

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Blida 1
Institut des Sciences Vétérinaires



Projet de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

Revue Bibliographique Sur Les Additifs Dans La Nutrition Volailles

Présenté par
Abderrezzaq CHERIF ZEAATERI

Devant le jury :

Président(e) :	Mr. YAHIMI K.	MCB	ISV BLIDA
Examineur :	Mme. DJELLATA N.	MAA	ISV BLIDA
Promoteur :	Mme. HAMMAMI N.	MAA	ISV BLIDA

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Mme : **HAMMAMI Nabila**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable. Qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité. mes vifs remerciements également aux membres du jury **YAHIMI K.** et **DJELLATA N.** pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail Et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE :

« **Souhila HADJ BENALI** »

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi, tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours, tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A MON TRÈS CHER PÈRE :

« **ALI** »

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquents soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie, tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite, ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.

A MES CHERS ET ADORABLES FRÈRES

ILYAS, ANES, ISHAK.

En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments, pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent, ce travail est un témoignage de mon attachement et de mon amour.

A MES **GRANDS MERES** CHERIES

Qui m'ont accompagnées par leur prières, leurs douceurs, puisse Dieu leurs prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans leurs deux vies.

A LA MEMOIRE DE **MES GRAND-PERES**

J'aurais tant aimé que vous soyez présents, Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.

À MES CHERS **ONCLES, TANTES**, LEURS EPOUX ET EPOUSES

À MES **AMIS DE TOUJOURS**

Ninou, Rafik, Islam, Nabil, Med Rougi, Dadou, Med Barigo, Mehdi, Abdenour, Samia, Hind, Sanaa, Hind, Kenza, Lalia, Latifa et à tous mes chers Camarades du Groupe « 5 »

A toute la promo vétérinaire 2018 c'est une grande fierté pour moi d'être parmi vous.

Résumé

L'aliment représente 70 % du cout de production dans l'élevage de poulet de chair, il est donc important d'accorder une attention particulière à ce paramètre.

Les éleveurs de volailles sont constamment à l'affût des nouveautés en ce qui a trait l'alimentation. En effet, sachant que l'alimentation est le poste de dépense le plus important pour ces élevages, les nouveaux ingrédients ou additifs alimentaires ayant le potentiel d'améliorer les performances de croissance ou la santé des volailles suscitent un grand intérêt.

La présente étude a donc pour objectif de présenter des additifs, certains bien connus et d'autres moins communs en alimentation avicole, pouvant avoir des effets bénéfiques sur la santé des volailles ou sur les performances de croissance. Les additifs ou produits ont été classifiés selon leur fonction, soit les additifs améliorateurs de digestibilité ou stabilisateurs de la flore intestinale, et selon leur famille. Une description plus détaillée de chaque fonction et famille est présentée dans la section intitulée «Les Additifs en Aviculture ». Par la suite, chaque additif ou produit est présenté sous forme de fiche synthèse incluant une description des caractéristiques du produit, du mode d'action et des effets métaboliques et biologiques de l'additif.

Les additifs présentés dans le document sont des additifs dits zootechniques puisqu'ils ne sont pas destinés à combler les besoins nutritionnels des volailles, les additifs dits technologiques ou nutritionnels ne seront donc pas abordés. Ainsi, le choix des additifs présentés a été établi, dans un premier temps, en fonction de leurs effets potentiels positifs sur la santé digestive des animaux et, dans un second temps, en fonction de leurs potentiels effets sur les performances de croissance.

Mots Clés : Volailles, Alimentation, Additifs, Probiotique, Prébiotique, Symbiotique.

ملخص

تمثل التغذية 70% من تكلفة الإنتاج في تربية دجاج التسمين ، لذا من المهم إبلاء اهتمام وثيق لهذه المعلمة. مزارعو الدواجن يبحثون باستمرار عن المستجبات الغذائية. في الواقع ، الغذاء هو أكبر بند من بنود الإنفاق على هذه المزارع ، والمكونات الجديدة أو الإضافات الغذائية مع القدرة على تحسين أداء النمو أو صحة الدواجن هي ذات أهمية كبيرة.

ولذلك فإن الهدف من هذه الدراسة هو تقديم إضافات ، بعضها معروف جيداً وأخرى أقل شيوعاً في إطعام الدواجن ، والتي قد يكون لها آثار مفيدة على صحة الدواجن أو على أداء النمو. وقد تم تصنيف المواد المضافة أو المنتجات وفقاً لوظائفها ، إما إضافات تحسين الهضم أو مثبتات الفلورا المعوية ، ويرد وصف أكثر تفصيلاً لكل وظيفة وعائلة في قسم بعنوان "إضافات الدواجن". في وقت لاحق، يتم تقديم كل مادة مضافة أو منتج في شكل ورقة تلخيص بما في ذلك وصف لخصائص المنتج ، وطريقة العمل والآثار الأيضية والبيولوجية للمادة المضافة.

المضافات الواردة في الوثيقة هي ما يسمى مضافات تربية الحيوان لأنها لا تهدف إلى تلبية الاحتياجات الغذائية للدواجن، ما يسمى المضافات التكنولوجية أو التغذوية لن يتم تناولها. وهكذا، تم تحديد اختيار المضافات المقدمة، في البداية، وفقاً لآثارها المحتملة الإيجابية على صحة الجهاز الهضمي للحيوانات، وفي المرة الثانية، وفقاً لآثارها المحتملة على أداء النمو.

Abstract

Feed accounts for 70% of the cost of production in broiler farming, so it is important to pay close attention to this parameter.

Poultry farmers are constantly on the lookout for food novelties. In fact, food being the largest item of expenditure for these farms, new ingredients or food additives with the potential to improve growth performance or poultry health is of great interest.

The objective of this study is therefore to present additives, some well known and others less common in poultry feeding, which may have beneficial effects on poultry health or on growth performance. The additives or products have been classified according to their function, either digestibility enhancing additives or intestinal flora stabilizers, and by their family. A more detailed description of each function and family is presented in the section entitled "Poultry Additives". Subsequently, each additive or product is presented in the form of a summary sheet including a description of the characteristics of the product, the mode of action and the metabolic and biological effects of the additive.

The additives presented in the document are so-called zootechnical additives since they are not intended to meet the nutritional needs of poultry, so-called technological or nutritional additives will not be addressed. Thus, the choice of the presented additives was established, initially, according to their positive potential effects on the digestive health of the animals and, in a second time, according to their potential effects on the growth performances.

Keywords : Poultry, Food, Additives, Probiotics, Prebiotics, Symbiotics.

Sommaire

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

Chapitre I : Généralité sur Les Volailles

1. La volaille	03
2. La poule	03
3. Mode d'élevage	04
4. Produits du poulet	05
5. Appareil digestif.....	06
5.1 Cavité buccale.....	07
5.2 Œsophage.....	07
5.3 Proventricule et gésier.....	07
5.4 Intestin grêle	08
5.5 Le duodénum	08
5.6 Le jéjunum	08
5.7 L'iléon.....	08
5.8 Gros intestin	09
5.9 Cloaque.....	09
5.10 Organes accessoires	09
a/ Pancréas	09
b/ Foie	09
6. Aviculture en Algérie	10

Chapitre II : Alimentation des volailles

1. FORMULATION PRATIQUE DES ALIMENTS	11
2. CLASSIFICATION DES ALIMENTS POUR POULET	11
2.1 MATIERES PREMIERES ENERGETIQUES	11
2.2 MATIERES PREMIERES PROTEIQUES	12

3. PREPARATION ET PRESENTATION DE L'ALIMENT	12
3.1 PREPARATION	12
3.2 PRESENTATION	12
a/ LA CONSOMMATION D'ALIMENT.....	12
b/ LA DIGESTIBILITE DE L'ALIMENT	13

Chapitre III : LES ADDITIFS

1. Présentation des additifs.....	14
3. Définitions	14
4. Intérêt général des additifs	15
5. Classification des additifs et modes d'action	15
5.1 Additifs technologiques.....	15
5.2 ADDITIFS ZOOTECHNIQUES.....	18
5.2.1 Nutriments	18
5.2.2 Facteurs de croissance	19

Chapitre IV : Les Additifs En Aviculture

I. Les Probiotiques

1. Histoire d'utilisation des Probiotiques en alimentation animale	21
2. Définition des Probiotiques.....	22
3. Les micro-organismes probiotiques autorisés aujourd'hui en alimentation avicole	23
4. Critères de sélection des probiotiques	27
5. Les différents microorganismes probiotiques en aviculture et leurs caractéristiques	30
5.1 Le genre Lactobacillus.....	31
5.2 Le genre Streptococcus	31
5.3 Le genre Enterococcus	32
5.4 Les genres Leuconostoc, Oenococcus et Weissella	32
5.5 Les genres Pediococcus.....	33

5.6 Le genre Bifidobacterium	33
5.7 Les levures.....	33
6. Production de substances antimicrobiennes	35
7. Efficacités des probiotique en aviculture	37
7.1 Efficacité sanitaire des probiotiques	37
7.2 Efficacité zootechnique des probiotiques	38

II. Les prébiotiques

1. Définition Prébiotiques	40
2. Différentes classes des prébiotiques	40
3. Mode d'action des prébiotiques	41
4. Caractérisation des exopolysaccharides (prébiotiques)	42
4.1 Classification des EPS des bactéries lactiques.....	42
4.2 Production et détection des EPS.....	43
a/ Détection de polysaccharides exo-cellulaires	43
b/ Examen visuel.....	43
c/ Les colorations	43
d/ Extraction et purification	44
e/ Dosage colorimétrique des EPS purifiés	44
4.3 Caractérisation des EPS à l'échelle chromatographique	45
5. Effet des prébiotiques en aviculturev46	

Chapitre III : Les symbiotiques

1. Les symbiotiques.....	48
2. Intérêts des symbiotiques	48

Chapitre IV : Enzymes

1. Définition.....	49
2. Mode d'action	50
3. Effets des enzymes sur les performances des volailles	51

Chapitre V : Les huiles essentielles

1. Définition.....	55
2. Composition chimique des huiles essentielles : complexité et variabilité ...	55
3. Efficacité des huiles essentielles en alimentation des volailles	58

Chapitre VI : les huiles acides

1. Définition.....	59
2. Importance des huiles	59
3. Les huiles utilisées en Algérie.....	60
3.1 Huile acide	60
3.2 Huile brute	60
3.3 Huile de friture	61
4. Qualité des huiles acides	61
REFERECES	62

Liste des tableaux

Titre du tableau

Tableau 1 :	Classification de la poule domestique	03
Tableau 2 :	Micro-organismes probiotiques autorisés en Europe pour la volaille.....	25
Tableau 3 :	Principaux critères de sélection des probiotiques	27
Tableau 4 :	Exemples d'effets probiotiques récemment démontrés en élevage avicole	34
Tableau 5 :	Exemples d'effets probiotiques récemment démontrés en élevage avicole	58

Liste des figures

Titre des figures

Figure 1 :	La forme corporelle des races commerciales de la poule	04
Figure 2 :	Le tube digestif du poulet.....	06
Figure 3 :	Représentation des différents genres microbiens autorisés en tant qu'additifs en alimentation avicole en Europe	26
Figure 4 :	Variations de la valeur énergétique des huiles et des graisses	26

Liste des abréviations

E.	Escherichia
Lb.	Lactobacillus
Lc.	Lactococcus
S.	Staphylococcus
St.	Streptococcus
sp.	Espèce non précisée
ssp.	Sous espèce
cm, mm, nm	Centimètre, millimètre, nanomètre
g, mg	Gramme, milligramme
h, min, s	heure, minute, seconde
l, ml, µl	Litre, millilitre, microlitre
AFCA-CIAL	Association des Fabricants de Compléments pour l'Alimentation animale
dNTP	desoxynucléotides
EPS	Exopolysaccharides
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
FAO	Food and Agriculture Organization
WHO	World Health Organization
H E	Huiles Essentielles
AGV	Acides gras volatils
EXP	Expérimental
FOS	Fructo-oligosaccharides
IC	Indice de consommation
MOS	Les mannane-oligosaccharides
TG	Triglycérides plasmatiques
UI	Unité internationale

INTRODUCTION

Le premier objectif de la nutrition est d'optimiser l'efficacité des productions mais ceci n'est généralement possible que lorsque l'état de santé est aussi optimal.

Ainsi la santé animale et le bien être qui s'en suit sont des priorités fondamentales des techniques de nutrition moderne.

La valeur alimentaire sur la performance des animaux d'élevage est étroitement liée à la qualité et l'importance de la charge microbienne de l'animal hôte, notamment dans son tube digestif et dans son environnement.

Les volailles ne disposent naturellement que d'une résistance et d'une immunité limitées contre l'infection par la colonisation des microorganismes potentiellement pathogènes.

L'élevage moderne en s'intensifiant place les animaux dans des conditions non naturels (densité importante d'animaux, la variabilité de la nature et de l'origine des aliments : matières premières d'origine végétale et animale, coproduits des industries agro-alimentaires, les transitions alimentaires, séparation des nouveaux nés de leur mère, stress...) qui leurs sont défavorables.

De ceci découlent des problèmes de production dont le risque majeurs de pertes économiques sont liés à la diminution des performances zootechniques des animaux (gain de poids faible et indice de consommation élevé) et à la baisse de leur état général de santé (désordres intestinaux, diarrhées, infections, maladies).

L'industrialisation de l'élevage des animaux et l'amélioration de l'efficacité nutritionnelle d'un aliment oblige donc à avoir recours à l'emploi d'additifs alimentaires dont l'utilisation s'est généralisée en alimentation animale depuis de nombreuses décennies ; ceci pour augmenter la production tout en maintenant un bon état général de santé de ces animaux. Aussi l'amélioration de la production est devenue d'une grande importance économique et a fait l'objet de nombreuses recherches.

Utilisés, dès le début des années 40, pour traiter et prévenir les maladies humaines et animales d'origine bactérienne, les antibiotiques ont aussi été administrés, à faible dose, dès 1946 dans l'alimentation des animaux en tant que promoteurs de croissance.

L'apparition puis l'augmentation de souches bactériennes résistantes aux antibiotiques à partir de 1960 et la mise en place, en 1970, d'une réglementation européenne concernant l'usage des additifs en alimentation animale, ont conduit à une réduction progressive des molécules antibiotiques utilisables en tant qu'additifs en alimentation animale.

Les antibiotiques sont progressivement remplacés par des produits possédant une image « naturelle » en phase avec les aspirations des consommateurs. Il existe de nombreuses méthodes substitutives non thérapeutiques, dont les enzymes, les acides organiques et inorganiques, les Probiotiques, les prébiotiques, les symbiotiques, les herbes et les huiles éthérées, les immunostimulants et autre pratique de gestion agricole.

Les additifs alimentaires, sont des substances ayant un effet favorable sur les aliments auxquels ils sont incorporés ainsi que sur les productions animales; et capables d'améliorer l'efficacité des rations, d'abaisser les coûts de production et d'influencer les caractéristiques des produits animaux, et de maintenir une bonne santé de l'animal. Les principales catégories d'additifs utilisés dans l'alimentation animale sont: les antibiotiques, les Probiotiques, les prébiotiques, les enzymes, les plantes aromatiques et leurs extraits.

L'autorisation de ces additifs repose sur une évaluation préalable de leur effet favorable sur les caractéristiques des aliments et sur la production animale et de l'absence d'effet défavorable sur la santé animale et humaine.

L'objectif principal de notre étude est de rassembler et de synthétiser les connaissances actuelles sur les additifs alimentaires introduits dans l'alimentation animale généralement et dans la nutrition des volailles spécialement et leurs effets sur les productions animales.

Ce travail est basé sur une synthèse bibliographique comprenant les chapitres suivants :

Chapitre I : Les Volailles

Chapitre II : Alimentation Des Volailles

Chapitre III : Les Additifs

Chapitre IV : Les Additifs En Aviculture

CHAPITRE I :

Généralité sur Les Volailles

1. La volaille

Le terme, la volaille, se réfère à des espèces d'oiseaux domestiques qui sont gardées pour satisfaire certains besoins humains, en particulier la nourriture. Les espèces suivantes sont largement acceptées comme des espèces de volailles : canards, poulet, oie, dinde, pintade, pigeon, faisan et autruche (Arboleda et Lambio, 2010).

2. La poule

La poule ou le coq est un oiseau, omnivore ayant comme origine la jungle du sud-est asiatique, et appartient à l'espèce *Gallus gallus*, ordre des Galliformes. Elle est domestiquée depuis longtemps, et s'est bien accommodée à la compagnie de l'homme (Blaise, 2012 ; Koyabizo, 2009). Les poules sont des animaux rustiques, peu fragiles, qui demandent un minimum d'attention pour leur élevage, donc peu d'investissement en temps et en argent. Elles ont une bonne rentabilité dans la production d'œufs et un élevage peut sans difficulté, fournir des poulets de chair (Fournie, 2005).

Tableau 1. Classification de la poule domestique (Scanes, 2011).

Règne	Animalia
Phylum	Chordata
Sous phylum	Vertebrata
Classe	Aves
Ordre	Galliformes
Genre	Gallus
Espèce	Gallus gallus
Sous-espèce	Gallus gallus domesticus

Dans le monde, il existe plus de 300 races de l'espèce de poulet (*Gallus domesticus*) connues actuellement. On distingue trois grandes catégories de races de poules : races purement commerciales, races hybrides (issus de croisements) et des races locales.

Nous pouvons plus ou moins diviser la race commerciale en fonction de l'objectif principal de la production et en fonction de la morphologie (Van Eekeren et al., 2006).

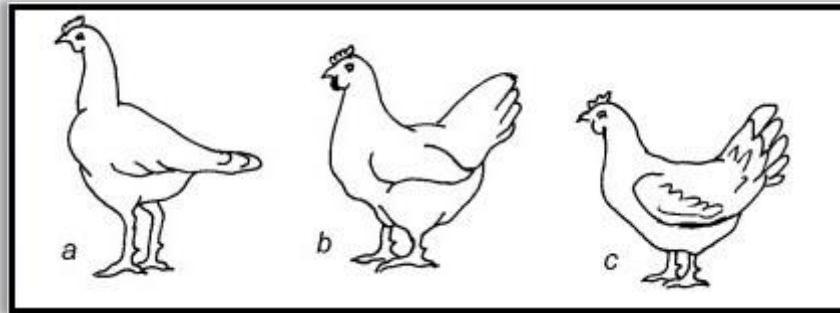


Figure 1. La forme corporelle des races commerciales de la poule: (a) Poule pondeuse ; (b) Poulet de chair ; (c) Race mixte (Van Eekeren et al., 2006).

Races légères ou poules pondeuses (a) uniquement pour la ponte d'œufs.

Races plus lourdes ou poulets de chair (b) principalement pour la production de viande.

Races mi-lourdes ou races mixtes (c) à double fin, la ponte d'œufs et la production de viande.

3. Mode d'élevage

L'élevage de la volaille est intensif, mis à part quelques élevages traditionnels de faibles effectifs, pour les deux types de productions : poulet de chair et poule pondeuse. L'élevage de la volaille peut se faire de trois manières : en batterie, au sol et mixte (sol-batterie).

a/ L'élevage en batterie

Il se fait en étages, l'apparition de cet élevage a révolutionné la production avicole mondiale.

Il présente les avantages suivants :

Suppression de la litière qui constitue le premier milieu qui héberge les agents infectieux.

État sanitaire plus favorable car les déjections rejetées à travers le grillage diminuent le risque du parasitisme.

Meilleure croissance car les poulets économisent l'énergie en réduisant leur activité et n'utilisent donc leur nourriture qu'à faire de la viande.

Les inconvénients de ce type d'élevage sont les suivants :

Accidents : la densité étant plus élevée par rapport à l'élevage au sol.

La technique d'élevage est plus délicate à cause de la forte densité : problème de désinfection, de chauffage et de ventilation nécessitant ainsi une attention particulière.

Matériel onéreux (Belaid, 1993).

b/ L'élevage au sol

C'est l'élevage le plus ancien. Il peut être intensif ou extensif dans le cas des élevages traditionnels familiaux.

- Avantages :

La technique d'élevage est simple et naturelle.

Il nécessite une main d'œuvre réduite : le nettoyage et la surveillance sont faciles.

Il est peu onéreux en exigeant un matériel simple (abreuvoirs, mangeoires, éleveuses).

La présentation du poulet est meilleure.

- Inconvénients :

La croissance est moins rapide car les poulets se déplacent et perdent des calories.

Il est trop exigeant en espace car les bâtiments doivent être plus spacieux pour éviter le surpeuplement.

Le risque de coccidiose et autres maladies est accru car les animaux vivent au contact de leurs déjections (Belaid, 1993).

c/ L'élevage mixte : sol-batterie

Il utilise les avantages des deux modes d'élevage cités précédemment. Le démarrage de 0 à 6 semaines se fait au sol. Les poussins ont une grande rusticité qui sera ressentie en deuxième phase.

Finition en batterie : dans cette phase, l'éleveuse n'est plus indispensable. Cette méthode d'élevage se justifie par l'insuffisance de locaux pour l'élevage au sol pendant trois mois surtout pour les grands effectifs, et par l'impossibilité d'une installation complète en batteries (Belaid, 1993).

4. Produits du poulet

-Les œufs ont une valeur nutritive élevée. Tant le blanc d'œuf que le jaune contiennent des protéines de haute qualité (pour les deux, c'est au moins 10% de leur propre poids). Le jaune d'œuf a environ 33% de matière grasse. Les œufs ont aussi beaucoup de vitamine A, D et de la vitamine B.

-La viande de poulet est une nourriture riche et saine avec une teneur moyenne en protéines d'environ 20% et relativement peu de graisse (environ 7%), en particulier sous la peau.

-Le fumier de volaille est très riche en azote et autres minéraux, en particulier le phosphore, le calcium et le potassium. Il est donc un très bon engrais (Van Eekeren et al., 2006).

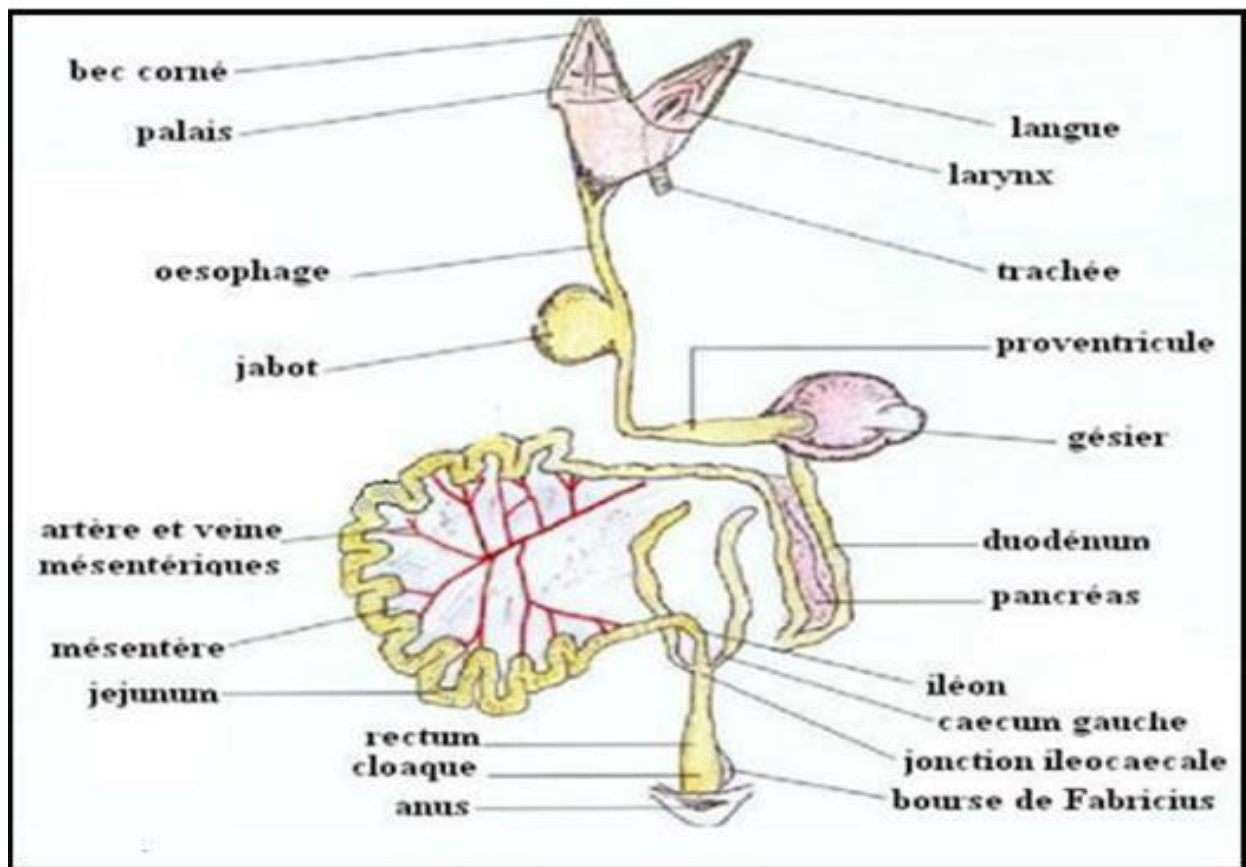
5. Appareil digestif

Il comporte les organes successifs suivants : la bouche, l'œsophage, l'estomac, l'intestin, le cloaque auxquels sont annexées deux glandes importantes : le foie et le pancréas.

Par rapport à ceux de mammifères (monogastrique, ruminants, carnivores...) le tube digestif des oiseaux se distingue globalement par :

- La présence d'un bec remplaçant les lèvres des mammifères.
- L'existence de deux estomacs successifs et distincts : Le ventricule succenturié ou proventricule et le gésier.
- L'originalité de la partie terminale ou cloaque dans lequel aboutissent à la fois le rectum, les voies urinaires et génitales (Larbier et Leclercq, 1992).

Figure 2 . Le tube digestif du poulet (Villate 2001).



5.1 Cavité buccale

Ne comprend ni lèvres, ni dents, mais un bec corné qui permet la préhension et une certaine fragmentation des aliments. La langue triangulaire peu mobile, les glandes salivaires, peu développées, sécrètent de la ptyaline (action de la ptyaline sur l'amidon y débute et se poursuit dans le jabot). Le pharynx ou arrière bouche se confond avec la bouche, il n'y a ni voile du palais, ni épiglotte, si bien que la déglutition est un phénomène uniquement mécanique par redressement de la tête (Delteil, 2012).

5.2 Œsophage

L'œsophage est un organe tubuliforme très dilatable qui se trouve entre le pharynx et le proventricule, comprenant deux parties : l'une cervicale accolée à la trachée artère, l'autre intrathoracique placée au-dessus du cœur. A la limite des deux parties il y a le jabot, ce dernier est une dilatation de l'œsophage en forme de réservoir où les aliments s'humectent et se ramollissent, il constitue une partie régulatrice du transit digestif (Larbier et Leclercq, 1992).

5.3 Proventricule et gésier

Le ventricule succenturié ou proventricule est une petite cavité ovoïde entourée d'une épaisse paroi. Les glandes qui sont nombreuses et de type tubulaire ont des orifices formant des rangées de mamelons visibles à l'œil nu. Les alvéoles de ces glandes sont bordées de cellules très spécialisées oxyntico-peptiques sécrétant à la fois de l'acide chlorhydrique et une proenzyme protéolytique : le pepsinogène. Le chyme séjourne dans le proventricule relativement de quelques minutes à une heure avant de passer dans le gésier à travers un isthme étroit et court (Larbier et Leclercq, 1992).

Le gésier n'a pas (ou très peu) de sécrétion propre, sa paroi est musculaire, cornée vers l'intérieure, couvert à l'intérieur par une lame épaisse et rugueuse. Les éléments durs de ration, des petits cailloux restent un certain temps dans le gésier où ils jouent, en fait, le rôle des dents, permet de broyer et de triturer le chyme au cours des contractions du muscle qui se produisent 2 à 3 fois par minute (Surdeau et Henaff, 1979).

Ainsi les deux estomacs ont des rôles complémentaires. Le premier a une fonction sécrétoire, le second exerce surtout une fonction mécanique (Herpol, 1964).

5.4 Intestin grêle

Chez le poulet adulte la longueur totale de l'intestin grêle est d'environ 120 cm, il est divisé en trois régions et ne présentent pas de différences structurelles notable : le duodénum, le jéjunum et l'iléon.

En général la muqueuse intestinale comporte trois feuilles : la couche interne glandulaire, la couche intermédiaire contient les vaisseaux sanguins et les nerfs, et enfin la couche externe est constituée des muscles lisses responsables de la motricité intestinale. Le suc intestinal renferme du mucus, des électrolytes et des enzymes. À l'exception du mucus qui est sécrété dans tout le tube digestif, sauf le gésier, les constituants du suc intestinal sont essentiellement d'origine pancréatique et biliaire (Larbier et Leclerco, 1992).

5.5 Le duodénum

Dérive du grec dodekadaktulon, signifie « 12 doigts », il a été nommé ainsi parce que sa longueur correspond à la largeur de 12 doigts. Il forme une grande anse qui enserre le pancréas. Le pylore agit comme un filtre ne laisse passer que les petites particules du chyme. Là, l'épithélium recouvert par une lame cornée se transforme en une muqueuse comprenant des glandes torsadée avec villosités entre de grandes cellules muqueuses tubulaires. La frontière entre les deux structures est couverte d'une épaisse couche de mucus ayant un rôle protecteur contre l'acidité excessive du chyme en provenance du gésier. Le suc duodéal, ou plus généralement intestinal, est jaune pâle d'origine pancréatique et biliaire (Larbier et Leclerco, 1992).

5.6 Le jéjunum

Dérive du latin qui signifie « vide », est la portion la plus longue de l'intestin pour un diamètre de 0,6 à 1cm. Il débute au niveau de la papille duodénale (fin du duodénum) et se termine au niveau du diverticule de Meckel. La paroi du jéjunum est plus épaisse et sa lumière plus grande que celles de l'iléon (Chouder, 2006)

5.7 L'iléon

Dérive du grec eilein, qui signifie « s'enrouler », est court il aboutit à l'abouchement des Cæcums et début du rectum. La lumière diminue progressivement du duodénum à l'iléon. Vu son faible calibre, l'iléon est plus vulnérable à l'obstruction. Le mésentère du jéjunum se distingue de façon caractéristique du mésentère de l'iléon : la couche de graisse est plus épaisse dans le mésentère iléal et s'étend jusqu'au point d'attachement intestinal. Au niveau de l'iléon où se déroule la majeure partie de la digestion chimique et l'absorption des aliments (Chouder, 2006).

5.8 Gros intestin

Un caecum se présente comme un sac qui débouche dans le tube intestinal (Villate, 2001). Les deux caecums sont relativement longs (20 cm chacun chez l'adulte) aboutissent directement à un rectum d'environ 7 cm le colon étant quasi inexistant (Larbier et Leclercq, 1992). Chacun des caecums possède une zone proximale étroite avec un épithélium lisse et une zone terminale plus large, siège d'une importante fermentation bactérienne à ce niveau il y a aussi une absorption considérable d'eau et de sels minéraux (Delteil, 2012).

5.9 Cloaque

Le cloaque est la partie terminale de l'intestin, dans laquelle s'ouvrent les conduits urinaires et génitaux. Il est formé de trois régions séparées par deux plis transversaux (Larbier et Leclercq, 1992) :

Le coprodeum : qui peut être considéré comme une dilatation du rectum dans la quelle s'accumule la matière fécale avant leur émission.

L'urodeum : auquel aboutissent les deux uretères et aussi les deux canaux déférents chez le male et l'oviducte chez la femelle.

Le proctodeum : s'ouvre à l'extérieur par un double sphincter.

5.10 Organes accessoires :

a/ Pancréas

Le pancréas est une glande amphicrine (endocrine et exocrine), compacte, blanchâtre ou rougeâtre, enserrée dans l'anse duodénale. Le pancréas est issu de trois ébauches séparées qui se constituent en deux lobes (un lobe ventral et un lobe dorsal). Le suc pancréatique se déverse dans le duodénum par deux ou trois canaux qui s'abouchent au même niveau que les canaux hépatiques (Beghou, 2006).

b/ Foie

Le foie est un organe volumineux rouge sombre. C'est la glande la plus massive de tous les viscères (33 gr environ chez la poule). Il est constitué de deux lobes réunis par un isthme transversal qui renferme partiellement la veine cave caudale (Beghou, 2006). Le lobe droit est souvent plus développé que de la gauche. Leur forme chez la poule est un peu différenciée de taille entre le lobe gauche ellipsoïde et le lobe droit en forme de cœur. Les bords latéraux et caudaux de chacun des lobes sont étroits, leur bord médial est droit et émoussé, la face ventrale du foie ou surface pariétale est convexe, moulée sur les parois de la cavité corporelle, la face dorsale (surface viscérale) est concave (Belabbas, 2006).

6. Aviculture en Algérie

L'Aviculture est indéniablement la branche des productions animales qui a enregistré en Algérie le développement le plus remarquable dès les années 70 (Fenardji, 1990), le poulet reste la volaille la plus demandée sur le marché (Benabdeljelil, 2004). Historiquement, le secteur de la volaille nationale algérienne peut être différencié en trois périodes de temps différentes :

La première période : est le temps de l'indépendance jusqu'en 1968, au cours de laquelle des modifications ont été limitées essentiellement à la conversion des porcheries aux poulaillers.

La deuxième période : de 1969 à 1989, a vu la création d'une grande entreprise publique (ONAB : L'Office National des Aliments du Bétail) des offres axées principalement sur le développement de la volaille et d'autres secteurs de l'élevage. Plusieurs complexes modernes ont été réalisés sous différents plans nationaux de développement. Pendant cette période, la gestion de certains facteurs de production (les installations de reproduction, poussins, aliments, etc.) est devenue la vocation des structures publiques (Alloui et Bennoune, 2013), tandis que la production de produits finis (œufs et poulets) a été contrôlée par le secteur privé (Benabdeljelil, 2004).

La troisième période : commence, à partir de 1990 à nos jours suite à la suppression du monopole de l'État, a été caractérisée par le développement exponentiel du secteur privé et l'arrêt total de l'investissement de l'État dans la chaîne de production de volailles.

L'industrie avicole algérienne produit annuellement en moyen 340 000 tonnes de viande blanche et plus de 4,8 milliards d'œufs. L'aviculture se compose de 20 000 agriculteurs qui emploient environ 500 000 personnes. La plupart des aliments et d'autres intrants sont importés et correspondent à 80% des 2,5 millions de tonnes d'aliments (qui sont typiquement à base de maïs et tourteau de soja), trois millions d'oiseaux reproducteurs, des produits vétérinaires et d'équipements (Alloui et Bennoune, 2013).

Le repli de la production avicole est aggravé aujourd'hui par un contexte mondial caractérisé par la crise des matières premières sur le marché international, le réchauffement climatique, les maladies émergentes et la limitation de certains additifs médicamenteux à l'aliment. Cette conjoncture est peu propice à l'essor de la production avicole en Algérie et peut même mettre en péril son devenir

CHAPITRE II : Alimentation des volailles

1. FORMULATION PRATIQUE DES ALIMENTS

La formulation des aliments consiste à combiner plusieurs matières premières et compléments afin de satisfaire les besoins des animaux tout en garantissant le prix le plus faible par kg d'aliment fabriqué, les besoins de base sont l'énergie (énergie métabolisable), les protéines, le calcium le phosphore disponible et les acides aminés essentiels, souvent pour ces derniers, on ne tient compte que de la lysine et de la méthionine qui sont les plus limitant,

En pratique, la formulation de l'aliment doit évoluer en permanence en fonction des informations « on line » qui viennent du suivie des résultats de terrain, d'abattoir et des analyses, des matières première et des aliments, car le suivi rapproché des performances du terrain est certainement un élément clé de la valeur des aliments .

2. CLASSIFICATION DES ALIMENTS POUR POULET

Les aliments pour poulet sont généralement classer selon leurs particularités, a savoir ceux qui fournissent l'énergie, les sources de protéines, de calcium et de phosphore et enfin, ceux qui apportent d'autres minéraux, les oligo-éléments et les vitamines, Nous classifions simplement les matières premières entrant dans la ration du poulet en deux grandes catégories:

- Les matières premières sources d'énergie.
- Les matières premières source de protéines

2.1 MATIERES PREMIERES ENERGETIQUES :

Se sont généralement a la base de l'énergie des aliments, parmi ces matières on peut cité :

- Le maïs, c'est la céréale la plus énergétique riche en pigments jaunissants, pauvre en protéines et calcium.
- Le blé, il est très énergétique, le plus appétant avec une teneur de 12- 13% en protéines.
- L'orge, énergétique, carencé en protéines, calcium et manganèse.
- Les huiles végétales et les graisses animales, qui constituent une source d'énergie pratiquement pure et sont utilisées dans les régimes hautement énergétiques.

2.2 MATIERES PREMIERES PROTEIQUES :

-Tourteau de soja, il présente un taux protéique très élevé (surtout en lysine et tryptophane), il est également riche en phosphore.

-Tourteau de colza, peu énergétique il est riche en cellulose, pauvre en protéine. Tourteau d'arachide, ses protéines ont une valeur biologique inférieure à celle des protéines du tourteau de soja du fait d'une basse teneur en lysine, méthionine et tryptophane.

3. PREPARATION ET PRESENTATION DE L'ALIMENT

3.1 PREPARATION :

La préparation des aliments est réalisée en plusieurs étapes :

-Pesée des matières premières : elle doit être précise.

-Mouture : les céréales et les tourteaux doivent être broyés en particules grossières de 0.5 à 1.5mm avant d'être mélangés, les autres matières fines comme le phosphate et CMV peuvent être incorporées directement dans la ration.

-Pré-mélange : il consiste à mélanger toutes les matières premières avec une partie des céréales moulues en faibles quantités, de manière à mieux les répartir dans le mélange final.

-Mélange : le pré-mélange est incorporé progressivement au reste des matières premières à l'aide d'un mélangeur.

-Incorporation d'huile : elle est réalisée en dernier lieu, progressivement et après un certain temps de mélange pour éviter la formation de petites boulettes.

3.2 PRESENTATION :

Le rôle de la présentation de l'aliment dans la nutrition des poulets de chair se situe principalement à deux niveaux :

La consommation d'aliment.

La digestibilité de l'aliment.

a/ LA CONSOMMATION D'ALIMENT

Le niveau et la rapidité d'ingestion sont directement liés à la présentation de l'aliment. Le meilleur résultat est donné par un granulé de qualité. L'effet de granulation est d'autant plus important que le niveau énergétique est bas. Pour les aliments haute énergie, l'effet de granulation est moindre dû en partie à la difficulté de granulation de ces aliments.

Dans les comparaisons farine/granulé, l'effet de granulation est maximisé en comparant une farine finement broyée difficile à consommer par les poulets, mais nécessaire à la production d'un bon granulé, l'amélioration des performances obtenue par granulation est essentiellement due à la réduction d'énergie nécessaire à la préhension de l'aliment.

b/ LA DIGESTIBILITE DE L'ALIMENT

En aviculture, le comportement alimentaire devient aussi une préoccupation commune. L'INRA l'a d'abord illustrée par des expériences sur le choix alimentaire, en particulier chez la poule pondeuse. Les fondements métaboliques comme les intérêts pratiques de l'alimentation calcique séparée ont fait l'objet d'investigations très complètes. Il en est de même de la texture de l'aliment (taille des particules, granulation ...).

Poursuivies sur des espèces "capricieuses" comme la dinde, ces approches sont prometteuses de retombées pratiques très intéressantes, Le processus de digestion de l'aliment dépend aussi de la granulométrie de la farine d'origine (quelle que soit la présentation finale, farine ou granulé) et de la nature des matières premières qui constituent la ration.

La digestibilité des aliments facilement assimilables (type maïs-soja) est assez indépendante du type de broyage. Dans ce cas, le rôle de la préparation par le proventricule/gésier est assez réduit (atrophie du gésier) et les nutriments sont facilement absorbés dans la partie haute de l'intestin, Par contre, les aliments constitués de céréales plus riches en polysaccharides non amylacés et ou enrichis en matières grasses saturées, devront être broyés plus grossièrement pour subir une meilleure préparation dans le pro ventricule/gésier. C'est-à-dire, soumis à l'action de l'acide chlorhydrique, de la pepsine et du mucus sécrétés par les parois du proventricule (augmentation des sécrétions par les grosses particules) et ensuite, le broyage par l'action des muscles du gésier. Dans ce cas, le passage dans le duodénum est retardé (1 à 3 heures). Ce mécanisme fonctionne au maximum pour les grains entiers.

Cette technique de broyage favorise aussi l'action des enzymes ajoutées dans la ration (cellulase, phytase),

CHAPITRE III : LES ADDITIFS

1. Présentation des additifs

Le développement de l'utilisation des additifs est étroitement lié à l'industrialisation des productions animales, caractérisée d'une part par une spécialisation de plus en plus poussée des ateliers de production et l'apparition de pathologie du groupe liée à la concentration des animaux, d'autre part par des contraintes économiques de plus en plus sévères imposant la recherche de performances zootechniques plus élevées. En outre, le développement de l'industrie des aliments composés a facilité considérablement la distribution de ces additifs avec une sécurité suffisante.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les additifs utilisés en alimentation animale, de mentionner leur historique et l'intérêt de leur emploi.

2. Définitions

Substances, micro-organismes ou préparations, autres que matières premières et prémélange en alimentation animale, qui sont intentionnellement ajoutés aux aliments ou à l'eau en vue de réaliser, en particulier, une ou plusieurs des fonctions suivantes :

- a) avoir un effet positif sur les caractéristiques des aliments;
- b) avoir un effet positif sur les caractéristiques des produits d'origine animale;
- c) avoir un effet positif sur la couleur des poissons et oiseaux d'ornement;
- d) répondre aux besoins nutritionnels des animaux;
- e) avoir un effet positif sur les conséquences environnementales de la production animale;
- f) avoir un effet positif sur la production, les résultats obtenus ou le bien-être des animaux, notamment en influençant la flore gastro-intestinale ou la digestibilité des aliments pour animaux;
- g) avoir un effet coccidiostatique ou histomonostatique (Guide UE, 2007)

Les additifs alimentaires sont ajoutés aux denrées alimentaires commerciales destinés à l'alimentation animale, dans le dessein d'améliorer leur conditionnement, leur fabrication, leurs propriétés de conservation, leur arôme, leur couleur, leur texture, leur apparence ou de rendre leur consommation plus pratique. Ils sont en particulier susceptibles d'améliorer l'efficacité des rations, d'abaisser les coûts de production et d'influencer les caractéristiques des produits animaux (Gadoud, 2004).

Le SYNPA ,2011 (Syndicat National des Producteurs d'Additifs et d'Ingrédients Alimentaires) présente l'additif comme :

« Une substance, dotée ou non d'une valeur nutritionnelle, qui est ajoutée intentionnellement aux aliments, dans un but précis d'ordre nutritionnel, sensoriel, technologique ou zootechnique. Ces substances sont soit d'origine minérale (comme certains oligo-éléments), soit d'origine végétale (comme certains colorants), mais si elles existent dans certains produits à l'état naturel, elles peuvent aussi être obtenues par synthèse ou par fermentation ».

La plupart des additifs sont fabriqués par l'industrie chimique pour être introduits le plus souvent dans des mélanges intermédiaires (prémélange, composés minéraux) entrant à leur tour dans la composition des aliments complets ou complémentaires (Drogoul et *al.*, 2004)

3. Intérêt général des additifs

Les additifs aux aliments des animaux permettent de mieux produire en fonction des conditions diverses d'élevage et 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.

Les additifs en alimentation animale :

a/ Ont un effet positif sur les caractéristiques

- des aliments pour animaux
- des produits d'origine animale

b/ Répondent aux besoins nutritionnels des animaux

c/ Ont une influence favorable sur les conséquences environnementales de la production animale (synpa, 2011).

Les additifs alimentaires doivent être rentables et procurer des avantages comme améliorer la santé ou la rapidité de croissance de l'animal, ou l'efficacité des aliments qu'il consomme. Avant d'ajouter un additif, il faut évaluer ses avantages et ses inconvénients à l'aide d'une analyse coûts-avantages (Murphy, 2003).

4. Classification des additifs et modes d'action

Les additifs utilisés en alimentation animale peuvent être classés en deux catégories principales (Blain, 2002) :

- **Les additifs technologiques** : qui 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, en augmentant la digestibilité de certains constituants ;

- **Les additifs zootechniques** : qui vont agir 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 parasitaires.

4.1 Additifs technologiques

a/ Matières colorantes: 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. Ces pigments interviennent également dans la coloration des saumons et des truites. Quelques autres colorants sont autorisés dans des conditions très restrictives.

b/ Conservateurs: substances ou, le cas échéant, micro-organismes qui protègent les aliments pour animaux des altérations dues aux microorganismes ou à leurs métabolites et empêchent les fermentations. Exemple : acide sorbique, citrique, formique, propénoïques, lactique...etc.;

- **antioxygènes** : ou antioxydants, substances prolongeant la durée de conservation des aliments et des matières premières pour aliments des animaux en les protégeant des altérations provoquées par l'oxydation, exemple : acide ascorbique;

- **Les 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 et de préférence la flore pathogène (Devie et *al.*, 2005).

c/ Substances aromatiques: substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent l'odeur et la palatabilité.

- **Plantes aromatiques et odorantes** : Il s'agit principalement de plantes ou d'extraits de plantes, d'épices et d'huiles essentielles dont les principes actifs sont bénéfiques, mais aussi de produits analogues de synthèse. Parmi les résultats retenus dans chaque catégorie de ces produits, environ la moitié montre un classement positif, mais peu se révèlent significatifs sur le plan statistique à l'exception des huiles essentielles.

Il s'agit de développer, à partir des plantes, des stimulateurs de croissance aussi efficaces que les antibiotiques utilisés jusqu'ici en alimentation animale et qui, en même temps, soient plus tolérables par l'homme et inoffensives pour l'environnement.

Enfin, les huiles essentielles et les extraits de plantes possèdent un pouvoir antimicrobien tout en activant l'appétit et les sécrétions digestives.

d/ 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;
- * **Anti-mottants:** qui évitent la tendance à l'agglomération des constituants de l'aliment;
- * **Épaississants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent la viscosité;
- * **Gélifiants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, lui confèrent de la consistance par la formation d'un gel;
- * **Liants:** substances qui augmentent l'agglutination des particules;
- * **Substances pour le contrôle de contamination de radionucléides:** substances qui suppriment l'absorption des radionucléides ou en favorisent l'excrétion;
- * **antiagglomérants:** substances qui, dans un aliment pour animaux, limitent l'agglutination des particules;
- * **Correcteurs d'acidité:** substances qui modifient le pH d'un aliment pour animaux;
- * **Additifs pour l'ensilage:** substances, y compris les enzymes ou les micro-organismes, destinées à être incorporées dans les aliments pour animaux afin d'améliorer la production d'ensilage;
- * **Dénaturants:** substances qui, utilisées dans la fabrication d'aliments transformés pour animaux, permettent de déterminer l'origine de matières premières pour denrées alimentaires spécifiques.

e/ Modificateurs de la digestibilité :

- **Enzymes :** depuis quelques années, l'utilisation d'enzymes sous forme d'additifs, permet d'améliorer la digestibilité et la biodisponibilité de certains nutriments des céréales et des tourteaux utilisés dans les aliments composés et également en modifiant les caractéristiques physiques ou chimiques des excréments, de diminuer dans certains cas les nuisances qui y sont associées dans les élevages industriels.

4.2 ADDITIFS ZOOTECHNIQUES

4.2.1 Nutriments :

a) Acides aminés

- **Lysine** : Acide aminé essentiel à la synthèse des protéines. C'est le premier acide aminé limitant dans les rations pour porcs à base de maïs et de soja. Peut également être ajouté sous forme synthétique.
- **Méthionine/méthionine protégée** : Acide aminé renfermant du soufre; il est essentiel à la synthèse des protéines. La méthionine est aussi un facteur limitant dans plusieurs rations pour ruminants.

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).

b) Vitamines :

Les sources de vitamines sont naturelles ou artificielles :

- Ce sont parfois des aliments simples particulièrement riches en vitamines : huiles de foies de poissons, de tourteau de soja, de céréales...etc.
- Ce sont le plus souvent des vitamines de synthèse : généralement issus de dérivés de pétrole.

Elles sont présentées :

- Soit sous forme de poudres dans lesquelles les vitamines A, D, E et C sont le plus souvent protégées par divers procédés, comme l'enrobage.
- Soit sous forme d'hydrosols pour l'adjonction à l'eau de boissons.
- Soit 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) : appelés dans la nouvelle législation « aliments minéraux ». Ces aliments peuvent :

- Etre distribués seuls, en poudre ou en granulés, dans des auges à la disposition des animaux ;
- Etre compactés en pierres à lécher associant minéraux majeurs, oligoéléments, vitamines, parfois urée...etc. ;
- Etre ajoutés à des aliments grossiers ou concentrés.

Des prémélanges : plus ou moins concentrés, destinés exclusivement aux fabricants d'aliments composés et aux éleveurs fabriquant eux-mêmes ces aliments.

c) Oligoéléments :

Deux oligo-éléments, le cuivre et le zinc, ont des effets reconnus sur les performances de croissance des animaux.

- Cependant, une utilisation du zinc à de telles doses est actuellement interdite en Europe, notamment à cause de problèmes environnementaux que cela poserait.
- Quant au cuivre, le risque d'une accumulation future de cet élément dans les sols à la suite d'épandages répétés de lisiers qui en contiendraient des teneurs élevées conduit les autorités de l'Union européenne à examiner actuellement une diminution de la teneur maximale autorisée.

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.
- Sous forme de sels solubles en solutions : plus rapidement assimilables que dans les mélanges en poudre. Elles apportent aussi plus ou moins de phosphore, de calcium et de magnésium, mais c'est un procédé plus 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).

4.2.2 Facteurs de croissance :

a. Antibiotiques

Les antibiotiques sont utilisés en continu sous forme d'additif alimentaire. 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).

b. Probiotiques

La FAO (Food and Agriculture Organisation) et l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ont défini les probiotiques comme des microorganismes vivants dont l'ingestion en quantité adéquate a un effet bénéfique sur l'hôte. Les prébiotiques, quant à eux, ont été 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 microbiote) de l'hôte, contribuant ainsi à la santé de l'hôte (Butel, 2009).

c. Prébiotiques

Le vocable « prébiotique » a été proposé en 1995 pour désigner des composants annexes de l'alimentation, non digestibles par les enzymes du tractus digestif, susceptibles de stimuler la multiplication et l'activité de certaines souches bactériennes, composants normaux de la microflore digestive, au bénéfice de l'hôte qui les héberge.

***Mode d'action :**

N'étant ni hydrolysés par les enzymes de l'hôte, ni absorbés directement au niveau intestinal, ils ne peuvent qu'être fermentés par les micro-organismes du tube digestif. (Gibson et Roberfroid, 1995).

CHAPITRE IV : Les Additifs En Aviculture

CHAPITRE IV - I. Les Probiotiques

1. Histoire d'utilisation des Probiotiques en alimentation animale

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) ; 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, ...).

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).

C'est le formidable essor de l'utilisation des probiotiques en alimentation humaine et les avancées scientifiques en matière d'écologie digestive et d'interactions microbiennes (Caramia, 2004) qui vont relancer l'utilisation des micro-organismes en alimentation animale. Stimulées également par la nécessité de palier à l'interdiction des antibiotiques facteurs de croissance décrétée en 2006 en Europe, les études scientifiques sur les probiotiques sont mieux établies, réalisées en double aveugle, contrôlées, plus fiables et la directive Européenne de 1993 remet les micro-organismes probiotiques à l'honneur en les incluant dans la réglementation des additifs pour l'alimentation animale.

Parallèlement, les productions animales connaissent entre 1980 et 2000, une série de

crises qui va remodeler complètement le paysage réglementaire, aussi bien au niveau institutionnel (création de l'AFSSA – Agence Française de Santé et Sécurité Alimentaire en France 1998 et l'EFSA – European Food Safety Agency au niveau européen en 2002) que législatif (refonte complète de la réglementation de l'utilisation des additifs en alimentation animale – Dir. 70/524/EC et clarification de l'utilisation des micro-organismes comme additifs Reg. 1831/2003/EC). Cette nouvelle réglementation très rigoureuse exige de la part des industriels des données scientifiques et technologiques incluant la démonstration de l'innocuité des micro-organismes (pour l'animal, le travailleur, le consommateur et l'environnement) et la preuve de leur efficacité en accord avec les revendications zootechniques et/ou digestives (Mantovani et al., 2006). Les trois volets du dossier d'enregistrement européen appliqués aux probiotiques sont (1) identité et qualité: caractéristiques de la souche (taxonomie, métabolisme, propriétés, ...), processus de fabrication, stabilité du probiotique (seul ou en mélange), méthode d'analyse ; (2) sécurité : pour l'espèce cible (innocuité à 10 fois la dose recommandée), pour le manipulateur, le consommateur (absence d'antibiorésistance, génotoxicité et mutagénicité) et pour l'environnement ; (3) efficacité : à démontrer pour l'espèce cible par un minimum de trois études significatives dans deux lieux différents. Le volet efficacité décrit l'espèce cible, les conditions (âge, stade physiologique, type de production), les doses d'utilisation, les performances revendiquées ainsi que les mécanismes d'action possibles. Les allégations possibles pour des probiotiques peuvent concerner des effets sur la performance animale, la production animale, le bien-être animal ou l'environnement.

La difficulté scientifique, la charge financière et la complexité des dossiers d'autorisation ont définitivement mis un terme à l'utilisation abusive et non fondée des probiotiques en alimentation animale. Apparaissent alors sur le marché, des probiotiques plus sûrs, plus efficaces et plus transparents que Bernardeau et Vernoux (2009) caractérisent de « probiotiques de deuxième génération »

2. Définition des Probiotiques

Le terme "probiotique" est un mot relativement nouveau qui signifie "en faveur de la vie". Le concept probiotique est né de la théorie de la longévité de Metchnikoff en 1907. Il fut le premier à proposer l'utilisation des Lactobacilles des yaourts pour la restauration du microbiote dans le tractus gastro-intestinal.

Les probiotiques ont d'abord été développés dans les années 1960 pour les élevages d'animaux afin de prévenir les infections et stimuler le gain de poids. La première définition officielle a été proposée par Fuller en 1989 qui définit un probiotique comme étant « un

supplément alimentaire microbien vivant qui affecte positivement la santé de l'animal en améliorant sa balance microbienne intestinale ». Cette définition a été révisée plusieurs fois, notamment par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) et la WHO (World Health Organization).

En 2001, leur nouvelle définition s'énonce comme suit : « Les probiotiques sont des microorganismes vivants qui lorsqu'ils sont administrés en quantité adéquate, produisent un effet bénéfique pour la santé de l'hôte ».

3. Les micro-organismes probiotiques autorisés aujourd'hui en alimentation avicole

De nombreuses espèces microbiennes ont été utilisées en tant qu'agents probiotiques. Ces micro-organismes appartiennent aux bactéries du genre *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* et aux levures du genre *Saccharomyces*. Les micro-organismes utilisés en alimentation animale diffèrent sensiblement de ceux utilisés en alimentation humaine. Ces variantes intègrent les différences rencontrées au niveau des objectifs d'efficacité, des aspects sécuritaires, des fréquences d'ingestion, des contraintes de fabrication ou encore de stockage ou encore de la réglementation.

Les genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* sont majoritairement utilisés pour des applications en nutrition humaine, alors que les genres *Bacillus*, *Enterococcus* et *Saccharomyces* sont les micro-organismes les plus utilisés dans les élevages (Simon et al., 2001).

Les souches de *Bacillus*, plus stables car sporulées, sont plus à même de résister aux processus d'incorporation dans l'aliment, aux paramètres de granulation et aux conditions non exigeantes de stockage « longue durée » des aliments pour animaux (Simon, 2005).

Inversement, les cellules végétatives sont beaucoup plus sensibles, ce qui explique que les lactobacilles ou les bifidobactéries, pourtant bien documentées, ont été moins utilisées au début en alimentation animale. Mais les techniques de stabilisation et de protection évoluant (enrobage, encapsulation), cinq souches de lactobacilles sont aujourd'hui autorisées et plusieurs dossiers actuellement soumis à l'EFSA pour homologation portent sur ces microorganismes autrefois considérés comme sensibles (*Bifidobacteria*, *Lactobacillus*...).

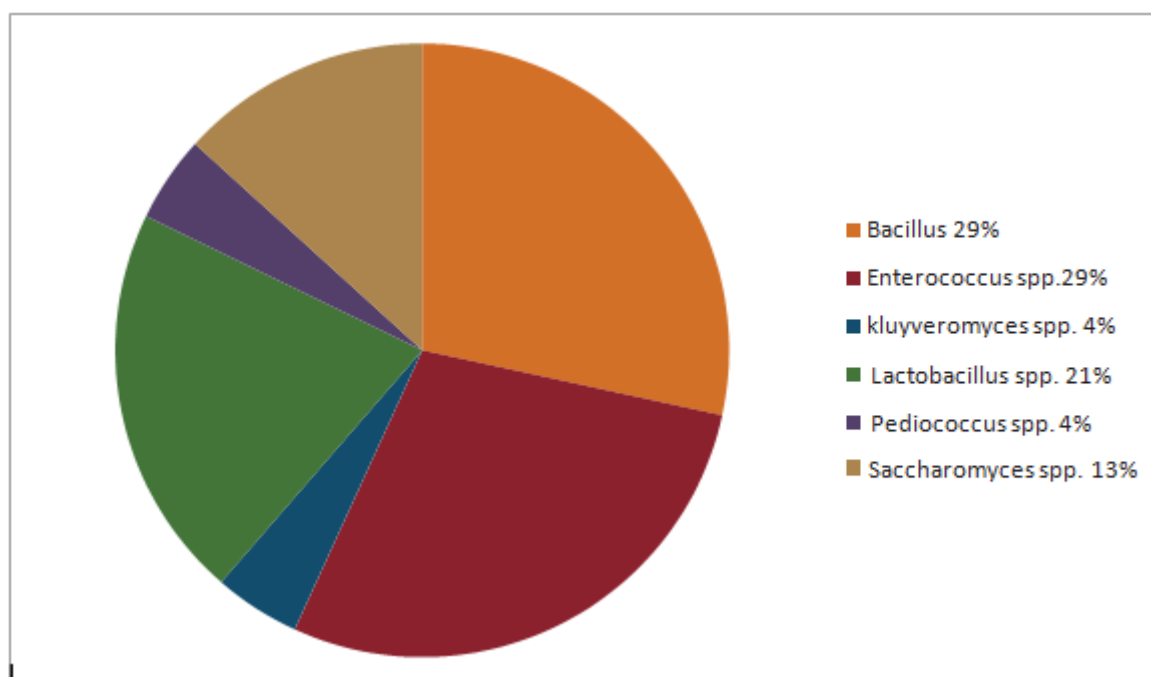
Ainsi les lactobacilles, avec une grande diversité d'espèces, représentent aujourd'hui 21% des souches utilisées comme additifs en alimentation porcine et avicole, 3ème groupe microbien après les genres *Bacillus* et *Enterococcus* représentant chacun 29% des utilisations. De nouvelles tendances sont également perçues concernant le nombre de souches

constitutives des produits. La première génération de probiotiques était multi-souches. En 2007, avec la nouvelle réglementation en vigueur, les additifs probiotiques sont principalement mono-souche (85%), seuls quelques additifs contiennent deux souches (15%). Cette tendance tient vraisemblablement du fait que la préparation des dossiers scientifiques et le processus d'homologation sont longs et difficiles. Cependant, là encore, la situation évolue et plusieurs produits contenant deux ou plusieurs souches sont actuellement examinés par l'EFSA.

Tableau 2 : Micro-organismes probiotiques autorisés en Europe pour la volaille
(liste publiée par l'AFCA-CIAL, dernière mise à jour Mars 2009).

	Espèces animales	Souches avec appellation commerciale	N° Enr
Stabilisante de la flore	Poulets d'engraissement	Bacillus subtilis C-3120 –DSM 15544 – CALSPORIN – Calpis co.Ltd – ORFFA	4b1720
		Bacillus subtilis DSM 17299 – O35 / Chr.Hansen	4b1821
		Bacillus amyloliquefaciens CECT 5940- ECOBIAL/ norel SA	4b1822
		Enterococcus faecium DSM 3530 BIOMIN IMB52 / Biomin GmbH	4b1850
	Dindes engraissement	Bacillus cereus var. toyoi NCIMB 40112/CNCM I-1012 TOYOCERIN/ Rubinum	4b1701
Micro-organismes	Dindons engraissement	Bacillus licheniformis DSM5749 et Bacillus subtilis DSM5750 BIOPLUS2B	E1700
		Enterococcus faecium DSM 10663 /NCIMB10415- Oralin	E1707
		Lactobacillus farciminis CNCM MA 67/4R – BIACTON	12
	Poulets engraissement	Bacillus cereus var. toyoi NCIMB 40112/CNCM I-1012 TOYOCERIN	E1701
		Enterococcus faecium NCIMB 10415 – CYLACTIN	E1705
		Enterococcus faecium DSM 10663/NCIMB 10415 – ORALIN	E1707
		Enterococcus faecium NCIMB 11181 –LACTIFERM	15
		Enterococcus faecium ATCC 59519 et Enterococcus faecium ATCC 55593 - PROPIOS -PIONEER PDFM	E1709
		Enterococcus faecium CECT 4515 – FECINOR	18
		Pediococcus acidilacti CNCM MA18/5M-Bactocell-FERMAID	E1712
		Lactobacillus farciminis CNCM MA 67/4R – BIACTON	12
	Poulets pondeuses	Lactobacillus farciminis CNCM MA 67/4R – BIACTON	12
		Lactobacillus acidophilus D2/CLS CECT 4529	E1715

Figure 3 : Représentation des différents genres microbiens autorisés en tant qu'additifs en alimentation avicole en Europe (adapté d'AFCA-CIAL, Mars 2009).



Jusqu'à présent, les additifs microbiens selon cette réglementation, peuvent revendiquer des propriétés zootechniques (relatives aux performances de croissance des animaux), digestives et stabilisatrices de la microflore intestinale. Cependant force est de constater qu'en élevage, les propriétés des microorganismes dépassent les seuls effets « croissance », qui doivent plutôt être considérés comme une résultante de l'amélioration de l'état de santé général de l'animal. Ces dernières années, des études scientifiquement ont ainsi élargi le potentiel d'utilisation des souches probiotiques. Des applications préventives de pathologies digestives ou immunostimulantes ont ainsi été démontrées aussi bien en élevage porcin qu'avicole. Dans un contexte d'assainissement des pratiques d'élevage vers une stratégie plus naturelle et respectueuse de l'environnement et du bien-être animal, les microorganismes probiotiques présentent donc un réel potentiel de développement commercial.

4. Critères de sélection des probiotiques

Les micro-organismes doivent posséder diverses propriétés de survie pour répondre à la définition des probiotiques (Gagnon 2007).

Ils doivent présenter une activité positive et persister durant leur passage dans le tractus digestif.

Ces propriétés sont propres à chaque souche et ne peuvent pas être extrapolables d'une souche à l'autre même au sein d'une même espèce (Dunne, O'Mahony et al. 2001).

Plusieurs critères majeurs de sélection ont été établis par différents auteurs dans le but de sélectionner les souches potentiellement probiotiques.

Tableau 3 : Principaux critères de sélection des probiotiques. Adapté de (Klaenhammer and Kullen 1999; Ouwehand, Salminen et al. 2002; Gueimonde and Salminen 2006).

Critère de sécurité	<ul style="list-style-type: none">- Identification taxonomique précise- Origine humaine pour utilisation chez l'humain- Souche caractérisée par des techniques phénotypiques et génotypiques- Historique de non pathogénicité et non-invasion de l'épithélium intestinal- Pas de transmission possible de gènes de résistance aux antibiotiques
Critères fonctionnels	<ul style="list-style-type: none">- Tolérance à l'acidité, à la bile et aux enzymes digestives- Adhésion aux cellules intestinales et persistance dans le tractus intestinal- Production de substances antimicrobiennes (bactériocines, acides organiques, peroxyde d'hydrogène ou autres composés inhibiteurs et antagonisme envers les pathogènes- Immunomodulation- Aptitude à produire des effets bénéfiques sur la santé
Critères technologiques	<ul style="list-style-type: none">- Stabilité au cours des procédés de production et dans le produit fini- Conservation des propriétés probiotiques après production- Non modification des propriétés organoleptiques du produit fini

Parmi les critères reliés à la sécurité, l'identification taxonomique de la souche est une étape importante dans l'établissement de nouvelles souches potentiellement probiotiques (Holzapfel et al., 2001). Chaque souche doit être identifiée par des techniques moléculaires fiables et confrontée à une nomenclature actualisée (FAO/WHO, 2002; Gueimonde et Salminen, 2006). Actuellement, l'hybridation ADN-ADN est la méthode moléculaire de référence pour identifier l'espèce d'une souche, mais cette méthode est longue et requiert une large collection de souches de référence (FAO/WHO, 2002). Le séquençage de l'ADN codant pour l'ARN 16S ribosomal est considéré aussi pertinent (FAO/WHO, 2002).

Dans ce dernier cas, il est recommandé que la technique soit combinée avec des tests phénotypiques pour confirmation. L'origine de la souche est également une condition importante car l'interaction spécifique avec l'hôte est maximisée lorsqu'elle provient du même habitat (Alvarez-Olmos et Oberhelman, 2001). Les souches probiotiques doivent également être sans effet négatif et être sécuritaires pour la santé humaine. À ce titre, les souches potentiellement probiotiques seront évaluées afin qu'aucun des effets secondaires suivants ne soient détectés: infections systémiques, activité métabolique nuisible, stimulation immunitaire excessive chez des individus susceptibles et transfert de gènes (par exemple de résistance aux antibiotiques) (FAO/WHO, 2002). À ce sujet, les souches de lactobacilles et bifidobactéries associées aux aliments possèdent un historique de sécurité de longue date et très peu de corrélations existent entre des infections systémiques et la consommation de ces probiotiques dans la littérature (Borriello et al., 2003; Marteau et al., 2006).

Pour assurer une fonctionnalité optimale, les souches probiotiques doivent conserver leur viabilité jusqu'à leur site d'action. Cependant, il existe une controverse autour de ce critère notamment par rapport à l'effet sur le système immunitaire. Même s'il est reconnu que les cellules bactériennes mortes peuvent apporter des bénéfices physiologiques (Sanders, 2003), la définition actuelle des probiotiques insiste sur le paramètre de viabilité (FAO/WHO, 2002). Avant d'atteindre le tractus intestinal, les probiotiques doivent résister principalement à l'environnement acide de l'estomac (pH compris entre 2,0 et 3,4) et à la bile sécrétée dans le duodénum (Dunne et al., 2001; Gueimonde et Salminen, 2006). Le degré de tolérance à ces conditions diffère pour chaque souche (Havenaar et Huis in't Veld, 1992). Des tests *in vitro* sont réalisés pour sélectionner les probiotiques qui maintiendront leur intégrité cellulaire et leur activité métabolique lors du passage dans le tractus digestif humain.

La capacité d'adhésion à la muqueuse intestinale est également une des propriétés essentielles que les souches probiotiques se doivent de posséder (Saarela et al., 2000; Tuomola et al., 2001). L'adhésion permet d'accroître le temps de rétention des probiotiques dans l'intestin et met en contact étroit les bactéries et les cellules épithéliales (Gueimonde et Salminen, 2006). Ainsi, un probiotique ayant un fort pourcentage d'adhésion pourra éventuellement stimuler le système immunitaire et prévenir l'implantation de pathogènes sur les cellules épithéliales de l'intestin par des mécanismes de compétition (Saarela et al., 2000). Les modèles *in vitro* pour évaluer l'adhésion des probiotiques font appels à des lignées cellulaires provenant de côlons humains telles que les Caco-2 et HT-29 et à des techniques conventionnelles de détection de l'attachement bactérien telles que l'énumération par comptages sur plaques, par coloration Gram, par marquage radioactif ou par de nouvelles approches comme l'ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay) et la quantification par PCR en temps réel (Le Blay et al., 2004; Servin, 2004; Candela et al., 2005). Grâce à ces techniques, plusieurs études ont montré le potentiel d'adhésion de nombreuses souches de *Lactobacillus* et de *Bifidobacterium* (Chauvière et al., 1992; Bernet et al., 1993; Crociani et al., 1995; Moroni et al., 2006). La capacité d'adhésion évaluée à l'aide de ces modèles *in vitro* est différente pour chaque souche. Ceci est probablement lié à la physiologie et aux facteurs d'adhésion tels que les composés protéiques, polysaccharides, charges ioniques et aux acides lipotéichoïques propres à chaque souche bactérienne (Crociani et al., 1995).

Selon Ouwehand et al. (2002b), l'adhésion aux cellules intestinales humaines en culture n'est pas un critère suffisant pour décrire les interactions mucorales des probiotiques. Ces auteurs ont proposé que des pièces de tissus humains seraient plus appropriées pour étudier l'adhésion des probiotiques. Parmi les souches ayant fait l'objet d'études préalables sur Caco-2, *L. rhamnosus* GG adhère fortement au tissu provenant du côlon alors que *L. johnsonii* La1 et *L. casei* Shirota le font à un degré moindre. Ces différences d'adhésion sur le tissu peuvent s'expliquer par la présence de bactéries du microbiote intestinal. Le microbiote résident pourrait affecter l'adhésion des souches probiotiques au tissu du côlon et ceci n'est généralement pas pris en compte dans les modèles d'adhésion (Ouwehand et al., 2002b). Ainsi, certains auteurs soulignent la limitation de certains critères de sélection et estiment qu'il faut restreindre la surinterprétation de la signification de telles évaluations (Holzapfel et Schillinger, 2002; Sanders, 2003). Cependant, les tests *in vitro* et *in vivo* sont des moyens utiles et assez simples à mettre en œuvre pour évaluer de façon préliminaire le potentiel probiotique de chaque souche avant de procéder à des essais cliniques chez l'humain.

Parmi l'ensemble des critères présentés au Tableau , l'aptitude à produire des effets bénéfiques sur la santé demeure encore délicat à évaluer dû notamment au fait que les modes d'action par lesquels les probiotiques exercent un rôle fonctionnel in vivo sont méconnus (Klaenhammer et Kullen, 1999).

Ainsi, comme le soulignent ces auteurs, la compréhension des mécanismes d'action représente un des défis scientifiques majeurs dans le domaine des probiotiques.

Enfin, du point de vue technologique, les souches probiotiques doivent posséder plusieurs qualités telles que la facilité à être cultivée à de hautes densités cellulaires tout en conservant leurs propriétés biologiques et leur stabilité au cours des procédés de production et d'entreposage (Champagne et al., 2005). À ce titre, de nouvelles technologies permettant de produire des souches probiotiques à haute viabilité et fonctionnalité sont actuellement disponibles (Lacroix et Yildirim, 2007).

5. Les différents microorganismes probiotiques en aviculture et leurs caractéristiques :

En alimentation animale de nombreux genres bactériens et fongiques incluant *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Propionibacterium*, *Saccharomyces* et *Aspergillus* sont utilisés, comme probiotique (Tannock 1997).

En général, les souches probiotiques sont sélectionnées pour leurs effets bénéfiques sur la santé tout en assurant leur sécurité d'utilisation (innocuité). L'utilisation commerciale de probiotiques en élevages industriels des volailles est relativement nouvelle. Comme pour les autres animaux, l'utilisation des probiotiques s'est développée à la suite des recherches effectuées sur le tractus gastro-intestinal qui ont permis une meilleure compréhension du rôle de la microflore et de son importance sur la santé et l'hygiène digestive des animaux (Gaggia, Mattarelli et al.).

Les différentes études réalisées sur des volailles ont montré que les probiotiques exercent des activités antibactériennes contre diverses bactéries pathogènes notamment celles responsables d'infection chez les poulets dont *Salmonella* sp (Van Immerseel, Cauwerts et al. 2002; Higgins, Higgins et al. 2008), *Campylobacter* et *Escherichia coli* (Zacconi, Scolari et al. 1999; Ragione, Narbad et al. 2004).

L'administration de *Lactobacillus salivarius* A23 à des poussins a permis d'augmenter le taux des Lactobacilles dans le jabot dès le premier jour d'administration. Par contre, aucune augmentation significative n'a été observée au niveau du caecum. Ceci signifie que ce

probiotique colonise préférentiellement le jabot (Zacconi, Scolari et al. 1999). L'administration d'une préparation brut de microflore caecale a permis de protéger les animaux contre des infections à *Salmonella typhimurium* et à *Salmonella enteritidis* (Andreatti, da Silva et al. 2000; Higgins, Higgins et al. 2008). *Enterococcus faecium* J96, une souche probiotique isolée de l'intestin d'une poule a permis de réduire le taux de croissance de *Salmonella pullorum*, *gallinarum*, *typhimurim* et *enteritidis* in vitro.

5.1 Le genre *Lactobacillus*

Lactobacillus est le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*, il contient de nombreuses espèces qui sont des agents de fermentation lactique intervenant dans de nombreuses industries. Il s'agit de bacilles longs et fins (parfois incurvés) souvent groupés en chaînes, immobiles, asporulés, catalase négative, se développent à un optimum de température situé entre 30 et 40°C. Les lactobacilles ont des exigences nutritionnelles très complexes en acides aminés, en vitamines, en acides gras, en nucléotides, en glucides et en minéraux (Khalid et Marth, 1990 ; Leclerc et al., 1994).

Le genre *Lactobacillus* a été subdivisé par Orla-Jensen en trois groupes et cette classification est encore utilisée en milieu industriel (Tamime, 2002 ; Guiraud et Rosec, 2004) :

Groupe I « *Thermobacterium* » : comprend les lactobacilles homofermentaires thermophiles qui se développent à 45°C mais pas à 15°C. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation (lait, yaourt, fromage) sont *Lb. helveticus*, *Lb. delbrueckii*, *Lb. acidophilus*.

Groupe II « *Streptobacterium* » : regroupe les lactobacilles homofermentaires mésophiles et peuvent être occasionnellement hétérofermentaires en fonction du substrat. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation sont *Lb. casei*, *Lb. curvatus*, *Lb. sake* et *Lb. plantarum*.

Groupe III « *Betabacterium* » : ce sont des lactobacilles hétérofermentaires. Il comporte les espèces *Lb. fermentum*, *Lb. brevis* et *Lb. sanfransisco*.

5.2 Le genre *Streptococcus*

Le genre *Streptococcus* est toujours large et la classification est très mouvementée. Ce genre est généralement divisé en trois groupes : pyogène (la plus part des espèces pathogènes et hémolytiques), oral (tel que *St. salivarius*, *St. bovis*) et les autres streptocoques (Scheilfer, 1987). La seule espèce de streptocoques qui soit utilisée en technologie alimentaire est *Streptococcus thermophilus* qui a été incluse dans le groupe des « autres streptocoques », mais ensuite transféré au groupe des streptocoques oraux à cause de leur degré d'homologie avec l'ADN de *Streptococcus salivarius* (Stiles et Holzapfel, 1997).

Streptococcus thermophilus se différencie par son habitat (lait et produits laitiers) et son caractère non pathogène. La résistance à la température, la capacité de croître à 52°C et le nombre limité des hydrates de carbones permettent de distinguer les *St. thermophilus* de la plupart des autres streptocoques (Haddie, 1986 ; Pilet et al., 2005).

5.3 Le genre *Enterococcus*

Ce genre regroupe les streptocoques fécaux qui représentent une hémolyse de type λ et β et qui appartiennent au groupe D. Ce sont des commensaux de l'intestin. Les espèces rencontrées dans l'alimentation sont essentiellement *En. faecalis* et les espèces proches. Les entérocoques sont des coques qui peuvent être mobiles, homofermentaires, généralement différenciés par la fermentation de l'arabinose et le sorbitol, ils croissent entre 10°C et 45°C (Tamime, 2002 ; Ho et al., 2007).

5.4 Les genres *Leuconostoc*, *Oenococcus* et *Weissella*

Ils ressemblent les coques lenticulaires en paires ou en chaînettes mésophiles, qui possèdent un caractère hétérofermentaire marqué, avec production d'acide lactique (isomère D), de CO₂ et d'éthanol. Les caractéristiques telles que l'hydrolyse de l'esculine, la formation de dextrane, les conditions de croissance, la capacité à croître à différents pH et température, l'assimilation de citrate et/ou malate permettent la différenciation entre les genres *Leuconostoc* et *Weissella* (Pilet et al., 1998 ; Ho et al., 2007).

Actuellement, le genre *Leuconostoc* comprend quatorze espèces, ils sont également anaérobies facultatifs et exigeants au point de vue nutritionnel et leur croissance est toujours lente. Le développement des *leuconostoc* entraîne souvent l'apparition d'une viscosité dans le milieu grâce à la production des exopolysaccharides. Les *leuconostoc* principalement *Ln. mesenteroides* ssp. *cremoris* et *Ln. lactis* sont utilisés en association avec les lactocoques dans l'industrie laitière pour produire en plus de l'acide lactique et le CO₂, des substances aromatiques telles que le diacétyl et l'acétoïne à partir des citrates du lait (Hassan et Frank, 2001 ; Guiraud, 2003 ; Ogier et al., 2008).

L'espèce *Leuconostoc oenos* isolée de vins a été classée dans un nouveau genre, *Oenococcus oeni* et certaines espèces de lactobacilles hétérofermentaires ont été groupées avec *Leuconostoc paramesenteroides* dans le nouveau genre *Weissella* (Stiles et Holzapfel, 1997).

5.5 Les genres *Pediococcus*

Les *Pediococcus* sont des coques homofermentaires dont la particularité est le regroupement en tétrade. Ils sont mésophiles, le plus souvent incapable d'utiliser le lactose, et leur développement nécessite la présence de divers facteurs de croissance.

Certaines espèces se distinguent par leur capacité à se développer à des teneurs en sels très élevées, comme *Pediococcus halophilus*, renommé *Tetragenococcus halophilus* et *Tetragenococcus muriaticus* qui tolère jusqu'à 18% de NaCl (Pilet et al., 2005).

Les espèces de *Tetragenococcus* ont un rôle crucial dans la fabrication des produits alimentaires à concentration élevée en sel comme les sauces de soja, alors que les *pediocoques* sont parfois utilisés comme levains lactiques pour les charcuteries (Guiraud et Rosec, 2004 ; Tosukhowong et al., 2005).

5.6 Le genre *Bifidobacterium*

Le genre *Bifidobacterium* est considéré comme faisant partie du groupe des bactéries lactiques grâce à la similarité de ses propriétés physiologiques et biochimiques et à sa présence dans le même habitat écologique, tel que le tube gastro-intestinal. Ces microorganismes sont phylogénétiquement sans rapport avec ces dernières. Ils sont davantage liés au phylum *Actinobacteria* (anciennement *Actinomycètes*) des bactéries Gram positif dont l'ADN est à haut pourcentage de G +C. Les bifidobactéries se caractérisent par leur forme très irrégulière souvent en forme V mais pouvant être coccoïdes, la présence d'une enzyme, la fructose-6-phosphate phosphocétolase, celle-ci leur permet de fermenter les hexoses en produisant de l'acide acétique et de l'acide lactique. Leur température de croissance varie de 36°C à 43°C (Axelsson et al., 2004 ; Pilet et al., 2005 ; Ho et al., 2007).

5.7 Les levures :

Les levures sont des champignons chez lesquels la forme unicellulaire est prédominante. Les cellules végétatives peuvent être sphériques, ovoïdes, allongées, cylindriques, apiculées, ogivales ou en forme de citron. La taille cellulaire varie de 2-3 µm de long à 20-50 µm. La largeur des cellules est de 1 à 10 µm. Le mode de reproduction végétative le plus courant chez les levures est le bourgeonnement.

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 boulardii* (Rolfe, 2000; Toma et al, 2005).

Tableau 4 : Exemples d'effets probiotiques récemment démontrés en élevage avicole
(adapté de Bernardeau et al., 2006)

Animal	Souche probiotique	Commentaires	Référence
Dindes	<i>Lactobacillus</i> sp.	Augmente le gain de poids. Diminue Les couts de production	Torres- Rodriguez et al,2007
Poulets de chair	2Lb.,1 bifidobacterium Enterococcus, Pediococcus	Augmente les paramètres de performance zootechniques. Module la composition de la microflora du caecum	Mountzouris et al., 2007
	Lb-based probiotic	Effets sur l'immunité locale démontré par une diminution des taux d'invasion intestinale et du développement d'oocytes d' <i>Eimeria acervulina</i> (EA),des taux supérieurs de sécrétion d'IL-2 et diminution de la production d'oocytes d'EA	Dalloul et al.,2003
	<i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces boulardii</i>	Améliore la résistance aux coccidioses (<i>Eimeria acervulina</i> , <i>E.tenella</i>) en augmentant l'immunité Humorale	Lee et al., 2007
	<i>Bacillus subtilis</i> & <i>Bacillus Licheniformis</i>	Pas d'impact sur les performances de croissance, le poids du tibiotarsi, sa longueur, sa robustesse et son % de Ca. Améliore l'épaisseur la paroi du tibia median et latéral, de l'index tibiotarsal et du % de cendre	Mutus et al.,2006
	<i>Lactobacillus johnsonii</i> F19785	Contrôle les entérites nécrotiques endémiques dues à <i>Clostridium perfringens</i> , réduisant les pertes économiques et l'utilisation d'antibiotiques	La Ragione et al., 2004
	Lb. espèces	Inhibe <i>Eimeria tenella</i> – in vitro	Tierney et al.,2004
Poules pondeuses, Fin de période	Lb. espèces	Augmente la production d'œufs, diminue la mortalité, améliore le taux de conversion mais pas la qualité des œufs.	Yoruk et al.,2004

6. Production de substances antimicrobiennes

C'est un mécanisme d'action des probiotiques concernant l'inhibition de la croissance des pathogènes grâce à des composés antimicrobiens. Les bactéries appartenant aux genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* d'origine humaine peuvent produire des substances antimicrobiennes, telles que les acides organiques, qui sont actives *in vitro* et *in vivo* contre les micro-organismes entérovirulents impliqués dans les cas de diarrhées (Servin, 2004). L'acide lactique et acétique sont produits via la fermentation des hexoses par les lactobacilles et bifidobactéries. Ces acides organiques peuvent diffuser passivement à travers la membrane bactérienne sous leur forme non dissociée. Ils acidifient le cytoplasme après dissociation et inhibent l'activité enzymatique cellulaire des pathogènes acido-sensibles (Deng et al., 1999). Cette diminution du pH peut donc affecter la viabilité des pathogènes bactériens (Bruno et Shah, 2002; Servin, 2004).

Dans une étude réalisée *in vitro*, Hütt et al. (2006) ont observé que l'activité anti-Salmonella produit par trois souches de lactobacilles, *L. paracasei* 8700:2, *L. plantarum* 299V et *L. fermentum* ME-3, en condition microaérophile de même que l'activité anti-Shigella de deux bifidobactéries, *B. lactis* Bb12 et *B. longum* 46, en condition anaérobie était associée à un effet du pH. Une corrélation positive entre la production d'acide lactique et l'activité inhibitrice a été observée. Cependant, la quantité d'acide acétique et l'activité inhibitrice des lactobacilles et des bifidobactéries cultivées en conditions anaérobiques étaient corrélées de façon négative. En utilisant un modèle murin, Asahara et al. (2001) ont observé qu'une infection à salmonelles induite lors d'un traitement aux antibiotiques pouvait être réduite de façon importante par la précolonisation de l'intestin avec la souche *B. breve* Yakult. Selon ces auteurs, la production d'acides organiques par la souche probiotique et une réduction du pH fécal seraient importantes pour l'activité anti-infectieuse obtenue contre la souche *Salmonella typhimurium*. En utilisant la même souche, ces mêmes auteurs ont observé que la production d'une forte concentration d'acides organiques peut également jouer un rôle important dans l'inhibition de la production de toxines par une souche de *E. coli* O157:H7 dans un modèle murin (Asahara et al., 2004).

La production d'autres agents antimicrobiens, tels que les bactériocines, ont aussi été rapportés principalement lors d'études *in vitro*. Les bactériocines sont définies comme des composés protéiques ayant une activité inhibitrice contre un large spectre de souches bactériennes (Klaenhammer, 1993). Elles agissent principalement sur la membrane externe des bactéries cibles en formant des pores qui mènent à la libération du contenu intracellulaire et à

la mort de la bactérie affectée (Klaenhammer, 1993). Les lactobacilles sont souvent associés à la production de bactériocines (Fooks et Gibson, 2002). La production de bactériocines par les souches de bifidobactéries est moins documentée. Néanmoins, il a été rapporté que la souche *B. bifidum* NCFB 1454 produit une bactériocine active contre *Listeria monocytogenes* (Yildirim et Johnson, 1998).

Un composé antimicrobien produit par des bifidobactéries humaines, *Bifidobacterium* spp CA1 et F9, a été identifié récemment et il consistait en une ou plusieurs molécules lipophiles avec une masse moléculaire de moins de 3,500 Da (Liévin et al., 2000). Ces auteurs ont démontré que ces composés antimicrobiens étaient actifs contre *Salmonella typhimurium* SL1334 et qu'une diminution de 4 logarithmes de l'adhésion du pathogène aux cellules Caco-2 pouvait être obtenue. Ces auteurs ont également évalué cette activité antimicrobienne in vivo avec des souris axéniques C3/He/Oujco infectées par *S. typhimurium* C5. Les souris recevant les bifidobactéries CA1 et F9 étaient protégées de l'infection létale comparativement aux souris contrôles qui ne vivaient pas plus de 10 jours après l'infection. Cependant, même si certaines bactériocines présentent une forte activité in vitro et in vivo chez les souris contre certains pathogènes, la démonstration de la production et l'activité des bactériocines dans le tube digestif humain est à établir.

Lors d'expérience in vitro, certains auteurs ont proposé une action synergétique entre les substances protéiques antimicrobiennes et l'acide organique pour expliquer l'action inhibitrice des bactéries probiotiques. Ainsi, Gopal et al. (2001) ont mené une série d'expériences pour étudier l'inhibition in vitro d'une souche d'*E. coli* O157:H7 par *L. rhamnosus* DR20, *L. acidophilus* HN017 et *B. lactis* DR10. Le pré-traitement d'*E. coli* O157:H7 avec les surnageants de culture des bactéries réduit l'association de ce pathogène avec les cellules Caco-2 et HT-29. Les molécules inhibitrices sécrétées dans les surnageants par ces bactéries sont partiellement affectées par des traitements avec la lactate déshydrogénase, trypsine et protéinase K laissant suggérer que les substances protéiques antibactériennes ne sont pas uniquement responsable de l'inhibition et qu'elles agissent de concert avec l'acide produit. Selon Servin et al. (2004) ceci s'expliquerait par une diminution du pH qui provoque une perméabilisation de la membrane externe des bactéries Gram-négatif facilitant ainsi la pénétration d'autres substances antimicrobiennes telles que les bactériocines.

7. Efficacités des probiotique en aviculture

7.1 Efficacité sanitaire des probiotiques

Leur efficacité première se situe au niveau de l'aspect sanitaire. les probiotiques exercent des activités antibactériennes contre diverses bactéries pathogènes et notamment contre les microorganismes fréquemment responsable d'infection chez les poulets : *Salmonella* sp, *Compylobacter*, *Escherichia coli*. (Van immerseel et al, 2002 ; Van immerseel et al, 2005). De nombreuses expériences confirment les effets des souches probiotiques, notamment les *Lactobacillus* contre les souches d' *Escherichia coli* et *Salmonella* :

L'administration de *Lactobacillus salivarius* A23 à des poussins nouvellement éclos permet d'augmenter le poids et de diminuer le taux des pathogènes (coliformes) et augmenter le taux des lactobacilles dans le jabot dès le premier jour d'administration. Par contre, aucune diminution significative n'a été observée au niveau du cæcum. Ceci signifie que le probiotique agit essentiellement au niveau de jabot (Zacconi et al ,1999).

L'administration de La microflore cæcale permet de protéger les animaux contre des infections par des souches de *Salmonella Typhimurium* et *S.Enteritidis* (Andreatti Filho et al, 2000).

D'autres bactéries que les lactobacilles ont un effet probiotique .Tel est le cas d'*Enterococcus faecium* souche J96 isolé de l'intestin d'une poule. Cette souche réduit le taux de croissance de *Salmonella pullorum*, *gallinarum*, *typhimurium* et *enteritidis* in vitro. L'administration de 109 UFC de cette souche à des poussins de 30 h leurs permet de survivre à un challenge 24 h plus tard avec 105 UFC de *Salmonella Pullorum* (Audisio et al, 2000 cité par Van immerseel, 2003).

Il y a également des rapports concernant l'emploi de mélanges de différentes souches *Lactobacillus Salivarius* et *Lactobacillus Plantarum* inhibent in vitro *Escherichia coli* et *Salmonella Typhimurium* (Murry et al, 2004). Ainsi il a été rapporté récemment que la croissance de *Salmonella Enteritidis* était fortement réduite in vitro en présence d'un mélange des *Lactobacillus Crispatus* et de *Clostridium Lactatifermantans* à pH 5.8 (Van Der Wielden et al, 2002).

En revanche, l'administration simultanée de *Salmonella Enteritidis* et *Lactobacillus salivarius* souche CTC2197 par voie orale à des poussins d'un jour a permis une élimination complète des *Salmonelles* après 21 jours (Pascual et al, 1999).

L.salivarius additionné au suspension fécale affecte positivement le poids des poussins et l'exclusion compétitive des Salmonelles (Zacconi et al, 1999). De la même façon une suspension feacale permet de protéger les poussins contre une colonisation par les souches : *Salmonella typhimurium*, *S. agona*, *S. infantis*, *S. enteritidis* (Oliveira et al, 2000 ; Denis et al, 2004).

Ces expériences montrent qu'il serait possible de réaliser, dès l'éclosion chez des poussins, une colonisation dirigée du tube digestif des animaux avec des souches probiotiques à fort pouvoir inhibiteur plutôt que de laisser s'installer naturellement une flore lactique quelconque apportée par l'environnement. Il est évident que la microflore complexe du cæcum d'un adulte exerce une action protectrice contre la colonisation des bactéries pathogènes de type *E coli*, *Salmonella* et *Campylobacter*. Par contre, chez les poussins l'infection par des bactéries pathogènes est beaucoup plus fréquente du faite que la flore intestinale n'est pas complètement établie. De plus, les poussins étant séparés de leur mère dès leur éclosion, ils n'ont pas la possibilité d'acquérir la microflore protectrice maternelle. Tout ceci met l'accent sur l'intérêt d'utiliser des probiotiques en aviculture.

7.2 Efficacité zootechnique des probiotiques

Chez l'animal, l'efficacité zootechnique revendiquée des probiotiques est souvent par l'amélioration de la croissance (GMQ), de l'indice de consommation (IC), et de l'état sanitaire voire du bien être des animaux établis par la réduction de la fréquence des diarrhées ou de la mortalité durant certaines phases critiques d'élevage: stress alimentaires (changement de régime alimentaire, rations riches en concentré), stress sanitaires (densité des animaux...). En matière de productivité, les données publiées font apparaître une variabilité importante de la réponse animale pour le GMQ et pour l'IC, la réponse relative étant d'autant plus marquée que les conditions nutritionnelles et sanitaires sont médiocres (Edens, 2003).

Une telle variabilité en pratique n'est pas surprenante car l'action supposée passe par la modification de l'écosystème intestinal qui peut largement différer d'un essai à l'autre en fonction des microorganismes utilisés (souches) ainsi qu'à leur concentration dans l'aliment, de l'interaction des probiotiques avec certains composants de l'aliment, de l'âge des animaux (les plus jeunes présentant des flores digestives moins stables que celle des adultes et une immunité moins établie), et de leur état nutritionnel et sanitaire.

L'administration d'une souche d'*Enterococcus faecium* M-74, à des poussins durant 06 semaines améliore les performances zootechniques des animaux par rapport au groupe témoin : le poids final est de 2168.25 g et un IC est de 2.02 pour le lot traité contre 1956.10 g et 2.16 pour le lot témoin ($P < 0.01$) (Ivanković et al, 1999).

L'addition d'un probiotique, à base d'*Enterococcus faecium* M-74, à l'eau de boisson (3g/100l) des poussins durant 06 semaines améliore la croissance des animaux de 10.8% par rapport au lot témoin (Kralik et al, 2004).

Yeo et Kim, (1997) ont étudié sur des poussins les effets zootechniques d'une souche de *Lactobacillus casei* : gain de poids, indice de consommation, activité d'uréase intestinal. La ration des poussins est supplémentée avec la souche de *Lactobacillus casei*, un antibiotique, extrait de yucca, ou n'est pas de tout supplémentée (lot témoin). Les résultats montrent que l'addition d'un probiotique favorise l'amélioration de gain moyen quotidien durant les 3 premières semaines avec diminution de taux d'uréase intestinales comparativement aux autres lots.

D'autres paramètres nutritionnels tel que l'activité des enzymes amylases sont également améliorés en présence des *Lactobacillus*. (Jin et al, 2000).

Un essai de supplémentation par la levure *Saccharomyces cerevisiae* a été conduit sur des poussins (4.108 UFC), la mortalité a été significativement diminuée dans le lot traité (Karaoglu et Dardug, 2005).

Paramètres environnementaux : Dans l'élevage intensif, la principale préoccupation environnementale concerne les déjections. l'emploi d'additifs probiotiques permet de réduire la quantité d'azote dans les effluent, ce qui pourrait représenter un gain d'efficacité alimentaire, à condition toutefois que l'énergie ainsi épargnée soit rendue disponible à l'animal. Ainsi son importance, d'un point de vue environnemental ; (Applegate et Angel, 2005 ; Wood et Abuchar, 1998 ; Rotz, 2004; Ferket et al, 2002 ; Lee et al, 2006). Selon Chang et Chen, (2003) la présence des souches lactobacilli dans l'aliment réduit l'excrétion d'ammoniac.

L'addition de jus de rumen lyophilisé augmente le poids des poulets de chair et améliore la conversion (Kuçukersan et al, 2002).

CHAPITRE IV - II. Les prébiotiques

1. Définition Prébiotiques

Par définition les prébiotiques sont des ingrédients des aliments indigestibles, qui ont un effet bénéfique sur l'animal par le biais d'une stimulation de la croissance et/ou de l'activité d'un nombre restreint d'espèces bactériennes déjà résidente dans la flore digestive de l'animal ce qui peut contribuer à l'amélioration de la santé de l'animal (Gibson et Roberfroi, 1995; Piva, 1999; Schrezenmeir et De Vreseal, 2001; Rastall et Gibson, 2004 ; Cummings et Kong, 2004 ; Fao/Who, 2004). Par conséquent, un produit sera classé comme prébiotique dès qu'il répond aux trois conditions suivantes : (Suskovic et al, 2001 ; Ferket, 2002 ; Fooks et Gibson, 2002 ; Gibson et al, 2004).

- être ni hydrolysé, ni absorbé dans le tractus gastro-intestinal.
- être sélectif pour un nombre limité de bactéries endogènes.
- Modifier la microflore intestinale en améliorant sa composition.
- Tout ceci doit nécessairement induire une modification de la composition de la flore, améliorant ainsi l'état de la santé de l'hôte.

Compte tenu de ces critères particuliers, on constate que la plupart des prébiotiques sont des hydrates de carbones non digestibles pour l'hôte.

2. Différentes classes des prébiotiques

On distingue différentes classes de prébiotiques, selon la taille de la molécule ou suivant leur origine, naturelle ou synthétique (Van immerseel al, 2003 ; Gibson et al, 2004).

- **Les hexoses**, telles que le fructose, glucose, galactose et mannose, et les pentoses tels que le ribose, xylose et arabinose sont les monosaccharides prébiotiques les plus importants. Le galactose est disponible sous forme de disaccharides tels que le lactose. Cependant le monosaccharide le plus couramment utilisé comme prébiotique est certainement le mannose.
- **Les disaccharides naturels** Les plus couramment utilisés sont le sucrose, le lactose et le maltose.
- **Les oligosaccharides (Conway, 2001)** Sont produits la plupart du temps par synthèse ou par hydrolyse enzymatique, soit à partir des hexoses monosaccharidiques, soit à partir de la paroi de cellules microbiennes ou par fermentation de polysaccharides. Parmi les oligosaccharides, les fructo-oligosaccharides (FOS) occupent certainement une place importante .

Les FOS sont produits par hydrolyse d'inuline ou par synthèse à partir de sucrose ou de lactose. Les FOS réduisent la colonisation de l'intestin par Salmonella. L'administration de FOS dans les aliments pour volaille semble également réduire la colonisation de l'intestin par Campylobacter et les salmonelles (Gibson et Fuller, 2000 ; Van immerseel et al, 2003).

De la même façon Oyarzabal et ses collaborateurs (1995) ont mis en évidence l'efficacité d'une préparation probiotique associant un E.laecium, L. lactis, ar Pediococcus sp, avec FOS ; l'incorporation permet l'exclusion des salmonelles a partir du ceacum.

Les mannane-oligosaccharides (MOS) sont des constituants naturels de la paroi des levures et des gommes naturelles. Ce produit est constitué d'un lysat centrifugé de Saccharomyces cerevisiae. L'administration de ces MOS protège la volaille contre plusieurs pathogènes provoquant des troubles digestifs en stimulant le système immunitaire, modifiant la flore intestinale et inactivant les aflatoxines (Anonyme, 2002; Revington, 2002).

3. Mode d'action des prébiotiques

Les prébiotiques agissent en amont des probiotiques. Où le probiotique va fournir directement un micro-organisme aux actions bénéfiques pour l'hôte, le prébiotique se contente d'apporter une source nutritive sélective d'une flore bénéfique pour l'hôte. Le mode d'action des prébiotiques est donc à rapprocher de celui des probiotiques.

Les prébiotiques sont généralement des oligosaccharides ou des polysaccharides à courte chaîne constitués approximativement de deux à vingt unités de sucre. Ils échappent à la digestion dans l'intestin grêle et sont des substrats potentiels pour l'hydrolyse et la fermentation par les bactéries intestinales.

Les prébiotiques doivent agir comme substrat sélectif d'une ou d'un nombre restreint de souches bactériennes bénéfiques qui résident dans le côlon et en stimuler la croissance. Les bifidobactéries et les lactobacilles sont les micro-organismes du microbiote intestinal les plus fréquemment ciblés (Marteau et al., 2004).

De plus en plus utilisé en thérapie (Fujimori et al., 2007 ; Larkin et al., 2007), les prébiotiques sont également grandement utilisés dans les alicaments et dans l'alimentation animale.

Les FOS sont des composants naturels, que nous retrouvons dans divers végétaux (oignon ou blé par exemple), qui ne sont pas digérés par les Mammifères mais qui peuvent être métabolisés par certaines bactéries (Willard et al. 1994a). Ils permettraient d'obtenir une réduction quantitative de la flore intestinale pathogène en étant à l'origine d'un environnement plus favorable pour les bactéries utiles qui se développent plus vite que les bactéries pathogènes qui sont incapables d'utiliser les FOS (Lecoindre 2000).

4. Caractérisation des exopolysaccharides (prébiotiques)

4.1 Classification des EPS des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques produisent deux principales classes d'EPS. Les homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides.

Les homopolysaccharides sont constitués d'un seul type de monosaccharide joint par différents types de liaisons et d'embranchements. Ils comprennent, entre autres, les α -D- glucanes, produits par *Leuconostoc mesenteroides*, *Streptococcus mutans* et *Streptococcus sobrinus*; les D-glucanes, produits par *Propionibacterium* spp. (Deutsch et al. , 2008), *Pediococcus* spp. Et *Streptococcus* spp., ainsi que le levane produit par *Streptococcus salivarius* (De Vuyst et Degeest, 1999).

Pour leur part, **les hétéropolysaccharides** sont des répétitions de plusieurs oligosaccharides, chacun contenant de trois à huit résidus et possédant un nombre limité de monosaccharides différents (Degeest et al., 2001a). Des résidus acétyle, amino ou phosphate peuvent également être retrouvés dans les unités répétitives. Les hétéropolysaccharides sont produits par des LAB mésophiles, comme *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *L. lactis* ssp. *cremoris*, *Lactobacillus casei* et *L. rhamnosus*, et par des LAB thermophiles, notamment *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus* et *S. thermophilus* (De Vuyst et Degeest, 1999). La structure des hétéropolysaccharides peut varier, entre les espèces et entre les souches, selon la composition en sucres, la présence et la nature des chaînes latérales, la masse moléculaire, etc.

Les différentes structures possibles des EPS affectent le pouvoir texturant de ces macromolécules dans les produits alimentaires. Étant donné que les EPS varient dans leur composition, leur arrangement spatial, leur charge, leur rigidité et leurs interactions avec les protéines, la corrélation entre la concentration des EPS et la viscosité apparente est habituellement spécifique à chaque EPS. Malgré tout, certaines caractéristiques semblent communes à plusieurs EPS. Par exemple, les EPS ayant une masse molaire plus élevée entraîneront habituellement une plus grande viscosité. Aussi, les EPS neutres contribuent surtout à la viscosité, mais pas à l'élasticité, contrairement aux EPS chargés négativement qui vont plutôt contribuer à l'élasticité, mais pas à la viscosité (Jolly et al., 2002).

4.2 Production et détection des EPS

a/ Détection de polysaccharides exo-cellulaires

Il existe plusieurs façons de détecter la présence de polysaccharides. Ces derniers peuvent être détectés qualitativement par un examen visuel, par coloration ou par microscopie photonique électronique. La mesure de la viscosité et le dosage des EPS purifiés permet de les détecter quantitativement.

b/ Examen visuel

La façon la plus simple de détecter la production d'EPS chez une souche consiste à examiner une colonie sur un milieu gélosé. La colonie d'une souche productrice aura une apparence brillante et en touchant la colonie avec un cure-dents ou avec une anse àensemencer (manche de Koch), il y aura formation de longs filaments visqueux. Cependant, certaines souches de bactéries lactiques ne produisent pas de polymères sur un milieu gélosé mais en produisent en milieu liquide sous certaines conditions bien définie.

c/ Les colorations

Il est possible de sélectionner des clones bactériens producteurs d'EPS, appelés clones Mut+, en ajoutant des colorants cationiques dans le milieu de culture. Les clones Muc+ sont révélés par le masquage de la coloration par le polysaccharide produit.

Les colorants cationiques ont une affinité pour les polysaccharides anioniques et neutres ; ils développent des interactions ioniques avec les anions organiques ou inorganiques du milieu environnant. Additionné au milieu de croissance, le colorant cationique se fixe donc sur le peptidoglycane de la paroi bactérienne, ce qui entraîne une coloration de la colonie d'une souche non-productrice. Ces colorants ne présentant pas d'affinité pour les polysaccharides excrétés, les polysaccharides produits masquent alors la coloration et les clones Muc+ apparaissent blancs (Gancel et al, 1988).

Un exemple de colorant cationique est le rouge de ruthénium qui donne une coloration rose foncé au milieu de culture. Les colonies Muc+ apparaissent donc blanches sur fond rose par le masquage de la couleur dû aux exopolysaccharides produits. Les clones Muc- apparaissent rosés. Cette technique a été utilisée par Bouzar et al. (1995) pour la sélection de clones d'une souche de *Lb. delbrueckii ssp. bulgaricus* produisant différents niveaux de polysaccharides extracellulaires. De cette façon, Stingele et al. (1996) ont sélectionné la souche *Streptococcus thermophilus Sfi6* possédant le phénotype de production d'EPS stable.

d/ Extraction et purification

La meilleure façon de doser quantitativement les EPS est de les extraire du milieu de culture et de les doser. Les polysaccharides bactériens extracellulaires précipitent en présence d'éthanol. Après les avoir purifiés pour enlever les protéines et les résidus du milieu pouvant interférer lors du dosage, il est possible de les doser avec une méthode calorimétrique comme celle de Dubois (1956) à l'acide sulfurique et phénol. Lors de ce dosage, la courbe étalon est produite avec du glucose et les unités de mesure sont exprimées en mg/l d'équivalents glucose. Cette méthode a aussi ses limites et un milieu défini est recommandé. En effet, certains éléments présents dans le MRS par exemple peuvent précipiter avec l'éthanol et fausser les résultats de dosage (Garcia-Garibay et Marshall, 1991). L'extraction des EPS dans le lait est plus compliquée ; les constituants du lait peuvent interférer dans la précipitation des polymères et les EPS bactériens ont tendance à s'associer aux protéines du lait pour former un complexe glycoprotéique. Il faut alors hydrolyser les caséines avec des enzymes spécifiques et bien purifier les polymères recueillis par une précipitation à l'éthanol (Bouzar et al., 1997).

e/ Dosage colorimétrique des EPS purifiés

Les exopolysaccharides purifiés et lyophilisés sont resuspendus dans de l'eau dé-ionisée (Millipore) et dosés selon la méthode de dosage des sucres totaux de Dubois et al. (1956) modifiée par Gerhardt et al. en 1981.

Le principe de cette méthode repose sur le fait que l'ajout d'acide sulfurique provoque l'hydrolyse des polysaccharides et la formation de 5- hydroxyméthyl-furfural qui donne, en présence de phénol, une coloration orangée. L'intensité de la couleur est directement proportionnelle à la quantité de sucre présent et est directement mesurable par spectrophotométrie. La réaction est sensible et la couleur est stable. De petites quantités de Carbohydrates peuvent être détectées et la présence de protéines ou de peptides n'influence pas le dosage.

Une courbe standard est préparée à partir d'une solution glucose à une concentration donnée. Chaque échantillon est préparé et pré-dilué si nécessaire. Le blanc est fait avec la concentration 0 mg/l.

La lecture de l'absorbance se fait avec un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 499 nm. Les quantités de polysaccharides sont exprimées en mg/l d'équivalent glucose, selon la courbe standard.

4.3 Caractérisation des EPS à l'échelle chromatographique

La chromatographie sur couche mince (CCM) est la technique la plus simple, utilisée pour déterminer la composition qualitative en oses polysaccharidiques. Cette technique a été utilisée par Souly Frag (1978).

Avant d'être analysés, les polysaccharides doivent subir une hydrolyse acide afin de libérer les différents oses composants de ce polysaccharide.

Une plaque de chromatographie sur couche mince (TLC, CCM en français) se compose d'un support, en aluminium ou en verre, sur lequel a été étendue une fine couche d'un milieu de sorption (p. ex. la silice, SiO₂) comme phase stationnaire. Ces plaques sont plongées d'environ un demi-cm dans une phase mobile. Cette dernière est généralement un mélange binaire ou ternaire de solvants, adapté au type de séparation recherché. Les composés déposés à environ un cm du bas de la plaque sont alors humectés et dissous par la phase mobile qui progresse par capillarité le long de la phase stationnaire.

Selon la nature des phases mobile et stationnaire, deux types de mécanismes d'interaction permettent la séparation de composés présents en mélange : l'adsorption sur la surface de la phase stationnaire solide et le partage entre un film de phase stationnaire liquide et la phase mobile (Pachaly, 1999).

Pour les analyses de routine par TLC des chromatographies monodimensionnelles, on utilise généralement des plaques de Silicagel 60 F254 prêtes à l'emploi à support en aluminium (Merck) et celles-ci sont développées dans des cuves en verre conventionnelles (Camag), dont l'atmosphère aura préalablement été saturée en vapeurs de la phase mobile.

Du fait de ses faibles contraintes techniques, de son emploi simple et de son coût relativement modeste, la TLC est un outil de choix pour l'analyse de routine d'extraits bruts, de fractions, ainsi que de produits purs isolés. Les quantités déposées sur les plaques sont normalement de 100 µg pour les extraits et de 10 µg pour les produits purs.

Il s'agit également d'un support facilement utilisable pour caractériser ultérieurement des substances par leurs réactivités chimiques ou leurs activités sur certaines cibles biologiques. L'incorporation dans la phase stationnaire des plaques du commerce de produits permettant la visualisation des composés UV-actifs à 254 nm et 366 nm, augmente le seuil de détection des produits à faible activité spectrale dans le domaine du visible (environ 450-700 nm).

5. Effet des prébiotiques en aviculture

Les prébiotiques constituent une toute autre classe d'additifs. Par définition, les prébiotiques sont tous les produits ajoutés aux aliments qui sont indigestibles pour le poulet, mais qui peuvent avoir un effet bénéficiaire sur la santé intestinale par la stimulation spécifique de la croissance ou de l'activité d'un nombre limité d'espèces bactériennes favorables. Presque tous les prébiotiques sont des oligosaccharides ou des polysaccharides. Par exemple, plusieurs études ont montré un effet bénéficiaire de l'utilisation de lactose pendant la période juste avant l'abattage. Les fructo-oligosaccharides par contre, malgré leur effet bénéficiaire bien documenté sur la santé intestinale chez l'homme et les mammifères, ne semblent avoir qu'un effet marginal, voir inexistant, sur la colonisation de l'intestin du poulet par *Salmonella*. Les mannan-oligosaccharides cependant ont bien un effet de protection contre les *Salmonelles*, ce que s'explique probablement par le blocage de l'attachement des *Salmonella* sur les cellules épithéliales de l'intestin. Les auteurs ont montré un effet de protection contre la colonisation et l'excrétion des *Salmonelles* dans les fientes d'un additif sur base d'arabinoxyloligosaccharides (AXOS), ce qui est d'autant plus surprenant que les polymères dont ces AXOS sont dérivés, et qui sont largement présents dans les céréales, tels que le froment et le seigle, semblent augmenter la sensibilité des poulets pour une infection à *Salmonella*. Aussi pour le « guar gum » et « partially hydrolysed guar gum », des effets de protection contre *Salmonella* ont été décrits. Il existe encore toute une gamme d'autres prébiotiques, pour lesquels cependant souvent, les effets de protection contre la colonisation et l'excrétion dans les fientes des agents zoonotiques n'ont pas été clairement documentés chez le poulet. Les probiotiques constituent une troisième grande classe d'additifs testés pour une utilisation dans le cadre de la lutte contre la salmonellose et les autres agents zoonotiques chez le poulet. Les probiotiques par définition sont des microbes vivants ajoutés aux aliments. La plupart des souches microbiennes utilisées dans les produits probiotiques appartiennent aux genres *Bifidobacterium* ou *Lactobacillus*. Les lactobacilles peuvent produire des métabolites qui limitent la croissance des *Salmonelles*. Ils peuvent, dans certaines conditions, aussi moduler l'immunité et interférer dans l'attachement des *Salmonelles* sur les cellules épithéliales de l'intestin. Par ce biais, les lactobacilles peuvent protéger contre la colonisation par *Salmonella*. Certaines souches de lactobacilles ont déjà été mélangées dans les aliments à la ferme avec de bons résultats. Cependant, la réduction des nombres de *Salmonelles* retrouvées au niveau de l'intestin après administration orale de lactobacilles est souvent limitée (Van Coillie et al., 2007).

Les oligosaccharides sont produits la plupart du temps par synthèse ou par hydrolyse enzymatique, soit à partir des hexoses monosaccharidiques, soit à partir de la paroi de cellules microbiennes, ou par fermentation de polysaccharides (Iji et Tivey, 1998). Parmi les oligosaccharides, les fructo-oligosaccharides (FOS) occupent certainement une place importante. Les FOS sont constitués de courts polymères de fructose (liés en β 1-2). Ils sont produits par hydrolyse d'inuline ou par synthèse à partir de sucrose ou de lactose (Le Blay et al., 1999). On a démontré que les FOS réduisent la colonisation de l'intestin par *Salmonella* (Fukata et al., 1999), d'autant qu'une flore de compétition est donnée en même temps (Bailey et al., 1991). L'administration de FOS dans les aliments pour volaille semble également réduire la colonisation de l'intestin par *Campylobacter* (Schoeni et Wong, 1994).

L'administration de ces MOS à une concentration de 4000 ppm dans l'aliment de poussins de 3 jours a entraîné une réduction de la concentration de *Salmonelles* dans les caeca après challenge de *Salmonella typhimurium* et de *Salmonella dublin* (Spring et al., 2000). On a démontré également que le contenu cæcal des poules recevant des MOS dans les aliments, administré à des poussins, protégeait ces poussins contre un challenge avec *Salmonella enteritidis* (Fernandez et al., 2000).

Les polysaccharides, peu de données sont disponibles, sauf pour la gomme de guar obtenue par traitement enzymatique des fèves de *Cyanopsis tetragonolobus*. Le traitement à l'endo- β -D-mannanase permet de cliver la chaîne centrale de mannose de la gomme. On obtient ainsi un mélange de galactomannanes que l'on appelle gomme de guar partiellement hydrolysée. Inclus dans l'aliment pour poule pondeuse à une concentration de 250 ppm cette gomme de guar partiellement hydrolysée a permis de protéger les poules contre un challenge assez sévère de *Salmonella enteritidis*, et en plus, la coquille des œufs ainsi que le blanc et le jaune des œufs étaient significativement moins contaminés (Ishihara et al., 2000).

CHAPITRE IV - Chapitre III : Les symbiotiques

1. Les symbiotiques

Un probiotique peut être associé à un substrat, qui lui est spécifique, appartenant à la classe des prébiotiques. Le mélange ainsi constitué est alors appelé symbiotique : un fructo-oligosaccharide peut être associé de cette manière à une souche de bifidobactéries ou bien du lactitol à un lactobacille (Gibson, 1995). Ce type de préparation devrait permettre une survie plus longue des bactéries dans le supplément alimentaire, avec en conséquence une date limite d'utilisation plus tardive, un nombre accru de bactéries atteignant le côlon sous forme viable, une stimulation dans le côlon de la croissance et de l'implantation des bactéries exogènes et une activation de leur métabolisme (Bergmark, 1998).

2. Intérêts des symbiotiques

Nous savons maintenant que prébiotiques et probiotiques ont des actions complémentaires et leur association assure les meilleurs résultats possibles. Le développement de symbiotiques (combinaison d'un prébiotique et d'un probiotique) semble donc très prometteur. Dans un modèle murin, Rastall et Maitin (2002) ont investigué la capacité d'une préparation symbiotique, associant *Bifidobacterium breve* et des galacto-oligosaccharides, à récupérer une colonisation intestinale quasi-normale après une salmonellose. Les souris ont été traitées par streptomycine, ce qui a rendu indétectable les taux de bifidobactéries, lactobacilles et entérobactéries dans les selles. Les souris ont été nourries avec une préparation à base de *B. breve* et de galacto-oligosaccharides. La recolonisation du tractus gastro-intestinal lors de l'utilisation du symbiotique a plus importante que lorsque le probiotique était utilisé seul.

CHAPITRE IV - Chapitre IV : Enzymes

1. Définition :

Les enzymes sont des protéines qui aident à améliorer la digestion. L'objectif de l'ajout de l'enzyme consiste à améliorer la digestion des polysaccharides non amylacés (sucre ne contenant pas d'amidon). Les polysaccharides non amylacés contribuent à augmenter la viscosité du contenu digestif et par conséquent à réduire la digestibilité de l'aliment (Zhang et al, 2000 ; Revington, 2002; , Ferket, 2002 ; Gunal et al, 2004).

Depuis quelques années, l'utilisation d'enzymes sous forme d'additifs, ajouté aux aliments, principalement chez les volailles, permet d'améliorer la digestibilité et la biodisponibilité de certains nutriments dans les aliments composés et également, en modifiant les caractéristiques physiques ou chimiques des excréments, de diminuer certaines cas les nuisances qui y sont associées dans les élevages industriels.

Ces enzymes sont produites industriellement à partir de champignons ou de bactéries (Grajek et al, 2005). Incorporés dans les aliments secs en farines ou en granulés, elles n'ont pas d'action sur les matières de l'aliment avant son ingestion. Elles agissent donc dans le tube digestif ou leur action s'ajoute à celle des enzymes sécrétées par l'animal lui-même (Ferket, 2002).

Une condition indispensable de leur efficacité est leur persistance dans les aliments auxquels elles sont incorporées et, ultérieurement dans le tube digestif. Cette composante de leur efficacité doit être validée avec un maximum de rigueur, étant donnée que ces substances sont inactivées par la chaleur par des pH extrêmes et peuvent aussi à priori être dégradées par les enzymes protéolytiques du tube digestif. On distingue plusieurs enzymes utilisées en alimentation des volailles :

1.1 Phytases :

Les Phytases fongiques hydrolysent l'acide phytique qui est la forme principale du phosphore dans les grains. Le phosphore phytique est très peu assimilable par les monogastriques du fait de la quasi absence de phytases bactériennes dans le contenu digestif. L'intérêt de l'utilisation des phytases est principalement écologique. Il permet, en augmentant l'utilisation du phosphore des céréales, de diminuer l'incorporation de phosphate minéral dans les aliments et ainsi de réduire les rejets de phosphore dans les lisiers et les fientes (Doyle, 2001).

1.2 β glucanases, xylanases, cellulases :

Enzymes dégradant les polymères des parois végétales. Tous les grains en particulier le blé et l'orge, renferment une forte proportion (5.7 à 8.9%) de pentosanes ramifiés du type arabinoxylanes. Ces hémicelluloses limitent la digestibilité des céréales précitées chez les volailles. De plus, leur aptitude à retenir de l'eau et former des gels, provoque chez les volailles, la formation des fientes collantes, et augmentent la teneur en eau des litières, avec, secondairement, une augmentation de la production d'œufs sales, ou, chez le poulet de chair, l'augmentation des affections des pattes ou des lésions du bréchet dépréciant la qualité des carcasses. L'utilisation conjointe, dans la même préparation, de β -glucanases et de xylanases d'origines fongique (*Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma koningii*, *Aspergillus niger*) permet d'améliorer de 2 à 4 % la digestibilité et l'énergie métabolisable des régimes à base d'orge et de blé et de neutraliser les inconvénients hygiéniques qu'ils présentent quant à leurs effets sur les fientes chez les volailles. Ces enzymes permettent donc de valoriser l'orge et le blé au même titre que le maïs qui ne présente pas ces inconvénients.

Des cellulases (endo 1-4 β -glucanases) sont produites également à partir de *Trichoderma longibrachiatum*, *T. koningii*, *T. reesei*, *d'aspergillus niger*. Elles permettent d'augmenter la digestibilité des céréales et des tourteaux riches en glucides pariétaux et ont un effet complémentaire des enzymes précédentes.

Les xylanases et cellulases résistent bien aux enzymes protéolytiques dans l'intestin grêle.

2. Mode d'action

Les enzymes sont des substances organiques solubles qui catalysent une réaction biochimique (Le Petit Larousse, 1996). Ils accélèrent les réactions chimiques d'un facteur de l'ordre du million et sont très spécifiques à un substrat donné (Bedford et Morgan, 1996). Les enzymes ajoutées ont la capacité d'hydrolyser les pentosanes et les P-glucanes en de petits polymères altérant ainsi la capacité de ces polysaccharides de former une solution très visqueuse qui inhibe la diffusion et le transport des nutriments (Annison et Choct, 1991 ; Bedford et Morgan, 1996; Cheeson. 1993; Wyatt et Queenborough. 1996). L'action synergique de l'endo-1,4-xylanase, de la 1,4-xylosidase et de plusieurs autres enzymes hydrolysent les arabinoxylanes trouvés dans les membranes cellulaires de l'endosperme des grains (Wyatt et Queenborough, 1996). Entre autres qualités, les xylanases, les glucanases et les protéases doivent être très stables et actives au pH et à la température du tractus gastro-intestinal. Elles doivent aussi agir assez rapidement dans la zone gastrique et efficacement dans le duodénum et dans le jéjunum où 85% de l'absorption des nutriments a lieu dans sa partie terminale (Wyatt

et Queenborough. 1996).

D'après Ferket (1997), les enzymes exogènes ont quatre fonctions possibles dans l'alimentation des animaux de la ferme. Ils peuvent améliorer la disponibilité des polysaccharides et des protéines de réserves inaccessibles aux enzymes endogènes. ce qui rend l'amidon, les protéines ou les graisses plus disponibles. Ils peuvent aussi rompre certains ponts spécifiques présents dans les aliments et non dégradés par les enzymes endogènes comme les β -glucanes qui peuvent devenir disponibles sous forme de glucose. De plus, les enzymes peuvent permettre aux jeunes animaux de surmonter certains problèmes de digestion dus à une insuffisance de la production enzymatique lors des périodes de stress. Les enzymes peuvent aussi détruire différents facteurs anti-nutritifs présents dans de nombreux aliments et qui limitent la digestion et l'absorption des nutriments, altèrent le taux de passage, et augmentent l'activité microbienne et la viscosité dans l'intestin grêle.

D'autre part, la nécessité d'une préparation d'un mélange d'enzymes se révèle importante et plus efficace que les enzymes simples (Cheeson, 1993). En effet, chaque mélange d'enzymes a une activité unique liée aux effets synergiques des constituants du mélange, comme les protéases, les cellulases, les pectinases et les β -glucanases. Ainsi, un mélange d'enzymes adaptées doit permettre de transformer des substrats polysaccharidiques en des composantes utilisables par l'organisme animal (Cheeson, 1993; Ferket, 1997). Les hydrolases des glycanes vont transformer les polysaccharides en oligosaccharides. Ces derniers seront à leur tour hydrolysés par les glycosidases en monosaccharides facilement utilisables par les animaux (Cheeson, 1993).

3. Effets des enzymes sur les performances des volailles

Les effets prouvés de l'addition d'enzymes digestives capables d'hydrolyser les liens β -glucanes de l'orge furent étudiés par plusieurs chercheurs (Bedford et Morgan, 1996; Cheeson, 1993). Étant donnée la présence de polysaccharides non amylacés dans les grains d'orge, la préparation d'enzymes utilisée devrait contenir des β -glucanases (Wyatt et Queenborough, 1996). En effet, l'addition de ses enzymes a amélioré de 20 à 50% le taux de croissance des poulets de chair (Elwinger et Saterby, 1987; 1988). Cette amélioration est due à l'augmentation de l'ingestion alimentaire chez les poulets de chair (Fuente *et al.*, 1995; Hesselman *et al.*, 1981; Hesselman *et al.*, 1982; MacLean *et al.*, 1994; Pettersson *et al.*, 1990; Rose et Njeru, 1989).

De plus, le gain de poids et le poids final sont supérieurs pour les poulets de chair alimentés avec de l'orge entière additionnée d'un supplément enzymatique que pour ceux recevant de l'orge entière sans supplément enzymatique (Brufau *et al.*, 1991; Cantor *et al.*,

1989: Elwinger et Saterby, 1987: Friesen et al.. 1992: Newman et Newman, 1988; Svihus et Newman, 1996).

Même après un stockage anaérobique de l'orge humide, l'ajout de fi-glucanase dans la ration a augmenté significativement la consommation alimentaire, le gain de poids et a amélioré la conversion alimentaire (Hesselman *et al.*, 1981).

Pourtant, l'utilisation d'enzymes de source bactérienne ou fongique n'a pas modifié les performances (Willingham *et al.*, 1959). En effet, dans les deux cas, il y a eu augmentation significative de la croissance et une meilleure utilisation alimentaire en comparaison avec une ration d'orge non additionnée d'enzymes (Willingham *et al.*, 1959). L'addition d'enzymes à une ration contenant de l'orge entière joue un rôle important dans l'amélioration de la conversion alimentaire (Arscott *et al.*, 1960). En effet, l'ajout d'enzymes dans une ration contenant jusqu'à 60% d'orge entière a amélioré significativement la conversion alimentaire (Svihus et Newman, 1996). Cette recherche avait indiqué que les enzymes sont aussi efficaces pour les aliments contenant de l'orge entière que pour ceux contenant de l'orge moulu. Plusieurs recherches avaient ainsi noté l'amélioration de la conversion alimentaire avec une ration contenant des niveaux élevés d'orge entière additionné d'enzymes (Esteve-Garcia *et al.*, 1997; Francesch *et al.*, 1994; MacLean *et al.*, 1994; Pettersson *et al.*, 1990; Svihus *et al.*, 1997).

De plus, le mélange d'un antibiotique et d'enzymes dans une ration contenant de l'orge avait un effet positif sur la conversion alimentaire, mais leurs effets n'étaient pas additifs (Esteve-Garcia *et al.*, 1997). L'addition d'une enzyme contenant du β -glucanase et de l'arabinoxylane améliore les performances et donne les mêmes résultats qu'un additif ne contenant que du β -glucanase (Pettersson *et al.*, 1990). L'utilisation de la première enzyme permet d'améliorer l'utilisation de céréales ayant des membranes cellulaires de l'endosperme riches en arabinoxylanes et en β -glucanes (Pettersson *et al.*, 1990). Le niveau d'inclusion d'enzymes dans la ration a également un effet. Cependant, la réponse des oiseaux à différents niveaux d'inclusion (de 0,5 kg/t à 2 kg/t) dépend du cultivar d'orge utilisé, de sa qualité, de son niveau d'inclusion dans l'aliment, du moment de la récolte et du taux protéique de la ration (Brufau *et al.*, 1991; Cantor *et al.*, 1989; Hesselman *et al.*, 1982).

Fuente *et al.* (1995) avaient noté que la réponse à l'enzyme dépend du niveau d'inclusion d'orge dans la ration, ceci étant évident pour les niveaux d'inclusion de 40 à 50%, mis à part l'âge des oiseaux. La réponse à l'enzyme fut aussi significativement plus marquée avec le type d'orge à deux rangs qu'avec celui à six rangs (Machan *et al.*, 1994). Ces chercheurs n'avaient trouvé aucune amélioration significative à six semaines d'âge du gain moyen

quotidien, de la consommation alimentaire et de l'indice de conversion des poulets de chair alimentés avec de l'orge à six rangs additionné d'enzymes.

D'autre part, nous remarquons que l'ajout d'enzymes à une ration d'orge ayant un faible contenu protéique a amélioré significativement la vitesse de croissance, l'ingestion alimentaire et la conversion alimentaire à un niveau équivalent ou supérieur à celui des rations d'orge ayant un contenu protéique élevé (Pettersson *et al.*, 1990a). Ces chercheurs avaient ainsi conclu qu'un ajout de la préparation d'enzymes appropriées permettrait de diminuer le taux de protéines de la ration sans affecter négativement le taux de croissance.

La disponibilité de l'énergie de l'orge non additionné d'enzymes dépend du cultivar d'orge, de sa viscosité, et de son contenu en P-glucanes. (Rotter *et al.*, 1990). L'énergie métabolisable apparente de l'orge entière disponible pour les poulets de chair fut augmenté avec l'ajout d'enzymes et avec l'augmentation du niveau d'incorporation de l'orge entière dans la ration (Friesen *et al.*, 1992; Rotter *et al.*, 1990). Une augmentation de l'utilisation de l'énergie après l'ajout de l'enzyme a causé une augmentation significative de l'énergie métabolisable apparente chez les poulets de chair (Vukic Vranjes et Wenk, 1995). Cependant, certains chercheurs n'avaient noté aucune différence significative dans l'énergie métabolisable vraie pour les rations alimentaires additionnées et non additionnées d'enzymes chez les poulets adultes (Rotter *et al.*, 1990). Ces poulets auraient développé leur tube digestif suffisamment afin de contrer les effets négatifs des B-glucanes (Rotter *et al.*, 1990).

L'addition d'enzymes à une ration contenant de l'orge entière permettra de diminuer la viscosité intestinale causée par la solubilisation des P-glucanes, de mieux répartir la population microbienne au niveau de l'intestin et d'augmenter le taux de passage des aliments (Almirall *et al.*, 1995; Bedford et Morgan, 1996; Francesch *et al.*, 1994; Hesselman *et al.*, 1981; Hesselman *et al.*, 1982; Wyatt et Queenborough, 1996). Par conséquent, la diminution de la viscosité intestinale permet la diminution de la couche d'eau, augmente la vitesse de diffusion des nutriments au niveau des villosités, et par conséquent, augmente la digestibilité des nutriments (Wang *et al.*, 1992; White *et al.*, 1983).

L'épaisseur de la couche est reliée à la viscosité du contenu intestinal. En effet, plus l'épaisseur de cette couche d'eau augmente, plus la vitesse de diffusion des nutriments diminue (White *et al.*, 1983).

L'enzyme, en réduisant la viscosité intestinale, augmente la digestibilité des matières organiques, des protéines et du gras dans tout le système digestif en général et au niveau de l'iléon plus spécifiquement (Almirall *et al.*, 1995; Pettersson *et al.*, 1991; Svihus *et al.*, 1997a;

Wyatt et Queenborough, 1996; Vukic Vranjes et Wenk. 1995). Il existe une corrélation négative entre la viscosité du petit intestin et la digestibilité des lipides et des protéines (Wang *et al.*, 1992). L'absorption apparente de l'amidon et la digestibilité de la vaine, de l'acide aspartique, de la thréonine, de la sérine, de l'acide glutamique, de l'alanine, de l'isoleucine, de la phénylalanine, de la lysine, de l'histidine, de la méthionine, de la cystine et de l'arginine furent améliorés avec l'addition d'enzymes (Almirdl *et al.* 1995; Edney *et al.*, 1989).

De plus, l'ajout d'enzyme influence le développement des organes et du tractus digestif chez les poulets de chair alimentés avec de l'orge entière (Brenes *et al.*- 1993). Le poids du gésier ainsi que celui du petit intestin par rapport au poids vif ont diminué avec une ration d'orge additionnée d'enzymes comparativement à une ration d'orge non additionnée d'enzymes (Svihus *et al.*, 1997~) Les enzymes avaient aussi tendance à diminuer le poids relatif du caecum, du colon, et du pancréas par rapport au poids vivant. Cependant les effets furent seulement significatifs pour le poids du pancréas (Svihus *et al.*. 1997~) La longueur des portions de l'intestin (duodénum, jéjunum, iléon et ceaca) ainsi que celle du pancréas et du foie furent aussi diminuées significativement en présence d'enzymes dans la ration (Brenes *et al.*, 1993; Viveros *et al.*. 1994). Ceci est probablement dû à une adaptation causée par la grande disponibilité et la grande digestibilité des nutriments (Brenes *et al.*, 1993).

CHAPITRE IV - Chapitre V : Les huiles essentielles

1. Définition

Selon la Pharmacopée Européenne (2011), une HE est un « produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement Définie, soit par entraînement par la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, ou par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition ». En pratique, il est possible d'obtenir une HE à partir de la plante entière ou bien seulement à partir de certaines parties de la plante telle les fleurs, bourgeons, grains, feuilles, bois, écorce, fruits, racines, tiges et brindilles (Brenes et Roura 2010).

On peut aujourd'hui ainsi obtenir plus de 3 000 sortes d'HE, dont 300 sont commercialisées à des fins très diverses (en pharmacie, parfumerie, cosmétique), comme produits phytosanitaires, comme sources d'arômes (pour masquer l'odeur des produits ménagers ou comme arôme alimentaire) et enfin en alimentation humaine et animale (Brenes et Roura 2010). Les propriétés antibactériennes de certaines d'entre elles peuvent également justifier leur utilisation.

Dans le domaine des productions animales, les HE sont principalement utilisées pour améliorer les performances zootechniques (vitesse de croissance, Indice de Consommation (IC), niveau de l'ingéré, digestibilité des aliments, statut sanitaire des animaux). De manière plus générale, les propriétés des HE identifiées jusqu'à présent sont extrêmement variées (Brenes et Roura 2010), au premier rang desquelles on citera les propriétés antibactériennes (Demir et al 2005) et antioxydants (Botsoglou et al 2003), les effets de stimulation du tractus digestif (Jang et al 2007), les propriétés antivirales (Giannenas et al 2003), antimycosiques (Soto Mendivil et al 2006), antiparasitaires (Pandey et al 2000), hypolipémiantes (Konjufca et al 1997), inhibitrices d'odeurs (Smith et al 2009) et insecticides (Konstantopoulou et al 1992). Ces propriétés seront largement évoquées dans la troisième partie de cet article.

2. Composition chimique des huiles essentielles : complexité et variabilité

Une HE est un mélange complexe d'un grand nombre de composés liposolubles différents (Dorman et Deans 2000). Différents types de classification existent. On peut considérer qu'elles sont composées de terpénoïdes, eux-mêmes classés en fonction de leur nombre d'unités isoprène (Loomis et Croteau 1980). Ainsi, on peut différencier les monoterpènes qui représentent la très grande majorité de ces molécules, les diterpènes, les

triterpènes, les tétraterpènes, les sesterpènes, les sesquiterpènes, et les polyterpènes. La structure de ces molécules peut être de type linéaire ou cyclique, et comporter des fonctions chimiques très différentes (éthanolique, aldéhydique, cétonique...). Par ailleurs, parmi ces nombreux composants, tous ne sont pas encore identifiés.

Une caractéristique remarquable des HE est la grande variabilité de leur teneur en principes actifs. Les conditions agronomiques comme la nature du sol, l'origine géographique, le climat, l'altitude influencent la composition des HE de la plante. Ainsi, pour une espèce donnée, plusieurs « chémotypes » (*i.e.* des variations de teneurs en métabolites secondaires) peuvent être distingués chimiquement. Les compositions varient également selon l'état physiologique de la plante, tel que son âge et sa maturité (stade et période de récolte), ainsi que l'organe de la plante utilisé (feuille, fleur, racine...) pour extraire l'HE.

A cette variabilité inhérente à la plante, s'ajoute une variabilité liée aux traitements de la plante après sa récolte (séchage, méthode d'extraction). La nature des solvants et les conditions d'extraction (concentration et composition des solvants d'extraction, temps de contact, température...) sélectionnent des composés variables et peuvent conduire des produits de niveau d'activité et de propriétés différents.

Tableau 5 . Composition chimique de l'huile essentielle de thym (%).

Molécule	Soto Mendivil <i>et al</i> (2006)	Porte et godoy (2007)	Imelouane <i>et al</i> (2009)	Martino <i>et al</i> (2009)
Thymol	16,6	44,7	0,24	48,9
Camphre	3	0	38,54	0,2
Bornéol	28,4	0,5	4,92	1,7
p-cymène	2,4	18,6	1,19	19
Camphène	6,9	0,3	17,19	0,8
- terpinène	1,7	16,5	0,55	4,1
-pinène	4,2	0,8	9,35	1,2
-humulène	6,4	0	0	0,3
1,8-cinéole	0,1	0	5,45	0,7
Carvacrol	5	2,4	0	3,5

La composition de ces HE peut ensuite varier selon les conditions de conservation du fait de la volatilité relative de certains composants dont les concentrations peuvent diminuer au cours du temps. Lors de la fabrication des aliments, des interactions avec des constituants des pré-mélanges ou de l'aliment, ou l'application de procédés technologiques (chauffage, agglomération...) peuvent conduire à la réduction de certains composants ou leur modification structurale. Pour protéger ces molécules, des procédés d'encapsulation peuvent être effectués. Pour chaque HE, les teneurs de plusieurs molécules sont liées entre elles. En effet, quand un composé (comme le thymol pour l'huile de thym) est présent en quantité importante, la concentration d'un autre composé chimique (comme le para-cymène) s'en trouve réduite et vice et versa. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces composés possèdent une voie métabolique semblable et, qu'en fonction de différents facteurs liés la variété, au pédoclimatique et au stade de récolte de la plante considérée, certains composés se substituent à d'autres.

A titre d'illustration, si les principes actifs principaux de l'HE de thym semblent être liés à la présence du thymol, du camphre et du Bor-néol, la concentration en thymol dans l'HE de thym varie de 0,24 (Imelouane *et al* 2009) à 48,9% (Porte et Godoy 2007). De même, parmi les principes actifs principaux de l'HE de romarin comme l' α -pinène, le camphre et le 1,8-cinéol, le 1,8-cinéol peut varier en concentration dans l'HE de 0 (Santoyo *et al* 2005) à 50% (Mathlouthi *et al* 2009). Enfin, pour l'HE d'origan, la concentration en carvacrol dans l'HE varie de 0,14 (Filippo d'Antuono *et al* 2000) à 77,4% (Azizi *et al* 2008).

Bien que tout à fait « naturelle », cette variabilité de la composition des HE est assez peu compatible avec l'obligation de garantir la composition des additifs au sens du règlement (CE) n° 2003/1831. C'est pourquoi les fabricants préfèrent utiliser des produits de synthèse dits - identiques naturels - pour assurer une composition plus standardisée et reproductible.

2 Les principales huiles essentielles utilisées en alimentation des volailles

En aviculture, la plupart des études portant sur les HE concernent le poulet de chair et, dans une moindre mesure, la poule pondeuse. Cependant, il existe également quelques références sur la caille et la dinde.

Pour un grand nombre de publications relatant les effets de mélanges d'HE, la nature, la composition et les doses ne sont pas renseignées. Ainsi, il est difficile, voire impossible, d'établir le lien entre les performances observées et la teneur de chaque composant du mélange, les phénomènes de synergie ou d'antagonisme entre leurs composés étant aujourd'hui encore peu décrits.

Les HE de thym, d'origan et de romarin sont les principales HE pour lesquelles des effets zootechniques sont les mieux et les plus fréquemment rapportés. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que leur commercialisation est assujettie au dépôt d'un dossier d'autorisation que l'industriel doit financièrement amortir (cf. § 1.3). Ainsi, placer sur le marché un produit en deçà de son prix d'intérêt, mais permettant au fabricant de s'assurer un retour sur investissement dans un délai raisonnable, impose de disposer d'une matière première à bas prix et en quantité disponible suffisante. Or, le thym, l'origan et le romarin sont trois des quatre plantes majeures entrant dans la fabrication des mélanges commercialisés sous le nom d'« Herbes de Provence ». Cette production importante destinée principalement à la consommation humaine permet aux fabricants d'HE d'accéder une matière première abondante. De plus, ces plantes sont très riches en HE et présentent des rendements d'extraction élevés (de l'ordre de 1%, contre moins de 0,5% pour d'autres plantes aromatiques). Ainsi, un additif ajouté à moins de 200 ppm dans l'aliment et contenant 10% d'HE permettrait, d'après les calculs, de proposer une matière active à un coût inférieur à 5 euros par tonne d'aliment traité, ce qui est la limite acceptable en industrie des aliments du bétail pour ce genre de produits.

3 Efficacité des huiles essentielles en alimentation des volailles

Comme pour l'effet d'autres alternatives aux antibiotiques, les HE présentent une grande variabilité d'effets biologiques rapportés. Ceci s'explique par la grande disparité des conditions dans lesquelles sont étudiés ces mélanges : souches et stades physiologiques des animaux, conditions d'élevage plus ou moins favorables, doses (Elhusseiny *et al* 1980) et périodes d'utilisation (démarrage, croissance-finition, ou tout au long de l'élevage) (Elhusseiny *et al* 1980, Tekeli *et al* 2006). A cela s'ajoute la complexité et la variabilité de leur composition comme cela a été indiqué précédemment. Ainsi, les trois types d'HE les plus utilisés en alimentation animale (thym, origan et romarin) présentent une grande variabilité d'effets zootechniques.

CHAPITRE IV - Chapitre VI : les huiles acides

1. Définition :

L'huile acide est un sous produit de raffinages des huiles brutes d'importation (soja, tournesol, colza, palme ...). Elle est décrite comme étant un produit de forme liquide, de couleur brune noirâtre et d'odeur caractéristique aux acides gras, elle est issue de la décomposition des pâtes de neutralisation des huiles brutes de Tournesol, Soja et des acides gras récupérés au cours de la désodorisation des huiles. Elle est utilisée pour la fabrication des détergeant, des peintures et des aliments de bétails. (Cevetal. 2012).

2. Importance des huiles

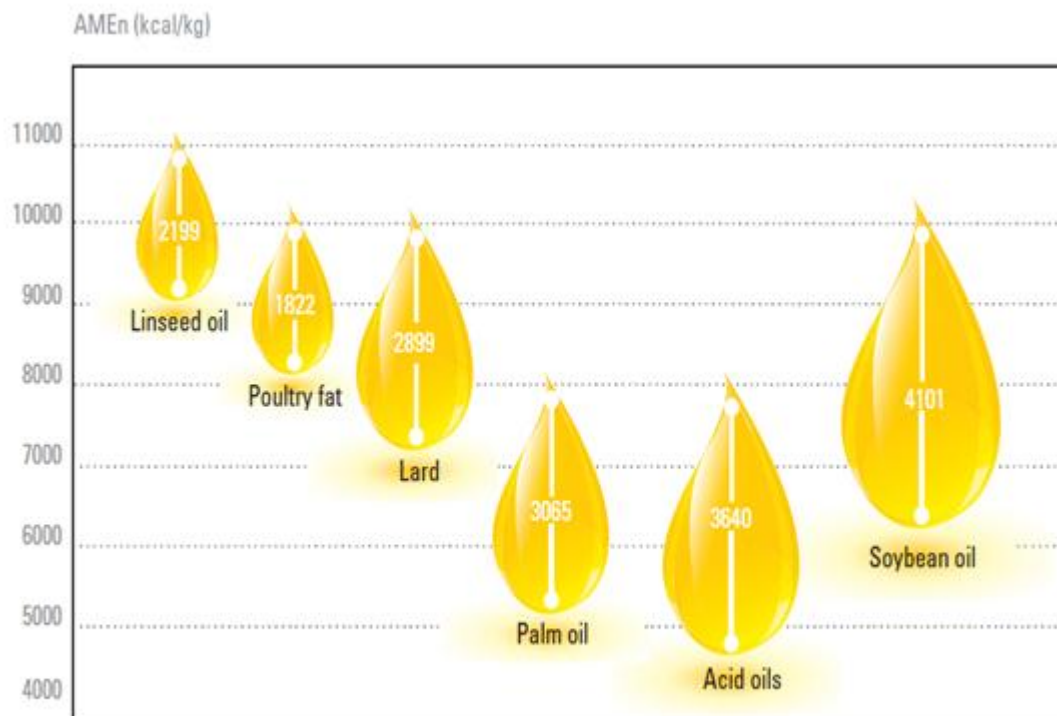
- L'incorporation des huiles dans les aliments de volailles a plusieurs avantages :
- Apport de l'énergie
- Améliore l'absorption des vitamines liposolubles (A , D3 , E , K)
- Diminue la pulvérulence par agglomération des particules fines en particulier les micronutriments (prémix, phosphate, calcaire...)
- Augmente l'efficacité de l'énergie consommée.
- Augmente la palatabilité (appétence) des rations.
- Réduit la vitesse de transit intestinal, ce qui permet une meilleure absorption des nutriments.

Il faut rappeler que l'incorporation des lipides dans l'aliment doit susciter beaucoup d'intention, vue la grande variabilité des valeurs énergétique entre les différentes huiles et à l'intérieur de Même groupe d'huile

De nombreuses analyses effectuées par des scientifiques de Kemin ont montré qu'il peut y avoir jusqu'à 30 pour cent de variations dans les valeurs de l'énergie métabolisable d'une même huile.

Figure 4. Variations de la valeur énergétique des huiles et des graisses.

(Données internes de Kemin TD-15-000105)



Explication : la structure complexe des huiles leur confère une instabilité chimique, et peut donner une grande variation des valeurs énergétiques. Pour les huiles acides, cette variation est de l'ordre de 3640 kcal/kg. On peut avoir une huile acide de 4600 à 8240 kcal/kg, ce qui complique l'estimation réelle des paramètres nutritionnels de la formule. Ce n'est vrai que pour une huile acide aux paramètres bien définis.

3. Les huiles utilisées en Algérie

3.1 Huile acide

L'ouverture du marché Algérien des corps gras aux opérateurs privés au début des années 90, détenu jusqu'alors par l'entreprise publique ENCG, a encouragé l'installation de complexes industriels de raffinage des huiles brutes d'importation (soja, tournesol, colza, palme...). L'huile acide est un sous-produit de ce processus agro-industriel.

3.2 Huile brute

L'huile brute est celle utilisée en alimentation humaine et elle est donc de bonne qualité nutritionnelle. Son prix élevé limite son utilisation.

3.3 Huile de friture

C'est l'huile surchauffée, brûlée et recyclée de restauration (friture, ships ...). Elle est d'une mauvaise qualité nutritionnelle suite aux oxydations successives que subit au cours de cuisson

4. Qualité des huiles acides

Le stockage des huiles acides à de mauvaises conditions (température élevée, lumière, bac ouverts) peut conduire à sa détérioration (rancissement).

La rancidité oxydative se produit en raison de l'oxydation des doubles liaisons dans les acides gras insaturés, formant des peroxydes ou des hydro-péroxydes qui polymérisent et se décomposent plus tard avec la production d'aldéhydes, de cétones et d'acides de bas poids moléculaire.

Le processus de rancissement oxydatif ou de peroxydation et le rancissement qui en résulte sont la principale cause de perte de qualité de l'ingrédient ou de l'aliment. Il affecte la saveur, l'arôme, la couleur et la texture, et diminue également la valeur nutritive.

De plus, les vitamines liposolubles sont détruites par ce processus, en particulier les vitamines A et E(5) (Shermer, 1990).

REFERENCES

- Alloui N. and Bennoune O. 2013.** Poultry production in Algeria: current situation and future
- Almirail, M., Francesch, M., Pérez-Vendrell. A.M. Brufau, J. and E. Esteve-arcia. 1995.** The differences in intestinal viscosity produced by barley and P-glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *J. 125: 947-955.*
- Alvarez-Olmos M. I. and R. A. Oberhelman ,2001.** Probiotic agents and infectious diseases: A modern perspective on a traditional therapy. *Clinical Infectious Diseases 32(11): 1567- 1576.*
- Arboleda C.R. and Lambio A.L. 2010.** Introduction. In Lambio A.L. *Poultry Production in the Tropics.* The university of Philippines press, pp. 1 -15.
- Asahara T, Nomoto K, Shimizu K, Watanuki M, Tanaka R. 2001.** Increased resistance of mice to *Salmonella enterica* serovar Typhimurium infection by synbiotic administration of bifidobacteria and transgalactosylated oligosaccharides. *J Appl Microbiol. 91: 985-996.*
- Aslam S. et Qazi J.I., 2010.** Isolation of acidophilic lactic acid bacteria antagonistic to microbial contaminants. *Pakistan. J. Zool. 42(5) : 567-573.*
- Audisio M. C, G. Oliver, et al. 2000.** "Protective effect of *Enterococcus faecium* J96, potential probiotic strain, on chicks infected with *Salmonella pullorum*." *Journal of Food Protection 63(10): 1333-1337.*
- Axelsson L., 2004.** Classification and physiology. *In : Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects ((Salminen S., Wright A.V. et Ouwehand A.), Marcel Dekker,. New York. 1-66.*
- Azizi A., Yan F., Honermeier B., 2008.** Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare L.*) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial Crops and Products, Allemagne, 29, 554-561.*
- Baiào NC, Lara LJC , 2005.** Oil and fat in broiler nutrition, *Braz jor.poult .sci, v7 n3 / 129-141*
- Bailey J.S., Blankenship L.C., Cox N.A., 1991.** *Poultry Sci. 70, 2433-2438.*
- Barbi JHT et Lucio CG .** qualité et digestibilité des huiles et graisse en alimentation des volailles. *Mexico p 159-177*
- Béal C., Marin M., Fontaine E., Fonseca F. et Obert J.P., 2008.** Production et conservation des ferments lactiques et probiotiques. *In : Bactéries lactiques, de la génétique aux ferments (Corrieu G. et Luquet F.M.). Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 661-765.*
- Beghoul S. 2006.** Bilan lésionnel des autopsies des volailles effectuées au niveau du laboratoire vétérinaire régional de Constantine. Mémoire de Magister en médecine vétérinaire. Université Mentouri, Constantine, p. 4.

- Benabdeljelil K. 2004.** Maghreb countries modernize. *World Poultry* 20 (5) : 10-13.
- Bennett, CD., Classen, H.L., and C. Riddell, 1995.** Live performance and health of broiler chickens fed diets diluted with whole or crumbled wheat. *Can. J. Anim. Sci.* 75 (4): 61 1-14.
- Bensalah F., Delorme C., Renault P., 2009.** Characterisation of thermotolerant cocci from indigenous flora of 'leben' in Algerian arid area and DNA identification of atypical *Lactococcus lactis* strains. *Curr Microbiol.* 59(2):139-46.
- Bergmark S.** Ecological control of the gastrointestinal tract : the role of probiotic flora.
- Bernardeau M, Gueguen M & Vernoux JP 2006)** Beneficial lactobacilli in food and feed: long-term use, biodiversity and proposals for specific and realistic safety assessments. *FEMS Microbiol Rev.* 2006 Jul;30(4):487-513.
- Bernardeau M, Vernoux JP Gueguen M., Smith DG, Corona-Barrera E., 2009.** Antagonistic activities of two *Lactobacillus* strains against *Brachyspira*. *Vet Microbiol.* 138(1-2); 184-190.
- Blain Jean-Claud, 2002** Introductions à la nutrition des animaux domestiques.
- Blaise M. L. 2012.** Guide pratique et scientifique pour l'élevage des poules pondeuses et des poulets de chair. Paris : L'Harmattan RDC p. 36.
- Borriello SP, Hammes WP, Holzapfel W, Marteau P, Schrezenmeir J, Vaara M, Valtonen. 2003.** Safety of probiotics that contain lactobacilli or bifidobacteria. *Clin Infect Dis.* 36: 775- 780.
- Botsoglou N.A., Fletouris D.J., Florou-Paneri P., Christaki E., Spais A.B., 2003.** Inhibition of lipid oxidation in long-term frozen stored chicken meat by dietary *oregano* essential oil and α -tocopheryl acetate supplementation. *Food Res. Int.*, 36, 207-213.
- Boual Z, KEMASSI A., MICHAUD P. et OULD EL HADJ M. D. 2011.** Caractérisation partielle des polysaccharides hydrosolubles des feuilles d'*Asphodelus tenuifolius* Cavan (Liliaceae): effet prébiotique des oligosaccharides issus de l'hydrolyse des polysaccharides. *Algerian journal of arid environment*, vol. 1: 52-60.
- Bouzar , Fm, Cerning, J. and Desmazeaud, M. 1995** Exopolysaccharide production in milk by *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgarius* CNRZ 1187 and by two colonial variants. *Journal of Dairy Science* 79, 205-211.
- Bouzar F., Cerning J. et Desmazeaud M., 1997.** Exopolysaccharide production and texture-promoting abilities of mixed strain starter cultures in yogurt production. *J. Dairy Sci.* 80 : 2310- 2317.
- Brake, J.D., Brmn, D.E., and C.A. Griffey, 1997.** Barley without enzyme supplementation in broiler grower and finisher diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 422-43

Brenes A., Roura E., 2010. Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 158, 1-14.

Brenes. B., Smith, M., Guenter, W., and R.R. Marquardt. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broilers chickens fed wheat- and barley-based diets. *Poultry Sci.* 72: 173 1- 1739.

Butel M-J, 2009 Prébiotiques et probiotiques. Lettre nutrition santé n°20 département « Périnatalité, Microbiologie, Médicament » Université Paris Descartes.

Butulo JE 2002 ,. Qualité des ingredient en alimentation animale

Campos C.A., Rodriguez O., Calo-Mata P., Prado M. et Barros-Velazquez J. 2006. Preliminary characterization of bacteriocins from *Lactococcus lactis*, *Enterococcus faecium* and *Enterococcus mundtii* strains isolated from turbot (*Psetta maxima*). *Food Res. Int.* 39 : 356-364.

Caramia G. 2004. Probiotics: from Metchnikoff to the current preventive and therapeutic possibilities. *Pediatr Med Chir.* 26(1):19-33.

Cerning J 1995. Production of exopolysaccharides by lactic acid bacteria and dairy propionibacteria. *Lait* 75: 463-472.

Cerning J 1995. Production of exopolysaccharides by lactic acid bacteria and dairy propionibacteria. *Lait* 75: 463-472.

Cerning J, Renard CMGC, Thibault JF, Bouillanne C, Landon M, Desmazeaud M, Topisirovic L 1994. Carbon source requirements for exopolysaccharide production by *Lactobacillus casei* CG11 and partial structure analysis of the polymer. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3914-3919

Cerning J., 1990. Exocellular polysaccharide produced by lactic acid bacteria. *Microbiol. Rev.* 87: 113-130.

Cerning J., Bouillane, C., Desmazeaud, M.J. and Landon, M. (1988) Exocellular polysaccharides production by *Streptococcus thennophilus*. *Biotechnology Letters* 10 , 255- 260.

Cerning J., Bouillane, Cm, Desmazeaud, M.J. and Landon, M. 1986 Isolation -and characterization of exocellular polysaccharides production by *Lactobacillus bulgaticus*. *Biotechnology Letters* 8, 625-628.

Cerning J., C. Bouillanne, M. Landon, and M. J. Desmazeaud. 1992. Isolation and characterization of exopolysaccharides from slime-forming mesophilic lactic acid bacteria. *J. Dairy Sci.* 75:692- 699.

Cevital , 2012, brochure d'analyse .publication interne

Chafai S. 2006. Effet de l'addition des probiotiques dans les régimes alimentaires sur les performances zootechnique du poulet de chair.

- Champagne C. P., N. J. Gardner, et al. 2005.** "Challenges in the addition of probiotic cultures to foods." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45(1): 61-84.
- Chang M. H., and Chen, T.C., 2003.** Reduction of broiler house malodor by direct feeding of a lactobacilli containing Probiotics. *Poult. Sc.*, 2 (5): 313-317.
- Chauviere G, Coconnier MH, Kerneis S, Fourniat J, Servin AL. 1992.** Adhesion of human *Lactobacillus acidophilus* strain LB to human enterocyte-like Caco-2 cells. *J Gen Microbiol.* 138: 1689-1696.
- Choct, M., and G. Annison, 1992b.** Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poultry Sci.* **33**: 82 **1-834**.
- Choct, M., and J. Annison, 1992a-** The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans *Br. J. Nutr.*, 67: 123-132.
- Chouder N. 2006.** Contribution à l'étude des flores intestinales des poulets conventionnels sains. Mémoire de Magister en médecine vétérinaire. Université Mentouri, Constantine, pp 2-3.
- Commission européenne, 2003. Règlement (CE) n° 1831/2003** du parlement européen et du conseil du 22 septembre 2003 relatif aux additifs destinés à l'alimentation des animaux.
- Commission européenne, 2008. Règlement (CE) n° 429/2008 de la commission du 25 avril 2008** relatif aux modalités d'application du règlement (CE) n° 1831/2003 du parlement européen et du conseil en ce qui concerne l'établissement et la présentation des demandes ainsi que l'évaluation et l'autorisation des additifs pour l'alimentation animale.
- Conway P. L., 2001.** Prebiotics and human health: The state-of-the-art and future perspectives. *Scand. J. Nutr.*, 45:13-21.
- Crociani J, Grill JP, Huppert M, Ballongue J. 1995.** Adhesion of different bifidobacteria strains to human enterocyte-like Caco-2 cells and comparison with in vivo study. *Lett Appl Microbiol.* 21: 146-148.
- Cummings J. H. and Kong, S. C., 2004.** Probiotics, prebiotics and antibiotics in inflammatory bowel disease *Inflammatory bowel disease_crossroads of microbes, epithelium and immune systems.* Wiley, Chichester (NovartisFoundation Symposium263): 99-114.
- Cummings J. H. and Kong, S. C., 2004.** Probiotics, prebiotics and antibiotics in inflammatory bowel disease *Inflammatory bowel disease_crossroads of microbes, epithelium and immune systems.* Wiley, Chichester (NovartisFoundation Symposium263): 99-114.
- De Vuyst L, Vanderveken F, Van De Ven S, Degeest B 1998.** Production by and isolation of exopolysaccharides from *Streptococcus thermophilus* grown in a milk medium and evidence for

their growth-associated biosynthesis. J. of Appl. Microbiol. 84: 1059- 1068.

Delteil L. 2012. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. 3^{ème} édition. Dijon :

Demir E., Sarica S., Ozcan M.A., Suicmez M., 2005. The use of natural feed additives as alternative to an antibiotic growth promoter in broiler diets. Arch. Geflugelk, 69, 110-116.

Deutsch SM, Falentin H, Dols-Lafargue M, Lapointe G, Roy D (2008) Capsular exopolysaccharide biosynthesis gene of *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*. International Journal of Food Microbiology 125: 252-258

Devie P., LE GOAZIOU A., DIVOL A., OLIVON M., GILBERT G., PETIT J., LAURENT S., 2006 les antibiotiques dans l'alimentation animale.

Dorman H.J.D., Deans S.G., 2000. Anti-microbial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J. Appl. Microbiol., 88, 308-316.

Dormont D., André F., Aumaitre L., Bontoux J., 2000 Rapport du groupe de travail « alimentation animale et sécurité sanitaire des aliments ». Agence Française de la Sécurité des Aliments.

Doyle, M.E., 2001. Alternatives to antibiotic use for growth promotion in animal husbandry. Food research Institute., 1-12.

Drogoul C., Gadoud R., Joseph M., Jussiau R., Lisberney M., Mangeol B., Montméas L., Tarrit A., 2004 Nutrition et alimentation des animaux d'élevage, Tome 1. Ed 2.

Dunne C, L. O'Mahony, et al. 2001. "In vitro selection criteria for probiotic bacteria of human origin: correlation with in vivo findings." American Journal of Clinical Nutrition 73(2): 386s-392s.

Edens F.W., 2003. An alternative for antibiotics use in poultry: Probiotics. Rev. Bras. Cienc. Avic., Vol.5. N°.2

Edney. M.J., Campbell, G-L. and HL. Classen, 1989. The effect of B-glucanase supplementation on nutrient digestibility and growth in broilers given diets containing barley, oat groats or wheat. Anim. Feed Sei. Tech., 25: 193-200.éducagri éditions, 1 : pp. 86-87.

Elhusseiny O., Ghazalah A.A., Mehrez A.Z., 1980. Response of broilers to dietary self-selection. Poult. Sci., 59, 1603-1604.

Evans LR and Linker M : Production and characterization of the slime polysaccharides of *pseudomonas aeruginosa*. J Bact, 116:915-924, 1973.

FAO 2004 Agriculture mondiale : horizon 2015-2030

FAO/WHO 2002. Joint working group report on guidelines for the evaluation of probiotics in food. London, Ontario, Canada.

FAO/WHO 2004. Health and Nutritional Properties of Probiotics in food including powder Milk with Live Lactic acid Bacteria.

Fenardji F. 1990. Organisation, performances et avenir de la production avicole en Algérie. In : Sauveur B. (ed.). L'aviculture en Méditerranée. Montpellier : CIHEAM, p. 253-261.

Ferket P. R., Parks,C. W., and Grimes, J. L., 2002. Benefits of dietary antibiotic and mannanoligosaccharide supplementation for poultry. Department of Poultry Science. North Carolina State University

Ferket, P. R., Parks,C. W., and Grimes, J. L., 2002. Benefits of dietary antibiotic and mannanoligosaccharide supplementation for poultry. Department of Poultry Science. North Carolina State University.

Ferket, P. R., van Heugten, E., van Kempen, T. A., and Angel, R., 2002. Nutritional Strategies to Reduce Environmental Emissions from Non-Ruminants. J. Anim. Sci., 80: 168-182.

Filippo d'Antuono L., Galletti G.C., Bocchini P., 2000. Variability of essential oil content and composition of *Origanum vulgare L.* populations from a North Mediterranean Area (Liguria Region, Northern Italy). An. Botany, 86, 471-478.

Fooks L.J. and Gibson, G. R., 2002. Probiotics as modulators of the gut flora. Brit. J. Nutr., 88, suppl. 1: 39-49.

Fournier A. 2005. L'élevage des poules. édition artémis, p. 6.

Friesen, O.D., Guenter, W., Marquardt, R.R., and B.A. Rotter, 1992. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick. Poultry Sci. 71 : 1710-1721.

Fukata T., Sasai, K.,Amiyamoto, T. and Baba, E. 1999 .Inhibitory effects of competitive exclusion and fructo-oligosaccharide, singly and in combination, on Salmonella colonization of chicks. Journal of Food Protection 62: 229-233.

Gadoud R., Joseph M., Jussiau R., Lisberney M., Mangeol B., Montméas L., Tarrit A. ,1992 Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Ed. Foucher

Gaggiã F., P. Mattarelli, et al. "Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production." International Journal of Food Microbiology In Press, Corrected Proof.

Gaggiã F., P. Mattarelli, et al. "Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production." International Journal of Food Microbiology In Press, Corrected Proof.

Gagnon M. 2007. Rôle des probiotiques lors d'infection entériques d'origine bactérienne et virale : analyses in vitro et études in vivo chez des modèles murins. Département des sciences des aliments et de nutrition Québec. Université Laval. Ph.D: 155.

Giannenas I., Florou-Paneri P., Papazahari-adou M., Christaki E., Botsoglou N.A., Spais A.B., 2003. Effect of dietary supplementation with oregano essential oil on performance of broilers after experimental infection with *Eimeria Tenella*. *Arch. Anim. Nutr.*, 57, 99-106.

Gibson et Roberfroid, 1995 probiotiques, prébiotiques, symbiotiques

Gibson G. R., and Fuller, R., 2000. Aspects of in vitro and in vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. *J. Nutr.*, 130: 391–395.

Gibson G. R., Probert, M, H., Loo, V, J., Rastall, A, R., and Roberfroid, B, M., 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews.*, 17: 259–275.

Gibson G.R., ROBERFROID M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota : introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.*, 1995, 125 : 1401-12.

Gibson G.R., Roberfroid, M.B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr.*, 125(6): 1401 1412.

Graber M, André MorinCorresponding author contact information, **Francis Duchiron, Pierre F. Monsan,** Microbial polysaccharides containing 6-deoxysugars, 1988, *Enzyme and Microbial Technology* Volume 10, Issue 4, , Pages 198–206

Grajek, W., Olejnik, A., and Sip, A., 2005. Probiotics, prebiotics and antioxidants as functional foods. *ACTA Biochimica. Polonica.*, Vol. 52 N°. 3: 665–671.

Grobben GJ , Sikkema J , Smith MR , De Bont JAM 1995. Production of extracellular polysaccharides by *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus* NCFB 2772 grown in a chemically defined medium. *J. Appl. Bacteriol* 79: 103-107

Gruter M, Leeflang BR, Kuiper J, Kamerling JP, Vliegthart JFG. 1993. Structural characterization of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* rr grown in skimmed milk. *Carbohydr. Res.* 239: 209-226

Gueimonde M. and S. Salminen 2006. "New methods for selecting and evaluating probiotics." *Digestive and Liver Disease*(38): S242-S247.

Guide UE, 2007 Guide Union Européen de bonnes pratiques pour la fabrication d'additifs et de prémélange pour l'alimentation animale. Vol 126.

Gunal, M., Yakar, S., Forbes, J. M., 2004. Performance and Some digesta parameters of broiler chickens given low or high viscosity wheat-based diets with or without enzyme supplementation. *Turk. J. Vet. Anim., Sci.* 28: 323-327. *Gut*, 1998, 42 : 2-7.

Haddie J.M., 1986. Other streptococci. *In* : *Bergey's manual of systematic bacteriology* (Sneath P.H.A., Mair N.S., Sharpe M.E., Holt J.G.W. et Baltimore W.). 1 : 1070.

- Havenaar R, and Huis in't Veld JHJ. 1992.** Selection of strains for probiotic use. In: Fuller R (Ed). Probiotics, the scientific basis. Chapman & Hall, pp.209-224.
- Herpol C. 1964.** Activité protéolytique de l'appareil gastrique d'oiseaux granivores et carnivores. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* 4 (3) : 239-244.
- Hesselman, K., and P. Han, 1986.** Effect of B-glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed barley of low-or high-viscosity. *Anim. Feed Sci. Tech.* 15: 83-93.
- Hesselman, K., Elwinger, K., and S. Thomke. 1982.** Influence of increasing levels of B-glucanase on the productive value of barley diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 7: 35
- Higgins S. E., J. P. Higgins, et al. 2008.** "Evaluation of a Lactobacillus-Based Probiotic Culture for the Reduction of Salmonella Enteritidis in Neonatal Broiler Chicks." *Poultry Science* 87(1)
- Ho T.N.T., N. Tuan N., Deschamps A. et Caubet R., 2007.** Isolation and identification of lactic acid bacteria (LAB) of the Nem Chua fermented meat product of Vietnam. *Int. Workshop on Food Safety and Processing Technology.* 134-142.
- Holzappel WH, and Schillinger U. 2002.** Introduction to pre- and probiotics. *Int.* 35: 109-116.
- Ioannis .M., 2017** utilisation des huiles , 8 conseils Watt
- Ivanković S., Kralik, G., Milaković, Z., Bogut, I., 1999.** Effect of the probiotic vebac. *Acta. Agraria. Kaposvariensis.*, Vol 3. No 2: 353-360.
- Jang I.S., Ko Y.H., Kang S.Y., Lee C.Y., 2007.** Effect of a commercial essential oil on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal microflora population in broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 134, 304-315.
- Jin I. Z., Ho, Y. W., Abdullah, N., and Jalaludin, S., 2000.** Digestive and bacterial enzyme activities in broilers fed diets supplemented with lactobacillus cultures. *Poult. Sci.*, 79: 886- 891.
- Jin L.Z., Ho Y.W., Abdullah N., Jalaludin S., 1997.** Probiotics in poultry : modes of action. *World's Poult. Sci. J.*, 53 : 351-368.
- Kemin , 2017 ,** .publication interne .
- Klaenhammer T. R. and M. J. Kullen 1999.** "Selection and design of probiotics." *International Journal of Food Microbiology* 50(1 -2): 45-57.
- Konstantopoulou I., Vassilopoulou L., Mavragani-Tsipidou P., Scouras Z.G., 1992.** Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from eleven Greek aromatic plants on *Drosophila auraria*. *Experientia*, 48, 616-619.
- Kralik G., Milaković, Z., Ivanković, S., 2004.** Effect of probiotic supplementation on the performance and the composition of the intestinal microflora in broilers. *Acta. Agraria*

Kuçukersan K., Tuncer, S.D., Sanli, Y., Midilli, M., Goncuoglu, E., Kuçukersan, S., and Tan, H., 2002. The effects of dietary stabilized rumen extract (SRE) and virginiamycine on performance and carcass yield of broilers. *Méd. Vét.*, 153(11) : 723-726.

La Ragione RM, Narbad A, Gasson MJ & Woodward MJ 2004) *In vivo* characterization of *Lactobacillus johnsonii* F19785 for use as a defined competitive exclusion agent against bacterial pathogens in poultry. *Lett Appl Microbiol* 38: 197-205.

Lacroix C, and Yildirim S. 2007. Fermentation technologies for the production of probiotics with high viability and functionality. *Curr Opin Biotechnol.* 18: 176-183.

Lactobacillus sp. TGR-2 isolated from Growol. *Indonesian. Food Nutr. Prog.* 3(2) : 29-34.

Larbier M. et Leclercq B. 1992. Nutrition et alimentation des volailles. INRA editions. p 81-82.

Larkin TA, Astheimer LB, Price WE. 2007. Dietary combination of soy with a probiotic or prebiotic food significantly reduces total and LDL cholesterol in mildly hypercholesterolaemic subjects. *Eur J Clin Nutr.*

Lee K.W., Lee, S. K. and Lee, B. D.; 2006. *Aspergillus oryzae* as Probiotic in Poultry. *Poult. Sci.*, 5 (1): 01-03.

Leeson S et Summer JD Nutrition of the chicken .403 pp

Liévin V, Peiffer I, Hudault S, Rochat F, Brassart D, Neeser JR, Servin AL. 2000. Bifidobacterium strains from resident infant human gastrointestinal microflora exert antimicrobial activity. *Gut.*

Loomis W.D., Croteau R., 1980. Biochemistry of terpenoids. The biochemistry of plants. A comprehensive treatise. Lipids: structure and function, 4, 363-418.

MacLean, J., Webster, A.B., and D.M. Anderson, 1994. Effect of 2-row or 6-row barley and a commercial enzyme preparation on growing-finishing broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 511-517.

Manca De Nadra MC , Strasser De Saad AM , Pesce de Ruiz Holgado AA and Olivier G 1985. Extracellular polysaccharide production by *Lactobacillus bulgaricus* CRL 420. *Milchwissenschaft* 40: 409-411.

Mantovani A, Maranghi F, Purificato I, Macrì A. 2006. Assessment of feed additives and contaminants: an essential component of food safety. *Ann Ist Super Sanita.* 42(4):427-32.

Marteau P, Seksik P, Lepage P, Dore J. 2004. Cellular and physiological effects of probiotics and prebiotics. *Mini Rev Med Chem* 4: 889-896

Marteau P. 2006. Living drugs for gastrointestinal diseases: the case for probiotics. *Dig Dis.* 24: 137-147.

Mathlouthi N., Bouzaienne T., Oueslati I., Recoquillay F., Hamdi M., Bergaoui R., 2009. Effet de deux préparations d'huiles essentielles sur la croissance des bactéries *in vitro* et les performances du poulet de chair. INRA . 8èmes Journ. Rech. Avicole, INRA St Malo, 454-458
Microbiology 65(11): 4981-4986.

Muramatsu et al ,2013. Factors that affect pellet quality .Areview joe.agri.sci and tech 717-722.

Muramatsu et al ,2013.impact of particul size ,thermel processing,fat inclusion , and moisture addition on pellet quality and protein solubility of broiler feeds,Jor .agri .sci . thec A3 1017-1028

Murphy J., 2003 Chercher des solutions de rechange aux additifs pour l'alimentation du bétail,

Soltner D., 1999 Alimentation des animaux domestiques. Tome 1, 21^{ème} ed.

Murry A.C., A Hintonjr, J. R and Morrison, H., 2004. Inhibition of growth of escherichia coli, salmonella typhimurium and clostridia on chicken fee media by lactobacillus salivarius and lactobacillus plantarum perfringens. International journal of poultry science., 3 (9): 603- 607.

Mutus R, Kocabagli N, Alp M, Acar N, Eren M, Gezen SS. 2006. The effect of dietary probiotic supplementation on tibial bone characteristics and strength in broilers. *Poult Sci.* 85(9):1621-5

Nakajima H, Toyoda S, Toba T, Itoh T, Mukai T, Kitazawa H, Adachi S 1990. A novel phosphopolysaccharide from slime-forming *Lactococcus lactis* ssp.cremoris SBT 0495. *J. Dairy Sci.* 73: 1472- 1477.

Ouwehand A. C, S. Salminen, et al. 2002. "Probiotics: an overview of beneficial effects."
Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology 82(1-4): 279-289.

Oyarzabal O. A., Conner, D. E. and Blevins, W.T., 1995. Fructooligosaccharide utilization by salmonella and potential direct-fed-microbial bacteria for Poultry. *J. FoodProt.*, 58(2): 92- 96.

Pandey R., Kalra A., Tandon S., Mehrotra N., Singh H.N., Kumar S., 2000. Essential oil compounds as potent source of nematicidal compounds. *J. Phytopathol.*, 148, 501-502.

Pascual M., M. Hugas, et al. 1999. "Lactobacillus salivarius CTC2197 prevents Salmonella enteritidis colonization in chickens." *Applied and Environmental*

Petit C, Grill JP, Maazouzi N, Marczak R 1991. Regulation of polysaccharide formation by *Streptococcus thermophilus* in batch and fedbatch cultures. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*

Petterson, D., Graham, H., and P. h a n , 1990a. Enzyme supplementation of low or high cmde protein concentration diets for broiler chickens. *Anirn. Prod.* 5 1 : 399-404.

Pettesson, D., Graham, H.and P. Aman, 1991. The nutritive value for broiler chickens of pelleting and enzyme supplementation of a diet containing barley, wheat and rye. **Anim. Feed Sci- Tech.**, 33: 1- 14.

Pharmacopée Européenne, 2011. 7ème édition du 1er Juillet 2011 « Direction Européenne de la qualité du médicament et soins de santé » European directorate for the quality of medicine and health care.

Pilet M.F., Magras C., Federighi M., 2005. Bactéries lactiques. In : bactériologie alimentaire (Federighi M.). 2e Ed., Economica. Paris. 219-240.

Porte A., Godoy R., 2007. Chemical composition of *Thymus vulgaris* L. (thyme) essential oil from the Rio de Janeiro State (Brazil). J. Serbian Chem. Soc., 73, 307-310.

prospects. *World's Poultry Science Journal* 69 : 613-620.

R., 2002. Feed additives to control Salmonella in poultry. *World's Poultry Science Journal*,

RASTALL A., MAITIN V. Prebiotics and synbiotics : towards the next generation. *Current Opinion in biotechnology*, 2002, 13 : 490-6.

Revington, B., 2002. Feeding poultry in the post-antibiotic era. Multi-State Poultry Meeting. <http://ag.ansc.purdue.edu/poultry/multistate/multi-state.pdf>.

Rolfe R. D., 2000. The Role of Probiotic Cultures in the Control of Gastrointestinal Health. *J. Nutr.*, 130: 396–402.

Rondelli et al 2004 ., effect of different dietary lipids on the fatty acid composition of broiler abdominal fat

Rotz , C. A., 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Anim. Sci.*, 82: 119–137.

Ruas-Madiedo P., Hugenholtz, J. and Zoon, P. 2002 An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Inter. Dairy J.*, 12, 163-171.

Saarela M., G. Mogensen, et al. 2000. "Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties." *Journal of Biotechnology* 84(3): 197-215.

Sanchez, D., Ganfornina, M.D., Torres-Schumann, S., Speese, S.D., Lora, J.M., Bastiani, M.J. 2000: « Characterization of two novel lipocalins expressed in the *Drosophila* embryonic nervous system ». *Int. J. Dev. Biol.* 44(4): 349—359.

Sanders 2003. Probiotics: considerations for human health. *Nutr Rev.* 61: 91-99.

Santoyo S., Cavero S., Jaime L., Ibañez E., Señoráns F.J., Reglero G., 2005. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil obtained via supercritical fluid extraction. *Food Protect.*, 68, 790-795.

Scanes C. 2011. Fundamentals of Animal Science. Delmar Cengage Learning, p. 201.

Schrezenmeir J and De Vrese, M., 2001. Probiotics, prebiotics, and synbiotics approaching a definition. *Am. J. Clin. Nutr.*, 73(2): 361-364.

Schrezenmeir J and De Vrese, M., 2001. Probiotics, prebiotics, and synbiotics approaching a definition. *Am. J. Clin. Nutr.*, 73(2): 361-364.

Servin AL. 2004. Antagonistic activities of lactobacilli and bifidobacteria against microbial pathogens. *FEMS Microbiol Rev.* 28: 405-440.

Shermer,1990. Effects of oxydation on the quality of ingredients feed of poultry Maryland EUA

Smith T.J., George D.R., Sparagano O., Seal C., Shiel R.S., Guy J.H., 2009. A pilot study into the chemical and sensorial effect of thyme and pennyroyal essential oil on hens eggs. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 44, 1836-1842.

Sokovic M.D., Vukojevic J., Marin P.D., Brkic D.D., Vajs V., Van Griensven L.J.L.D., 2009. Chemical composition of essential oils of thymus and mentha species and their anti-fungal activities. *Molecules*, 14, 238-249.

Soto Mendivil E.A., Moreno Rodriguez J.F., Espinosa M.E., Garcia Fajardo J.A., Obledo Vazquez E.N., 2006. Chemical composition and fungicidal activity of the essential oil of thymus vulgaris against *alternaria citri*. *e-Gnosis [on line]*, 4, 1-7.

Stark .C. et Ferket .P 1994 ,. Conditionning ,pelleting and cooling NC State university .pdf

Surdeau P. et Henaff R. 1979. La production du poulet pp. 29-33.

Svihus, B. Hentad, O., Newman, C.W.. and R.K. Newman, 1997b. Cornparison of performance and intestinal charcateristics of broiler chickens fed on diets containing whole, rolled or ground barley. *Br. Poultry Sci.* **38** (4): 524-529.

Svihus, B., Herstad, O., and C.W. Newman, 1997a. Effect of high-moisture storage of barley, oats, and wheat on chernical content and nutritional value for broiler chickens. *Acta A@. Scand. Sect. A, Animal Sci.* 47: 39-47.

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

Synpa, 2008 alimentation et attentes sociales, La contribution des additifs et des ingrédients.

Tannock G. W. 1997. "Probiotic properties of lactic-acid bacteria: Plenty of scope for fundamental R&D." *Trends in Biotechnology* 15(7): 270-274.

Tekeli A., Celik L., Kutlu H. R., Görgülü M., 2006. Effect of dietary supplemental plant extracts on performance, carcass characteris-tics, digestive system development, intestinal microflora and some blood parameters of broiler chicks. *EPC 2006 - 12th Eur. Poult. Conf.*, Verona, Italy, 10-14 September, 4-8.

Temim S. , Hammami N. et Bedran L. 2009. Evaluation De l'Efficacité Du Probiotique *Pediococcus acidilactici* sur Les performances de croissance, la morphométrie et la Flore

lactobacillaire de l'intestin du poulet de chair. *European Journal of Scientific Research*, Vol.38 N

Titiek F.D., Endang S.R., Djoko W. et Slamet S., 1996. Antimicrobial substance produced by

Toma M. M., Raipulis, J., Kalnina, I. and Rutkis, R., 2005. Effect of Probiotic Yeast on Genotoxicity. *Food Technol. Biotechnol.*, 43 (3): 301-305.

Torres-Rodriguez A, Donoghue AM, Donoghue DJ, Barton JT, Tellez G, Hargis BM. 2007. Performance and condemnation rate analysis of commercial turkey flocks treated with a *Lactobacillus* spp.-based probiotic. *Poult Sci.* 86(3):444-6.

Tuomola E, Crittenden R, Playne M, Isolauri E, Salminen S. 2001. Quality assurance criteria for probiotic bacteria. *Am J Clin Nutr.* 73: 393S-398S.

Van den Berg DJC, Robijn GW, Janssen AC, Giuseppin MLF, Vreeker R, Kamerling JP, Vliegthart JFG, Ledebouer AM, Verrips CT 1995. Production of a novel extracellular polysaccharide by *Lactobacillus sake* 0-1 and characterization of the polysaccharide. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 2840-2844.

Van Eekeren N., Maas A., Saatkamp H.W. and Verschuur M.2006. L'élevage des poules à petite échelle. *Série Agrodok*, 4, pp. 6-8.

Hooyberghs J., Haesebrouck F., Ducatelle R., 2005. Salmonella dans la viande de volaille et dans les oeufs : un danger pour le consommateur qui demande la mise en place d'un programme de lutte efficace. *Ann. Méd. Vét.*, 149: 34-48.

Van Immerseel F., De Buck j., Boyen F., Pasmans F., Bertrand S., Collard J.M., Saegerman C., Hooyberghs J., Haesebrouck F., Ducatelle R., 2005. Salmonella dans la viande de volaille et dans les oeufs : un danger pour le consommateur qui demande la mise en place d'un programme de lutte efficace. *Ann. Méd. Vét.*, 149: 34-48.

Van Immerseel F., De Buck, J., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., 2003. Stratégies nutritionnelles pour réduire les agents pathogènes chez la volaille. Cinquièmes journées de la recherche avicole. Tours.

Van Immerseel F., De Buck, J., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., 2003. Stratégies nutritionnelles pour réduire les agents pathogènes chez la volaille. Cinquièmes journées de la recherche avicole. Tours.

Van Immerseel, F Cauwerts, K, Devriese, L.A, Haesebrouck, F, and Ducatelle, R., 2002. Feed additives to control Salmonella in poultry. *World's Poultry Science Journal.*, 58: 501-51.

Villate D. 2001. Maladies des volailles : manuel pratique. 2^{ème} édition. France agricole.

Wang. L., Newman, R.K., Newman, C.W., and P.J. Hofer, 1992. Barley P-glucan alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chicks. *122: 2292-2297.*

Weurding R., H. Enting, et al. 2003. "The relation between starch digestion rate and amino acid level for broiler chickens." *Poultry Science* 82(2): 279-284.

Wikipedia http://fr.wikipedia.org/wiki/Additif_alimentaire, 20/03/2011.

Willard M.D., Simpson R.B., Delles E.K., Cohen N.D., Fossum T.W., Kolp D.L., Reinhard G., 1994a Effects of dietary supplementation of fructo-oligosaccharides on small intestinal bacterial overgrowth in dogs, *Am. J. Vet. Res.*, 55, 654 - 9

Wood, M. T., 1998. The use of EM in the poultry industry. Sustainable community development, L. L. C

Yildirim Z, and Johnson MG. 1998. Characterization and antimicrobial spectrum of bifidocin B, a bacteriocin produced by *Bifidobacterium bifidum* NCFB 1454. *J Food Prot.* 61: 47- 51.

Yoruk MA, Gul M, Hayirli A & Macit M 2004 The effects of supplementation of humate and probiotic on egg production and quality parameters during the late laying period in hens. *Poult Sci* 83: 84-88.

Yoruk MA, Gul M, Hayirli A & Macit M 2004 The effects of supplementation of humate and probiotic on egg production and quality parameters during the late laying period in hens. *Poult Sci* 83: 84-88.

Zacconi C., Svolari, Fraioli, G.D., Sarra, P.G., 1999. Colonisation of chicken intestinal tract by *Lactobacillus salivarius* A23 strain. *Annali di Microbiologia ed Enzimologia.*, 49:103-115.

Zacconi C., Svolari, Fraioli, G.D., Sarra, P.G., 1999. Colonisation of chicken intestinal tract by *Lactobacillus salivarius* A23 strain. *Annali di Microbiologia ed Enzimologia.*, 49:103-115.

Zhang, Z., Marquardt, R. R., and Guenter, W., 2000. Evaluating the Efficacy of Enzyme Preparations and Predicting the Performance of Leghorn Chicks Fed Rye-Based Diets with a Dietary Viscosity Assay. *Poult. Sci.*, 79: 1158–1167.