aminés après la supplémentation en phytase sont variables et les mécanismes sous-jacents n'ont pas été complètement compris. L'impact de la phytase sur l'utilisation des protéines et de

l'énergie peut être plus positif, mais cela devrait devenir de plus en plus évident si des taux de dégradation plus élevés des phytates peuvent être atteints.

Dans l'étude de **Simons et al., (1990)**, addition de phytase (1500 FTU kg^{-1}) à des régimes contenant $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ P total a augmenté le gain de poids (733 g contre 338 g) et l'efficacité alimentaire (1,50 contre 1,85) de poulets de chair de 0 à 24 jours. En général, les réponses à la phytase dans la prise alimentaire et le gain de poids sont plus robustes et constants que l'efficacité alimentaire réponses. Logiquement, l'ampleur des réponses à la phytase sera plus prononcée avec l'augmentation des taux d'inclusion de l'enzyme alimentaire et, vraisemblablement, une plus grande dégradation du phytate qui est démontré par Selle et Ravindran, 2018. Cependant les travaux de Ravindran, 2001 ont montré que la phytase améliore les performances mais à un plateau de 500 FTU toute augmentation s'est avérée non significative. Par ailleurs l'utilisation de la phytase permettait d'économiser sur la lysine qui est par excellence l'acide aminé le plus limitant. Les travaux de Walk et al., 2007 indique un niveau supérieur à celui indiqué par Ravindran et al., 2001 et inférieur à celui de Selle et Ravindran, 2018, soit une concentration de 4500 FTU. Les niveaux optimums varient en fonction des phases d'élevage démarrage ou croissance (**Walters et al. 2019**). Ces niveaux peuvent être influencés aussi par le genre bactérien en confirmation aux travaux réalisés par Derjant et Kwakernaakb, 2019.

Shirley et Edwards (2003) ont étudié l'augmentation des inclusions de phytase qui sont associées à des augmentations substantielles de la dégradation totale des phytates. La dégradation des phytates était corrélée à de fortes augmentations de prise alimentaire, rétention d'azote (N), efficacité alimentaire, énergie métabolisable apparente (AME) et rétention de Ca (classés par ordre décroissant d'importance) et ces augmentations sont numériquement les plus prononcées au taux d'inclusion de phytase le plus élevé de $12\ 000 \text{ FTU kg}^{-1}$.

De manière simpliste, ces données suggèrent que l'augmentation des niveaux de P alimentaire entrave les réponses à l'augmentation des niveaux d'inclusion de phytase pour lesquels il existe deux explications simples.

L'une est que le P inorganique, le produit final de l'hydrolyse du phytate, inhibe fortement le catalyseur d'activité de la phytase (**Greiner et al., 1993 ; Lei et Stahl, 2000**). L'autre est que l'augmentation de la libération de P, induite par la phytase, peut provoquer des déséquilibres en Ca et P dans le tractus gastro-intestinal. Bien que spéculative, une troisième possibilité, qui est discutée plus loin, est que la haute les inclusions de phytase peuvent altérer l'équilibre électrolytique alimentaire (DEB) efficace car le phytate et la phytase influencent la sécrétion de sodium dans la lumière intestinale (**Cowieson et al., 2004;Ravindran et al., 2006**). Des taux d'inclusion de phytase supérieurs à la norme devraient être bénéfiques dans les régimes conventionnels pour poulets de chair, mais il peut être nécessaire de modifier le P, le Ca, le DEB et le éventuellement d'autres facteurs, pour réaliser cet avantage.

CONCLUSION

Conclusion

Les enzymes exogènes utilisés en alimentation agissent en tant que biocatalyseurs pour aider le processus de digestion et favorisent l'utilisation des nutriments. Les enzymes peuvent améliorer les programmes nutritionnels de deux manières : En améliorant la digestibilité des ingrédients et en fournissant des rations donnant les mêmes performances mais à coût inférieur.

L'utilisation de la phytase en plus des avantages cités ci-dessus, entraîne la diminution de la quantité du phosphate bi calcique utilisé dans la formulation des aliments. Ce dernier est importé et onéreux. Son utilisation entraîne aussi une diminution de 30% du Phosphore dans les déjections, offrant ainsi un avantage écologique.

C'est dans ce sens que s'inscrit cette étude bibliographique, qui a porté sur le développement de 3 articles scientifiques, il en ressort :

- L'article 1 traite différentes doses de phytase et dans le contexte de sa recherche, l'optimale est obtenue avec une dose plafond de 500 FTU.
- L'article 2 qui optimise la dose en lysine, puis combine l'effet phytase à celui de la restriction en lysine. Il ressort que la phytase libère du phosphore phytique et de la lysine d'où l'effet compensateur en acide aminé et qui ouvre un horizon d'investigation pour les autres acides aminés essentiels. Sachant que ces acides aminés classés en additifs zootechniques sont les plus chers en formulation.
- L'article 3, c'est un travail de synthèse où les doses définies sont en controverse d'où la dose de 12000FTU continue à donner des améliorations zootechniques sans signalement d'effet de toxicité.
- Tous les articles s'accordent sur l'amélioration des performances par l'ajout de la phytase.

A partir des connaissances acquises sur l'utilisation de la phytase en alimentation du Poulet de chair, on recommande les points suivants :

- L'utilisation de la phytase dans l'industrie de l'aliment aviaire en général et spécifiquement en aliment Poulet de chair afin d'améliorer les gains moyens quotidiens et les indices de consommation. Les doses extrêmes efficaces suggérées sont entre sont de 500 FTU et 12000FTU sans aucun risque de toxicité ni de mortalité.
- Association de la phytase aux probiotiques afin de préserver aussi le microbiote intestinal.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

<http://www.efsa.europa.eu/fr/search/doc/2536.pdf>

http://www.platform-fefana.org/Website/DOCS/IMG_0224%20-%20copie.pdf

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Poulet> consulté le 5/5/2021.

<https://www.google.com>.

<https://support.google.com>.

Abachi., 2015. Marché de la volaille en Algérie. Journal quotidien Algérien indépendant.

Abessolo C.M., 2008. Etude comparative des performances de croissance de poulet de chair permises par trois aliments chair sur le marché de Dakar ; thèse doctorat vétérinaire .n°53. Sénégal.

Afsharmanesh M., Movahedeh L., Zohreh M., 2016. Effects of wet feeding and early feed restriction on blood parameters and growth performance of broiler chickens

Agnes M. , Francesch M. , Gautron J. , Geraert P.A., 2007. Les enzymes chez la pondeuse : des benefices au-dela de la valeur nutritionnelle. Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007

Aimene H., 2015. Caractéristiques des additifs alimentaires utilisés en alimentation animale en Algérie (région de l'est). Mémoire master: Nutrition animale et produit animaux Université Mouloud Maammeri .45P.

Azzouz H., 1997. Alimentation de poulet de chair. Institut technique des petits élevages (ITPE), édition 1997, P(2), (7-9).

Barrow PA ., 1992. Probiotic of chickens ,probiotics the scientific Basis ,ed .Fuller chapman et hall,london,(1992)259-316.

Bastianelli D, et Rudeaux F., 2003. L'alimentation du poulet de chair en climat chaud. (70-76) in : la production de poulets de chair en climat chaud. – Paris : ITAVI-P 109

Beckers YA. , Théwis., 2004. Influence sur les performances zootechniques de quatre xylanases ajoutées à un régime riche en froment chez le poulet de chair. Rapport final sur la prestation de service entre l'Unité de Zootechnie de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques à Gembloux et la société Beldems.a., 10 p.

Benyi K., Netshipale AJ., Mahlako KT., Gwata ET., 2015. Effect of genotype and stocking density on broiler performance during two subtropical seasons. Trop Anim Health Prod. 2015 Jun;47(5):969-74.

Bernardeau M and Vernoux JP. , 2009. "Overview of the use of probiotics in the Feed/Food chain". In: "Probiotics: Production, Evaluation and Uses in Animal Feed", 2009: 15-45.

Berrama., 2019. Stress thermique chez le poulet de chair : mise au point de solutions techniques et nutritionnelles. *Doctorat Sciences Vétérinaires. Ecole nationale supérieure Vétérinaire. Alger.*

Bessa. D., 2019. Représentation de la filière avicole dans la région de Tizi-Ouzou et évaluation de la production et de la consommation de viande de poulet. Mémoire Master en Agronomie. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou.

Bigot K et Tesseraud S ., 2001 . Alimentation néonatale et développement précoce du poulet de chair .INRA Productions animales, 14(4) ,219-230. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2001.14.4.3743>

Blain JC, 2002. Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Ed. TEC et Doc. 424p.

Bouvarel I., Tesseraud S. , Leterrier C., 2010. L'ingestion chez le poulet de chair : n'oublions pas les régulations à court terme. Production animales INRA. Vol. 23 No 5 (2010) 391-404

Broadway P .,carroll J,T.,2018. Callaway-Agric food anal bacteriol, 2014-innocua.net

Broilerhandbook., 2018. BROILER MANAGEMENT GUIDE-1. 2018.

Butel M.J., 2009. Probiotiques et prébiotiques. Lettre Nutrition santé numero 20. Périnatalité, Microbiologie, Médicament. Université Decartes. Paris.

Callaway T.R., Jung Y.S., Anderson C.R., Edrington T.S., Genovese K.J., Byrd J.A., Nisbet D., 2004. Utilisation expérimentale du 2-nutropropanol pour la réduction de *Salmonella Typhimurium* dans le caecum de poulets de chair. *Journal of Food Protection* 67(9), 1945-1947, 2004.

Cassy S et al., 2001. Métabolisme oxydatif des acides gras et efficacité alimentaire chez le poulet de chair INRA, station de recherches avicoles, 37380 Nouzilly Hubbard, 35220 Chateaubourg.

Chatellet., 2007. Modalités d'utilisation des antibiotiques en élevage bovin : enquête en Anjou. Doctorat vétérinaire la faculté de médecine de Créteil. 224p

Cissé et al., 2001. Efficacité des aliments du commerce chez le poulet de chair au Sénégal. *Cahiers Agricultures* 2001 10: 57-61.

COBB., 2010. Guide d'élevage poulet de chair, performances et recommandations nutritionnelles. P65. édition 2010, p1, 49, 10.

Codex alimentarius., 2012. Passerelle sur l'aviculture et les produits avicoles. Organisations des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Courailleur., 2004. Norme générale pour les additifs alimentaires, Codex Stan 182-1995

Courtois J., 1947. Recherches sur la phytase III. Essais de séparation de l'activité glycérophosphatase et de l'activité phytase du son de blé. *Bioch. Biophys. Acta*, 1, 270-277.

Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R., 2004. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. *Br Poult Sci.* 2004 Feb; 45(1): 101-108.

Cowieson A.J., Adeola O., 2005. Carbohydrases, protease have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. *Poultry Science* 84 : P1860-1867.

Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R., 2006. Supplémentation de corn-soy-based diets with an *Escherichia coli*-derived phytase : Effects on broiler chick

performance and the digestibility of aminoacids and metabolizability of minerals and energy. Poultr .Sci.85 :1389-1397.

Cowieson A. J., Ravindran V., 2008. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broiler: growth performance and digestibility of energy, minerals and aminoacids. British

Cowieson et al., 2004. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous

Derjant et Kwakernaakb. , 2019. metabolism and nutrition : enzymes virginia teach virtual session . room VII . poultry science association

Deman JM., 2016. principales of food chemistry. Gaithersburg. aspen publishers. <http://dx.doi.org>.

Dormont D., 2000. Rapport du groupe de travail Alimentation animale et sécurité sanitaire des aliments. Agence française de Sécurité sanitaire des Aliments.

Drogoul C., Gadoud R., Joseph M. et Jussiau R., 2004. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Editions Educagri, Dijon, 2004, 270 p.

Drogoul C. , 2014. caractéristique des additifs alimentaires utilisés en alimentation animale en Algérie (région de l'Est)

Elatyqy., 2011. Qualité et sécurité alimentaire.. Science et Techniques des Aliments

Erich.K., 1975, Physiologie des animaux domestiques, 974.

Fallah R., Kiani A. et A. Azarfar., 2013. A review of the role of five kinds of alternatives to in-feed antibiotics in broiler production. Journal of Veterinary Medicine and Animal Health, 5(11) : 317-321.

Fang Z. Liu L., Dai J. J., Qian H. Y., Qi, Z. L. Ma, L. B. Peng J., 2009. Effects of enzyme addition on the nutritive value of broiler diets containing hulled or dehulled Chinese double-low rapeseed meals. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 93: 467-476.

FAO., 2010. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Rapport 2010

Fernadji F., 1990. Organisation, performances et avenir de la production avicole en Algérie. IDPE. Birkhadem, Algérie.

Fernandez V., Ruiz. M.,2003. Técnico en ganadería, Volume 1. Técnico en ganadería, Volume 1. Editeur : Culural, 2003. 556 pages.

Ferrah A., 2005. Aides publiques et développement de l'élevage en Algérie contribution à une analyse d'impact 2000-2005. 10p

France Agri Mer., 2013. Viandes Blanches. Rapport d'activité.2013.

Francesch M. , Geraert P.A. , 2009. Enzyme complex containing carbohydrases and phytase improves growth performance and bone mineralization of broilers fed reduced nutrient corn-soybean-based diets.Poult. Sci., 88 (2009), pp. 1915-1924

Franck Y., 1980. L'alimentation des poulets de chair et pondeuses- Paris : ITAVI-P41.

Gadoud R.,2004. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Educagri éditions/Inra éditions. 264p.

Garcia ,M I., Aranibar M.J., Lazaro R., Medel P.,et Mateos G.G.,2008 . Influence of enzyme supplementation and heatprocessing of barley on digestive traits

Gourniere-Chateau N., Iartent JT.,1994 . Probiotics in animal and human nutrition. Paris France. Technique et documentation. Lavoisier. 192p.

Greiner R, Konietzny U., Jany K. D., 1993. Purification and characterization of two phytases from Escherichia coli. Arch Biochem Biophys. 1993 May 15;303(1):107-13.

Guardia S.,B Konsak .,S Combes., F Levenez and L Cauquille ., 2011. Effets of stocking density on the growth performances and digestive microbiota of broiler chickens.poultry science –Elsevier.

Gueye B., 1998. L'aviculture industrielle au sénégal .Actes des premières journées avicole sénégalaises, le 13, 14, et15 Mai 1998, Dakar, 55 p.

Guide UE. ,2007. Étude sur les grands projets européens 2007-2013. Euro'pact France.

Guillot.,2001. Alternative to antibiotic growth promoters in rabbit feeding .riunet.upv.es

Hong ., 2002. Addition of enzyme to starter and grower diets for ducks. Poultry Science 81: 1842-1849.

Huart A .,2004. Alimentation :les besoins du poulet de chair P5.identification F-EP A5-3 ECO CONGO.P3,1

Huyghebaert G .,R Ducatelle F et Van Immerseel., 2011. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers .The veterinary journal- Elsevier .

Ichiou S., 2012. La filière avicole en Algérie. 10èmes JSV, 2012

Immoume A .,2015 .les additifs alimentaires utilisés en alimentation animale en Algérie .sociale.ummtto.dz

INRA., 2000. Le projet d'établissement de l'INRA. Ouvrage Paris (FRA).

INRA. ,2010. Filière volailles de chair : Analyse des voies de progrès en ...

<https://www.viandes> et produits carnes.fr > économie 2

ITAVI.,1980. L'alimentation rationnelle des poulets de poulet de chair et de pondeuse Buletin. Institut technique de l'aviculture. Paris

ITAVI., 2003. Bien être de poulet de chair. Mémoire de fin d'étude : Détermination des conditions d'ambiance et des caractéristiques physico-chimiques de la litière responsables de l'apparition de dermatites de contact en poulet de chair. P31. Edition URA.P9. 2010.

ITELV., 2019.institut technique de l'élevage du poulet de chair fiche technique conduite de poulet de chair –DFRV, Alger.6 p.

Jacela et al., 2010. Jacela, J.Y., DeRouchey, J.M., Tokach, M.D., Goodband, R.D., **Nelssen, J.L., Renter, D.G. et S.S. Dritz. 2010.** Feed additives for swine: Factsheets — prebiotics and probiotics, and phytogenics. Journal of SwineHealth and Production, 18(3) : 132-136.

John M. B et Tim. P.,2016: Conference on 'The future of animal products in the human diet :health and environmental concerns' Symposium1 :Meat ,health and

sustainability Improving efficiency in meat production .proceedings of the Nutrition Society (2016),75,242-246

Jondreville C ., F Meschy et JY Dourmad., 2005 . Maitrise des rejets de phosphore dans les effluents d'élevage .production animales –hal-archives-ouvertes.fr

Joseph N., 1999. Effets de l'incorporation des céréales entières dans la ration alimentaire sur –les performances des poulets de chair . rue Wellington Canada faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation université laval.94p

Kaci H., 2014. La filiere avicole en algerie structure compétitive, perspectives. Les cahiers du CREAD,n°81/82-2014 p129-154

Karadas F.,Pirgozliw V.,Pappas A.C.,AcamovicT.,Bedford M.R., 2010.Effects of differentdietaryphytaseactivities on the concentration of antioxidants in the liver of growingbroilers J.Anim.Physiol.Anim.Nutr.94 :519-526.

Kiarie E., Nyachoti C. M., Slominski B. A., Blank G., 2007. Growth performance, gastrointestinal microbial activity, and nutrient digestibility in early-weaned pigs fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme. J. Anim. Sci. 85:2982–2993.

Lan GQ ., N Abdullah ., S jalaludin et YW Ho .,2002.Efficacy of supplemenntation of phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. poultry science Elsevier

Lachapelle JI., 1995.Functional integration on symplectic manifolds .search.proquest.com.

Larabi L., 2015. Etude comparative entre un aliment poule pondeuse adjuvé en enzyme ou industriel sur les performances de ponte et la qualité de l'œuf. Master en Biotechnologie de l'alimentation & Amélioration des Performances Animales. Département des Biotechnologies. Faculté SNV, Blida 1.

Larabi L. Mefti Korteby H., Saadi M.A., 2016. Effet de la phytase sur les performances de la poule pondeuse et la qualité de l'oeuf dans les conditions d'élevage. Revue Agriculture. UFAS. Sétif -1-12 (2016) 34-39.

Larbier M. , 1992 .Nutrition et alimentation des volailles .Editions INRA .Paris P 91-98 ,129,139-150 ,352.

Larbier M et Leclercq B., 1992. Nutrition des volailles. P355. Edition. INRA. P 27, 28, 29, 30, 33, 34,257, 261, 272.

Leeson S., 2000. Volaille: l'efficacité des aliments reste-t-elle une mesure utile de la performance des poulets de chair? Département de la science des animaux et de la volaille. Université de Guelph.

Lei X.G., Stahl G.H., 2000.Nutritional benefits of phytase and dietary determinants of its efficacy. Journal of applied animal research 17 , 97-112

MADR (Ministère de L'agriculture et de Développement Rural), 2012.Avant-projet d'une charte de qualité et pacte de croissance encadrant et engageant les activités des professionnels de la filière avicole pour la structuration et la modernisation de l'aviculture nationale ,17p.

Magnin M et Bouvarel I., 2011.INRA Production Animales .

Mellef J .,A Dridi ., L EL-BAHRI et O Belhaj .,2010.,Effects of addition of microbiol on the phosphorus bioavailability and poultry performances .

Morinuere F., 2015.cahier technique : alimentation des volailles en agriculteur biologique Nutrition(2016)1-5.Journal home page:
<http://www.keaipublishing.com/en/journals/aninu/>. Nutrition Society (2016), 75, 242–246

Mountzoauris KC.,P Tsirtsikos.,E Kalamara.,and S Nitsch. 2007.evaluation of the efficacy of a probiotic containing lactobacillus , Bifidobacterium,Enterococcus,and pediococcus strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities .poultry science .Elsevier

Murphy SP., LH Allen.,2003.Nutritional importance of animal source foods. the journal of nutrition.academic.oup.com

Ndiayé Sibeth , 1995. Interface damage Growth Monitoring in polypropylene Thermoplastic composites.spinger.

Neerusha B, 2011.potential alternative gain to corn in broiler production bagiaris-thibault, Guillaume .

Nielson ., 2008 . Environmental assessment of digestibility improvement factors applied in animal production. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 49-56.
nutrition : are appraisal. *Nutrition research reviews*,25(1) ,1-17p

Noblet J ., S Dubois ,and J Van milgen .,2007.Heat production in broilers is not affected by dietary crude protein.for animal production .books .google.com

Normand J.,Bastien, D., Bauchart D.,Chaigneau F.,Chesneau G., Doreau, M.; Farrié J.P.,Joulie A., Le Pichon D.,Peyronnet, C., Quinsac A., Renon J., Ribaud D.,Turin F., Weill P., 2005. Produire de la viande bovine enrichie en acides gras polyinsaturés oméga 3 à partir de graines de lin : quelles modalités d'apport du lin, quelles conséquences sur la qualité de la viande ?. *Renc. Rech. Ruminants*, 12: 359-366

Nyannor., 2009. Corn expressing an Escherichia coli-derived phytase gene : comparative evaluation study in broiler chicks. *Poultry Science* 87: 20015-2022.

OFIVAL., 2011. La marché des produits avicoles en 2003.[www.hubrural.org/MG/pdf/ofival marche volaille France](http://www.hubrural.org/MG/pdf/ofival_marche_volaille_France)

Olukosi et al., 2007. Supplementation of carbohydrase or phytase individually or in combination to diets for pigs fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme. *Journal of Animal Science* **85**: 2982-2993.

Picard M., 2001.Caractéristiques granulométriques de l'aliment des volailles, *INRA productions animales*, 13, 117-130, 2001.

Pointillart A.,1994.phytates,phytases : leur importance dans l'alimentation des monogastrique.*production animale* .hal.inrae.fr.

Pontes M et JA Castello Liobet. , 1995.*poultry feed and nutrition agris.fao.org*

Poulsen., 1999. Phosphorous consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livestock Production Science* 58: 251-259.

Pocket guide.,2015.Ross broiler an aviagen brand 2015.

Quentin M ., Bouvarel I., Bastianelli D., Picard M., 2004. Quels" besion "de poulets de chair en acides aminés essentiels ? une analyse critique de leur détermination et de quelques outils pratique de modélisation. INRA Production animales .hal.inra.fr

Ravindran V.,Cabahug S.,Rvindrang.,BrydenW.L., Selle P.H ., 2001.Response of broilers to microbialphytase suplimentation as influced by dietary phyticacid and non-phytatephosphorus levels .il.Effects on nutrient digest-ibility and retention .Br .Poulet .Sci .41 :193-200.

Ravindran V., Selle P. H., Ravindran G., Morel P.C.H., Kies A. K., Bryden W. L., 2001. Microbial Phytase Improves Performance, Apparent Metabolizable Energy, and Ileal Amino Acid Digestibility of Broilers Fed a Lysine-Deficient Diet V. Poultry Science. 80. 338-344.

Ravindran V.,ThomasD.V.,Thomas D.G., et Morel P.C., 2006. Performance and welfare of broilers as affected by stoking density and zinc bacitracin supplementation .Animal Science Journal,77(1),110-116

Rekhis J, 2002.Nutrition avicole en Afrique de sud-Rivonia:SPESFEED-324.

Rodehutscord M., 2008. Approaches for savinglimited phosphate resources. ArchivfûrTierzucht 51: 39-48.

Rolfe, R. D., 2000. The role of probiotic cultures in the control of gastro intestinal health. J. Nutr. 130:396–402.

Samli HE .,N Senkoylu.,F Koc and M Kanter., 2007.effects of Enterococcus feacium and dried whey on broiler performance, gut histomorphology and intestinal microbiota .Archives of animal ,Tayor et Francis

Salhi., 2016.effet of dietary energy on productive and reproductive performance of Algerian local rabbit does and their litters

Sanchez A., Plouzeau M., Rault P., Picard M., 2000. Croissance musculaire et fonction cardio-respiratoire chez le poulet de chair. INRA Productions Animales 13(1)

Sanofi.,1999 . Les maladies contagieuses des volailles, France, septembre 1999, 12 p.

Seal B.S., Lillehoj H.S., Donovan D.M. et C.G. Gay., 2013. Alternatives to antibiotics: à symposium on the challenges and solutions for animal production. *Animal HealthResearchReviews*, 14(1) : 78-87.

Selle P. ,H., Cowieson H .,2012.Protein phytate interaction in pig and poultry science Business Media Dordrecht 2015 .42 :1421-1421-1426.springer science .

Selle P.H., Ravindran V., 2007. Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 135 (2007) 1–41

Selle P. H. Ravindran V., 2008. Phytate –degrading enzymes in pig nutrition. *Livestock Science* 113: 99-122.

Selle P. H., Ravindran V., 2007. Microbialphytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology*135: 1-41.

Selma S.,2011. les additifs alimentaires dans l'alimentation animale.licence**Tahir et al., 2008.** An effective combination of carbohydrasesthatenablesreduction of dietaryprotein in broilers : importance of hemicellulase. *Poultry Science* 87: 713-718.

Shirley RB.,HM dwards Jr.,2003.Grded levels of phytase past industry standards improves broiler performance.Elsevier

Simon O. , Jadamus A. , Vahjen W., 2001. Probiotic feed additives—effectiveness and expected modes of action. *J. Anim. Feed Sci.*, 10 (2001), pp. 51-67

Simons PCM., HAJ Versteegh et Jongbloed ., 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs .*british journal –combridge.org*

Slominski BA ., 2011.recent advances in research on enzymes for poultry diets-poultry sciences –Elsevier .

Smitha.J.,1997.L'élevage de la volaille.Volume 1 et 2 .Editeur : *Maisonneuve et Larose*. Paris. 29-31 pp ; 114 -130 pp ; 327 - 328 pp.

Snia., 2014. National des Industriels de la Nutrition Animale' (SNIA) and 'Fédération Nationale des Coopératives. Published online by Cambridge University Press: 06 June 2014 .

Soltner D., 2001. La reproduction des animaux d'élevage. Edition. INRA.

Sonaiya E.B., Swans E.J., 2004 .Production en aviculture familiale : un manuel technique Manuels FAO de Production et Santé Animale .1 .ISPN 92-5-205082-5. Paris. Edition FAO.134p.

Stein HH, Seve B, Fuller MF, Moughan PJ, de Lange CFM., 2007. Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. J Anim Sci. 2007;85:172–180.

Swann. ,1969. Use of antibiotics in animal husbandry and veterinary medicine (swann report). HC Deb 20 November 1969 vol 791 cc1525-31

Synpa.,2011. Syndicat National des Producteurs d'Additifs, www.synpa.org.

Synpa.,2012. Syndicat National des Producteurs d'Additifs, www.synpa.org.

Tahir M., Saleh F. Ohtsuka A., Hayashi K., 2008. An Effective Combination of Carbohydrases That Enables Reduction of Dietary Protein in Broilers: Importance of Hemicellulase. Poultry Science Volume 87, Issue 4, Pages 713-718

Tesseraud S .,temim S., 1999. Modifications métaboliques chez le poulet de chair en climat chaud ;conséquences nutritionnelles .INRA Production animale 12 ;353-363

Thorpe J., Beal J. D., 2001. Vegetable protein meals and the effects of enzymes. In Bedford, M. R., Partridge, G. G. (Ed.) Enzymes in farm nutrition. CAB international, pp. 125-144.

Toma et al, 2005.Feed particule size :implications on the digestion and performance of poultry .world's Poultry science .camibridge.org.

Tran G., Skiba F.,2005. Variabilité inter et intra matière première de la teneur en phosphore total et phytique et de l'activité phytasique. Numéro spécial : Le phosphore dans l'alimentation animale. Vol. 18 No 3 (2005)159-168

Trufanov O V, Kotyk A M and Bozhok L V 2008. Effect of probiotic preparation based on *Bacillus subtilis* (BPS-44) in experimental mycotoxicoses of chickens. Mikrobiol Z.70(1):52-8

Vondruskova H., Slamova R., Trckova M., Pavlik I., 2010. Alternative to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets: A review. Veterinární Medicína 55(5)

Walk C. L., Bedford M. R., Olukosi O. A., 2018. Effect of phytase on growth performance, phytate degradation and gene expression of myo-inositol transporters in the small intestine, liver and kidney of 21 day old broilers. Poultry Science Volume 97, Issue 4, 1 April 2018, Pages 1155-1162

Walters H., Coelho M., Coufal C.D., Lee J.T., 2019. Effects of Increasing Phytase Inclusion Levels on Broiler Performance, Nutrient Digestibility, and Bone Mineralization in Low-Phosphorus Diets. The Journal of Applied Poultry Research 28(4)

WO., 2007. Enzymes in Industry: Production and Applications, 3rd edn. 6-phytase, as a feed additive for chickens for fattening, laying hens, ducks for fattening, Property Organization (WIPO), Geneva, Switzerland, WO/2007/002192

Yaboue J., 2010. Effets des phytases d'origine bactérienne et fongique sur la croissance des poulets de chair. Diplôme docteur en médecine vétérinaire : dakar.universitéantadiop .92p

Yoruk M.A., Gul M., Hayrli A., Macitt M., 2004. Laying Performance and Egg Quality of Hens Supplemented with Humad and Sodium Bicarbonate During the Late Laying Period. Poultry science 83(1),84-88,2004

YUN J.H., Lee K.B., Sung Y.K et Kim E.B. 2009. isolation and characterization of potential probiotic lactobacilli from pig feces.

Yi Z ., Denbow D., Met Kornegay E.T., 1996. Response of broilers to graded levels of microbial phytase added to maize-soyabean-meal-based diets containing three levels of non-phytate phosphorus .

Zhou Y ., Ma, W., Sun H., Wu J., et Freng J., 2008. Effets of iron glycine chetale on growth, tissue mineral concentrations, fecal mineral excretion, and liver antioxidant enzyme activities in broilers . biological trace element research, Retrieved from <http://Nnk.springer.com/article/10.1007/s1211-012-9418-5>

TABLES DES MATIERES

Remerciements

Dédicdaces

Résumé

Summary

ملخص

Sommaire

Liste des tableaux

Liste les figures

Liste des abréviations

Introduction générale2

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: Poulet de chair dans le monde et en Algérie

I.1. Aviculture dans le monde5

I.1.1. Le développement de l'aviculture dans le monde.....5

I.1.2. La production mondiale de viande de volaille.....5

I.2. Aviculture en Algérie.....7

I.2.1. Structure des élevages avicoles en Algérie7

I.2.2. Production nationale8

CHAPITRE II: Alimentation de poulet de chair

II.1-Alimentation..... 12

II.2. Les besoins nutritionnelle de poulet de chair..... 13

II.2.1 Besoins en énergie	13
II.2.2 Besoins protéiques	14
II.2.3 Besoin en minéraux et en vitamines.....	15
II.2.4 Besoin en eau.....	16
II.3. Présentation de l'aliment	17
II.3.1 Aliment farineux.....	18
II.3.2 Aliment granulé.....	19
II.3.3 Aliment céréales entières	20
II.4. Facteurs affectant l'efficacité alimentaire.....	20
II.4.1 Facteurs intrinsèques	20
II.4.1.1 Le sexe	20
II.4.1.2 Effet âge	20
II.4.1.3 Effet souche.....	20
II.4.1.4 Gènes et hormones	21
2.4.2 Facteurs extrinsèques à l'animal	21
II.4.2.1 Qualité de l'aliment	21
II.4.2.2 Effet des facteurs antinutritionnels.....	22
II.4.2.3 La restriction alimentaire et l'efficacité alimentaire.....	22
II.4.2.4 Supplémentation en additifs ou enzymes	22
 CHAPITRE III: Les additifs alimentaires et les enzymes	
III.1. Les additifs alimentaires.....	24
III.1.2. Définitions des additifs alimentaires.....	24
III.2. Les additifs.....	25
III.2.1. La dose journalière admissible	26
III.2.2. Classification des additifs et modes d'action	26
III.2.2.1 Améliorateurs de la digestibilité	26
III.2.2.2 Enzymes.....	26
III.2.2.3 Stabilisateurs de la flore intestinale	27

III.2.2.4 Correcteurs d'acidité.....	27
III.2.2.5 Minéraux.....	27
III.2.2.6 Phytobiotiques	27
III.2.2.7 Protéines fonctionnelles.....	28
III.2.2.8 Microorganismes	28
III.2.2.9 Substances non digestibles	28
III.3. LES ADDITIFS SENSORIELS	29
III.4. Les additifs technologiques	29
III.4.1. Modificateurs des propriétés physiques des aliments	31
III.4.2. Modificateurs de la digestibilité.....	32
III.5. ADDITIFS ZOOTECHNIQUES.....	32
III.5.1. Nutriments	32
III.5.1.1 Acides aminés	32
III.5.1.2. Vitamines.....	33
III.5.1.3. Oligoéléments.....	33
III.6. Facteurs de croissance.....	34
III.6.1. Antibiotiques	34
III.6.2. Probiotiques.....	35
III.7. Utilisation des Additifs chez le poulet de chair.....	37
III.7.1. Utilisation des probiotiques.....	37
III.7.2. Les levures et leur utilisation	37
III.7.3. Pré biotiques.....	38
III.7.4. Utilisation des enzymes en alimentation avicole.....	38
III.8. Les enzymes exogènes utilisées dans l'alimentation des volailles	39

III.8.1. Les carbohydrases	40
III.8.2. Les protéases, amylases et lipases.....	42
III.8.3. Le mélange d'enzymes.....	42
III.8.4. Les phytases	43
III.8.4.1. Role des phytases	44
III.8.4.2. Activité enzymatique.....	46
III.8.4.3. Sources de phytases dans le tractus digestif des volailles	46
III.8.4.4. Sources de phytases dans le tractus digestif des volailles	47

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Matériel et méthode

I. Matériel et méthode.....	50
I.1. Objectif	51
I.2. Les coordonnées des articles étudiés	51
I.3. Présentation de la première page de l'article	52
I.3.1 Article 1.....	52
I.3.2. Article 2.....	53
I.3.3. Article3.....	54
I.4. Matériels utilisés dans chaque article	55
I.5. Méthode utilisé	56
I.5.1. Article 1.....	56
I.5.2. Article 2.....	57

chapitre II : résultats et discussions

II.1. Résultats et discussion	59
II.1.1. Article 1 (Walk et al. 2018).....	59
II.1.2. Article 2 (Ravindran et al., 2001)	60
II.1.3. Article 3 (Selle et Ravindran, 2007)	61
II.2. Discussion générale	62
Conclusion.....	66
Références bibliographiques	