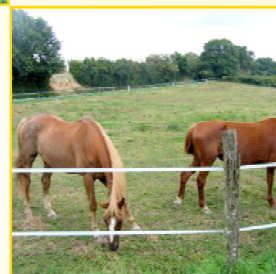




iteipmai

institut technique interprofessionnel des plantes
à parfum, médicinales et aromatiques



UTILISATION DES PLANTES MÉDICINALES ET AROMATIQUES EN ALIMENTATION ANIMALE

F 49120 CHEMILLÉ - tél. 02 41 30 30 79 - fax 02 41 30 59 48
e-mail : iteipmai@iteipmai.asso.fr - www.iteipmai.asso.fr

PREFACE

La suppression, au sein de la Communauté européenne depuis janvier 2006, de l'utilisation des antibiotiques comme facteurs de croissance dans l'alimentation animale, pousse le monde de l'élevage à rechercher des solutions alternatives. Parmi celles-ci, l'emploi des plantes médicinales ou aromatiques et de leurs extraits suscite beaucoup d'espoirs et de nombreuses études. Il était donc nécessaire de faire un état des lieux des connaissances sur les effets biologiques et zootechniques des plantes et extraits de plantes lorsqu'ils sont incorporés dans l'alimentation animale.

C'est l'objectif premier de cette synthèse bibliographique qui va s'attacher à présenter le plus clairement possible de nombreux résultats sur ce sujet ainsi que les réflexions qu'ils suscitent.

La démarche a consisté à consulter la documentation scientifique la plus récente (plus de cent articles) sur les usages des plantes médicinales et aromatiques dans l'alimentation animale.

Dans une première partie, nous rappelons quelques notions zootechniques et biologiques de base pour faciliter la compréhension et l'assimilation des nombreux résultats scientifiques, parfois très techniques, proposés dans cette synthèse bibliographique. Une brève description des différentes familles de substances d'origine végétales étudiées est également intégrée à cette partie introductive.

Dans la suite, les résultats scientifiques récoltés seront exposés sous deux angles différents, traités dans deux parties distinctes, la première présentant les effets biologiques induits par l'incorporation de plantes et de leurs extraits dans l'alimentation animale ; la seconde présentant le potentiel de chacune des classes phytochimiques recensées. Cette démarche a été choisie pour permettre au lecteur de chercher rapidement l'information dont il a besoin sans pour autant être préjudiciable à une lecture plus globale du document. Notons également la présence d'un index des noms communs et des noms scientifiques des plantes citées dans ce document, aux pages 81 et 83.

Si le potentiel des plantes et extraits ne fait guère de doutes, les résultats exposés sont souvent contradictoires, ce qui rend difficile des préconisations d'emploi sans études complémentaires.

Ce travail a été réalisé par Vincent BOCHU, ingénieur de l'iteipmai, avec l'appui de la cellule prospective de l'institut.

TABLE DES MATIERES

PREFACE	3
TABLE DES MATIERES	5
INTRODUCTION.....	9
1. Nutrition et alimentation chez les polygastriques (exemple de la vache laitière)	11
1.1. La digestion (d'après Wattiaux et Howard, 2006)	11
1.2. Le métabolisme des hydrates de carbone (d'après Wattiaux et Armentano, 2006)	11
1.3. Le métabolisme des lipides (d'après Wattiaux et Grummer, 2006)	13
1.4. Le métabolisme protéique (d'après Wattiaux, 2006).....	14
1.5. Les principales différences par rapport aux mono-gastriques.....	15
2. Les microorganismes rencontrés chez les animaux.....	17
2.1. Les protozoaires (d'après Morin, 2003)	17
2.2. Les bactéries	17
3. Les principales classes phytochimiques	21
3.1. Les huiles essentielles	21
3.2. Les tanins	21
3.3. Les saponines.....	22
4. Les effets liés à l'utilisation des plantes dans l'alimentation animale	23
4.1. Activité sur les microorganismes et les parasites	23
4.1.1. Huiles essentielles et oléorésines	23
4.1.2. Tanins	24
4.1.3. Saponines	24
4.2. Métabolisme de l'azote : assimilation des protéines et croissance	24
4.2.1. Huiles essentielles et oléorésines	24
4.2.2. Tanins	25
4.2.3. Saponines	25
4.3. Métabolisme de l'azote : rejet d'ammoniaque	25
4.3.1. Huiles essentielles et oléorésines	25
4.3.2. Tanins	25
4.3.3. Saponines	25
4.4. Rejet de carbone (sous forme de CO ₂ , CH ₄ , ...).....	26
4.4.1. Huiles essentielles et huiles fixes	26

4.4.2. Tanins	26
4.4.3. Saponines	26
4.5. Assimilation des oligo-éléments, sels, eau	26
4.5.1. Huiles essentielles	26
4.5.2. Tanins	26
4.5.3. Saponines	26
4.6. Prévention des pathologies non parasitaires.....	26
4.6.1. Athérosclérose	26
4.6.2. Météorisation spumeuse (« Frothy bloat »)	27
4.7. Immunostimulation.....	27
4.8. Action sur la prise alimentaire	27
4.8.1. Huiles essentielles et oléorésines	27
4.8.2. Tanins	27
4.8.3. Saponines	27
4.9. Action sur la reproduction et la lactation.....	27
4.9.1. Huile essentielles	27
4.9.2. Tanins	27
4.9.3. Saponines	28
4.10. Action sur les produits dérivés : lait, viande, œuf et laine.....	28
4.10.1. Huiles essentielles	28
4.10.2. Tanins.....	28
4.10.3. Saponines.....	28
4.10.4. Tocophérols et acide α -linoléique.....	28
4.10.5. La qualité sensorielles des produits laitiers et carnés.....	28
5. Sous-produits de l'industrie de la transformation et plantes non conventionnelles utilisés comme fourrage alternatif	31
5.1. Sous-produits de l'industrie de la transformation.....	31
5.2. Plantes non conventionnelles.....	32
6. Huiles essentielles et extraits divers	33
6.1. Effet sur la fermentation microbienne du rumen.....	33
6.2. Réduction de l'émission des gaz à effet de serre et réduction des pathogènes dans les déchets d'origine animale	37
6.3. Effet sur la production laitière et la composition du lait.....	38
6.4. Effet sur la performance et la qualité des porcs	39
6.5. Effet sur la croissance et le métabolisme des poulets	40
6.6. Lutte contre l'athérosclérose du lapin.....	43
6.7. Lutte contre les pathogènes des volailles et alternatives aux antibiotiques	44
6.7.1. Lutte contre Clostridium perfringens.....	44

6.7.2. Lutte contre la coccidiose du poulet	45
6.7.3. Lutte contre les autres pathogènes	46
7. Les Polyphénols : tanins et flavonoïdes	49
7.1. Effet sur la croissance, le métabolisme et la flore microbienne des ruminants (effets négatifs et bénéfiques)	49
7.2. Lutte contre les parasites	52
7.3. Réduction de l'émission de gaz à effet de serre	54
7.4. Lutte contre la météorisation spumeuse (« frothy bloat »)	55
7.5. Effet sur la reproduction, la production de lait et de laine chez les ruminants.....	56
7.6. Effet sur la croissance et le métabolisme des poulets	57
7.7. Effet sur les performances et la qualité des porcs	58
7.8. Effet sur la croissance et le métabolisme de la carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i> L.).....	59
8. Les saponines	61
8.1. Effets sur la membrane cellulaire et sur l'assimilation des nutriments à travers la membrane intestinale	61
8.2. Effet sur la digestion des protéines	61
8.3. Effets sur la fermentation du rumen, les populations microbiennes du rumen, la quantité d'aliments ingérés et la croissance animale	62
8.4. Effet sur le métabolisme du cholestérol.....	64
8.5. Effets sur la reproduction animale.....	65
8.6. Effet sur le système immunitaire	65
9. Les classes phytochimiques potentiellement utilisables dans l'alimentation animale en vue d'une meilleure stabilisation des produits finaux.....	67
9.1. Le β -carotène chez les ruminants	67
9.2. Les tocophérols et l'huile essentielle d'origan chez les volailles	67
CONCLUSION	69
BIBLIOGRAPHIE.....	71
INDEX (nom commun)	81
INDEX (nom scientifique)	83
ANNEXES	85

INTRODUCTION

La population de toutes les catégories de bétail a considérablement augmenté durant les trois dernières décennies. Cependant, cet accroissement a été beaucoup plus important pour les animaux monogastriques (porcs et volailles) que pour les ruminants (bovins, caprins et ovins), et leur nombre a crû 3 à 4 fois plus vite dans les pays en développement que dans les pays développés (Sansoucy, 1995).

Cette évolution de l'élevage s'est accompagné, notamment dans les pays développés, du développement de l'alimentation animale qui est devenue une science de haute technologie. Ces progrès ont permis d'augmenter la productivité et les performances zootechniques mais ils ont aussi été la source de nouveaux problèmes appelés « maladie de la nutrition » (Mougenel, 1991). Pour répondre à ces perturbations de croissance, de production et de reproduction des troupeaux, le monde de l'élevage a utilisé largement et à titre préventif des antibiotiques dans l'alimentation animale, notamment dans les élevages de volailles. Cependant, pour prévenir les problèmes sanitaires pouvant faire suite à cette utilisation massive d'antibiotiques de synthèse, une interdiction totale de leur utilisation, arrêtée par le Règlement additifs 1831/2003 (Annexe 1), est en vigueur dans la Communauté Européenne depuis janvier 2006.

Cette suppression des antibiotiques facteurs de croissance pousse la profession à rechercher des solutions alternatives, parmi lesquelles, l'emploi des plantes et leurs extraits suscite beaucoup d'espoirs. Néanmoins, bien que l'identification de ces plantes et leurs extraits ait beaucoup progressé, un certain nombre d'interrogations subsistent, qui demandent encore des études complémentaires. En effet, si les plantes et leurs extraits peuvent se révéler très utiles par leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, immunostimulantes, etc.... c'est bien parce qu'elles contiennent des substances actives, qui peuvent se révéler toxiques. Pour pouvoir employer ces produits végétaux sans crainte dans l'alimentation animale, il faut être sûr que cet usage ne présente pas de risque pour les animaux cibles, pour le consommateur et pour l'environnement (Kammerer, 2005).

En pratique, du fait de l'intérêt et de l'utilisation accrue de ces produits en élevage, il est important de faire le point des connaissances sur leurs effets biologiques et zootechniques.

C'est le but premier de cette synthèse bibliographique qui va s'attacher à présenter le plus clairement possible les résultats d'un grand nombre de travaux scientifiques sur le sujet. Nous espérons qu'elle nous permettra, dans un second temps, de définir des orientations intéressantes en ce qui concerne les plantes ou extraits de plantes les plus prometteurs.

Dans un premier temps, nous nous attarderons quelque peu sur des connaissances de base en terme de zootechnie et d'extraits végétaux afin d'appréhender au mieux les effets potentiels et/ou avérés des plantes et extraits de plantes présentés par la suite. Dans un second temps, nous présenterons brièvement l'ensemble des effets biologiques induits par l'incorporation de plantes ou extraits végétaux dans l'alimentation animale et recensés au-travers de notre lecture. Enfin, nous terminerons par une présentation détaillée des résultats de l'ensemble des expérimentations (*in vitro et in vivo*) conduites sur le sujet que nous avons pu nous procurer.

1. Nutrition et alimentation chez les polygastriques (exemple de la vache laitière)

1.1. La digestion (d'après Wattiaux et Howard, 2006)

La fibre est le composant principal des tiges végétales; c'est une structure rigide qui joue un rôle important dans la croissance et la protection contre les prédateurs. Certains sucres tels que la cellulose et les hémicelluloses sont emprisonnés dans la paroi cellulaire végétale. Ces sucres sont des sources d'énergie inaccessibles aux animaux non ruminants, mais ils peuvent être utilisés par les ruminants grâce à la population microbienne qui vit dans leur réseau et leur rumen (Figure 1).

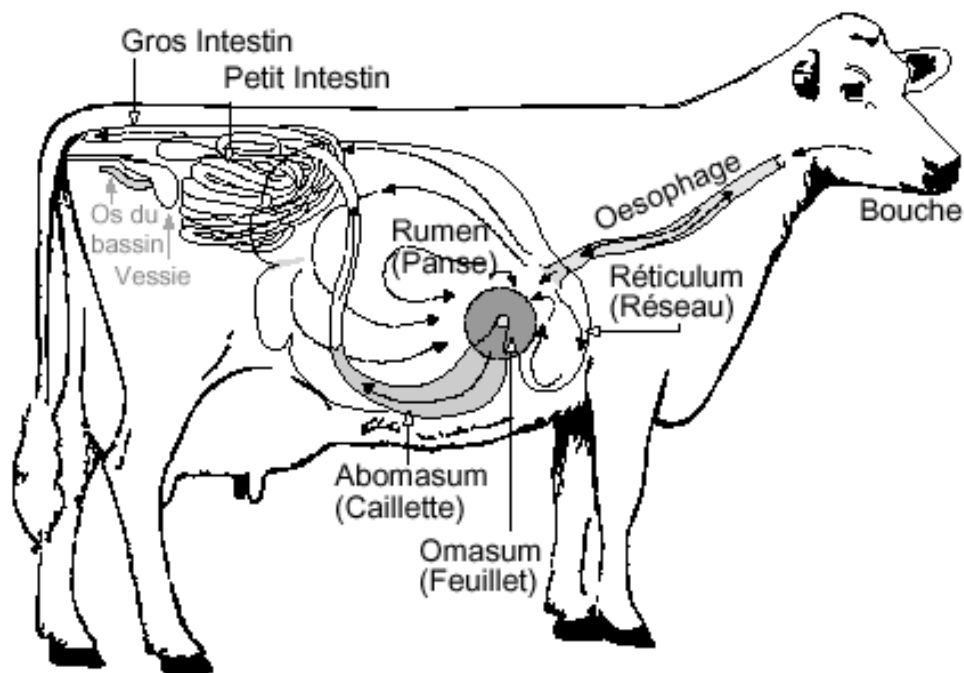


Figure 1 : Le système digestif de la vache est composé de quatre estomacs (d'après Wattiaux et Howard, 2006).

Contrairement aux non-ruminants, les ruminants peuvent utiliser des sources d'azote non-protéique (ANP). L'ammoniac ou l'urée, par exemple, sont utilisés par les bactéries du rumen pour synthétiser des acides aminés et leurs propres protéines. Ces protéines bactériennes sont ensuite digérées dans l'intestin, fournissant la majorité des acides aminés dont la vache a besoin.

Le rumen fournit un environnement idéal avec, en général, une quantité d'aliments quasi illimitée pour la croissance et la reproduction bactérienne. L'absence d'air (oxygène) dans le rumen favorise la croissance de certaines espèces de bactéries, en particulier celles capables de dégrader les fibres végétales. Durant ce processus, ils produisent les acides gras volatils (AGV) qui sont les produits finaux de leur fermentation. Les AGV qui sont sans valeur pour les microbes traversent la paroi du rumen et deviennent la source d'énergie principale dans les cellules du corps de la vache.

1.2. Le métabolisme des hydrates de carbone (d'après Wattiaux et Armentano, 2006)

Les sucres ou hydrates de carbone sont les sources principales d'énergie et la base de la matière grasse et du sucre du lait (lactose). Les micro-organismes qui vivent dans le

rumen permettent à la vache d'extraire de l'énergie des hydrates de carbone fibreux (cellulose et hémicellulose) qui sont emprisonnés dans la paroi cellulaire végétale (fibre).

Au cours de la fermentation ruminale, la population de micro-organismes (surtout les bactéries) fermente les hydrates de carbone et produit de l'énergie, des gaz (le méthane, CH_4 et le dioxyde de carbone, CO_2), de la chaleur et des acides (Figure 2). L'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique sont trois acides gras volatils (AGV) qui représentent plus de 95% des acides produits dans le rumen. La fermentation de certains acides aminés produit des acides appelés "iso-acides" ou "acides gras volatils ramifiés". L'énergie et les iso-acides produits sont alors utilisés par les bactéries pour croître (c'est-à-dire former des protéines). Le ruminant élimine le CO_2 et CH_4 par éructation et l'énergie du CH_4 est perdue. À moins que la chaleur soit nécessaire pour maintenir la température du corps, la chaleur produite pendant la fermentation se dissipe.

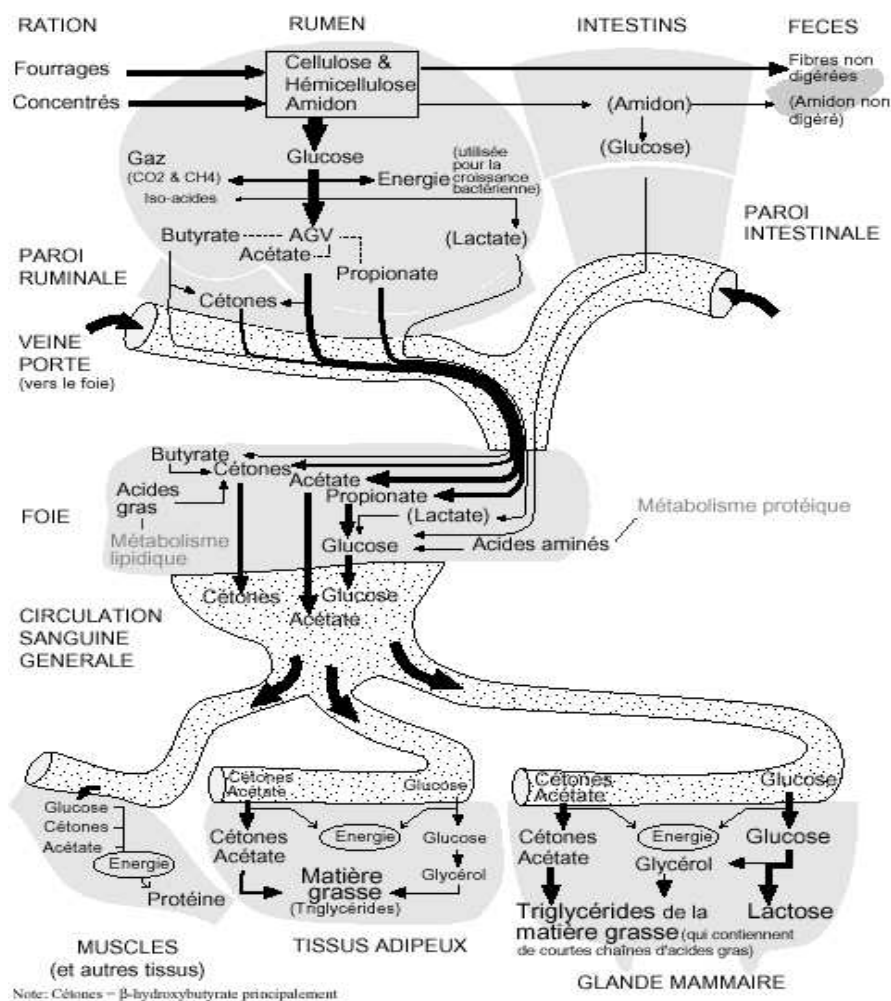


Figure 2 : Vue générale du métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière (d'après Wattiaux et Armentano, 2006).

Parmi les AGV, presque tout l'acétate et tout le propionate sont transportés jusqu'au foie, alors la majorité du butyrate est convertie dans la paroi du rumen en un corps cétonique appelé β -hydroxybutyrate. Les corps cétoniques sont des sources d'énergie (matériel de combustion) pour de nombreux tissus dans le corps. Les corps cétoniques proviennent principalement du butyrate produit dans le rumen, mais en début de lactation, ils proviennent

aussi de la mobilisation des réserves lipidiques corporelles. Le propionate, le lactate et certains acides aminés sont à la base du glucose produit par le foie. L'acide lactique, sous forme de lactate, est un acide normalement formé en faible quantité dans le rumen.

En résumé, la proportion de fourrages et de concentrés dans la ration a un effet profond sur la quantité et le pourcentage d'AGV produits dans le rumen (Annexe 2). A leur tour, les AGV influencent :

- la quantité de lait produite ;
- le pourcentage de matière grasse et de protéine dans le lait ;
- la bonne conversion des aliments en lait ;
- la valeur d'une ration qui favorise la production de lait par comparaison avec une ration qui favorise l'engraissement.

1.3. Le métabolisme des lipides (d'après Wattiaux et Grummer, 2006)

En général, la ration des vaches ne contient que de 2 à 4% de lipides. Malgré leur faible quantité dans la ration, ils sont importants parce qu'ils ont un contenu énergétique élevé et ils contribuent directement à environ 50% de la matière grasse du lait (quantité de matière grasse dans un lait standard = 38g.l^{-1}).

Dans le rumen, la majorité des lipides sont hydrolysés, c'est-à-dire que le lien entre le glycérol et les acides gras est rompu. Le glycérol est fermenté rapidement en acide gras volatil (voir métabolisme des hydrates de carbone). Certains acides gras sont utilisés par les bactéries pour la synthèse des phospholipides de la membrane bactérienne.

Les phospholipides représentent de 10 à 15% des lipides qui quittent le rumen; le restant (85 à 90%) sont des acides gras saturés (acides palmitique et stéarique principalement) qui se trouvent attachés aux particules microbiennes.

Les phospholipides microbiens sont digérés dans le petit intestin et absorbés avec d'autres acides gras à travers la paroi intestinale. La bile sécrétée par le foie et le jus pancréatique (riche en enzymes et en bicarbonate) sont mélangés avec le contenu du petit intestin. Ces sécrétions sont essentielles pour l'absorption des lipides qui doivent se trouver à l'intérieur de particules miscibles dans l'eau (micelles) pour pouvoir pénétrer et traverser la paroi intestinale (Figure 3 ci-après).

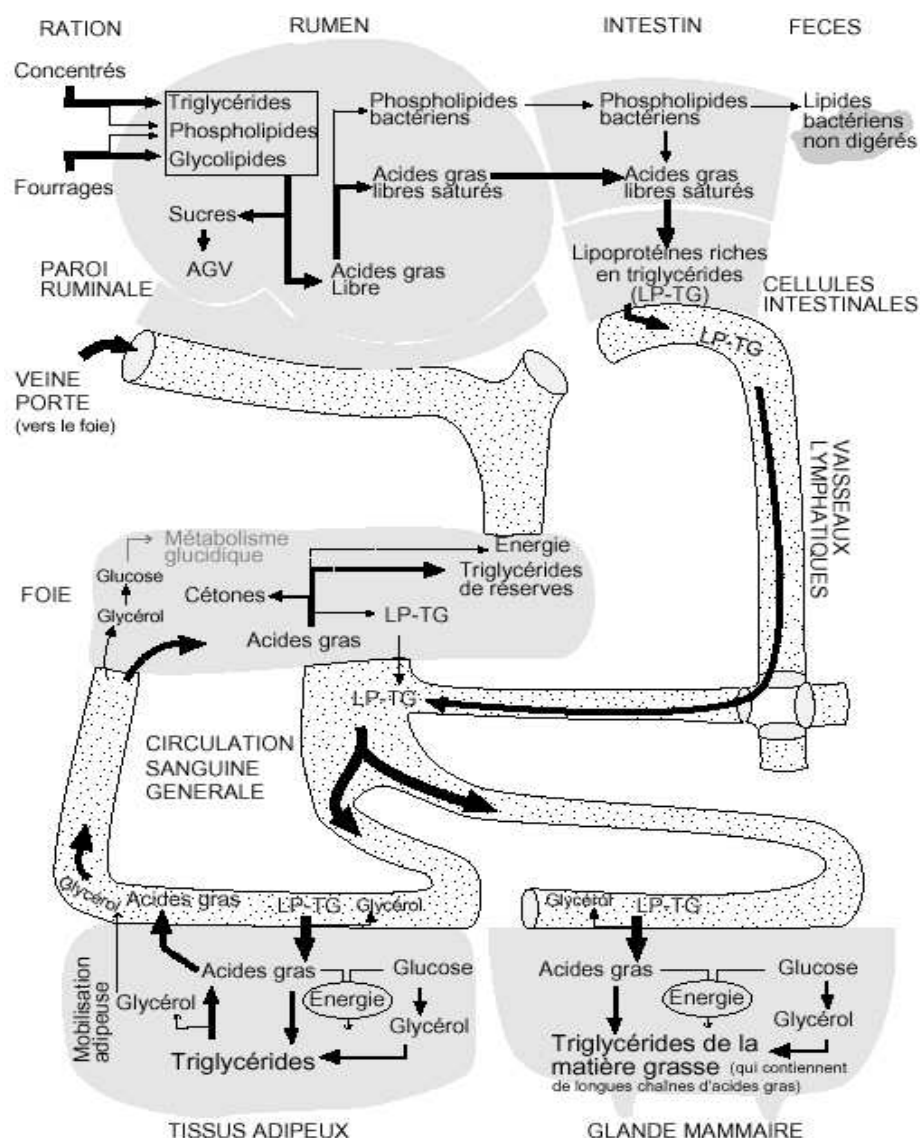


Figure 3 : Vue générale du métabolisme lipidique chez la vache (d'après Wattiaux et Grummer, 2006).

1.4. Le métabolisme protéique (d'après Wattiaux, 2006)

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires au maintien des fonctions vitales, à la croissance, la reproduction et la lactation. Grâce aux microbes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non-protéique (ANP). Des sources d'ANP telles que l'ammoniac ou l'urée peuvent donc être utilisées dans leur ration. De plus, les ruminants possèdent un mécanisme pour conserver l'azote lorsque leur ration est déficiente en azote. L'urée est le produit final du métabolisme des protéines dans le corps et elle est normalement sécrétée dans les urines. Cependant, en cas de déficit azoté de la ration alimentaire, l'urée retourne de préférence dans le rumen où les bactéries peuvent en faire usage.

Les protéines alimentaires sont dégradées par les micro-organismes du rumen d'abord en acides aminés et ensuite en ammoniac et acides gras ramifiés (Figure 4). La population bactérienne utilise l'ammoniac pour sa croissance. La quantité d'ammoniac transformée en protéine bactérienne dépend surtout de la quantité d'énergie générée par la fermentation des hydrates de carbone. Une partie des protéines alimentaires résiste à la dégradation ruminale et passe non dégradée dans le petit intestin.

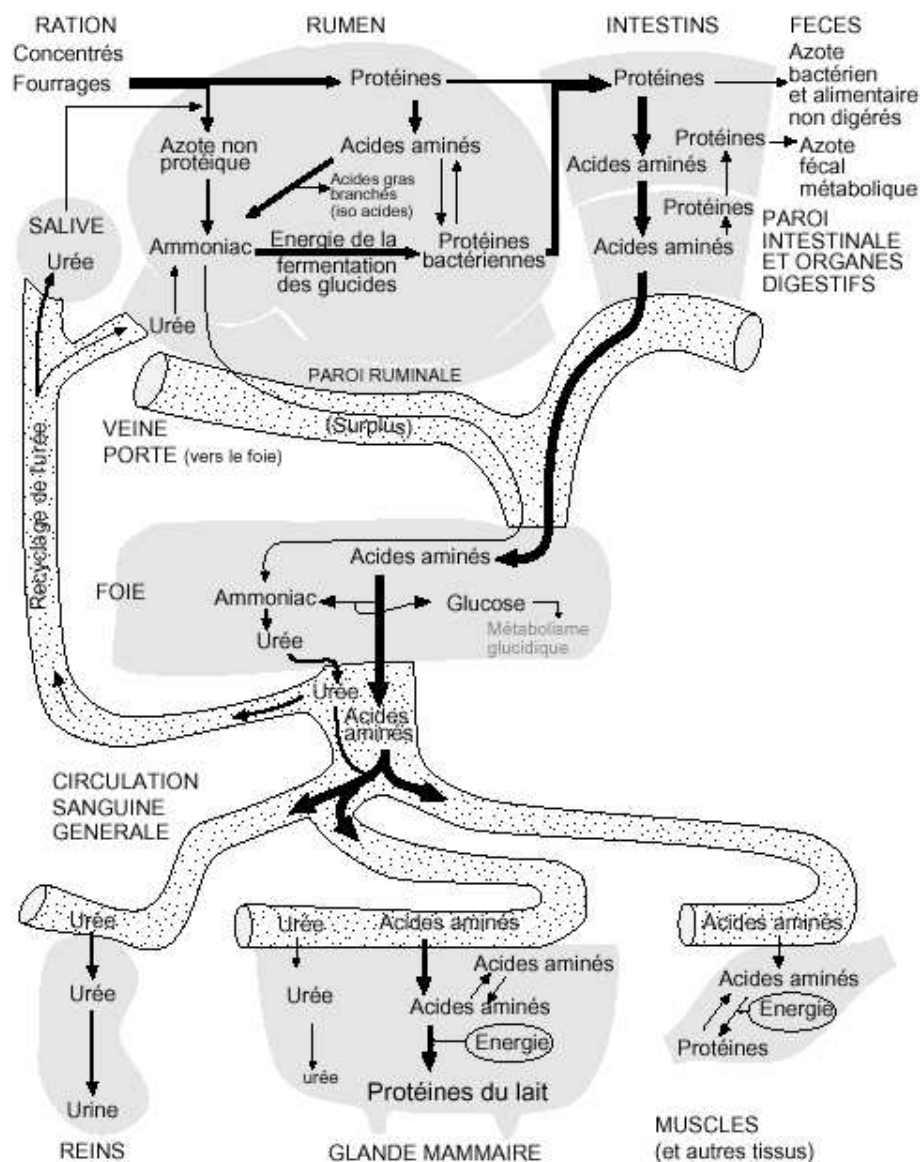


Figure 4 : Vue générale du métabolisme protéique chez la vache laitière (d'après Wattiaux, 2006).

1.5. Les principales différences par rapport aux mono-gastriques

Les principales différences entre mono-gastriques et poly-gastriques découlent de leur différence anatomique. En effet, les poly-gastriques (comme les bovins), du fait que leur estomac volumineux se scinde en 4 poches distinctes (70 à 75 % du volume total de l'appareil digestif), ont surtout une digestion de type gastrique (flore microbienne dans la panse) et encourent des risques de maladies gastriques plus importants (météorisation, maladies métaboliques...). Au contraire, les mono-gastriques (comme le porc et les volailles), du fait de leur petit estomac (30% du volume total de l'appareil digestif), ont surtout une digestion de type intestinale et sont plus sensibles aux problèmes intestinaux. Ainsi, contrairement aux ruminants, les animaux mono-gastriques ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. De plus, le pH de leur estomac est bien plus acide (du fait des sécrétions d'acide chlorhydrique et de pepsine) que celui du rumen des ruminants qui avoisine un pH de 6-7. De même, chez les non-ruminants, l'urée produite dans le corps est toujours entièrement perdue dans les urines.

2. Les microorganismes rencontrés chez les animaux

2.1. Les protozoaires (d'après Morin, 2003)

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires proches du règne animal mais ne sont pas à proprement parler des animaux. Ils font partie d'un règne bien à eux : celui des Protistes. Les protozoologistes ne s'accordent toutefois pas encore quant à la classification, et de nombreux manuels présentent une classification très différente de celle adoptée par Hickman et Roberts.

L'apparente simplicité des Protozoaires est trompeuse. En fait, la cellule unique des Protozoaires est plus complexe que la cellule animale typique car toutes les fonctions nécessaires à la vie animale sont remplies par cette cellule unique. Ce sont les organelles ¹ de cette cellule qui remplissent le rôle des tissus et organes des animaux plus complexes.

Tous les animaux doivent maintenir et contrôler les échanges entre leur corps et le milieu ambiant. Ces échanges se font par diffusion à travers les membranes cellulaires (ou osmose dans le cas de l'eau). La diffusion joue donc un grand rôle dans la respiration, l'alimentation, l'excrétion et l'osmorégulation chez tous les organismes.

Les Protozoaires sont divisés en trois embranchements principaux :

- les Sarcostomastigophores (*sarkodes* = charnu, *mastigos* = fouet, *phoros* = qui porte) comprennent les amibes et les flagellés qui se déplacent à l'aide de mouvements amiboïdes ou à l'aide d'un flagelle. Certaines amibes du sol sont couvertes d'une coquille ou test, qui permet de résister à la dessiccation (Annexe 3).
- les Ciliés (embranchement *Ciliata*), comme la Paramécie, sont les protozoaires les plus spécialisés et ceux qui ont la plus grande complexité structurale. Ils sont caractérisés par la présence de nombreux cils (Annexe 3).
- les Apicomplexes (embranchement *Apicomplexa*) sont des parasites possédant une combinaison caractéristique d'organelles appelée « complexe apical ».

2.2. Les bactéries

En tant que procaryotes (organismes sans noyau), les bactéries sont des cellules relativement simples, caractérisées par l'absence de noyau et d'organites comme les mitochondries et les chloroplastes.

Une caractéristique importante des bactéries est la paroi cellulaire. Les bactéries peuvent être divisées en deux groupes (Gram négatif et Gram positif) basés sur la différence de la structure et de la composition chimique de la paroi cellulaire mise en évidence grâce à la coloration de Gram (Figure 5). Les bactéries à coloration de Gram positive possèdent une paroi cellulaire contenant un peptidoglycane (ou muréine) épais et des acides teichoïques alors que les bactéries à coloration de Gram négative présentent un peptidoglycane fin localisé dans le périplasme entre la membrane cytoplasmique et une membrane cellulaire externe. La paroi donne à la bactérie sa forme et la protège contre l'éclatement sous l'effet de la très forte pression osmotique du cytoplasme. Le peptidoglycane assure la rigidité de la paroi. Il existe toutefois des bactéries sans parois : ce sont les mycoplasmes. À titre d'exemple, les bactéries des genres *Clostridium* et *Peptostreptococcus* appartiennent au groupe Gram+

¹ Structure remplissant une fonction particulière à l'intérieur d'une cellule.

tandis que les bactéries des genres *Prevotella* et *Actinomyces* appartiennent au groupe Gram-.

Au niveau intracellulaire, les bactéries possèdent un chromosome sous forme de filament d'ADN, support de l'hérédité. Le chromosome bactérien est en général circulaire. En plus de cet ADN génomique, les cellules bactériennes contiennent souvent des molécules d'ADN circulaire extra-chromosomiques appelées plasmides. Les cellules contiennent aussi de nombreux ribosomes permettant la synthèse protéique grâce au mécanisme de la traduction. Le cytoplasme des procaryotes contient souvent des substances intracellulaires de réserve qui sont des stocks de nutriments sous forme de glycogène, d'amidon ou de poly- β -hydroxybutyrate (PBH). Certaines espèces de bactéries aquatiques possèdent des vésicules à gaz qui assurent la flottabilité des cellules. D'autres espèces, les bactéries magnétotactiques, ont la particularité de présenter un magnétosome².

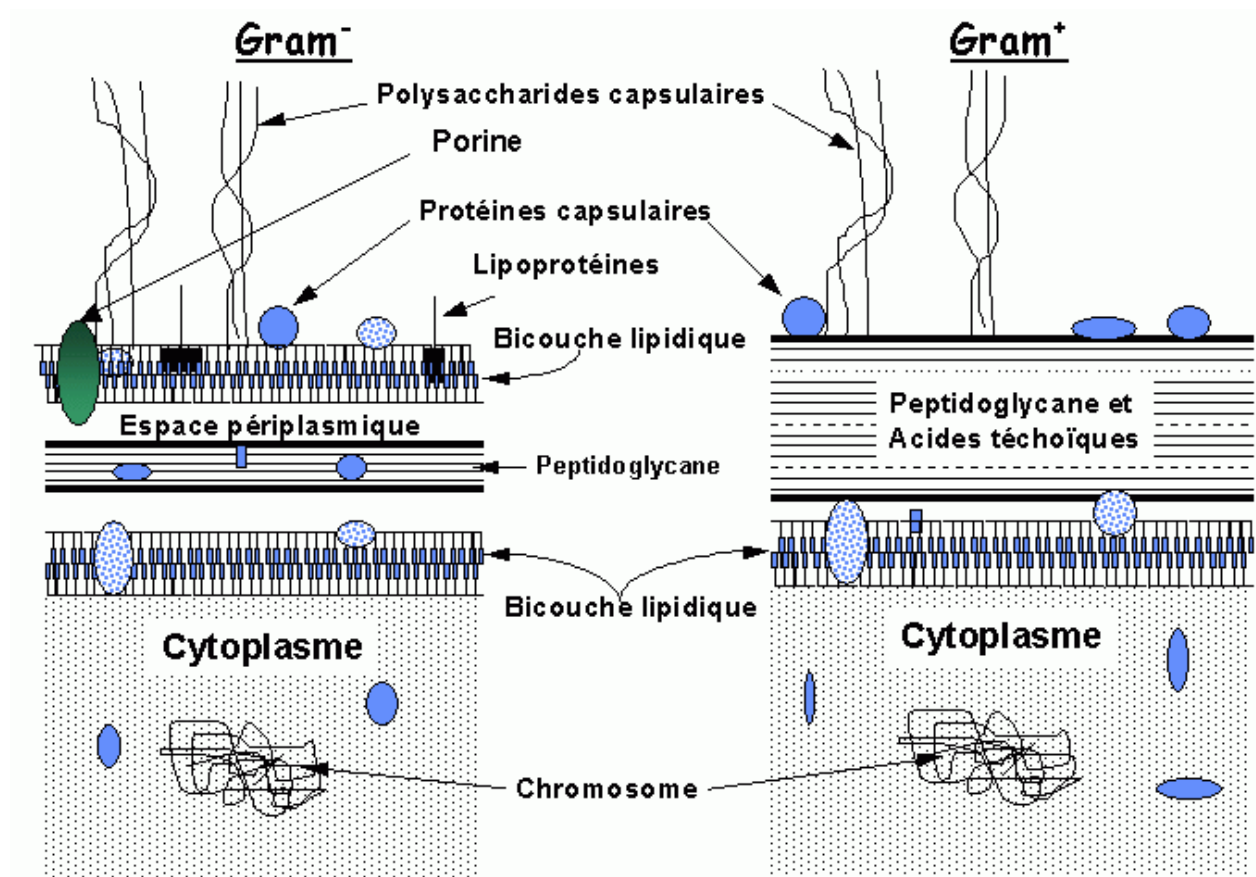


Figure 5 : Structures de la membrane et de la paroi de peptidoglycane chez les bactéries Gram+/Gram- (Bisognano, 2000)

Beaucoup de bactéries possèdent des structures extra-cellulaire comme des flagelles utilisés pour la mobilité des cellules, et des *fimbriae* permettant l'attachement ou le phénomène de conjugaison. Les bactéries hétérotrophes peuvent utiliser leurs flagelles pour se diriger vers des zones riches en substances organiques (nutriments) grâce au phénomène appelé chimiotactisme.

² On sait que certaines bactéries ont une boussole interne, ou magnétosome, constituée par une chaîne de cristaux (granules d'oxydes métalliques opaques aux électrons), enfermés dans une membrane, qui leur permet de s'orienter en fonction du champ magnétique de la Terre (<http://www.actinbiotech.com/FIB/?p=231>).

Quelques bactéries peuvent fabriquer de fines couches externes à la paroi cellulaire, généralement constituées de polysaccharides (des sucres). Quand la couche est compacte, on parle de capsule. Les capsules constituent par exemple une barrière de protection de la cellule contre l'environnement externe. Elle facilite aussi l'attachement aux surfaces et la formation de biofilm. *Klebsiella*, *Bacillus anthracis*, *Streptococcus pneumoniae* sont des exemples de bactéries capsulées. Quand la couche est diffuse, on parle de couche mucoïde. Certaines bactéries possèdent une couche de polyholosides, le glycocalyx (ou feutrage ou cell coat), présente sur leur paroi externe. Sa fonction principale est d'aider à la reconnaissance intercellulaire. En effet, plusieurs des sucres exposés à la surface cellulaire appartiennent au système complexe majeur d'histocompatibilité (CMH ou HLA) mais il joue également un rôle contre les agressions mécaniques, chimiques et enzymatiques.

Certaines bactéries qualifiées de bactéries engainées produisent une couche externe dense et rigide : la gaine. Ce phénomène est courant chez les bactéries de l'eau qui forment des chaînes filamenteuses (*Sphaerotilus natans* par exemple). La gaine protège les cellules contre les turbulences de l'eau. Les bactéries du groupe *Cytophaga* – *Flavobacterium* produisent une couche muqueuse qui leur permet de rester en contact étroit avec un milieu solide. Certaines autres bactéries comme les *Spirillum* peuvent s'envelopper d'une couche protéique appelée la couche S. Quelques bactéries comme *Bacillus* ou *Clostridium* peuvent fabriquer des endospores leur permettant de résister à certaines conditions de stress environnemental ou chimique.

3. Les principales classes phytochimiques

3.1. Les huiles essentielles

Une huile essentielle est un produit technologique obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur (constituants volatiles, lipophiles, de petite taille), soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus (constituants lipophiles, volatiles ou non) ou soit par distillation à sec (goudrons) (NF T 75-006). Les huiles essentielles sont composées de molécules de petite taille, peu ou pas miscibles à l'eau, volatiles.

Les huiles essentielles peuvent être utiles en tant qu'additif naturel dans l'alimentation animale du fait de leurs propriétés antimicrobiennes, antifongiques et antioxydantes. Bon nombre de ces huiles essentielles sont classées comme « Généralement Reconnu comme Sain » (GRAS : Generally Recognized as Safe) et ont été approuvées pour la consommation alimentaire par l'Administration américaine des aliments et des drogues (www.cfsan.fda.gov) (Castillejos *et al.*, 2006).

3.2. Les tanins

Les tanins sont des polyphénols qui présentent une grande diversité de structure. Ils ont une grande affinité avec les protéines et les polysaccharides. Ils peuvent avoir des propriétés différentes du fait qu'ils soient produits par des plantes différentes, des parties différentes d'une même plante ou bien qu'ils soient produits pendant une saison donnée. Ils peuvent être séparés en deux groupes distincts selon leur structure : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Hoste *et al.*, 2006).

Les tanins hydrolysables sont des sucres estérifiés avec un groupe phénolique comme l'acide gallique (gallotanin) ou l'acide ellagique (ellagitannin). Quand ils sont consommés par les ruminants, ils peuvent être dégradés en acide gallique et être absorbés par le tube digestif. Parce qu'ils sont facilement absorbés, les tanins hydrolysables sont souvent considérés comme responsables des effets toxiques observés chez les herbivores (Hoste *et al.*, 2006).

Les tanins condensés sont des polyphénols avec un poids moléculaire supérieur et sont constitués principalement d'oligomères ou de polymères de catéchines (flavan-3-ols). Quand les tanins condensés sont dépolymérisés, ils produisent principalement de la cyanidine ou de la delphinidine et par conséquent, ils sont souvent appelés procyanidines ou prodelphinidines. Une de leurs plus importantes propriétés chimiques est leur capacité à former des complexes solubles ou insolubles avec des macromolécules comme les protéines, les fibres et l'amidon. L'affinité des tanins condensés pour les protéines est déterminée par la masse et la configuration moléculaire du tanin et de la protéine. L'association tanin-protéine est habituellement non-réversible mais, un pH acide ou alcalin, l'utilisation de détergents, de phénols ou autres solvants organiques peut entraîner une dissociation de ce type de complexe. Les tanins condensés ont une affinité particulière avec les protéines riches en proline comme la gélatine, la prolamine et les protéines des téguments des graines. Les protéines riches en proline sont également produites par la salive de certains mammifères (comme le rat, la souris, la chèvre et la biche) quand ils se nourrissent de plantes riches en tanins, ceci étant probablement un mécanisme de défense contre les effets adverses des tanins (Hoste *et al.*, 2006).

La consommation de fortes concentrations de tanins condensés (>7% de matière sèche) a été associée à de nombreux effets négatifs chez les ruminants, comme une réduction de la quantité d'aliments ingérée, une inhibition de la croissance et une

interférence entre la morphologie et l'activité protéolytique des microbes du rumen. Au contraire, la consommation de concentrations faibles ou modérées de tanins condensés (<6% de matière sèche) peut engendrer des effets positifs chez les herbivores ; ainsi une augmentation de la croissance, de la production de lait et de laine ont été associées à une consommation de tanins condensés (Hoste *et al.*, 2006).

Il est généralement admis que les effets bénéfiques observés suivant la consommation de tanins condensés sont principalement dus à leur capacité à se lier avec les protéines, ce qui protège les protéines alimentaires d'une dégradation dans le rumen et augmente ainsi la disponibilité de celles-ci dans l'ensemble de l'appareil digestif. Chose intéressante, cette même capacité des tanins à se lier avec les protéines est également considérée comme étant responsable des effets adverses observés dans les élevages (Hoste *et al.*, 2006).

3.3. Les saponines

Les saponines sont principalement produites par les plantes et leur nom dérive de leur capacité à former une mousse stable dans les solutions aqueuses comme les savons. Les saponines sont constituées d'un aglycone hydrophobe (sapogénine) qui peut être un stéroïde ou un triterpénoïde lié à un sucre, le plus souvent contenant un glucose, un galactose, un acide glucuronique, un xylose, un rhamnose ou un méthylpentose. Ainsi, les saponines sont une famille complexe d'hétérosides tensio-actifs à génine stéroïdique ou triterpénique, souvent en mélange (Exemples : sarsasapogénine, smilagénine, soyasaponines I et II., saponines A et B, saikosapogénine ; nudicaucine C, matesapogénine, senégénine, ginsenosides Rb1, Rb2, Rc, Rd....) (Bellenot, 2007, communication personnelle).

Les saponines de type stéroïdique se retrouvent surtout dans les familles des Liliacées & Agavacées (et aussi Fabacées, Solanacées, Scrophulariacées) alors que les saponines de type triterpénique se retrouvent chez les Araliacées, Fabacées, Caryophyllacées, Renonculacées, Rosacées, Sapindacées (Bellenot, 2007, communication personnelle).

La grande complexité de la structure des saponines provient de la variabilité de la structure de l'aglycone, de la nature des chaînes latérales et de leur position sur l'aglycone. Plusieurs expériences ont démontré les propriétés physiologiques, immunologiques et pharmacologiques des saponines ce qui a engendré un véritable intérêt clinique pour ces substances. Ainsi, de nombreuses saponines sont connues pour leur pouvoir antimicrobien, pour leur capacité à inhiber les moisissures et pour leur protection des plantes vis à vis des attaques d'insectes. Elles peuvent être considérées comme un maillon dans le système de défense des plantes et sont incluses dans un groupe plus large de molécules protectrices appelées « phyto-anticipines » ou « phyto-protectrices » (Francis *et al.*, 2002).

4. Les effets liés à l'utilisation des plantes dans l'alimentation animale

Cette partie a pour vocation de présenter succinctement les divers effets observés chez les animaux suite à l'ingestion d'une ration alimentaire supplémentée avec des plantes ou extraits de plantes. Pour connaître les détails relatifs à chacun des effets présentés ici, nous vous invitons à poursuivre votre lecture vers la partie suivante, partie dans laquelle les références bibliographiques seront indiquées.

De plus, nous distinguerons, dans la mesure du possible, les effets chez les animaux polygastriques et chez les animaux monogastriques.

4.1. Activité sur les microorganismes et les parasites

4.1.1. Huiles essentielles et oléorésines

En premier lieu, nous allons nous attacher à présenter les effets des huiles essentielles ou des oléorésines ³ sur les ruminants et notamment sur les microorganismes présents dans le rumen. Pour cela, nous devons tout d'abord noter, qu'en ce qui concerne l'action de ces extraits divers à base de plantes sur les microorganismes du rumen, la grande majorité des études a été réalisée *in vitro* et que nous ne disposons que d'une seule étude *in vivo* à l'heure actuelle. C'est pour cela, qu'il est nécessaire de **relativiser les résultats obtenus expérimentalement** notamment en terme de détermination et de caractérisation des effets à long terme. Par exemple, il est difficile d'évaluer la capacité des microorganismes du rumen à s'adapter à l'ajout d'extraits de plantes dans l'alimentation animale.

D'un point de vue général, il apparaît que le degré d'action des huiles essentielles et des oléorésines est **dépendant de la dose de supplémentation et du pH du rumen**. Ainsi, plus la dose est élevée, plus les effets sont visibles et sévères se traduisant alors par une dépréciation de la santé animale. Pour le pH, plus celui-ci est acide (ce qui est le cas lorsque la ration alimentaire est riche en concentré) et plus les effets sont néfastes pour les animaux. En effet, du fait de leur activité antimicrobienne, une forte dose d'huile essentielle ou d'oléorésine dans la ration alimentaire et un pH faible se traduisent principalement par une diminution des populations microbiennes du rumen. Ceci engendre alors une baisse de la production d'acides gras volatils (AGV), la principale source d'énergie chez les ruminants. Les huiles essentielles et les oléorésines ont une action générale envers les bactéries du rumen sans distinction de groupe (Gram+ ou Gram-) et les protozoaires (comme les *archae* méthanogènes).

Chez les monogastriques, les huiles essentielles et les oléorésines semblent avoir un effet plus **spécifique sur les microorganismes** puisque nous observons, chez le porc, une augmentation des populations de lactobacilles (Gram+) au dépend des populations d'entérobactéries (Gram-) qui diminuent. Chez la volaille, les huiles essentielles et oléorésines ont un **effet antibactérien intéressant** contre *Clostridium perfringens* (Gram+), celui-ci étant dépendant de la dose et de la composition des extraits végétaux utilisés. Cependant, cet effet antimicrobien ne se traduit pas par un effet direct sur le pathogène mais par un contrôle de la maladie avec une réduction du risque d'entérites nécrotiques. Notons que d'autres espèces de *Clostridium* sont également contrôlées, tout dépend de l'extrait végétal utilisé. Enfin, certaines huiles essentielles ou mélange d'huiles essentielles permettent de **lutter contre les protozoaires responsables de la coccidiose** chez le poulet comme *Eimeria* sp. À l'instar de la lutte contre le *Clostridium*, le pouvoir anti-protozoaire des huiles essentielles sur *Eimeria* sp. dépend de l'huile essentielle et de la dose

³ Une oléorésine est une préparation fluide composée d'une résine en solution dans une huile essentielle et/ou une huile fixe obtenue par évaporation des solvants utilisés pour sa production (Bellenot, 2007, communication personnelle).

utilisées et se traduit par une amélioration des performances et une réduction de la mortalité chez les animaux infectés plutôt que par un effet direct sur le pathogène.

4.1.2. Tanins

Les tanins (notamment les tanins condensés) ont une action **plus sélective sur les microorganismes du rumen**. En effet, nous observons qu'ils inhibent les bactéries cellulolytiques (Gram+) tandis que les bactéries protéolytiques semblent moins affectées (certaines bactéries Gram- ont une enzyme protéolytique dans leur membrane, <http://www.univ-ubs.fr/ecologie/microbioalim.html>). Ainsi, les bactéries appartenant au phylum Cytophaga-Flexibacter-Bactéroïdes (Gram-) et celles de la sous-classe « Gamma » des protéobactéries (Gram-) sont résistantes aux tanins.

En ce qui concerne les parasites, nous pouvons noter que les tanins présentent, du fait de leur capacité à complexer les protéines, des effets **anti-helminthiques et nématocides importants** notamment contre les nématodes gastro-intestinaux (tels que *Trichostrongylus colubriformis*, ...) et des effets **parasitocides** contre certains parasites comme *Trypanosoma* sp. (maladie du sommeil) et *Plasmodium* sp. (paludisme). Les tanins agissent soit par modification de l'environnement gastro-intestinal soit directement sur les nématodes dont la cuticule est riche en proline et hydroxyproline. Notons également que la sévérité des effets des tanins est **dépendante de la dose** et de la **structure des tanins** utilisés, **du stade de développement** et de **l'espèce parasitaire**.

4.1.3. Saponines

Les saponines ont également une action **spécifique sur les populations microbiennes**. D'une façon générale, les protozoaires semblent plus sensibles que les bactéries bien que nous puissions tout de même noter que les bactéries cellulolytiques soient aussi fortement affectées (diminution des populations). Par contre, pour ce qui est des bactéries non cellulolytiques, l'action des saponines est variable et dépendante de l'espèce considérée. Généralement, les saponines ont une action plutôt négative envers les bactéries Gram+ alors que les Gram- sont soit stimulées, soit non affectées.

4.2. Métabolisme de l'azote : assimilation des protéines et croissance

4.2.1. Huiles essentielles et oléorésines

Du fait de leurs propriétés antimicrobiennes, les huiles essentielles et les oléorésines ont une action sur les microorganismes du rumen. Cette action, qui dépend de la dose et de la composition des extraits végétaux utilisés, se traduit par une modification de la fermentation ruminale en terme de production d'AGV totaux et concerne plus particulièrement le taux d'acétate, de propionate et de butyrate. Notons également que certaines huiles essentielles et oléorésines ont une action sur **la désamination des acides aminés** se traduisant par une **évasion des protéines vers les intestins** chez les ruminants. Par contre, il n'y a pas d'effets de celles-ci sur la digestibilité apparente de la matière sèche ingérée et des protéines brutes.

Concernant les monogastriques, les huiles essentielles et les oléorésines exercent un rôle de **promoteurs de croissance** (notamment le carvacrol et la capsaïcine) qui se traduit par une augmentation de la digestibilité des acides aminés et de l'activité des α -amylases chez le poulet, et par une diminution de la motilité gastrique (et donc augmentation du remplissage de l'estomac) chez le porc.

4.2.2. Tanins

Du fait de leur **capacité à complexer les protéines**, les tanins favorisent une diminution de la digestibilité des protéines dans le rumen. Ceci peut avoir des **effets négatifs** lorsqu'ils sont introduits **en forte quantité** dans l'alimentation animale mais peut aussi avoir des **effets positifs à faible dose** puisque cela favorise la digestion des protéines dans les intestins. La présence de tanins engendre également une **diminution de l'activité des enzymes digestives** telles que l' α -amylase, la trypsine et les protéinases. Ceci est vrai également pour les volailles. A ce propos, nous pouvons observer une augmentation du poids des organes de celles-ci et notamment du pancréas suite à l'apport de tanins dans leur alimentation. Chez le porc, nous n'observons pas d'effets négatifs ni bénéfiques (ou très faibles et non significatifs) suite à l'apport de tanins dans l'alimentation. Il en est de même chez la carpe commune (*Cyprinus carpio*).

4.2.3. Saponines

D'un point de vue général, les saponines augmentent la perméabilité des cellules de la muqueuse intestinale, diminuent le transport actif au niveau de ces mêmes muqueuses et facilitent l'assimilation de substances normalement non absorbées. Les saponines présentent des **effets souvent contradictoires** ce qui explique que leurs effets soient difficilement extrapolables et généralisables. Ainsi, elles diminuent la dégradation apparente des protéines mais d'un autre côté, elles favorisent l'utilisation protéique des ruminants du fait de leur action anti-protozoaire. Elles présentent aussi un effet positif sur la croissance et l'assimilation des nutriments chez la carpe et le tilapia mais elles sont également connues pour être toxiques chez les poissons car elles attaquent l'épithélium respiratoire. Enfin, certaines saponines ont une **action hypocholestérolémiante** ce qui est plutôt bénéfique.

4.3. Métabolisme de l'azote : rejet d'ammoniaque

4.3.1. Huiles essentielles et oléorésines

Comme nous l'avons déjà noté précédemment, certaines huiles essentielles et notamment certains de leurs constituants comme le carvacrol, le thymol et l'eugénol par exemple, inhibent la désamination des acides aminés ce qui diminue la production d'ammoniaque. Ceci est particulièrement vrai lorsque ces extraits végétaux sont incorporés en forte quantité dans la ration alimentaire des animaux.

4.3.2. Tanins

Nous observons une réduction de la production d'ammoniaque consécutive à la diminution de la dégradation des protéines dans le rumen suite à l'apport en tanins.

4.3.3. Saponines

Les saponines jouent un rôle important dans le métabolisme de l'azote en ce qui concerne les rejets ammoniacaux car elles agissent à différents niveaux. Ainsi, elles présentent une action de **régulation des flux d'ammoniaque dans le rumen** et possèdent la **capacité d'inhiber l'activité de l'uréase** ce qui agit directement sur la production ruminale d'ammoniaque. De plus, elles ont également la **capacité à piéger l'ammoniaque** présent dans les pailles supplémentées en urée ce qui permet une réduction des rejets dans l'air.

4.4. Rejet de carbone (sous forme de CO₂, CH₄, ...)

4.4.1. Huiles essentielles et huiles fixes

Certaines huiles essentielles comme celle d'ail inhibent les *archae* méthanogènes du rumen ce qui engendre une **diminution de la production de méthane**. De même, l'huile de tournesol et dans une moindre mesure, l'huile de canola diminuent également la production de méthane. Néanmoins, ces deux dernières peuvent réduire les performances des animaux par une diminution de l'ingestion et de la digestibilité de la ration alimentaire.

4.4.2. Tanins

Une dose **importante** de tanins dans l'alimentation animale peut entraîner une **diminution de la production de méthane**.

4.4.3. Saponines

Selon les types d'extraits étudiés et les études publiées sur le sujet, les résultats obtenus sont **divergents**.

4.5. Assimilation des oligo-éléments, sels, eau

4.5.1. Huiles essentielles

Le cinnamaldéhyde exerce un effet bénéfique chez les volailles dans le sens où il diminue leur consommation d'eau, favorisant ainsi un meilleur contrôle de la propreté des litières.

4.5.2. Tanins

Les tanins sont capables d'interagir avec les acides aminés et divers minéraux tels que le fer, le calcium ou le sodium en réduisant leur biodisponibilité.

4.5.3. Saponines

Du fait de leur activité surfactante, les saponines peuvent améliorer l'émulsion de substances solubles dans la graisse et ainsi favoriser l'assimilation des sels minéraux, des acides gras, des diglycérides et des vitamines.

4.6. Prévention des pathologies non parasitaires

4.6.1. Athérosclérose

Seuls certains extraits de certaines plantes (curcuma, ail et oignon) ont montré une **action préventive significative** sur les effets négatifs engendrés par une alimentation riche en cholestérol. Ces extraits permettent ainsi une diminution du stress oxydatif, un maintien du niveau de coenzyme Q et d' α -tocophérols et augmentent l'activité fibrinolytique du plasma sanguin.

C'est également le cas des saponines qui ont une **activité réductrice envers le taux de cholestérol** du sérum sanguin, ce qui permet de penser que celles-ci ont aussi une action préventive sur les effets négatifs engendrés par une alimentation riche en cholestérol.

4.6.2. *Météorisation spumeuse (« Frothy bloat »)*

Seuls les tanins ont démontré, de part leur capacité à complexer les protéines, une **action préventive significative** envers la météorisation spumeuse entraînant une réduction de risques liés à cette maladie.

4.7. Immunostimulation

Les saponines favorisent la prolifération des cellules immunitaires, augmentent la production d'anticorps et de cytokines (interférons et interleukines) et favorisent la présentation de l'antigène à la surface de la membrane cellulaire. Elles ont aussi une activité cytotoxique contre les cellules cancéreuses.

4.8. Action sur la prise alimentaire

4.8.1. *Huiles essentielles et oléorésines*

Parmi plusieurs extraits testés chez le porc en vue d'évaluer leur capacité à **favoriser l'appétence** de la ration alimentaire et à **augmenter la prise d'aliments**, ceux sont un extrait d'**ail** puis l'huile essentielle d'**origan** qui se sont montrés les plus efficaces. Certains constituants d'huiles essentielles ou d'oléorésines (carvacrol, capsaïcine, cinnamaldéhyde par exemple) **diminuent la motilité gastrique de l'estomac** ce qui augmente la teneur en matière sèche dans celui-ci. D'autres constituants d'huiles essentielles (thymol par exemple) améliorent la prise alimentaire chez des poulets malades (atteints de coccidiose ou autres maladies).

4.8.2. *Tanins*

À forte dose, les tanins **diminuent la prise alimentaire** chez les animaux du fait de leur **astringence**.

4.8.3. *Saponines*

Pas d'effets significatifs (positifs ou négatifs) observés chez les animaux.

4.9. Action sur la reproduction et la lactation

4.9.1. *Huile essentielles*

Pas d'effets significatifs (positifs ou négatifs) observés sur la production et la composition du lait chez les vaches supplémentées en huiles essentielles pendant leur période de lactation.

4.9.2. *Tanins*

Il existe un **effet bénéfique des tanins du lotier** (*Lotus corniculatus*) qui permet une augmentation du taux d'ovulation chez la brebis. Les tanins condensés permettent également une augmentation de la production de lait et une augmentation du taux de protéines et de lactose dans le lait.

4.9.3. Saponines

Les saponines sont connues pour leurs **effets négatifs sur la reproduction** des animaux. En effet, celles-ci ont des propriétés abortives, anti-zygote et anti-implantation.

4.10. Action sur les produits dérivés : lait, viande, œuf et laine

4.10.1. Huiles essentielles

L'**origan** brut et son huile essentielle **diminuent le taux d'oxydation lipidique de la viande** de porc lorsque ces extraits végétaux sont incorporés dans l'alimentation animale. Il en est de même avec les blancs et cuisses de dinde.

4.10.2. Tanins

Les tanins, notamment ceux contenus dans le lotier, augmentent la production de laine par une amélioration de la biodisponibilité des acides aminés.

4.10.3. Saponines

Il n'y a pas, à l'heure actuelle, d'informations concernant un quelconque effet des saponines sur les produits dérivés des animaux.

4.10.4. Tocophérols et acide α -linoléique

Les **α -tocophérols** et l'**acide α -linoléique** **améliorent la stabilité oxydative des produits carnés** et permet un enrichissement des blancs et des cuisses de poulets en acides gras $\omega 3$ et $\omega 6$ lorsqu'ils sont incorporés dans l'alimentation animale.

4.10.5. La qualité sensorielles des produits laitiers et carnés

La nature des fourrages ingérés par les ruminants est un des facteurs de variation de la qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande. Ainsi, les régimes à base d'herbe pâturée conduisent à des fromages dont la couleur, le goût et l'odeur sont plus intenses que ceux issus d'une alimentation hivernale à base d'herbe conservée sous forme de foin et d'ensilage. La composition botanique de l'herbe modifie aussi les caractéristiques sensorielles de fromages. Les écarts les plus importants concernant la texture sont obtenus sur des fromages à pâte pressée cuite lorsque les vaches pâturent des prairies très diversifiées (Coulon et Priolo, 2002).

Ces différences sensorielles peuvent être dues à des constituants du lait directement issus de l'alimentation. C'est le cas des carotènes, responsables de la couleur jaune des produits laitiers, et qui sont présents en grande quantité dans les fourrages verts. Elles peuvent aussi être liées à des constituants du lait produit par l'animal de manière différentielle selon l'alimentation offerte. C'est le cas de la teneur en plasmine du lait ou de la composition de ses matières grasses, qui peuvent modifier la texture du fromage (Coulon et Priolo, 2002).

L'alimentation à l'herbe influence aussi la flaveur de la viande. Cet effet serait lié d'une part à l'interaction entre les acides gras à chaînes ramifiées (considérés comme responsables de la flaveur caractéristique de la viande ovine) et le scatole (issu de la dégradation du tryptophane) qui renforcerait la perception sensorielle des acide gras à chaîne ramifiées, et d'autre part à la teneur en acide linoléique. Les produits d'oxydation de cet acide sont en effet associés aux flaveurs spécifiques de la viande (Coulon et Priolo, 2002).

**Tableau 1 : Récapitulatif des différents effets chez les animaux des
diverses molécules incorporées dans l'alimentation animale**

Effets/Actions	Huiles essentielles et autres extraits	Polyphénols : tannins et flavonoïdes	Saponines	Tocophérols et acide α-linoléique
Effet antimicrobien	X	X	-	-
Effet antibactérien	-	X	X	-
Effet antiparasitaire	-	X	-	-
Effet antiprotozoaire non pathogène	-	-	X	-
Déamination des acides aminés	X	-	-	-
Promoteurs de croissance	X	X	X	-
Effet hypocholestérolémiant	-	-	X	-
Réduction de la production d'ammoniaque	X	X	X	-
Réduction de la production de méthane	X	X	-	-
Lutte contre l'athérosclérose	X	-	X	-
Lutte contre la Météorisation spumeuse	-	X	-	-
Immunostimulation	-	-	X	-
Effet sur la prise alimentaire	X	X	X	-
Effet sur la reproduction et la lactation		X	X	-
Effet sur la conservation de produits dérivés	X	X	-	X

5. Sous-produits de l'industrie de la transformation et plantes non conventionnelles utilisés comme fourrage alternatif

5.1. Sous-produits de l'industrie de la transformation

L'utilisation de sous-produits pour l'alimentation animale peut permettre de convertir un matériel végétal dont l'usage alimentaire pour les humains est limité mais qui peut fournir une source de protéines non négligeable pour les animaux et notamment les ruminants.

Ainsi, la pulpe de citron, qui est un sous-produit de l'industrie agroalimentaire, contient notamment des pectines hautement digestibles dans le rumen et pourrait donc être utilisé en alimentation animale en tant que source d'énergie alternative aux concentrés généralement utilisés (Villarreal *et al.*, 2006). En effet, certaines études ont démontré des **effets positifs** de la pulpe de citron sur la **fermentation ruminale**, la **digestion des fibres** et la **synthèse protéique microbienne**. Néanmoins, quelques **effets négatifs** ont également été reportés chez la vache allaitante comme une **diminution du rendement laitier et de la teneur en protéines du lait** (Villarreal *et al.*, 2006). De même, bien que l'ajout de pulpe de citron dans l'alimentation animale soit compatible avec une digestion du fourrage et un pH ruminal corrects, celui-ci s'accompagne également d'une diminution de la quantité d'aliments ingérés. Celle-ci est plus évidente lorsque de fortes doses de pulpe de citron sont incorporées à l'alimentation animale, ce qui suggère que le choix de la dose de supplémentation doit être réfléchi et précautionneux (Villarreal *et al.*, 2006). D'un point de vue générale, la pulpe de citron apparaît donc comme un additif alimentaire acceptable lorsqu'il s'additionne à une alimentation animale d'une qualité nutritionnelle faible à modérée (comme avec *Cynodon nlemfuensis*).

De même, les feuilles d'olivier (*Olea europaea* L.) sont un sous-produit de la culture des olives qui est économiquement et socialement importante dans la région méditerranéenne. Ce sous-produit est traditionnellement utilisé comme une source alternative de nutriments pour les petits ruminants durant les périodes de rareté d'aliments fourragers (Yanez Ruiz *et al.*, 2004). Les caractéristiques de la dégradation et de la fermentation ruminales indiquent que les feuilles d'olivier sont un fourrage de faible qualité, comparable à celui des pailles de céréales. L'ingestion de feuilles d'olivier promeut une faible synthèse protéique microbienne et affecte fortement la population protozoaire ruminale chez les chèvres et les moutons. Par contre, si ce fourrage est supplémenté avec des glucides et des protéines facilement dégradables alors l'activité microbienne s'améliore ce qui augmente leur dégradation ruminale. Les tanins condensés présents dans les feuilles d'olivier ne semblent pas affecter l'utilisation des nutriments dans le rumen. Enfin, les chèvres et les moutons ont une activité ruminale similaire lorsqu'ils sont nourris avec un fourrage à base de feuilles d'olivier (Yanez Ruiz *et al.*, 2004). Il apparaît donc que les feuilles d'olivier peuvent être utilisées comme un fourrage alternatif dans les régions méditerranéennes lors des périodes de raréfaction de la ressource alimentaire quand elles sont correctement supplémentées.

Les téguments de la cacahuète sont des sous-produits de l'industrie agroalimentaire (industrie de la transformation). Ceux-ci sont riches en matière grasse (teneur obtenue par extraction à l'éther de pétrole), en protéines brutes et en tanins, avec des teneurs allant, selon les auteurs de 21 à 24.3%, 17.7 à 15.5% (Utley et Hellwig, 1985 ; Hill *et al.*, 1986a) et 20.5 à 23.8% (Hill *et al.*, 1986a ; Hill *et al.*, 1986b) respectivement. Du fait de leurs valeurs nutritives, les téguments de cacahuètes (TC) apparaissent comme un ingrédient alimentaire intéressant. Ainsi, des génisses nourries avec des pousses de seigle supplémentées avec 0.91 kg (sans doute kg.tête⁻¹.jour⁻¹ mais non précisé dans l'article) de maïs et 0.91 kg (kg.tête⁻¹.jour⁻¹) de TC ont un poids moyen quotidien supérieur à des génisses dont le supplément alimentaire est seulement composé de maïs (1.82 kg). Cependant, le gain

moyen quotidien diminue avec l'augmentation de la teneur en TC dans la ration alimentaire, cette réduction étant attribuée à une diminution de la digestion des protéines et à une rétention de l'azote (Mc Brayer *et al.*, 1983).

De même, une étude de West *et al.* (1993) a montré que des vaches allaitantes dont la ration alimentaire contenait 8, 16 ou 24% TC produisaient plus de lait que des vaches non supplémentées en TC. De plus, le taux de graisse dans le lait augmente avec l'augmentation de TC dans la ration alimentaire (jusqu'à 16%). Cependant, si le taux de CT est supérieur à 16%, un effet dépressif apparaît et le rendement en lait des vaches diminue. De même, l'azote ammoniacal dans le rumen, l'azote dans le sérum et l'urée et la digestibilité des protéines diminuent avec l'augmentation de la teneur en TC dans la ration alimentaire ce qui est probablement relié à la formation de complexes tanin-protéine indigestes. Ainsi, si la quantité incorporée dans la ration alimentaire n'excède pas 16%, les téguments de cacahuète semblent améliorer la performance en terme de gain moyen quotidien et de rendement laitier des vaches allaitantes.

5.2. Plantes non conventionnelles

Dans un autre registre d'utilisation des plantes comme fourrage alternatif, les conditions climatiques dans certaines zones géographiques du monde, notamment en Afrique ou en Nouvelle-Zélande par exemple, sont contraignantes et ne sont pas propices aux pâtures « classiques » et les éleveurs de ces régions doivent fournir une autre source alimentaire à leurs animaux. Ainsi, une étude de Moore *et al.* (2003) a montré l'intérêt du saule (*Salix* sp.) en tant que supplément pour des bovins pâturants dans des champs où l'herbe est clairsemée et sèche. En effet, **les feuilles de saule**, à la dose de 4 kg de feuilles fraîches par jour, permettent de **réduire les pertes de poids** engendrées par des conditions prolongées de sécheresse (jusqu'à 120 jours). En effet, les tanins condensés contenus dans les feuilles de saule contribuent à l'augmentation de la proportion d'acides aminés atteignant l'intestin grêle, ce qui augmente l'efficacité de l'absorption des protéines chez les ruminants. Ainsi, l'utilisation des feuilles de saule (*Salix* sp.) en tant que fourrage de substitution lors des périodes de sécheresse est un moyen facilement réalisable et peu onéreux de réduire les pertes de poids chez les ruminants (Moore *et al.*, 2003).

De même, Wanapat *et al.* (1999) ont étudié l'intérêt de l'utilisation du manioc ou cassava (*Manihot esculenta* Crantz) en tant que fourrage. Le manioc est une culture tubéreuse annuelle présente principalement dans les régions tropicales et subtropicales. Les résultats de cette étude montrent que du foin de manioc peut être utilisé avec succès comme additif alimentaire, notamment en période sèche, puisqu'il est bien consommé par le bétail et a une teneur élevée en protéines. De plus, l'incorporation de forte quantité de **foin de manioc** dans l'alimentation animale réduit la quantité de concentré à apporter et **augmente le rendement laitier**. Une supplémentation à hauteur de 2 à 3 kg.tête⁻¹.jour⁻¹ pourrait améliorer l'efficacité, réduire les coûts de production et augmenter les profits. Enfin, suite à la supplémentation avec du foin de manioc, le taux de thiocyanate dans le lait augmente ce qui pourrait permettre **une préservation naturelle de la qualité du lait** et une meilleure conservation de celui-ci lors du stockage (Wanapat *et al.*, 1999). De plus, il semble que la teneur en tanins de cette plante évolue avec le temps, ce qui suggère qu'une récolte précoce permet d'éviter l'obtention d'un fourrage trop riche en tanins. Ainsi, un fourrage supplémenté en foin de manioc pourrait être bénéfique dans un élevage bovin. Néanmoins, même si les tanins restants semblent présenter des effets positifs, il semble nécessaire de poursuivre les recherches sur le rôle des tanins condensés présents dans le foin de manioc utilisé comme additif alimentaire riche en protéines pour des vaches allaitantes en période de sécheresse (Wanapat *et al.*, 1999).

6. Huiles essentielles et extraits divers

Les composés phénoliques comme l'eugénol (présent dans le clou de girofle, *Eugenia caryophyllata*) ou le thymol et le carvacrol (présents dans l'origan, *Origanum vulgare* et le thym, *Thymus vulgaris*) sont responsables des propriétés antibactériennes de nombreuses huiles essentielles et semblent agir comme « perméabilisant » des membranes. Bien que certaines huiles essentielles et leurs composés actifs aient une activité antimicrobienne à large spectre, les bactéries Gram-positive sont généralement plus sensibles aux huiles essentielles que les bactéries Gram-négative (Castillejos *et al.*, 2006). Ainsi, les extraits de plantes ont démontré des effets antimicrobiens *in vitro* mais leur influence sur la croissance des espèces animales d'élevage reste insuffisamment documentée. Le thymol (provenant de *Thymus* sp. et *Origanum* sp.), et des extraits de sauge officinale (*Salvia officinalis*) et de prêle des champs (*Equisetum arvense*) ont été utilisés chez les ruminants pour contrôler la méthanogénèse (Hernandez *et al.*, 2004). Botsoglou *et al.* (2002) ont indiqué que l'huile essentielle d'origan n'exerçait pas d'effets promoteurs de croissance chez les poulets supplémentés à hauteur de 50 ou 100 mg.kg⁻¹ de matière sèche ingérée. Plusieurs essais, traitant de l'incorporation de menthe (*Mentha* sp.), d'ail (*Allium* sp.), de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*), de cannelle (*Cinnamomum cassia*) et d'échinacée (*Echinacea* sp.) dans l'alimentation de porcs en engraissement ont donné des résultats contradictoires et inconsistants (Hernandez *et al.*, 2004).

6.1. Effet sur la fermentation microbienne du rumen

L'activité microbienne ruminale est essentielle pour la synthèse de protéines de haute qualité chez les ruminants (Cardozo *et al.*, 2004). Cependant, cette fermentation ruminale des hexoses et des acides aminés est accompagnée par des pertes d'énergie et d'azote organique. En effet, 8 à 12% de l'énergie digestible ingérée par les ruminants sont perdus dans le rumen sous forme de méthane tandis que 75 à 85% de l'azote consommé par les vaches laitières est excrété par les fèces et les urines (Busquet *et al.*, 2006). La modification de la fermentation microbienne du rumen par l'utilisation d'antibiotiques avait montré son efficacité afin de diminuer la production de méthane et d'azote ammoniacal. Cependant, le risque de retrouver des résidus antibiotiques dans le lait et la viande et leurs effets sur la santé humaine a conduit l'Union européenne à proscrire l'utilisation d'antibiotiques dans l'alimentation animale en 2006 (Journal Officiel de l'Union Européenne, Règlement (CE) n°249/2006 de la commission du 13 février 2006). C'est pourquoi, il existe un intérêt grandissant dans l'évaluation d'antimicrobiens naturels potentiels, comme les extraits de plantes, afin de modifier la fermentation microbienne du rumen.

Ainsi, plusieurs études, pour la plupart *in vitro*, ont été menées afin d'évaluer les effets de plusieurs extraits de plantes ou de composés issus de plantes sur la dégradation des protéines et la fermentation microbienne ruminale (Cardozo *et al.*, 2004 ; Mitsch *et al.*, 2004 ; Cardozo *et al.*, 2005 ; Busquet *et al.*, 2005a ; Busquet *et al.*, 2005b ; Busquet *et al.*, 2005c ; Busquet *et al.*, 2006 ; Cardozo *et al.*, 2006). D'un point de vue général, il en ressort que **l'activité microbienne du rumen est affectée par l'utilisation d'extraits ou de métabolites secondaires de plantes**. Une étude menée par Busquet *et al.* (2006) a ainsi testé 12 extraits végétaux⁴ et 6 métabolites secondaires différents. Il est intéressant de noter que, lorsqu'elles sont apportées en forte quantité (3000 mg.l⁻¹ et 5000 mg.l⁻¹), les huiles d'anis vert (*Pimpinella anisum*), de cannelle (*Cinnamomum cassia*), de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*), d'ail (*Allium sativum*), d'origan (*Origanum vulgare*) et du tea tree (*Melaleuca alternifolia*) et les métabolites secondaires tels anéthol, benzyl-salicylate,

⁴ Les auteurs utilisent l'expression « huile » pour certains de leurs extraits mais le manque de précision nous oblige à notifier au lecteur qu'il ne s'agit pas obligatoirement d'huile essentielle. Ceci est particulièrement vrai pour les « huiles » d'ail, de gingembre et de piment.

carvacrol, carvone, cinnamaldéhyde et eugénol, augmentent le pH dans le rumen et réduisent la concentration en acides gras volatils comparativement au témoin non traité, ce qui est cohérent avec leur activité antimicrobienne. Les acides gras volatils représentent la principale source d'énergie métabolisable chez les ruminants. Par conséquent, une réduction de leur production pourrait être préjudiciable nutritionnellement pour l'animal (Busquet *et al.*, 2006). Ces résultats sont cohérents avec des études de Castillejos *et al.* (2006) et de Cardozo *et al.* (2005) qui ont rapporté que de fortes doses de différentes huiles de plantes, testées sur une fermentation *in vitro* d'un mélange de microorganismes du rumen, entraînaient une inhibition de la fermentation microbienne ruminale.

Néanmoins, à de plus faibles doses (jusqu'à 50 mg.l⁻¹), les huiles et les métabolites secondaires apportés modifient toujours la fermentation microbienne du rumen mais ne semblent plus être préjudiciables à la production d'acides gras volatils. Il en est de même lorsque le pH est faible contrairement à un pH élevé qui entraîne une diminution de la production d'acides gras volatils (Cardozo *et al.*, 2005 ; Busquet *et al.*, 2006 ; Cardozo *et al.*, 2006 ; Castillejos *et al.*, 2006). Ainsi, Cardozo *et al.* (2005) ont montré que les effets des extraits de plantes (huiles essentielles ?) sur la fermentation microbienne ruminale sont **dépendants du pH**. Lorsque le pH est élevé, tous les extraits à l'exception de celui de la cannelle (*Cinnamomum cassia*) maintiennent ou diminuent la teneur en acide gras volatils et maintiennent ou augmentent le ratio acétate/propionate, suggérant qu'aucun de ces extraits n'a d'intérêt dans la production de viande bovine. À l'inverse, quand le pH est bas (~ 5,5), la concentration en acide gras volatils est plus importante avec l'eugénol, le cinnamaldéhyde, les extraits d'ail, de piment et de yucca. Dans les mêmes conditions, le ratio acétate/propionate est plus faible avec le cinnamaldéhyde et les extraits d'origan, d'ail, de piment et de yucca. Ceci est en accord avec les résultats des études de Castillejos *et al.* (2006) et de Cardozo *et al.* (2005 ; 2006).

Parmi tous les extraits de plantes testés, nous pouvons citer les métabolites secondaires anethol et carvone, et les huiles essentielles d'anis (*Pimpinella anisum*) et de tea tree (*Melaleuca alternifolia*) qui diminuent la proportion d'acétate et de propionate tout en augmentant la proportion de butyrate. Cependant, l'anethol et l'huile essentielle d'anis ne semblent pas agir sur la concentration en azote ammoniacal tandis que la carvone et de l'huile essentielle de tea tree diminuent la concentration en azote ammoniacal. Néanmoins, l'acétate et le propionate étant les précurseurs principaux de la synthèse des graisses et du glucose chez les ruminants, leur diminution n'est pas bénéfique nutritionnellement pour les ruminants ce qui fait que **l'anéthol, la carvone et les huiles essentielles d'anis et de tea tree ne sont pas intéressants en tant qu'additif pour l'alimentation animale** (Busquet *et al.*, 2006).

Le carvacrol et le thymol, qui sont les constituants principaux des huiles essentielles de thym (*Thymus vulgaris*) et d'origan (*Origanum vulgare*), diminuent la proportion d'acétate et de propionate. De plus, à fortes doses, le thymol (1000 mg.l⁻¹) et le carvacrol (3000 mg.l⁻¹) entraînent une diminution de l'azote ammoniacal. Ceci suggère que le **thymol** et le **carvacrol réduisent la désamination des acides aminés**. Cette inhibition peut entraîner une évacuation ruminale de protéines ingérées et améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans le rumen (Busquet *et al.*, 2006 ; Castillejos *et al.*, 2006). Ainsi, le thymol semble inhiber la croissance de *Clostridium sticklandii* et *Peptostreptococcus anaerobius*, deux bactéries qui appartiennent au groupe spécifique des espèces hyper-productrices d'ammoniac. Ce mécanisme d'action est identique à celui de la monensine⁵ (Castillejos *et al.*, 2006).

⁵ Le monensin sodium est un polyéther ionophore produit par *Streptomyces cinnamonensis* qui présente des activités antibactériennes et anticoccidiennes. Il est actif principalement contre les bactéries Gram+. Des études de laboratoire ont montré qu'elles pouvaient développer une résistance à l'additif. Le monensin sodium n'est ni génotoxique, ni cancérigène. Aucun signe d'embryotoxicité, de fœtotoxicité ou de tératogénicité n'a été observé. Il a une activité inotrope, c'est-à-dire qu'il exerce

De plus, il apparaît que le thymol et le carvacrol ont une faible spécificité antimicrobienne puisqu'ils sont capables d'inhiber des bactéries Gram-positives (produisant de l'acétate et du butyrate comme *Selenomonas ruminantium*) mais aussi des bactéries Gram-négatives (normalement celles produisant du propionate) (Busquet *et al.*, 2006). Il semblerait que l'utilisation de thymol et de carvacrol ne soit pas adéquate dans un environnement bactérien complexe comme le rumen. Du fait de leur forte activité antimicrobienne, il semble **difficile de définir une dose optimale** de ces deux composés phénoliques pour une utilisation efficace et viable dans l'alimentation animale (Busquet *et al.*, 2005a ; Busquet *et al.*, 2006 ; Castillejos *et al.*, 2006).

L'eugénol est le principal constituant de l'huile essentielle de clou de girofle (*Eugenia caryophyllata*) et de cannellier-feuille (*Cinnamomum zeylanicum*). A l'instar du carvacrol et du thymol, il présente lui aussi une activité antimicrobienne contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Le cinnamaldéhyde qui est le constituant principal de l'huile essentielle de cannelle (*Cinnamomum cassia*) présente également de forts effets inhibiteurs puisqu'il peut diminuer les concentrations en acides gras volatils et en azote ammoniacal et présente également une activité antimicrobienne significative. Cependant, l'eugénol ainsi que l'huile essentielle de cannelle (qui contient à la fois de l'eugénol et du cinnamaldéhyde) semblent présenter des effets intéressants à faibles doses (< 500 mg.l⁻¹ pour l'eugénol et environ 2 à 3 ml.l⁻¹ pour l'huile essentielle de cannelle) (Busquet *et al.*, 2005a ; Busquet *et al.*, 2006 ; Cardozo *et al.*, 2006). En effet, Castillejos *et al.* (2006) ont observé une diminution de la production d'acétate et d'azote ammoniacal suite à l'ajout d'eugénol, probablement due à l'inhibition de la désamination des acides aminés. Il en est de même suite à l'apport de 500 mg.l⁻¹ de gaiacol. Busquet *et al.* (2006) ont montré que l'eugénol augmentait la concentration molaire de propionate tandis que l'huile essentielle de cannelle diminuait la concentration molaire d'acétate. Il semblerait donc qu'une **combinaison d'eugénol et de cinnamaldéhyde** (ou d'eugénol et d'huile essentielle de cannelle) correctement utilisée, avec précaution, puisse permettre **une modification bénéfique de la fermentation microbienne du rumen**.

D'après une étude *in vitro* de Busquet *et al.* (2006), il semblerait que des doses élevées (> 300 mg.l⁻¹) d'extrait d'ail (*Allium sativum*) entraîneraient une réduction globale des acides gras volatils avec une diminution de la concentration en acétate et une augmentation des concentrations en propionate et butyrate, ce qui est cohérent avec une autre étude menée par Busquet *et al.* (2005c). Ces résultats sont similaires à ceux (normalement) obtenus avec des inhibiteurs de méthane comme l'amicloral ou l'acide 2-bromoéthanosulfure qui inhibent directement les *Archae*⁶ méthanogènes et par conséquent, qui réduisent fortement le métabolisme de la synthèse du méthane. (Busquet *et al.*, 2005b ; Busquet *et al.*, 2005c ; Busquet *et al.*, 2006). En effet, l'inhibition directe de la synthèse méthanoïque par ces additifs conduit à un excès d'hydrogène dans le rumen, qui est alors utilisé par d'autres puits d'hydrogène en l'occurrence le propionate et le butyrate ce qui explique l'augmentation de la concentration de ces deux composés dans le rumen. Cette inhibition de la synthèse méthanoïque conduit également à un ratio NADH/NAD⁺ plus élevé qui se traduit alors par une diminution de la production d'acétate ce qui explique la diminution de la concentration de ce composé dans le rumen. Le mécanisme d'action de **l'extrait d'ail** entraînant **l'inhibition de la méthanogénèse** serait lié à la présence de composés organosulfurés comme l'allicine. En effet, ceux-ci inhiberaient l'enzyme 3-hydroxy-3-méthyl-glutaryl coenzyme A réductase,

des effets pharmacologiques aigus sur le système cardiovasculaire. Le monensin sodium a été très utilisé jusqu'en 2006 en Europe (avant son interdiction) et est encore utilisé aux USA et au Brésil.

⁶ Les archéobactéries ou archées ou *archaea* (du grec *archaios*, ancien et *backterion*, bâton) constituent un taxon du vivant caractérisé par des cellules sans noyau et se distinguant des eubactéries par certains caractères biochimiques, comme la constitution de la membrane cellulaire ou le mécanisme de réplication de l'ADN.

inhibant ainsi spécifiquement les *archae* méthanogènes du rumen. Il semblerait que le benzyl salicylate, le disulfure de diallyle et l'allyle mercaptan présentent les mêmes effets que l'extrait d'ail mais dans une moindre mesure (Busquet *et al.*, 2005c ; Busquet *et al.*, 2006). Les diminutions de la production de méthane et du ratio méthane/acides gras volatils consécutifs à l'ajout d'ail suggèrent le potentiel de cet extrait de plante pour améliorer la fermentation microbienne du rumen par augmentation de la quantité d'énergie obtenue par unité de substrat fermenté.

L'huile essentielle de cade (ou genévrier oxycèdre, *Juniperus oxycedrus*), ou les oléorésines de piment (*Capsicum annum*) et de gingembre (*Zingiber officinale*) ne semblent présenter que de faibles effets, non significatifs, sur la fermentation microbienne du rumen, comparativement au témoin non traité. Le manque d'effets de l'huile essentielle de genévrier oxycèdre, et des oléorésines de piment ou de gingembre par rapport aux autres extraits de plantes testés pourrait être relié à leur faible teneur en hydrocarbures oxygénés puisque certaines études ont montré que les monoterpènes hydrocarbonés étaient significativement moins actifs que les monoterpènes oxygénés (Busquet *et al.*, 2006). À noter que nous avons des doutes sur la nature exacte des extraits utilisés par Busquet *et al.* (2006) notamment en ce qui concerne le gingembre car le composé « shogaol » n'est pas présent dans l'huile essentielle de *Zinziber officinale*, c'est pourquoi nous parlons plutôt d'oléorésine pour cette plante.

Dans un premier temps, ces résultats indiquent que les effets liés à l'incorporation d'additifs naturels dans l'alimentation animale sont plus faibles et plus variables en ce qui concerne le métabolisme de l'azote, ce qui suggère qu'ils sont peut-être secondaires par rapport aux effets sur le métabolisme énergétique (Busquet *et al.*, 2005c).

Dans un second temps, nous pouvons noter que l'ensemble des effets des différentes huiles essentielles testées sur la fermentation microbienne du rumen peut être le résultat de différences de sensibilité des populations microbiennes spécifiques envers ces composés. La réponse aux divers extraits de plantes testés, différente selon le pH, semble surprenante mais peut être expliquée par le statut « dissocié » (hydrophile) ou « indissocié » (hydrophobe) des molécules actives. En effet, seule la forme hydrophobe de la molécule est capable d'interagir avec la double membrane des cellules. Lorsque le pH diminue, les acides ont tendance à devenir « indissociés » et plus hydrophobes, ce qui, par conséquent, facilite leur interaction avec les membranes cellulaires et favorise ainsi leur activité antimicrobienne (Cardozo *et al.*, 2005). C'est pourquoi, les effets des extraits de plantes sur la concentration en azote ammoniacal sont **dépendants du pH**. Néanmoins, nous pouvons remarquer que lorsque le pH est faible (de l'ordre de 5,5), de nombreuses huiles essentielles diminuent la concentration en azote ammoniacal dans le rumen. Ainsi, pour un **pH ruminal faible**, ce qui est attendu en cas de régime hautement concentré, l'huile essentielle d'**origan** et l'extrait d'**ail** ainsi que le **cinnamaldéhyde** présentent **un potentiel intéressant en tant qu'additif alimentaire pour l'alimentation des ruminants** (Cardozo *et al.*, 2005).

Enfin, nous pouvons signaler que ces résultats sont encourageants dans l'optique de modifier bénéfiquement la fermentation microbienne du rumen et de remplacer les antibiotiques comme la monensine par des additifs naturels. Cependant, il apparaît nécessaire de sélectionner avec précaution ces extraits qui présentent un potentiel intéressant. De plus, certaines études (Cardozo *et al.*, 2004 ; Busquet *et al.*, 2006 ; Castillejos *et al.*, 2006) ont montré que les effets de certains extraits de plantes sur la fermentation microbienne du rumen disparaissaient après quelques jours d'incubation, suggérant ainsi le fait que les microorganismes du rumen étaient capables de s'adapter à la présence de ces composés. Ceci amène donc à relativiser les résultats obtenus lors d'expérimentations de courte durée et à déterminer le potentiel de certains extraits de plante dans des conditions réelles d'alimentation, dans le cadre d'expérimentation *in vivo* de longue durée. À ce jour, une seule étude, menée par Cardozo *et al.* (2006), s'est déroulée *in vivo* sur une période de 21 jours. Il en ressort que certains extraits de plantes ont la capacité de modifier la quantité d'aliments ingérés et la fermentation microbienne du rumen. Cependant,

ces observations varient selon l'extrait utilisé. Alors qu'une mixture de cinnamaldéhyde et d'eugénol maintient ou réduit la quantité de matière sèche ingérée, une oléorésine de piment (*Capsicum annuum*) l'augmente. De plus, considérant que la réduction des concentrations en acétate et en azote ammoniacal du rumen associée à une augmentation de la concentration en propionate est plus efficace pour une production de viande, **les huiles essentielles de piment et d'anis, ou une mixture de cinnamaldéhyde et d'eugénol apparaissent comme prometteurs.** Cependant, des études portant notamment sur la performance des animaux sont nécessaires pour confirmer cet intérêt.

6.2. Réduction de l'émission des gaz à effet de serre et réduction des pathogènes dans les déchets d'origine animale

Chez les ruminants et notamment les bovins, les pertes énergétiques par méthane entérique (CH₄) représentent de 2 à 12% de l'énergie brute ingérée. Du fait des problèmes de réchauffement climatique, les producteurs de bovins sont amenés à rechercher et promouvoir de nouvelles pratiques d'élevage afin de réduire la production de gaz à effet de serre. La réduction des quantités de méthane produites peut être économiquement bénéfique si celle-ci s'accompagne d'une meilleure efficacité alimentaire des animaux.

Comme nous l'avons relevé dans la partie précédente, l'extrait d'ail (*Allium sativum*) semble être intéressante dans cette optique. En effet, elle permet une diminution de la production d'acétate corrélée à une augmentation de la production de butyrate, tandis que ses effets sur la production de propionate sont plus variables (Busquet *et al.*, 2005c), bien que certaines études (Busquet *et al.*, 2005b ; Busquet *et al.*, 2006) montrent une augmentation de la production de propionate. Ceci semble donc en accord avec une fermentation microbienne du rumen plus efficace. De plus, il semblerait que ce comportement lié à l'ingestion d'extrait d'ail se traduise par une diminution de la production de méthane au sein du rumen du fait de l'inhibition directe de la méthanogénèse par inhibition de l'enzyme 3-hydroxy-3-méthyl-glutaryl coenzyme A réductase (Busquet *et al.*, 2005c). **L'utilisation d'ail dans le but de réduire la production méthanoïque du rumen est prometteuse** mais nous devons tout de même garder à l'esprit que ces résultats ont été obtenus lors d'expérimentations *in vitro*.

Une étude menée par Beauchemin et Mc Ginn (2006) a montré que **l'huile de tournesol réduit significativement (P<0.05) les émissions de méthane** par unité d'énergie brute ingérée (22% de réduction) et par unité d'énergie digestible (17% de réduction). Environ un quart de la réduction de ces émissions de méthane est attribuée à une **diminution de la digestibilité**, le reste étant potentiellement dû à la diminution du substrat « ruminalement » fermentescible et/ou par l'inhibition des protozoaires (*archae*) responsables de la méthanogénèse (Busquet *et al.*, 2005c ; Beauchemin et Mc Ginn, 2006). L'huile de canola semble moins efficace que l'huile de tournesol dans la réduction des émissions de méthane. En effet, l'huile de canola semble réduire les émissions de méthane de 21% par unité d'énergie brute ingérée (P=0.09) et de 6% par unité d'énergie digestible (P=0.012). Des résultats similaires ont été obtenus par Beauchemin et Mc Ginn (2006). En ce qui concerne les mécanismes de réduction, pour l'huile de canola, 70% de la réduction des émissions de méthane sont dus à la diminution de la valeur digestible de l'aliment. En effet, selon Beauchemin et Mc Ginn (2006), l'ajout d'**huile de canola** dans la ration alimentaire des bovins **diminue l'ingestion des aliments** de 21% et **la digestibilité de la matière sèche** de 15%. La meilleure efficacité du tournesol par rapport au canola serait due à une composition différente en terme d'acides gras. Ainsi, l'huile de tournesol est plus riche en acide linoléique (40% contre 22%) et moins riche en acide oléique (45% contre 54%) par rapport à l'huile de canola (Beauchemin et Mc Ginn, 2006).

Ainsi, une modification dans l'alimentation animale est un moyen par lequel la production « industrielle » de viande bovine peut réduire sa contribution dans l'émission de gaz à effet de serre. Ces résultats démontrent que les huiles de tournesol et de canola peuvent être utilisées en tant qu'additifs alimentaires pour réduire la production de méthane. Cependant, il semble que ces deux extraits de plante peuvent engendrer une réduction des performances animales du fait de la diminution de l'ingestion et de la digestibilité des rations alimentaires. En ce qui concerne d'autres extraits végétaux, les huiles essentielles ou autres extraits de plantes comme par exemple l'ail ont un potentiel intéressant puisqu'elles ont démontré, *in vitro*, des aptitudes à réduire les émissions de gaz à effet de serre, principalement en inhibant la méthanogénèse. Néanmoins, il semblerait que leur efficacité soit moindre *in vivo*. Il est donc nécessaire d'encourager d'autres recherches sur le sujet afin de parvenir à une connaissance suffisante pour permettre une utilisation de ces produits végétaux dans l'alimentation animale.

6.3. Effet sur la production laitière et la composition du lait

Une étude *in vivo* menée par Benchaar et al. (2007) a permis d'étudier les effets de deux fourrages différents associé ou non à un additif industriel et commercial composé d'une mixture de constituants naturels d'huile essentielle (thymol, eugénol, vanilline, gaïacol et limonène) nommé « CRINA ruminants » à la dose de 750 mg.vache⁻¹.jour⁻¹. En premier lieu, il apparaît que l'addition d'huile essentielle aux fourrages n'a pas d'effet sur la concentration du rumen en azote ce qui est cohérent avec une étude de Benchaar et al. (2006). Par contre, nous pouvons noter que la concentration en acides gras volatils dans le rumen diminue lorsque les huiles essentielles sont ajoutées en complément de l'ensilage de maïs tandis que celle-ci augmente très légèrement lorsque les huiles essentielles sont ajoutées à l'ensilage de luzerne. À l'inverse, lorsqu'il n'est pas ajouté d'additif aux fourrages, la concentration du rumen en acides gras volatils est la même quel que soit le fourrage apporté, ce qui traduit une interaction entre l'additif alimentaire à base d'huile essentielle et le fourrage utilisé ($P < 0.01$) (Benchaar et al., 2007). La diminution de la concentration en acides gras volatils dans le rumen observée avec l'ajout des huiles essentielles est cohérent avec l'augmentation du pH du rumen. Par contre, nous pouvons noter que la concentration en propionate et le ratio acétate/propionate ne sont pas affectés par l'addition d'huiles essentielles (Benchaar et al., 2007). Ces résultats semblent en accord avec ceux obtenus par Busquet et al. (2005a ; 2006) et Cardozo et al. (2006).

Selon cette même étude de Benchaar et al. (2007), il ne semble pas y avoir d'interaction entre l'additif à base d'huiles essentielles et le type de fourrage utilisé en ce qui concerne la digestibilité apparente totale des nutriments, les rejets d'azote, l'azote retenu et le flux d'azote bactérien du duodénum. La digestibilité apparente de la matière sèche et des protéines brutes ne sont pas influencées par l'ajout d'huiles essentielles ce qui est en accord avec l'étude de Benchaar et al. (2006). Cependant, les résultats de nombreuses autres études (Busquet et al., 2005a ; Busquet et al., 2006 ; Castillejos et al., 2006) ont montré que les effets des composés des huiles essentielles sur l'activité microbienne du rumen peuvent varier selon la dose et le type de composé utilisés. Les rejets d'azote dans les fèces, les urines et le lait ne sont pas différents entre les vaches nourries avec un fourrage supplémenté avec des huiles essentielles et les autres, ce qui suggère qu'il n'y a pas d'effet « huiles essentielles » sur la rétention de l'azote (Benchaar et al., 2007), ce qui est cohérent avec les résultats obtenus par Benchaar et al. (2006).

Ainsi, en ce qui concerne la nature des fourrages utilisés dans l'expérience de Benchaar et al. (2007), il n'y a pas de différences en terme de quantité de lait produite entre les vaches nourries à l'ensilage de maïs et celles nourries à l'ensilage de luzerne. Cependant, nous pouvons noter quelques différences en ce qui concerne la teneur en acides

gras du lait qui a tendance à être plus faible lorsque les vaches sont nourries à l'ensilage de maïs. De même, la concentration en azote du lait est plus élevée chez les vaches nourries à l'ensilage de maïs, ce qui est le résultat d'un ratio acétate/propionate plus faible et une concentration en N-NH₃ dans le fluide ruminal plus élevée. Par conséquent, une alimentation à base d'ensilage de luzerne améliore la qualité nutritive du lait et semble donc plus appropriée qu'une alimentation à base d'ensilage de maïs (Benchaar *et al.*, 2007).

Enfin, concernant un additif à base d'huiles essentielles, nous pouvons noter que l'ajout d'une mixture spécifique à base de composés d'huile essentielle à la dose de 750 mg.vache⁻¹.jour⁻¹ ou de 2 g. vache⁻¹.jour⁻¹ dans une alimentation à base soit de luzerne soit de maïs, ne présente que des **effets limités sur la digestion, la fermentation du rumen, les microorganismes du rumen, la production de lait et la composition de celui-ci** chez des vaches en période de lactation (Benchaar *et al.*, 2006 ; Benchaar *et al.*, 2007). Ainsi, bien que des huiles essentielles aient montré, à forte dose et *in vitro*, un potentiel intéressant en terme de modifications favorables de la fermentation microbienne du rumen, d'autres recherches sont nécessaires pour valider leur efficacité *in vivo* à des doses plus adaptées au métabolisme animal.

6.4. Effet sur la performance et la qualité des porcs

De nombreuses études ont traité de l'utilisation d'épices, d'oléorésines et d'huiles essentielles en aval de la filière animale pour leur capacité à augmenter la qualité sanitaire et la durée de conservation des produits à base de porc, bœuf, volailles, etc....grâce à leurs propriétés antimicrobienne et antioxydante. Cependant, il existe très peu de publications sur leur utilisation ou celle de leurs divers composés dans l'alimentation animale dans le but d'influer sur la qualité des produits finaux.

Basée sur l'hypothèse qu'une alimentation appréciée est consommée en quantité plus importante, une étude menée par Janz *et al.* (2007) indique que les porcs ont clairement une préférence pour la ration alimentaire avec de l'huile essentielle d'ail suivie de la ration alimentaire avec de l'huile essentielle d'origan et enfin celle avec de l'huile essentielle de gingembre ⁷. Dans cette même étude de Janz *et al.* (2007), l'ajout d'huile essentielle ou d'oléorésine dans l'alimentation porcine n'a pas eu d'effets sur le poids vif à l'abattage, le pourcentage de parure (« dressing pourcentage ») et l'épaisseur de la couenne (« backfat thickness »). De plus, l'utilisation d'huile essentielle ou d'oléorésine ne semble pas avoir affecté le profil des acides gras dans les muscles *longissimus* ce qui est en accord avec des études de Grela (2000) et Paschma et Wawrzynski (2003). De même, une étude de Jorgensen *et al.* (2000) a montré que l'incorporation (150g.kg⁻¹) d'huile de poisson, de graines de colza ou d'huile de noix de coco dans l'alimentation porcine n'a pas induit de modification en terme de digestibilité des graisses et des protéines et en terme d'énergie chez des porcs en engraissement.

Selon l'étude de Janz *et al.* (2007), il semblerait qu'un ajout d'huile essentielle ou d'oléorésine à faible dose (0,05%) ait seulement un impact **marginal** sur l'état d'oxydation lipidique de la viande de porc. En effet, il apparaît que les porcs dont la ration alimentaire avait été complétée en huile essentielle d'origan présentent une viande moins oxydée que celle des porcs témoins. Cependant, la différence n'est pas significative et les autres traitements ne semblent pas concernés (Janz *et al.*, 2007). De même, une étude menée par Manzanilla *et al.* (2004) sur les effets d'extraits de plantes sur l'équilibre intestinal des porcs en engraissement a montré certains changements liés à l'apport de carvacrol (5% w/w), de cinnamaldéhyde (3% (w/w) et d'oléorésine de piment (2% w/w) en terme de fonction digestive et de fermentation microbienne. Un effet de la **capsaïcine** est de **réduire la**

⁷ D'après les données fournies par les auteurs, il n'est pas sûr qu'il s'agisse vraiment d'huile essentielle ou même d'oléorésine. La nature exacte de l'extrait n'est pas confirmée.

motilité gastrique avec comme conséquence un allongement du temps moyen de rétention des aliments dans l'estomac. Ceci explique donc que, dans l'expérimentation de Manzanilla et al. (2004), les estomacs des animaux ayant reçu une ration alimentaire supplémentée avec des extraits végétaux soient mieux remplis. Ainsi, l'extrait de plante étudié ne semble pas réduire la taille globale de la population microbienne gastro-intestinale chez le porc mais plutôt favoriser certaines populations par rapport à d'autres (Manzanilla et al., 2004 ; Castillo et al., 2006).

De plus, l'ajout d'huiles essentielles dans l'alimentation porcine a entraîné l'augmentation du nombre de lactobacilles et la diminution du nombre d'entérobactéries dans le petit intestin, se traduisant par un ratio Lactobacille/Entérobactérie plus élevé. Ceci est particulièrement visible dans le cæcum et le jéjunum (Manzanilla et al., 2004 ; Castillo et al., 2006). Il est difficile de donner des explications à ces résultats mais il semblerait que l'extrait de plantes ait un **effet pré-biotique sur la population de lactobacilles** soit par un effet direct soit par un effet indirect via un changement dans l'environnement intestinal microbien (Castillo et al., 2006).

Ainsi, un faible apport d'huile essentielle ou d'oléorésine dans l'alimentation porcine ne semble pas améliorer ni détériorer les performances des porcs et la qualité de la viande (Janz et al., 2007). Par conséquent, il est nécessaire de continuer les recherches et de mettre en place des expérimentations destinées à déterminer quelle dose d'huile essentielle ou d'oléorésine est nécessaire pour que celle-ci devienne détectable et fonctionnelle pour la viande et les tissus adipeux. Cependant, l'incorporation dans l'alimentation porcine de carvacrol, cinnamaldéhyde et d'oléorésine de piment induit certains changements dans la fonction digestive et au niveau des populations microbiennes des porcs en engraissement (Manzanilla et al., 2004 ; Castillo et al., 2006). Il semblerait donc qu'une mixture de composés d'origine végétale pourrait agir comme des **promoteurs de croissance**. Ces résultats doivent encourager la communauté scientifique dans leur recherche d'alternatives aux antibiotiques par exemple en évitant de se focaliser directement sur les mécanismes microbiens mais en prenant également en compte des variables plus mécaniques (comme le remplissage de l'estomac par exemple) et les interactions possibles entre différents additifs d'origine naturelle qui peuvent engendrer des effets dépréciateurs.

6.5. Effet sur la croissance et le métabolisme des poulets

Les extraits de plantes sont particulièrement importants pour les organismes pour leurs propriétés antioxydatives, antivirales, antibactériennes et antiparasitaires mais également pour leur potentiel à stimuler l'appétit et la prise alimentaire, à accroître la sécrétion d'enzymes digestives endogènes et à favoriser l'activation de la réponse immunitaire (Jamroz et al., 2005 ; Jamroz et al., 2006). Ainsi, certains constituants de plantes et d'épices comme le cinnamaldéhyde ou la capsaïcine ont montré une capacité à protéger les microvillosités qui sont responsables de l'absorption des nutriments (Jamroz et al., 2006). Cette fonction de la muqueuse intestinale est connectée avec l'activité antioxydative intrinsèque des cellules et des tissus. Ainsi, dans une étude de Jamroz et al. (2006), l'incorporation d'un mélange de cinnamaldéhyde, capsaïcine et carvacrol dans l'alimentation de poulet a engendré des changements morphologique et histochimique au niveau de la paroi du système gastro-intestinal. En effet, il a été observé une augmentation de la libération de mucus et la création d'une épaisse couche de mucus au niveau de la glande stomacale et de la paroi du jéjunum chez des poulets supplémentés par des extraits de plantes. Ceci pourrait donc suggérer une réduction possible de l'adhésion sur l'épithélium et du nombre d'*Escherichia coli*, de *Clostridium perfringens* et de levures au niveau des intestins chez des volailles supplémentées en extraits de plantes (Jamroz et al., 2005 ; Jamroz et al., 2006). Un effet bénéfique similaire a été observé chez des porcs en

engraissement supplémentés en carvacrol et capsaïcine (Lee *et al.*, 2004). Ceci suggère donc la possibilité que certains extraits de plantes, en l'occurrence **le cinnamaldéhyde, la capsaïcine et le carvacrol ici, agissent en tant que promoteurs de la croissance des poulets**. En effet, dans l'étude de Hernandez *et al.* (2004), un extrait de plantes (sauge, romarin et thym) et un mélange de carvacrol, cinnamaldéhyde et capsaïcine améliorent la digestibilité de la ration alimentaire des poulets. L'effet de ces additifs sur la digestibilité des aliments augmente légèrement mais non significativement la performance des animaux. Aucun effet n'est observé concernant le poids des organes des poulets à l'abattage.

De même, une étude de Lee *et al.* (2003) pose comme hypothèse qu'un produit commercial nommé CRINA[®] Poultry (mélange de constituants d'huiles essentielles) ainsi que **le thymol et le cinnamaldéhyde peuvent stimuler la croissance et les performances des poulets**. Cependant, cette même étude montre que l'apport d'un de ces trois composés n'a aucune influence sur le gain de poids, sur la quantité d'aliments ingérés et sur la conversion des aliments bien que les quantités apportées correspondent soit aux recommandations des fabricants soit aux doses étudiées lors d'expérimentations *in vitro*. Ce manque d'effets suite à l'incorporation de ces composés dans l'alimentation des poulets pourrait être dû à l'alimentation de base utilisée ou aux conditions environnementales trop saines. En effet, il est connu que des volailles **bien nourries et en bonne santé** ne tirent **aucun bénéfice** d'un apport d'antibiotiques dans leur ration alimentaire notamment lorsqu'elles sont dans des conditions saines (Lee *et al.*, 2003 ; Lee *et al.*, 2004). C'est sans doute pour cela qu'une étude de Jamroz *et al.* (2005) n'a pas montré que le carvacrol, le cinnamaldéhyde et la capsaïcine incorporés dans l'alimentation animale présentent un effet promoteur de croissance sur des poulets.

Cependant, une meilleure conversion alimentaire, d'environ 2 à 3,4% durant la période de croissance, a été observée chez les volailles supplémentées en extraits de plantes. Une tendance à améliorer la proportion des muscles de la poitrine a également été observée et serait consécutive à une meilleure digestibilité des acides aminés suite à l'activité de la capsaïcine. De même, l'influence bénéfique du cinnamaldéhyde en terme de protection des villosités intestinales suite à son activité antioxydante intercellulaire, pourrait favoriser l'absorption des nutriments digérés (Jamroz *et al.*, 2005).

Néanmoins, cette même étude (Lee *et al.*, 2003) a également montré qu'après 21 jours, les animaux nourris avec CRINA[®] Poultry ont vu augmenter significativement l'activité de leurs amylases lors de la digestion, comparativement aux animaux témoins ou à ceux nourris avec du cinnamaldéhyde. Cet effet n'est plus visible après 40 jours d'expérimentation mais à cette date, les animaux nourris avec du thymol ont vu augmenter significativement l'activité de la trypsine dans leurs intestins comparativement aux animaux nourris avec du cinnamaldéhyde et à ceux nourris avec CRINA[®] Poultry. Il apparaît donc que la sensibilité aux additifs alimentaires des enzymes endogènes varie avec l'âge des poulets. Cependant, ces observations ne semblent pas avoir limité la digestibilité des macro-nutriments. De même, une étude de Lee *et al.* (2004) au cours de laquelle 100 ppm de thymol et de cinnamaldéhyde étaient inclus dans l'alimentation des poulets, n'a pas montré d'effets significatifs sur l'activité enzymatique sur des poulets de 21 et 40 jours.

Si la **menthe à feuilles longues** (*Mentha longifolia*) ne semble pas avoir d'effets sur la réponse immunitaire des volailles contre le virus de la maladie de Newcastle (Al-Ankari *et al.*, 2004) un apport de 150g.kg⁻¹ de cette même menthe en tant qu'additif alimentaire dans l'alimentation des poulets engendre une amélioration significative du poids moyen, du gain moyen journalier, de l'ingestion d'aliments et du ratio de conversion alimentaire. Lee *et al.* (2004) et Botsoglou *et al.* (2002) ont également montré les mêmes effets bénéfiques suite à l'addition de 50 à 100 ppm d'huile essentielle d'**origan** (*Origanum vulgare*) dans l'alimentation des poulets pendant 38 jours. De même, il semblerait que, l'introduction de **cassia** (*Cassia auriculata*) (200 mg.kg⁻¹ d'aliments ingérés) dans l'alimentation des poules,

engendre une augmentation de 5% de la production d'œufs (Prakash, 2006). Une étude de Cornelison et al. (2006) suggère que l'introduction de **houblon** (*Humulus lupulus*) dans l'alimentation des poulets peut améliorer le taux de croissance et l'utilisation alimentaire de ceux-ci en l'absence d'antibiotiques promoteurs de croissance. De même, Rajaian et al. (2006) ont montré que l'introduction de 1% d'une **poudre de racine d'épine-vinette** (*Berberis vulgaris*) dans l'alimentation des poulets conduisait à une différence significative ($P < 0.05$) du poids vif à l'abattage (au 50^{ème} jour d'élevage) de ceux-ci comparativement à des poulets non supplémentés en racine d'épine-vinette. De plus, selon les auteurs, cette différence est économiquement intéressante pour les régions où l'épine-vinette est abondante puisque l'incorporation de 1% de racines moulues de cette plante dans l'alimentation des poulets génère, grâce au gain de poids vif à l'abattage, environ 10% de profit net.

Il est également supposé qu'une alimentation contenant des huiles essentielles pourrait avoir des effets bénéfiques sur la croissance des poulets du fait de son action sur la microflore intestinale (Lee et al., 2004).

Kermanshahi et Riasi (2006a ; 2006b) ont montré que la **poudre de rhizome de curcuma** (*Curcuma longa*) et **les fruits de l'épine-vinette** (*Berberis vulgaris*) incorporés dans l'alimentation des poules pondeuses ont un effet positif dans la lutte contre les maladies cardiovasculaires. En effet, ces deux plantes augmenteraient le taux d'HDL-cholestérol et diminueraient le taux de triglycérides, de LDL-cholestérol et de cholestérol total dans le sang ce qui pourrait conduire à l'obtention d'œufs de poule « meilleurs » pour la santé humaine. Cependant, ces études restent peu précises et succinctes et nécessitent donc des expérimentations complémentaires afin de valider les effets positifs du curcuma et de l'épine-vinette sur certains composants du sang. Il est également nécessaire de valider les mécanismes entrant en jeu dans les relations entre la composition du sang des poules et celle des œufs produits par ces mêmes poules.

Il a également été mis en évidence le fait que l'ingestion de cinnamaldéhyde s'accompagnait systématiquement d'une diminution de la quantité d'eau consommée, cette diminution étant de l'ordre de 10% en moyenne comparativement au témoin (Lee et al., 2003). Cependant, cette baisse de la consommation en eau des poulets consécutive à l'ingestion de cinnamaldéhyde n'affecte pas la croissance et la performance des volailles. En production de poulet, une faible concentration en eau dans les excréments est considéré comme avantageuse car elle améliore la qualité de la litière qui est influencée par le taux d'humidité. En effet, une litière humide favorise la dépréciation de la carcasse des poulets à l'abattoir du fait de l'augmentation du nombre de boursouflures au niveau de la poitrine, de brûlures de peau, de meurtrissures. Une litière humide favorise également une augmentation de la production d'ammoniac dans le poulailler. Ainsi, l'utilisation du cinnamaldéhyde semble être intéressante pour lutter contre ces symptômes, en favorisant une consommation d'eau modérée sans nuire à la performance de l'animal (Lee et al., 2003).

Selon Lee et al. (2004), l'accumulation des huiles essentielles utilisées comme additif alimentaire dans les tissus musculaires est peu probable du fait de leur rapide conversion métabolique et de leur excrétion. Cependant, lorsque les animaux sont nourris continuellement avec une alimentation complémentée avec des huiles essentielles, il est possible que certains constituants de celles-ci se déposent dans divers tissus (Lee et al., 2004) favorisant ainsi la croissance et la qualité des tissus musculaires.

Une étude menée par Lee et al. (2003) montre que l'utilisation de thymol, de cinnamaldéhyde ou de CRINA[®] Poultry en tant qu'additif alimentaire ne semble pas affecter la croissance, la performance, la digestibilité des nutriments ou les lipides du plasma chez les poules. Cependant, il ne peut être exclu que des effets bénéfiques de ces additifs alimentaires puissent apparaître dans des conditions de production moins favorables comme un manque d'hygiène ou une alimentation moins digeste par exemple. De plus, la

particularité du cinnamaldéhyde à diminuer la consommation d'eau peut être un avantage commercial et suggère la mise en place de nouvelles expérimentations.

6.6. Lutte contre l'athérosclérose du lapin

L'athérosclérose est un processus pathologique qui conduit à l'épaississement de la paroi (l'intima) des artères. Le dépôt de cholestérol dans la paroi artérielle déclenche des phénomènes complexes qui aboutissent à la formation des plaques d'athérome. Ces plaques formées de cholestérol, de protéines et de diverses cellules, peuvent progressivement réduire la lumière de l'artère et provoquer un accident vasculaire (source : http://www.cmp.u-nancy.fr/dossiers_CMP/mcv/atherosclerose.htm).

Il a été observé que le **curcuma** (*Curcuma longa*) **réduit la quantité de peroxydes lipidiques plasmatiques** qui sont des molécules jouant un rôle important dans la pathogenèse de l'athérosclérose. Le curcuma présente également différentes propriétés qui contribuent à lutter contre cette maladie : il **réduit la sensibilité des lipoprotéines de faible densité (LDL)** à l'oxydation, il **inhibe la prolifération des cellules vasculaires du muscle lisse**, il présente un **effet anti-thrombotique** et un **effet hypotensif** et il **inhibe l'agrégation plaquettaire** *in vivo* et *ex vivo* (Quiles *et al.*, 2002). Ainsi, le mécanisme antioxydant le plus connu du curcuma et de ses composants est sa capacité à éliminer les espèces réactives de l'oxygène, comme les radicaux hydroxyles et superoxydes et les oxygènes singulets (Quiles *et al.*, 2002).

De même, une étude menée par Quiles *et al.* (2002) a montré que l'utilisation d'un extrait de *Curcuma longa* en tant qu'additif alimentaire ($1,66 \text{ mg.kg}^{-1}$ de lapin.jour⁻¹) **réduit le stress oxydatif** et atténue le développement des bandes de graisse chez le lapin nourri avec une alimentation riche en cholestérol. Comparativement au groupe d'animaux témoins, le groupe de lapins supplémentés avec l'extrait de curcuma présente une teneur en peroxydes lipidiques plasmatiques significativement plus faible à différents moments de l'expérience (10, 20 et 30 jours). Ces animaux présentent également un taux d' α -tocophérol et de coenzyme Q significativement plus élevés aux jours 20 et 30. De plus, les résultats histologiques montrent que les dommages au niveau de l'aorte thoracique et abdominale sont significativement plus faibles chez les lapins supplémentés en curcuma comparativement aux lapins témoins.

Dans la même optique de lutte contre l'athérosclérose, une étude menée par Bordia *et al.* (1977) a démontré que l'addition dans l'alimentation des lapins d'**huile d'oignon** (2 g d'oignon brut.kg⁻¹ de lapin) ou d'**huile d'ail** (1 g d'ail brut.kg⁻¹ de lapin)⁸ a une **action préventive significative sur les effets négatifs d'une alimentation riche en cholestérol**. Ainsi, la teneur en α -lipoprotéines est significativement réduite par l'ingestion de cholestérol ce qui est largement prévenu par l'ingestion d'extrait d'oignon ou d'ail. Ces observations suggèrent que l'oignon et l'ail **inhibent l'athérosclérose** en maintenant un taux d' α -lipoprotéines minimal, ces α -lipoprotéines jouant un rôle protecteur contre l'athérosclérose par le transport du cholestérol hors des tissus artériels. De plus, le rôle protecteur de ces deux extraits de plantes contre l'athérosclérose semble également lié à la diminution du taux d' β -lipoprotéines (Bordia *et al.*, 1977). Cette étude a également mis en évidence le fait que les extraits d'oignon et d'ail favorisent significativement l'activité fibrinolytique malgré l'hyper-

⁸ Les auteurs nomment « huile essentielle » un extrait végétal qui, d'après le protocole expérimental utilisé (voir ci-après) se rapproche plus d'une concrète. Protocole expérimental : 50g d'oignon ou d'ail ont été broyés et pressés pour obtenir un jus. Ce jus a ensuite été mélangé à de l'éther diéthylique afin d'obtenir une fraction spécifique (extraite donc à l'éther). L'éther a ensuite été évaporé (Bordia, A., Bansal H. C., Arora S. K. et Singh S. V. (1975). "Effect of the essential oils of garlic and onion on alimentary hyperlipemia." *Atherosclerosis* **21**: pp.15-19.

cholestérolémie et l'hyperlipidémie induites par une alimentation riche en cholestérol, ce qui implique un autre mécanisme par lequel ces deux plantes exercent leur effet protecteur contre l'athérosclérose. En effet, ordinairement, une alimentation très grasse augmente la teneur en lipides dans le sang et en même temps, réduit l'activité fibrinolytique du plasma ce qui favorise le dépôt de fibrine et par conséquent le développement de l'athérosclérose. D'après ces résultats, l'oignon et l'ail semblent efficaces pour maintenir une activité fibrinolytique plus importante que la normale (Bordia *et al.*, 1977).

Par conséquent, il apparaît que **le curcuma, l'oignon et l'ail peuvent avoir un rôle protecteur contre l'athérosclérose**. En effet, le curcuma réduit le stress oxydatif et maintient le taux de coenzymes Q et d' α -tocophérols à un niveau important ce qui limite les effets négatifs d'une alimentation riche en cholestérol notamment en ce qui concerne le développement de l'athérosclérose (Quiles *et al.*, 2002). De même, les extraits d'oignon et d'ail exercent un rôle protecteur contre cette maladie selon trois actions : (1) en limitant la hausse de cholestérol et de lipides dans le sang ; (2) en réduisant au minimum la chute du taux d' α -lipoprotéines en maintenant le ratio β -lipoprotéines/ α -lipoprotéines proche de la normale et (3) en augmentant l'activité fibrinolytique du plasma sanguin (Bordia *et al.*, 1977).

6.7. Lutte contre les pathogènes des volailles et alternatives aux antibiotiques

6.7.1. Lutte contre *Clostridium perfringens*

Le *Clostridium perfringens* de type A ou C est considéré comme le principal agent responsable des entérites nécrotiques. Cette maladie, économiquement importante, se caractérise cliniquement chez les volailles par une dépression, une diminution de l'appétit et une répugnance à bouger. Les volailles souffrent de diarrhées, elles ont les plumes ébouriffées et la mortalité augmente chez les sujets infectés. Les lésions typiques sont confinées dans le petit intestin, surtout dans le jéjunum et l'iléum. Cette maladie est souvent accompagnée d'une hépatite ou d'une cholangiohépatite.

Une étude *in vivo* menée par Mitsch *et al.* (2004) a montré que des **mélanges de molécules naturelles ou « nature identique »** (Mélange A : CRINA® Poultry = thymol, eugénol, curcumine et pipérine et mélange B = thymol, carvacrol, eugénol, curcumine et pipérine) **réduisaient significativement la concentration en *Clostridium perfringens*** dans les boyaux et les fèces des poulets pendant la période de croissance. L'effet le plus important a cependant eu lieu pendant la première partie de la croissance des animaux, à savoir entre les jours 14 et 21. Selon ces auteurs, le mélange A semblerait avoir un effet inhibiteur sur la prolifération de *Clostridium perfringens* plus important que le mélange B. Les propriétés antibactériennes des composés des huiles essentielles, et leurs effets stimulants sur les enzymes digestives, la stabilisation de la microflore intestinale et l'inactivation des toxines de *Clostridium perfringens* expliqueraient l'efficacité de ces deux mélanges d'huiles essentielles contre la colonisation des boyaux des poulets par *Clostridium perfringens* (Mitsch *et al.*, 2004).

Ainsi, des mélanges spécifiques de composés d'huiles essentielles de plante peuvent permettre un contrôle de la prolifération de *Clostridium perfringens* dans les intestins du poulet. Néanmoins, il reste à évaluer les effets des huiles essentielles sur les toxines de cette bactérie, sur le gain de poids et sur l'efficacité alimentaire.

6.7.2. Lutte contre la coccidiose du poulet

La coccidiose est une maladie parasitaire qui peut être considérée comme une maladie des conditions de l'élevage intensif. Cette maladie est le résultat de la rupture d'un équilibre entre :

- les parasites (coccidies) : leur nombre, leur pouvoir pathogène et leur capacité à promouvoir une immunité chez l'hôte ;
- l'hôte : sa sensibilité, incluant sa protection par des molécules médicamenteuses et sa capacité à régénérer les dommages dus au développement parasitaire. La sélection des poulets sur la résistance aux coccidies entraîne de moins bonnes performances zootechniques ;
- l'environnement : les conditions de l'élevage intensif étant favorables au développement de ces parasites.

Les coccidioses se caractérisent par une réduction de la quantité d'aliments ingérés, du gain de poids, une augmentation de l'indice de consommation, une modification de l'emplumement, une diminution de la coloration des carcasses, la présence de diarrhées ou de sang dans les fèces. Cette pathologie, largement associée à la destruction de l'épithélium intestinal, est responsable d'une diminution de l'absorption des nutriments dans le cas des coccidies affectant l'intestin grêle ou provoque des hémorragies qui peuvent être mortelles dans le cas d'infections sévères par *Eimeria necatrix* ou l'espèce caecale *Eimeria tenella* (Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001). Ainsi, une infection par *Eimeria acervulina* engendre une réduction significative ($P < 0.01$) de la quantité d'aliments ingérés, du gain moyen quotidien et de l'efficacité alimentaire (Ibrir *et al.*, 2001).

Le coût économique des coccidioses est important. Par exemple, au Royaume-Uni, les pertes annuelles s'élèvent à 38.6 millions de livres, dont 98 % sont attribuables à l'élevage des poulets de chair, soit 4.5 % du revenu de l'industrie de ces volailles (Williams, 1999).

Dans un souci sanitaire, l'usage des antibiotiques en élevage est maintenant prohibé, c'est pourquoi de nouvelles alternatives sont à l'étude. Parmi elles, existent les extraits de plantes qui apparaissent en homéopathie, en phytothérapie et en aromathérapie et sont surtout utilisés dans les élevages biologiques. Il est cependant difficile de juger de leur efficacité du fait de l'existence de peu d'études scientifiques sérieuses sur le sujet. Néanmoins, certains extraits de plantes semblent potentiellement intéressants dans la lutte contre la coccidiose du poulet et plus généralement, dans une optique de recherche d'alternatives aux antibiotiques.

Ainsi, des études montrent que des extraits d'**armoise annuelle** (*Artemisia annua*) (5% soit 17 ppm d'artémisine) **améliorent le gain de poids et l'efficacité alimentaire**, et **diminuent les lésions** lors d'une infection par *Eimeria tenella* mais pas par *Eimeria acervulina* et *Eimeria maxima* (Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001).

La **curcumine** qui est le composé actif du curcuma (*Curcuma longa*) présente des **propriétés antioxydante, anti-inflammatoire et anti-tumorale**. Ainsi, chez le poulet infecté avec *Eimeria maxima*, des régimes alimentaires supplémentés avec 1% de curcuma améliorent le gain de poids, réduisent les lésions intestinales et les quantités d'oocystes excrétés. Cet extrait exercerait son effet anti-coccidien par son action antioxydante sur le système immunitaire. Cependant, cette épice est inefficace contre *Eimeria tenella*.

Une équipe indienne (Mandal *et al.*, 1994) observe une réduction des lésions dues à *Eimeria necatrix* avec l'utilisation d'un produit préparé à partir de différentes plantes locales (*Holarrhena pubescens*, *Berberis aristata*, *Embelia ribes* et *Acorus calamus*), inclus à 0,6 % dans le régime. Le Bakin et le Karela, qui sont des préparations issues respectivement du **lilas des indes** (*Melia azedarach*) et du **melon amer** (*Momordica charantia*), diminuent les pertes de gain de poids et l'excrétion d'oocystes dus à une infection par un mélange de

coccidies (Hayat et al., 1996). Plusieurs extraits de plantes asiatiques s'avèrent bénéfiques dans la lutte contre une coccidiose à *Eimeria tenella* (Youn et Noh, 2001). **Les racines du sophora** (*Sophora flavescens*) permettent une baisse du taux de mortalité et des diarrhées sanguinolentes. **Les graines et l'écorce d'un orme** (*Ulmus macrocarpa*) et **les racines d'une anémone de Corée** (*Pulsatilla koreana*) diminuent le taux de mortalité et les lésions. **Les fruits d'une combretacée** (*Quisqualis indica*) améliorent le gain de poids. **Le tronc et les racines de *Sinomenium acutum*** réduisent les excréments sanglants. Ces deux derniers extraits retardent l'excrétion d'oocystes d'un à deux jours (Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001).

Les huiles essentielles d'**origan** (*Origanum vulgare*) sont connues pour leurs actions anti-bactériennes et aussi contre certains parasites (Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001 ; Ferket, 2004). Ainsi, Giannenas et al. (2003), qui ont étudié l'incorporation d'huile essentielle d'origan (300 mg.kg⁻¹) dans l'alimentation avicole de poulet infecté par *Eimeria tenella*, ont observé que l'huile essentielle d'origan exerçait un **effet anti-coccidien** contre celle-ci, cet effet se traduisant par une amélioration du gain de poids et de l'efficacité alimentaire. Cependant, celui-ci était moins important que celui exercé par le « lasalocid », un antibiotique communément utilisé et servant de témoin d'efficacité dans cette étude (Giannenas et al., 2003). De même, Ibrir et al. (2001), qui ont étudié l'incorporation de thymol et de carvacrol, les deux principaux composants de l'huile essentielle de thym (*Thymus vulgaris*) et d'origan (*Origanum vulgare*), dans l'alimentation de poulets infectés par *Eimeria acervulina* montrent que ceux-ci n'ont pas d'effets directs sur le parasite lui-même alors que le **mélange thymol/carvacrol** (250 ppm) a un **effet bénéfique significatif** ($P < 0.05$) sur les performances (quantité d'aliments ingérés et gain moyen quotidien) des poulets par rapport à ceux non supplémentés avec ce mélange. De plus, ce même mélange réduit significativement ($P < 0.001$) la quantité de sang dans les fèces. Celui-ci semble donc réduire l'impact d'une infection des poulets par *Eimeria acervulina* (Ibrir et al., 2001).

6.7.3. Lutte contre les autres pathogènes

Plusieurs expériences *in vitro* ont démontré l'efficacité de nombreuses huiles essentielles de plante contre plusieurs bactéries. Ainsi, les huiles essentielles de **clou de girofle** (*Eugenia caryophyllata*), d'**origan** (*Origanum vulgare*), de **poivre noir** (*Piper nigrum*), de **girofler** (*Syzygium aromaticum*) et de **thym** (*Thymus vulgaris*) ainsi que les composés **thymol**, **carvacrol** et **eugénol** ont des propriétés antibactériennes contre *Clostridium perfringens*, *Clostridium sporogenes* et d'autres bactéries comme *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella typhimurium*. Un extrait alcoolique de *Curcuma longa* inhibe la croissance de *Clostridium septicum*, *Clostridium novyi* et *Clostridium sporogenes* (Huyghebaert, 2003 ; Mitsch et al., 2004 ; Griggs et Jacob, 2005).

Il a été démontré que le thym brut (*Thymus vulgaris*), le thymol, le carvacrol et l'eugénol, un composant de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) inhibaient la croissance de *Salmonella typhimurium in vitro* et que l'huile essentielle de thym, de clou de girofle, d'**ail** (*Allium sativum*) et de **cannelle** (*Cinnamomum cassia*) ainsi que le thymol et le carvacrol inhibaient la croissance d'*Escherichia coli in vitro* (Huyghebaert, 2003 ; Griggs et Jacob, 2005).

De même, une étude menée par Prakash, (2006) sur des extraits de plantes, indique que ***Cassia auriculata*** introduite dans l'alimentation stoppe la mortalité au sein d'un groupe de poules infectées par *Escherichia coli* au bout de 3 jours. Pour ***Piper betel***, il faut compter 5 jours pour un arrêt complet de la mortalité chez des poules infectée par cette même bactérie.

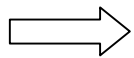
Bien que les résultats des études sur les extraits de plante apparaissent comme contradictoires, il semble y avoir, tout de même, une tendance qui suggère que certaines

huiles essentielles, et parfois certains composants de celles-ci, peuvent avoir un intérêt non négligeable en tant qu'application antimicrobienne en production avicole. Cependant, de nombreuses recherches, notamment *in vivo*, sont encore nécessaires pour confirmer cet intérêt grandissant et déterminer les doses à appliquer. Mais des huiles essentielles comme celles de l'origan, du thym ou de l'ail apparaissent déjà comme très prometteuses pour les éleveurs de volailles en vue d'une alternative aux antibiotiques. Cependant, bien que la plupart des huiles essentielles soient reconnues comme inoffensives, elles doivent être utilisées avec précaution et parcimonie car elles peuvent devenir toxiques (allergisantes par exemple). Elles sont également très volatiles et s'évaporent rapidement ce qui peut conduire à une large variation de leur concentration dans les produits finaux. De plus, dans l'industrie agroalimentaire, l'utilisation d'huile essentielle est souvent la source de problèmes : corrosion, traitement, stabilité des vitamines lors des pré-mixages, stabilité des produits (Gauthier, 2005). Malgré leurs propriétés intéressantes, il semblerait donc que les huiles essentielles aient un intérêt limité dans le remplacement des antibiotiques. Par contre, le fait d'agir en synergie avec les acides organiques offre des perspectives intéressantes en terme de stimulant de croissance et de prévention de maladies intestinales spécifiques (Huyghebaert, 2003 ; Gauthier, 2005). De plus, la technique de l'encapsulation pourrait permettre d'améliorer l'efficacité des huiles essentielles et des acides organiques en réduisant les doses d'application.

À RETENIR :

➤ Les effets positifs ou négatifs observés chez les animaux, suite à l'ingestion d'huiles essentielles ou d'extraits d'épices et aromates, résident dans leur pouvoir antimicrobien.

- ✓ Leur degré d'activité est dépendant de la dose administrée et souvent du pH ;
- ✓ Leur large spectre d'action vis à vis des microorganismes rend leur préconisation difficile chez les ruminants, du fait de la grande diversité des populations microbiennes et de leur rôle dans le rumen ;



Piste la plus prometteuse : alternative aux antibiotiques dits « promoteurs de croissance » en production avicole.

7. Les Polyphénols : tanins et flavonoïdes

7.1. Effet sur la croissance, le métabolisme et la flore microbienne des ruminants (effets négatifs et bénéfiques)

La principale propriété chimique des tanins, à savoir leur capacité à se lier avec les protéines, est **dépendante du pH**. Ainsi, une étude de Osakwe et Drochner (2006) a montré que le pH est le facteur principal de la formation du complexe tanin-protéine. Cette dépendance au pH est donc à prendre en considération dans la caractérisation du rôle des tanins en terme de digestibilité et de nutrition des herbivores. Le processus de complexation entre les tanins et les protéines est à l'optimum pour un pH de 3-4 mais il se produit aussi dans les conditions naturelles de pH du rumen (pH ~ 6-7) (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Sliwinski *et al.*, 2002b).

Une étude sur l'utilisation du tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*) dans l'alimentation animale en Australie (Edwards, 1999) a montré que cette plante, malgré ses teneurs significatives en composés phénoliques (et en particulier en apigénine et en lutéoline), ne présente pas d'effets dépréciateurs en ce qui concerne la fermentation ruminale. Cependant, il apparaît que ces composés phénoliques ont un effet sur l'appétence, la quantité d'aliments ingérés et la digestion chez les herbivores. En effet, bien qu'aucune relation directe n'ait été observée entre la teneur en composés phénoliques des plantes et l'activité ruminale des herbivores, la diminution du gain moyen quotidien observée correspond au pic saisonnier de la concentration en composés phénoliques dans les feuilles et tiges comestibles. Ainsi, une action possible des tanins condensés est la **réduction de la digestibilité des protéines végétales**. Selon Plumb *et al.* (1999), à fortes concentrations ($> 3 \text{ g.kg}^{-1}$), les tanins peuvent diminuer l'appétence de la ration alimentaire car : (1) ils peuvent se complexer avec les protéines alimentaires, (2) ils peuvent se lier avec les enzymes microbiennes réduisant ainsi la fermentation et la dégradation des tissus fibreux, (3) ils peuvent également se lier avec les enzymes digestives en général et réduisent leur activité et enfin (4), ils ont un goût astringent.

De même, plusieurs études (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Sliwinski *et al.*, 2002b ; Osakwe et Drochner, 2006) ont montré que de fortes quantités de polyphénols, incluant une forte concentration de tanins condensés ou hydrolysables, dans l'alimentation animale (*Morinda lucida*, *Castanea sativa*) peuvent entraîner une **diminution de la dégradation des protéines**. Ceci se traduit par une baisse de la concentration en NH_3 dans le rumen ce qui peut suggérer un transfert de protéines intactes du rumen vers l'intestin grêle (Osakwe et Drochner, 2006). De même, une étude de Qiyu et Guanghai (1999) a montré que l'incorporation de sorgho (*Sorghum vulgare*) dans l'alimentation de poulets avait un effet significatif sur la rétention en azote laquelle diminuait en fonction de l'augmentation de la quantité de sorgho introduite dans la ration alimentaire. Ceci serait dû à la formation d'un complexe tanin-protéine insoluble qui serait excrété dans les fèces (Acamovic et Stewart, 1999). Néanmoins, d'autres auteurs (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Sliwinski *et al.*, 2002b) suggèrent que les modes d'actions des tanins pourraient inclure une inactivation de l'uréease microbienne ou une inhibition de l'activité de la désaminase microbienne. Ainsi, la diminution de la dégradation des protéines dans le rumen peut parfois déboucher sur une diminution de la digestibilité nette dans l'intestin grêle. En effet, sous les conditions de pH du duodénum, le complexe tanin-protéine peut se dissocier et les protéines libérées être digérées mais les tanins hydrolysables libres peuvent aussi augmenter la perte de protéines endogènes du fait de leur complexation avec les enzymes intestinales. Cependant, la diminution de la dégradation des protéines dans le rumen ne s'accompagne pas systématiquement d'une dégradation apparente de la digestibilité des protéines (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Osakwe et Drochner, 2006). Cependant, Acamovic et Stewart (1999) ont montré que l'énergie brute métabolique et la digestibilité de la matière sèche diminuaient avec l'augmentation de la dose de sorgho (*Sorghum vulgare*) dans la ration alimentaire. Ces diminutions seraient dues

au fait que les tanins forment un complexe avec des composés tels que les glucides contenus dans l'alimentation.

Cette même étude de Acamovic et Stewart (1999) montre que les tanins contenus dans la ration alimentaire des poulets ont un effet significatif sur l'activité de la trypsine, de l' α -amylase et des protéinases. En effet, une ration alimentaire contenant 1,5% de tanins réduit les activités de ces enzymes digestives. Ces effets pourraient conduire à une réduction de la capacité d'absorption du tube digestif, ce qui contribuerait à une diminution des performances des animaux (ce qui est généralement observé lorsque les rations alimentaires contiennent une forte teneur en tanins).

Une autre conséquence de l'apport de tanins dans l'alimentation animale est qu'ils peuvent parfois **réduire la dégradation des fibres dans le rumen** en empêchant l'adhésion de microbes sur les particules alimentaires, en se complexant avec la cellulose ou en inhibant directement les microbes cellulolytiques (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Sliwinski *et al.*, 2002b). Une étude de Mc Sweeney *et al.* (1999) a ainsi montré que la population fongique du rumen de moutons nourris exclusivement de calliandra (*Calliandra calothyrsus*) était significativement plus faible que celle de moutons nourris avec de la brachiaria (*Brachiaria humidicola*). Les tanins contenus dans callandria seraient responsables de cette diminution de la population bactérienne du rumen des moutons. En effet, les tanins et autres polyphénols peuvent affecter les microorganismes en influençant négativement leur fonctions physiologiques et en interférant avec leur assimilation en minéraux et autres nutriments et avec leur sécrétion (Acamovic et Stewart, 1999). De plus, l'étude de Mc Sweeney *et al.* (1999) a également démontré que les tanins **inhibaient les bactéries cellulolytiques du rumen** puisque la digestion des glucides dans le rumen, et plus généralement dans l'ensemble du tube digestif, est réduite chez les animaux nourris avec *Lotus pedunculatus* (9,5% de tanins condensés) ou avec la légumineuse tropicale *Calliandra calothyrsus* (6% de tanins condensés).

Néanmoins, dans cette même étude de Mc Sweeney *et al.* (1999), il apparaît que la population protéolytique semble moins affectée par les tanins que la population cellulolytique. De plus, cet effet des tanins sur la population bactérienne du rumen ne semble pas significativement modifier l'efficacité digestive (g d'azote microbien synthétisé/g de matière organique digérée) dans le rumen. Ceci serait dû au fait que, **certains microorganismes seraient tolérants aux tanins** et par conséquent, proliféreraient en réponse à une alimentation riche en tanin comme calliandra (*Calliandra calothyrsus*). Ainsi, Mc Sweeney *et al.* (1999) ont isolé deux bactéries tolérantes aux tanins, *Streptococcus* sp. et *Clostridium* sp. et un microorganisme Gram-négatif de la classe des *Proteobacteria*. Cependant, bien que ces bactéries soient protéolytiques, peptidolytiques et présentes en quantité relativement élevée dans le rumen des animaux nourris avec une ration riche en tanins, elles ne sont pas capables de fermenter les protéines complexées avec les tanins de calliandra (Mc Sweeney *et al.*, 1999). Par contre, Wiryawan *et al.* (1999) ont montré que l'introduction de calliandra (*Calliandra calothyrsus*) dans la ration alimentaire de chèvres augmentait la population de bactéries tolérantes aux acides tanniques. De même, dans une étude visant à comparer les communautés bactériennes capables de dégrader une alimentation à base de mulga (*Acacia aneura*) chez les chèvres et les moutons, il apparaît que les bactéries appartenant au phylum « *Cytophaga-Flexibacter-Bacteroides* » et celles de la sous-classe « Gamma » des protéobactéries sont probablement les plus importantes dans la digestion de l'*Acacia aneura* et pourraient être, par conséquent, le principal réservoir de bactéries tolérantes aux tanins (Plumb *et al.*, 1999). *Streptococcus caprinus* semble également capable de mettre en place différentes réponses pour pallier la présence de tanins. Ainsi, suite à l'introduction de tanins via l'incorporation de mulga (*Acacia aneura*) dans l'alimentation animale, Brooker *et al.* (1999) observent que le retard de la croissance pré-exponentielle augmente, que l'activité de la gallate-décarboxylase s'élève et que la synthèse de polysaccharides extracellulaires est induite. Cependant, il est difficile d'affirmer que ces processus contribuent à la tolérance de *Streptococcus caprinus* à de fortes teneurs

en acides tanniques ou en tanins condensés. L'augmentation du retard dans la croissance suggère qu'une certaine adaptation comme la synthèse d'une enzyme ou la production d'un glycocalyx est nécessaire pour poursuivre la croissance de l'animal. La production de pyrogallol à partir du gallate est un autre mécanisme de résistance possible mais seulement en présence d'acide tannique ou de gallates-catéchines. Si les tanins condensés sont prédominants, il est possible que la production d'un manteau extracellulaire protecteur soit la meilleure stratégie de défense de *Streptococcus caprinus*. (Brooker *et al.*, 1999).

Les tanins, s'ils sont présents en trop forte quantité dans l'alimentation animale, peuvent engendrer des effets négatifs importants. Le polyéthylène glycol (PEG) est connu pour réagir préférentiellement avec les tanins condensés et permet ainsi de prévenir la formation des complexes tanin-protéine. Par conséquent, il a été testé dans plusieurs études pour éliminer les effets négatifs des tanins (Brooker *et al.*, 1999 ; Pell *et al.*, 1999 ; Wiryawan *et al.*, 1999 ; Priolo *et al.*, 2002). Ainsi, Priolo *et al.* (2002) ont étudié l'incidence de deux doses de PEG (10 et 40 g.kg⁻¹ du régime alimentaire appliqué) sur des agneaux dont l'apport en tanins dans l'alimentation se faisait par l'intermédiaire de la pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua*) à raison de 2.1% de la matière sèche totale de la ration alimentaire. Il apparaît alors que les agneaux ingérant la dose forte de PEG (40 g.kg⁻¹) ont eu un gain moyen quotidien significativement plus important ($P < 0.05$) que les agneaux ingérant la dose faible de PEG (10 g.kg⁻¹) et un poids vif à l'abattage également supérieur ($P = 0.08$) malgré une ingestion en matière sèche similaire. De même, avec l'augmentation du niveau de PEG, la digestibilité de la matière sèche a légèrement augmenté ($P = 0.07$), tandis que celles de l'azote et des fibres se sont accrues de façon plus marquée ($P < 0.01$). Les carcasses des agneaux ayant ingéré la forte dose de PEG étaient plus lourdes et plus grasses que celles des agneaux ayant ingéré la faible dose de PEG ($P < 0.05$). En revanche, leur qualité sensorielle ne semblait pas différente. Ces résultats nous indiquent donc que **le PEG permet de réduire les effets négatifs attribués aux tanins condensés**. Cependant, avec un régime à base de pulpe de caroube (56%), un supplément de 10 g.kg⁻¹ de PEG n'est pas suffisant pour éliminer les effets des tanins condensés et nécessite une plus forte dose moins viable économiquement du fait du prix élevé du PEG.

Il apparaît donc, à la lecture de ces résultats, que la résistance aux tanins se fait, à différents niveaux : tolérance microbienne, dégradation des tanins et adaptation du tube digestif, notamment au niveau des intestins. De plus, il est généralement admis que les ruminants peuvent tolérer de plus fortes concentrations en facteurs anti-nutritionnels que les monogastriques car les bactéries du rumen peuvent métaboliser de nombreux composés toxiques contrairement à celles de l'estomac d'un monogastrique (Pell *et al.*, 1999). Ainsi, l'utilisation de tanins dans l'alimentation animale peut présenter des intérêts et des inconvénients. En effet, du point de vue d'un nutritionniste, l'usage des tanins dans l'alimentation animale est une épée à double tranchant. Les bénéfices potentiels incluent une économie des protéines alors que l'inhibition microbienne et la diminution du rendement microbien peuvent être potentiellement préjudiciables (Pell *et al.*, 1999). **L'effet nutritionnel des tanins reste donc difficilement appréciable** du fait, d'une part, des différences dans la nature chimique des tanins et d'autre part, des différences au niveau de la capacité physiologique des animaux à digérer ces tanins (Osakwe et Drochner, 2006).

Il existe trois moyens de défense pour une bactérie tolérante aux tanins. Le premier est une tactique destinée à faire diversion par la création de cibles alternatives peu coûteuses auxquelles se lieront les tanins. Le second est une approche plus active, qui consiste à élaborer des enzymes résistantes aux tanins destinées à attaquer la structure de ceux-ci comme par exemple en hydrolysant les gallotanins ou par méthylation des groupes phénoliques hydroxylés. Enfin, le troisième et dernier moyen de lutte consiste à protéger les protéines clés de la membrane par un déploiement stratégique de lipides (Pell *et al.*, 1999).

D'une manière générale, nous pouvons retenir que les extraits de plantes, riches en métabolites secondaires comme les tanins, peuvent engendrer une altération limitée de la fermentation ruminale quand ils sont administrés en forte quantité dans l'alimentation animale. Ces changements peuvent se traduire par des **effets positifs** comme une **meilleure digestibilité des protéines dans l'intestin grêle** ou une **diminution de la production de méthane** par exemple. Ils peuvent également se traduire par des **effets négatifs** comme une **diminution de l'appétence** de la ration alimentaire ou une **diminution de l'activité microbienne** du système digestif. Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour connaître les implications d'une alimentation riche en tanins à long terme et pour déterminer les processus d'adaptation potentiels de la flore microbienne ruminale à ce type d'alimentation.

7.2. Lutte contre les parasites

Les infections subcliniques dues aux nématodes gastro-intestinaux comme *Trichostrongylus colubriformis*, *Ostertagia circumcincta* et *Haemonchus contortus* peuvent sévèrement diminuer l'appétit et augmenter le besoin en protéines de l'animal infecté. Ce besoin en protéines provient de la perte en azote endogène (sang, plasma, mucus et cellules de l'épithélium intestinal) vers les boyaux, du transfert des acides aminés vers le système gastro-intestinal au dépend des tissus périphériques comme les muscles et de la nécessité de réparer les dommages liés à l'implantation des vers adultes. De plus, les nématodes intestinaux réduisent l'absorption apparente de phosphore de l'intestin grêle, entraînant une diminution de la concentration en phosphore dans le plasma et dans le rumen, une réduction des sécrétions salivaires phosphorées et une diminution du taux de croissance (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999).

C'est pourquoi, dans de nombreux pays à travers le monde, des éleveurs utilisent des plantes ou des produits à base de plantes pour traiter certains cas de parasitisme. Par exemple, les graines ou feuilles de plantes telles que l'ail, l'oignon, la menthe, l'aneth, la noix ou le persil ont été utilisées pour traiter les animaux qui souffraient de parasitisme gastro-intestinal. Les graines de concombre et de citrouille ont aussi été considérées comme des vermifuges. L'introduction d'extraits d'*Acacia* sp. et d'*Artemisia* sp. dans la ration alimentaire d'animaux infectés par des parasites du sang tels que *Trypanosoma* sp. (maladie du sommeil) et *Plasmodium* sp. (paludisme), a permis une réduction du nombre de ces parasites. De même, les feuilles de tabac étaient utilisées pour contrôler les ectoparasites (Githiori *et al.*, 2006). Ainsi, un certain nombre de plantes dont les propriétés antihelminthiques traditionnelles ont été incluses dans plusieurs pharmacopées (françaises, britanniques, ...). Par exemple, nous pouvons citer l'huile essentielle de chénopode (*Chenopodium ambrosioides*) qui a été utilisée pendant des années pour traiter les infections parasitaires (*Strongylus* sp., *Parascaris* sp. et *Ascaris* sp.) chez les animaux monogastriques et les humains. Actuellement, cette huile essentielle est inscrite sur la liste 1 des produits toxiques. *Dryopteris filix-mas* sp. et *Artemisia* sp. ont été utilisées contre les cestodes tel que *Moniezia* sp. et les nématodes telles que *Ascaridia* sp. chez les ruminants et les volailles (Githiori *et al.*, 2006).

De nombreux extraits de plantes présentent donc des propriétés antiparasitaires reconnues. Parmi ces plantes, nous pouvons également citer les plantes tanniques qui, du fait des tanins qu'elles renferment, présentent **une activité anti-nématodes connue de longue date**.

Ainsi, les effets directs se feraient au-travers des interactions tanins-nématodes qui réduiraient la viabilité de ces parasites. Les effets indirects de résistance contre les infections des nématodes gastro-intestinaux peuvent s'opérer par l'intermédiaire de changements dans l'apport de protéines digestibles et d'acides aminés en particulier la thréonine et la méthionine/cystine, par une modification de l'absorption minérale et par des interactions avec les muqueuses de l'épithélium intestinal (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999).

Concernant les effets indirects de résistance aux nématodes, les tanins condensés contenus dans *Lotus pedunculatus* pourrait, selon certains auteurs, influencer la résistance aux nématodes intestinaux au travers de changements dans l'absorption phosphorée mais cela n'a pas été vérifié expérimentalement. De même, les tanins condensés ont le pouvoir d'interagir avec les protéines endogènes comme celles de l'épithélium intestinal (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999). En effet, les tanins peuvent interagir avec les enzymes sécrétées ou excrétées par les vers ou interagir avec les enzymes impliquées dans des fonctions métaboliques essentielles des nématodes (Hoste *et al.*, 2006). De ce fait, l'environnement intestinal peut être altéré d'une façon qui pourrait affecter l'établissement des nématodes dans le système digestif. Ainsi, les effets des tanins condensés contenus dans *Lotus corniculatus*, *Lotus pedunculatus*, *Calliandra calothyrsus* et *Hedysarum coronarium* sur le métabolisme de l'azote et sur l'absorption des acides aminés, peuvent directement améliorer la résistance face aux infections gastro-intestinales liées à des nématodes (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999 ; Ramirez-Restrepo et Barry, 2005 ; Hoste *et al.*, 2006).

En ce qui concerne les effets directs des tanins en terme de résistance aux nématodes, il est difficile de déterminer précisément par quels mécanismes certaines espèces contenant des tanins inhibent l'implantation de nématodes dans le système gastro-intestinal des ruminants (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999). Cependant, la capacité des tanins condensés à se lier avec les protéines et à changer leurs propriétés physiques et chimiques doit être mise en relation avec le fait que la cuticule, qui recouvre l'ensemble du corps des nématodes mais aussi son œsophage et sa cavité buccale, est connue pour être une structure riche en proline et en hydroxyproline. Ce mécanisme de complexation pourrait aussi être à l'origine des effets antihelminthiques d'extraits de plantes, observés aussi bien *in vitro* que *in vivo* sur chèvres et moutons (Hoste *et al.*, 2006). *Hedysarum coronarium* et un extrait de l'écorce d'un arbuste tropical du genre *Schinopsis* sp., le quebracho, ont montré leur capacité à augmenter la résistance des ruminants contre les infections helminthiques. L'addition de quebracho (*Schinopsis* sp.) dans l'alimentation animale engendre une diminution significative de l'implantation de larves d'*Haemonchus contortus* et une réduction immédiate de la fertilité et de l'ovulation des femelles de celui-ci (Paolini *et al.*, 2003 ; Hoste *et al.*, 2006). Ce dernier effet persiste avec l'arrêt d'un apport tannique dans l'alimentation (Paolini *et al.*, 2003). Ceci serait dû au fait que les tanins contenus dans le quebracho (*Schinopsis* sp.) favoriseraient l'augmentation de l'apport protéique vers la réparation des tissus et la réponse immunitaire (Paolini *et al.*, 2003 ; Hoste *et al.*, 2006). Le Sulla ou chèvre-feuille français (*Hedysarum coronarium*), la chicorée amère (*Cichorium intybus*) et le thé (*Camellia sinensis*) réduiraient fortement l'implantation de *Ostertagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* mais leur mécanisme d'action n'est pas déterminé et pourrait être associé aux tanins condensés (Kahn et Diaz-Hernandez, 1999 ; Hoste *et al.*, 2006). De plus, une étude *in vitro* a montré que les flavan-3-ols et leurs dérivés galloylés inhibaient significativement l'éclosion des œufs de *Trichostrongylus colubriformis*. Ces mêmes composés affectent également le développement et la migration des larves de nématodes en fonction de la dose de tanins apportée (Hoste *et al.*, 2006).

La **concentration** et la **structure** des tanins condensés présents dans diverses espèces végétales sembleraient être les **deux facteurs principaux** modulant l'efficacité de ceux-ci contre les nématodes. Plusieurs études *in vivo* sur des moutons, chèvres et biches infectés suggèrent qu'un seuil de 30 à 40 g de tanins condensés par kg de matière sèche apportée (ce qui correspond à 3-4% de la matière sèche totale apportée) permet une activité anti-parasitaire. Cependant, une alimentation riche en tanins peut également modifier les réponses nutritionnelles et physiologiques des animaux non infectés, principalement par un effet sur la quantité d'aliments ingérés volontairement et sur l'apport protéique post-ruminal. Bien que des apports faibles à modérés (3-6% de la matière sèche totale apportée) aient le plus souvent des effets bénéfiques sur la physiologie de l'animal, des apports élevés (>7% de la matière sèche totale apportée) peuvent diminuer la prise alimentaire, perturber la

digestion et diminuer la digestibilité des nutriments et les taux de production (Hoste *et al.*, 2006). Par conséquent, il est important que les possibles conséquences antinutritionnelles d'une consommation de tanins soient considérées simultanément avec leurs propriétés anti-helminthiques.

De plus, des expérimentations *in vitro* ont montré qu'en plus de leur structure, les **caractéristiques chimiques** des tanins condensés pourraient également être importantes dans leur activité anti-parasitiques. En effet, des résultats obtenus avec le flavan-3-ol suggèrent que la nature des tanins condensés, et en particulier la proportion relative en pro-delphinidines et en pro-cyanidines dans les plantes, pourrait influencer leur efficacité contre les nématodes. De plus, des études conduites avec des plantes riches en tanins suggèrent que les effets de ces composés actifs sur les processus biologiques essentiels des nématodes **dépendent de l'espèce parasitaire**. Ainsi, chez la chèvre, le quebracho (*Schinopsis* sp.) permet de réduire la fécondité de *Haemonchus contortus* et *Trichostrongylus colubriformis* mais pas de *Trichostrongylus circumcincta*. De même, lorsque des chèvres reçoivent une alimentation riche en tanins condensés avant d'être infectées par des larves au 3^{ème} stade, des différences spécifiques de l'activité antihelminthique du quebracho (*Schinopsis* sp.) apparaissent avec une réduction du nombre de vers de 33% pour *Haemonchus contortus*, 70% pour *Trichostrongylus circumcincta* et 66% pour *Trichostrongylus colubriformis* comparativement aux animaux témoins non traités (Githiori *et al.*, 2006 ; Hoste *et al.*, 2006). Comme pour les antiparasitaires de synthèse, nous pouvons raisonnablement penser que l'activité antihelminthique exercée par les tanins peuvent différer également **en fonction du stade de développement parasitaire**.

Bien que le rôle des tanins condensés dans les propriétés anti-helminthiques associées à certaines plantes soit reconnu par de nombreuses études *in vitro* et *in vivo*, d'autres métabolites secondaires comme les saponines, les alcaloïdes, les lignines et les glycosides sont également impliqués dans ces processus de résistance aux helminthes (Githiori *et al.*, 2006 ; Hoste *et al.*, 2006). Par exemple, un rôle possible des lactones sesquiterpéniques chez la chicorée (*Cichorium intybus*) a été mis en avant (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005). Pour le sainfoin (*Onobrychis viciifoliae*) une possible action est attribuée à trois flavonols glycosides : rutine, narcissine et nicotiflorine (Hoste *et al.*, 2006). De même, l'ail contient un composé soufré qui est considéré comme responsable de son activité antihelminthique (Githiori *et al.*, 2006). La présence de ces composés actifs additionnels interagissant avec les tanins condensés peut expliquer les variations observées lors des expérimentations *in vivo*.

Tous les résultats présentés ici confirment qu'il existe des différences dans l'activité antihelminthique des tanins en fonction de la plante (ou les plantes) tannique(s) ajoutée(s) dans la ration alimentaire, de la teneur en tanins de la ration alimentaire, de la nature et des caractéristiques chimiques des tanins, de l'espèce parasitaire, du stade de développement parasitaire, et suggèrent des différences entre les hôtes potentiels des nématodes (Annexe 4). Néanmoins, des fourrages tels que *Lotus* spp., *Hedysarum* spp., *Onobrychis* spp. et *Cichorium intybus* semblent pouvoir être consommés par les animaux d'une manière qu'ils assurent performance et protection contre le parasitisme. Ceci nous amène donc à penser qu'ils peuvent être considérés comme des **alternatives très intéressantes** dans l'optique d'un **contrôle parasitaire** dans les élevages de ruminants.

7.3. Réduction de l'émission de gaz à effet de serre

Quelques études traitent de l'utilisation de plantes tanniques dans l'alimentation animale pour réduire la production de méthane chez les ruminants.

Ainsi, une étude de Hess et al. (2003) a mis en évidence que les tanins contenus dans l'arbuste tropical *Calliandra calothyrsus* pourraient être responsables d'une production de méthane plus faible que celle observée chez des ruminants nourris avec des légumineuses tropicales moins riches en tanins comme *Arachis pintoï* ou *Cratylia argentea*.

De même, une étude de Osakwe et Drochner (2006) a montré qu'un groupe de moutons nourris avec *Morinda lucida* produisait moins de méthane qu'un groupe témoin non traité. Ainsi, une baisse maximale de 3,3% de la production de méthane a été observée lors de l'addition de 50% de cette plante dans la ration alimentaire de moutons. Ceci présente donc un effet bénéfique, même mineur, des tanins de *Morinda lucida* dans l'optique de réduire la production d'un de plus important gaz à effet de serre. De même, d'autres études (Sliwinski et al., 2002b) ont montré un effet bénéfique de l'addition de plantes riches en tanins dans l'alimentation animale en ce qui concerne la production de méthane. Roth et al. (2001) ainsi que Clark et al. (2001) ont également démontré que l'addition de tanins dans l'alimentation animale en l'occurrence de châtaignier (*Castanea* spp.), de mimosa (*Acacia dealbata*), de sulla (*Hedysarum coronarium*), de lotier (*Lotus corniculatus*) et de quebracho (*Schinopsis* sp.) permettait une diminution de la production de méthane. Min et al. (2006) ont démontré *in vitro* que la production de méthane décroissait linéairement avec l'augmentation de la teneur en tanins dans la ration alimentaire. Ceci est cohérent avec les résultats d'autres études dont celle *in vivo* de Hess et al. (2006). Cette diminution de la production de méthane suite à l'introduction de tanins dans l'alimentation animale a été démontrée chez les chèvres, les moutons et les vaches allaitantes (Min et al., 2006).

En ce qui concerne les mécanismes d'action des tanins sur la production de méthane par les ruminants, une étude de Hess et al. (2006) apporte quelques renseignements. En effet, puisque l'addition de tanins condensés dans la ration alimentaire des agneaux a influencé la production journalière de méthane de la même manière qu'elle a affecté la digestibilité des fibres ingérées, l'inhibition de la méthanogénèse par les tanins est probablement le résultat de la suppression de la dégradation des fibres. Cependant, un effet direct des tanins condensés sur la méthanogénèse ruminale n'est pas à exclure. De plus, du fait de leur capacité à réduire l'activité enzymatique des microorganismes du rumen et à complexer fortement les protéines et les polysaccharides, les tanins diminuent la dégradation des nutriments dans le rumen qui peuvent alors être dégradés dans les intestins (Hess et al., 2006 ; Min et al., 2006). Ainsi, du fait que la fermentation dans les intestins produit moins de méthane par unité de nutriments fermentés par rapport à la fermentation dans le rumen, les tanins favorisent la diminution de la production de méthane globale à l'échelle du ruminant.

Malgré des résultats intéressants, il semblerait cependant que pour obtenir une réelle diminution de la production de méthane par les tanins, il soit nécessaire d'apporter une quantité assez importante de ceux-ci dans la ration alimentaire ($\sim 25 \text{ g.kg}^{-1}$ de matière sèche), ce qui pourrait engendrer des effets négatifs sur la performance des animaux (Sliwinski et al., 2002a ; Ramirez-Restrepo et Barry, 2005).

7.4. Lutte contre la météorisation spumeuse (« frothy bloat »)

La météorisation spumeuse est une cause majeure de mort chez les bovins. Cette maladie apparaît lorsque les mécanismes d'éructation sont détériorés et que le taux de production de gaz excède la capacité de l'animal à expulser ce gaz. Une rapide libération des protéines solubles dans le fluide ruminal promeut la formation d'un dépôt de polysaccharides qui piège les gaz du rumen et favorise la formation d'une météorisation spumeuse (Min et al., 2006). Ceci est particulièrement favorisé avec des fourrages frais comme ceux issus de la première coupe printanière de trèfle blanc, trèfle rouge et luzerne. Ainsi, nous pouvons noter une augmentation significative des problèmes de gonflement chez les ruminants lorsque les pâtures excèdent 22% de trèfle blanc (Ramirez-Restrepo et Barry,

2005). Des apports modérés de tanins condensés (2 à 4% de la matière sèche totale ingérée) réduit la digestion ruminale des protéines et l'activité microbienne du rumen en formant une liaison réversible (selon le pH) entre les protéines et les macro-nutriments. De cette façon, les tanins condensés ont un **potentiel intéressant dans la réduction des phénomènes de météorisation spumeuse**.

Une autre étude menée par Min *et al.* (2006) a mis en évidence l'intérêt des tanins dans le contrôle des facteurs favorisant la météorisation spumeuse. En effet, des bœufs nourris avec des tanins (1 à 2% de la matière sèche totale ingérée) présentent un gain moyen quotidien supérieur et une fréquence et sévérité de gonflements plus faibles que les bovins témoins. En effet, comme de nombreuses études l'ont montré (Sliwinski *et al.*, 2002a ; Sliwinski *et al.*, 2002b ; Ramirez-Restrepo et Barry, 2005 ; Hoste *et al.*, 2006 ; Osakwe et Drochner, 2006), la présence de tanins condensés dans la ration alimentaire peut réduire la dégradation des protéines dans le rumen. Ceci est dû à la formation de complexes tanin-protéine stables à pH 4.0 à 7.0 dans le rumen mais qui se solubilisent et libèrent les protéines sous les conditions acides de l'abomasum. Ceci permet alors aux protéines d'échapper à la dégradation dans le rumen et de favoriser l'hydrolyse enzymatique dans l'abomasum. De plus, les tanins condensés diminuent *in vitro* la production de méthane sur un modèle ruminal (Hess *et al.*, 2006 ; Min *et al.*, 2006 ; Osakwe et Drochner, 2006). Ainsi, la diminution de la production ruminale de méthane conduit à une réduction du risque de météorisation spumeuse tandis que, dans le même temps, l'augmentation de la dégradation des protéines dans l'intestin grêle conduit à une augmentation de 15% en gain moyen quotidien (Min *et al.*, 2006). Selon cette étude de Min *et al.* (2006), les tanins condensés contenus dans le quebracho (*Schinopsis* sp.) ont permis d'améliorer les performances de l'animal et de diminuer le risque de météorisation spumeuse.

Le **quebracho** (*Schinopsis* sp.) apparaît donc comme un additif alimentaire potentiellement **efficace** pour **diminuer les impacts liés au gonflement** et pour **augmenter le gain moyen quotidien** chez les bovins nourris sur un paturage de blé. C'est pourquoi, sachant que les fourrages frais riches en protéines solubles comme ceux à base de légumineuses étaient néfastes aux animaux puisqu'ils favorisent le phénomène de gonflement, certains chercheurs (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005) ont essayé d'utiliser la technologie de transfert de gène pour créer une luzerne possédant des gènes régulateurs d'anthocyanine qui stimulent la biosynthèse d'anthocyanine et de pro-anthocyanidine. Cependant, bien que les résultats aient montré que la synthèse de tanins condensés pouvait être stimulée chez la luzerne via la technologie de transfert de gènes, il reste beaucoup de travail à accomplir pour obtenir une concentration en tanins condensés dans les feuilles au minimum de 5 g.kg⁻¹ de matière sèche.

7.5. Effet sur la reproduction, la production de lait et de laine chez les ruminants

Des travaux menés en Nouvelle-Zélande sur des brebis ont montré que la luzerne (*Medicago sativa*) avait des effets néfastes sur la reproduction du fait de la présence de coumestan⁹ produite par une maladie foliaire vers la fin de l'été, début de l'automne. De même, le taux de reproduction est réduit chez les brebis broutant du trèfle rouge (*Trifolium pratense*) (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005). Cependant, ces effets négatifs liés à l'ingestion de ces espèces peuvent être réduits avec l'introduction dans la ration alimentaire de lotier (*Lotus corniculatus*) qui contient des tanins condensés (27 g.kg⁻¹ de matière sèche). Ainsi, au regard de l'expérimentation mise en place par Ramirez-Restrepo (2005a), le taux d'ovulation maximum est obtenu chez des brebis qui ont brouté du *Lotus corniculatus*.

⁹ Coumestan = dicoumarine qui est produit par la condensation de 2 molécules de coumarine par fermentation microbienne.

pendant deux ou trois cycles ovariens avant l'accouplement. De plus, il existe une réponse linéaire entre le taux d'ovulation et le nombre de jours pendant lesquels les animaux sont nourris avec du lotier (*Lotus corniculatus*). Une période de 6 semaines semble optimale pour maximiser la reproduction (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005). Cet **effet positif du lotier sur le taux de reproduction des animaux**, comparativement au ray-grass ou au trèfle blanc, est probablement dû à une meilleure digestibilité, une concentration en énergie métabolisable plus importante et à une réduction de la dégradation des protéines dans le rumen du fait des tanins condensés contenus dans le lotier qui favorisent l'absorption des acides aminés essentiels dans l'intestin grêle. Cette même expérimentation (Ramirez-Restrepo et al., 2005a) met en évidence le fait que les tanins condensés jouent un rôle important dans l'achèvement de l'environnement utérin pour la conception, dans l'implantation et le développement du fœtus et pourraient avoir un effet à long terme sur la survie des agneaux entre la naissance et le sevrage.

En ce qui concerne la lactation et la production de laine, il apparaît que les agneaux, nourris par des brebis supplémentées en tanins condensés avec *Lotus corniculatus* durant la lactation, ont un **taux de croissance plus rapide** que ceux nourris classiquement. Ceci serait lié à l'augmentation de la production de lait et des taux de sécrétion de protéines et de lactose chez les brebis sous l'action des tanins condensés contenus dans leur nourriture. Une ingestion de matière sèche plus précoce chez les agneaux et la valeur nutritive élevée du lotier (*Lotus corniculatus*) permettraient également d'expliquer ce phénomène (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005).

L'**augmentation de la production lainière** chez des moutons nourris avec du lotier est due à l'augmentation de la disponibilité et de l'absorption des acides aminés soufrés dans l'intestin grêle, du fait que les tanins condensés réduisent la dégradation de ces acides aminés dans le rumen, augmentent le taux de perte en cystéine du plasma sanguin et augmentent le flux de cystéine pour la synthèse des protéines constitutives (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005).

Au regard de ces résultats, nous pouvons donc noter que les tanins condensés, notamment ceux contenus dans le lotier, favorisent le taux de reproduction des brebis, la survie des agneaux après leur naissance et augmentent la production de lait et de laine. Cependant, le lotier ne contient pas que des tanins condensés et nous pouvons donc légitimement nous interroger sur le rôle éventuel des isoflavones par exemple.

7.6. Effet sur la croissance et le métabolisme des poulets

Une étude de Mahmood et al. (1997) a montré qu'à l'instar des ruminants, des poulets nourris avec du sal (*Shorea robusta*) présentaient un taux de croissance et un taux de conversion alimentaire plus faibles que ceux nourris avec une alimentation exempte de tanins. Ainsi, le taux de croissance et l'efficacité alimentaire sont plus affectés par une alimentation riche en tanins que limités par l'ingestion de nourriture. Ceci met en évidence que la **digestibilité des protéines et leur rétention sont fortement liées à la présence de tanins** dans les boyaux.

Cette étude nous indique également que l'âge et le poids de l'animal, ou les deux, influencent le poids relatif du pancréas. Elle nous indique aussi que la diminution de l'ingestion de nourriture pouvait induire une augmentation du poids relatif du pancréas chez le poulet. Cependant, le poids relatif du pancréas des poulets supplémentés en sal (*Shorea robusta*) est significativement plus élevé que celui des autres poulets non supplémentés en tanins. Par conséquent, nous pouvons en déduire que l'effet direct des tanins sur le pancréas est plus prononcé que les effets associés à une diminution de l'ingestion de

nourriture et à l'âge des volailles (Mahmood *et al.*, 1997). Les activités du trypsinogène et de l' α -amylase dans les tissus pancréatiques chez des poulets nourris avec du sal (*Shorea robusta*) présentent des réponses différentes entre elles par rapport à la croissance du pancréas. En effet, bien que les poulets supplémentés en sal aient un pancréas plus gros que les autres, la synthèse d' α -amylase n'est pas proportionnelle à la croissance du pancréas. À l'inverse, la synthèse du trypsinogène s'accroît avec l'augmentation du poids du pancréas. Cette différence serait due à la régulation de l'insuline sur la synthèse d' α -amylase (Mahmood *et al.*, 1997).

L'inclusion de tanins dans l'alimentation des poulets se traduit également par une diminution significative de l'activité des dipeptidases et des disaccharidases (sucrase et maltase) au niveau de la muqueuse du duodénum. Cette **diminution de l'activité des enzymes digestives** serait due, soit à l'inhibition des enzymes par la formation d'un **complexe tanin-enzyme**, soit à la réduction de la synthèse de ces enzymes. L'activité des entérokinases n'est pas affectée par les tanins bien qu'elle soit supérieure dans la muqueuse duodénale chez les poulets supplémentés en sal (*Shorea robusta*). Ceci pourrait être une réponse à une déficience en entérokinases dans les boyaux bien que la présence de trypsinogène sous la forme d'un complexe tanin-trypsinogène ou l'effet des tanins sur l'activité physiologique de la bile pourraient jouer un rôle dans la libération d'entérokinases (27).

Enfin, il a été reporté que les tanins interagissent avec les acides aminés et les minéraux comme le fer, le calcium et le sodium entraînant une réduction de leur disponibilité pour leur absorption. Ainsi, les tanins pourraient inhiber indirectement la synthèse de la thyroxine par l'inhibition de la tyrosine (acide aminé) ou par blocage de l'iode (minéral) qui sont deux éléments essentiels pour la synthèse de la thyroxine. Dans le cas du sal (*Shorea robusta*), Mahmood *et al.* (1997) n'ont cependant pu mettre en évidence aucun effet.

Il nous apparaît donc que les tanins peuvent jouer un rôle positif et un rôle négatif dans la croissance et le métabolisme des poulets. Cependant, une seule étude, et par conséquent une seule plante tannique, vient étayer ces observations ce qui est peu pour conclure sur certains effets des tanins. Il est donc nécessaire d'encourager la poursuite des recherches sur l'effets d'autres plantes tanniques, afin de dégager une tendance des effets des tanins et leurs conséquences sur la croissance et le métabolisme des poulets.

7.7. Effet sur les performances et la qualité des porcs

Une étude menée par Wiryawan *et al.* (1997) **n'a pas montré d'effets négatifs sur la croissance des porcs** suite à l'incorporation d'haricot mungo ou soja vert (*Phaseolus aureus*) dans leur alimentation même à la dose de 300 g.kg⁻¹ bien que certains auteurs aient observé des effets négatifs dès un apport de 115 g.kg⁻¹. Dans cette même étude (Wiryawan *et al.*, 1997), la progressive réduction de la digestibilité des protéines brutes observée avec l'augmentation de la dose de haricots mungo incorporée dans la ration alimentaire des porcs pourrait être due à l'augmentation, dans la ration alimentaire, de la quantité de protéines faiblement digestibles. Cependant, bien que ces observations soient significatives, elles ne sont pas conséquentes, d'un point de vue productif, à la teneur en tanins de la ration alimentaire. Il en est de même avec l'apparente augmentation de l'énergie digestible qui est liée à l'augmentation de la digestibilité des fibres et qui provient de la fermentation intestinales. En effet, celle-ci est contrebalancée par les pertes en méthane et en chaleur suite à la fermentation et au métabolisme des dérivés d'acides gras volatils, ne se traduisant ainsi que par une faible et non significative augmentation de l'énergie nette. L'incorporation d'haricots mungo (*Phaseolus aureus*) dans l'alimentation des porcs ne semble pas non plus affecter les performances productives et le poids des organes des animaux. De même, la

toxicité des lectines du haricot mungo envers la muqueuse intestinale est faible et les teneurs en facteurs anti-nutritionnels restent au-dessous du seuil à partir duquel des problèmes digestifs chez le porc peuvent apparaître.

Au regard des résultats de cette étude de Wiryawan et *al.* (1997), l'incorporation d'haricots mungo (*Phaseolus aureus*) dans la ration alimentaire des porcs à la dose de 300 g.kg⁻¹ ne semble pas engendrer d'effets négatifs sur la croissance et les performances des animaux. Cependant, celle-ci ne semble pas non plus apporter des effets bénéfiques ou alors dans des proportions très faibles. Nous pouvons donc en déduire que l'apport d'haricots mungo dans l'alimentation porcine est globalement satisfaisante d'un point de vue nutritionnel du fait de son coût (qui n'est pas supérieur à celui du soja) et des quantités potentielles (produites au départ pour la consommation humaine mais déclassées) mais n'apporte que peu ou pas de bénéfices en terme d'amélioration de la performance ou de la qualité.

7.8. Effet sur la croissance et le métabolisme de la carpe commune (*Cyprinus carpio* L.)

Le coût important des protéines animales servant de nourriture des poissons peut être un frein important dans l'élaboration d'une nourriture optimale en aquaculture. C'est pourquoi, il existe des efforts constants dans la recherche de sources de protéines alternatives en aquaculture. Les protéines végétales sont considérées comme étant l'alternative la plus fiable pour remplacer les protéines animales pour une production économique de poissons dans les pays en développement. Les graines de légumineuses peuvent être un composé valable pour l'alimentation aquacole puisque la plupart sont riches en protéines, lipides et glucides. Cependant, elles ont le désavantage de contenir un certain nombre de facteurs anti-nutritionnels qui sont connus pour leurs effets négatifs sur la digestibilité des protéines (Becker et Makkar, 1999).

Chez les ruminants et les animaux monogastriques à sang chaud (Acamovic et Stewart, 1999 ; Qiyu et Guanghai, 1999), de fortes teneurs en tanins dans leur alimentation peuvent engendrer des effets négatifs. Communément, cela se traduit par une réduction de la quantité d'aliments ingérés et de la disponibilité des nutriments, une diminution des performances, etc....

Une étude menée par Becker et Makkar (1999) a mis en évidence le fait que l'incorporation de quebracho (*Schinopsis* sp.) à hauteur de 2% de la ration alimentaire totale pendant une période de 84 jours **n'engendre pas d'effets adverses chez la carpe commune** (*Cyprinus carpio* L.). Pendant cette période, la carpe a cru d'environ 5 fois son poids initial, mais l'incorporation de quebracho n'a pas eu d'incidence sur la prise alimentaire, le gain moyen quotidien, le taux de croissance métabolique et la consommation d'oxygène. Par contre, l'incorporation d'**acides tanniques** (tanins hydrolysables) dans l'alimentation des carpes n'a certes pas eu d'effets adverses pendant les 28 premiers jours, mais ensuite la quantité d'aliments ingérés, le taux de la croissance métabolique et la consommation d'oxygène ont diminué. Les effets adverses des tanins et leur toxicité sont généralement attribués à leur capacité à complexer les nutriments et les enzymes et à leur effets post-absorption ce qui est particulièrement vrai pour les tanins hydrolysables (Hoste et *al.*, 2006). En effet, contrairement aux tanins condensés, ils sont facilement dégradés dans les systèmes biologiques par les estérases non spécifiques et les produits d'hydrolyse pénètrent dans le sang et peuvent être toxiques pour les organes (Becker et Makkar, 1999). Pour la carpe, les effets adverses observés dans cette étude sont principalement dus aux effets post-absorption des acides tanniques et de leur produit de dégradation, l'acide gallique. Les tanins du quebracho (*Schinopsis* sp.), bien qu'ayant la capacité de complexer les protéines *in vitro*, ne semblent pas diminuer la disponibilité de celles-ci dans les intestins de la carpe puisqu'il n'a pas été observé de différence au niveau de la quantité d'aliments

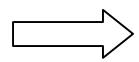
ingérés, du taux de croissance et de la consommation d'oxygène entre les carpes supplémentées en quebracho et celles non supplémentées en quebracho.

Cette étude de Becker et Makkar (1999) apporte des résultats intéressants avec le quebracho (*Schinopsis* sp.) du point de vue de la recherche d'alternative aux protéines animales notamment en ce qui concerne l'aquaculture. En effet, selon cette étude, l'apport de protéines végétales ne s'accompagne pas d'effets adverses notamment liés aux tanins. Cependant, l'extrapolation de ces observations doit être faite avec précaution. En effet, certaines études montrent des résultats contraires avec d'autres espèces, par exemple, l'incorporation de sal (*Shorea robusta*) dans l'alimentation de carpes indiennes (*Labeo rohita*, Hamilton) réduit la performance de celles-ci. Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches comme des études histopathologiques et enzymatiques des organes tels que les intestins, le foie, les reins et la rate qui pourraient permettre une meilleure compréhension des effets et mécanismes d'action des tanins chez les poissons.

À RETENIR :

➤ Les effets positifs ou négatifs des tannins chez les animaux résident dans la capacité de ces substances (notamment les tannins condensés) à complexer les protéines de manière quasi-irréversible.

- ✓ Leur degré d'activité, chez les ruminants, est dépendant de la dose administrée :
 - effets nuls ou bénéfiques si les apports sont inférieurs à 7% (de la matière sèche totale ingérée) ;
 - effets négatifs si les apports sont supérieurs à 7% (de la matière sèche totale ingérée) ;
- ✓ Leur spectre d'action vis à vis des microorganismes semble assez spécifique, et principalement orienté vers les bactéries Gram+ ;



Piste la plus prometteuse : contrôle parasitaire notamment grâce à leurs propriétés anti-helminthiques.

8. Les saponines

8.1. Effets sur la membrane cellulaire et sur l'assimilation des nutriments à travers la membrane intestinale

Les saponines sont connues depuis longtemps pour leur **action lytique** sur la **membranes des érythrocytes**. Cette activité hémolytique serait le résultat de l'affinité de la partie « aglycone » des saponines avec les stérols des membranes et plus particulièrement avec le cholestérol avec lequel elle formerait un complexe insoluble, déstabilisant la membrane.

Johnson et al. (1986) ont montré que certaines saponines **augmentent la perméabilité des cellules** de la muqueuse intestinale *in vitro*, **inhibent le transport actif** au niveau des muqueuses et **facilitent l'assimilation de substances** qui ne sont normalement pas absorbées. *In vivo*, les mécanismes d'action des saponines sur la membrane intestinale ne sont pas clairement identifiés. Les saponines ingérées sont exposées à plusieurs ligands¹⁰ dans les intestins comme les sels biliaires, le cholestérol et les stérols de la membrane des cellules de la muqueuse, les nutriments et anti-nutriments de l'alimentation, tous pouvant réduire ou améliorer l'efficacité des saponines. Cependant, l'absorption intestinale de métabolites de saponines produits dans les intestins par les microorganismes chez les ruminants et les humains a été démontrée (Cheeke, 1999 ; Francis *et al.*, 2002).

De plus, les saponines, qui sont à la fois solubles dans les graisses et l'eau, possèdent une **activité surfactante et détergente**. Par conséquent, elles peuvent influencer l'émulsion de substances solubles dans la graisse au niveau des boyaux, ce qui inclut la formation de micelles contenant des sels biliaires, des acides gras, des diglycérides et des vitamines liposolubles (vitamines A et E) (Cheeke, 1999). De plus, les saponines agissent en tant qu'**émulsifiant**, stabilisant l'interface huile/eau et elles ont une forte capacité pour solubiliser les monoglycérides. En tenant compte de ces activités, il est possible d'envisager le fait que les saponines incorporées dans l'alimentation pourraient améliorer l'émulsion des graisses et la digestion. Cependant, le contraire est également possible puisque plusieurs études ont montré que l'incorporation de saponines dans l'alimentation engendrait une diminution de la digestibilité des graisses. En effet, l'effet principal des saponines sur la digestion des lipides semblent s'exercer via leurs effets sur les acides biliaires et se traduit alors par la formation de micelles. Ceci engendre, par la suite, une réduction de la disponibilité de ces acides biliaires en vue de former des micelles avec les acides gras pour faciliter leur digestion. De même, la séquestration des acides biliaires par les saponines réduirait la biodisponibilité des vitamines A et E (Cheeke, 1999).

8.2. Effet sur la digestion des protéines

Les saponines contenues dans l'écorce du bois de Panama (*Quillaja saponaria*) augmentent l'efficacité *in vitro* de la synthèse protéique des microbes du rumen et diminuent la dégradation des protéines alimentaires (Francis *et al.*, 2002). Preston *et al.* (1999) ont également observé une diminution de la dégradation apparente des protéines brutes suite à l'apport de saponines dans la ration alimentaire. En effet, elles ont la **capacité de former des complexes saponine-protéine** partiellement digestibles ce qui explique probablement leur **effet réducteur sur la digestibilité des protéines**. De plus, des saponines extraites de plantes comme le fenugrec (*Trigonella foenum graecum*), l'écorce de *Phellodendron* sp.,

¹⁰ Du point de vue biologique, un ligand est une molécule se fixant sur un récepteur membranaire, un récepteur cytoplasmique ou un récepteur nucléaire d'une cellule et induisant généralement une réponse de la part de celle-ci.

l'écorce d'*Aralia* sp., *Pueraria thunbergiana* et le souci officinal (*Calendula officinalis*) ont montré des **effets hypoglycémiant**s (Francis *et al.*, 2002).

Cependant, plusieurs études démontrent que les saponines contenues dans l'extrait de *Yucca schidigera* peuvent avoir un effet intéressant sur le flux de protéines du rumen. En effet, la principale cause de l'arrêt de la synthèse protéique bactérienne est la prédation des bactéries par les protozoaires. L'activité des saponines de *Yucca schidigera* peut alors permettre de réduire les populations de protozoaires ce qui améliorerait la synthèse des protéines par les microbes ruminants et augmenterait les performances des animaux (Wallace *et al.*, 1994).

Ainsi, la nature des interactions entre saponines et protéines pourrait vraisemblablement influencer sur la valeur nutritive d'une ration alimentaire et ces interactions doivent donc être étudiées afin de déterminer de possibles relations structure-activité.

8.3. Effets sur la fermentation du rumen, les populations microbiennes du rumen, la quantité d'aliments ingérés et la croissance animale

Il a été démontré qu'un extrait de **Yucca** (*Yucca schidigera*) améliorait la croissance, l'efficacité alimentaire et la santé des ruminants (Francis *et al.*, 2002). Ainsi, l'activité microbienne peut être affectée par l'utilisation de saponines ; les populations microbiennes du rumen peuvent alors être favorisées lorsque l'apport en saponines est faible mais elles peuvent également être négativement affectées (diminution des populations) si l'apport devient excessif. Ceci est particulièrement vrai avec les protozoaires (Sliwinski *et al.*, 2002b ; Busquet *et al.*, 2006). En effet, des saponines de luzerne (*Medicago sativa*) partiellement hydrolysées et administrées intra-ruminalement engendrent **une réduction significative du nombre de protozoaires** présents dans le rumen du mouton ce qui peut être une raison de la diminution de la dégradation des protéines alimentaires (Francis *et al.*, 2002). Ceci est cohérent avec des données obtenues à partir d'extraits de *Yucca schidigera*, de bois de Panama (*Quillaja saponaria*) et autres plantes riches en saponines (Sliwinski *et al.*, 2002b). Les effets néfastes des saponines sur les protozoaires s'expliquent du fait de leur capacité à se lier avec les stérols de la membrane des protozoaires (les stérols étant absents des membranes bactériennes) (Francis *et al.*, 2002 ; Busquet *et al.*, 2006). Les saponines influenceraient également la composition et le nombre de populations bactériennes du rumen au-travers d'**inhibition spécifique** et de **promotion sélective** de la croissance de populations spécifiques. Ainsi, une augmentation du nombre de bactéries présentes dans le fluide ruminal a été observée *in vitro* par Valdez *et al.* (1986). Ainsi, bien que les saponines stéroïdiennes extraites de *Yucca schidigera* diminuent fortement l'activité des bactéries et des levures cellulolytiques du rumen, leurs effets sur les bactéries non-cellulolytiques du rumen sont variables et fonction de l'espèce. En effet, l'hydrolyse des saponines par les β -glucosidases libèrent des sapogénines que leur hydrophobicité empêche de rejoindre leur cible dans les milieux biologiques (Wang *et al.*, 2000). Nous pouvons également noter que les saponines présentes dans *Yucca schidigera* inhibent principalement les bactéries Gram-positives alors que les bactéries Gram-négatives sont plutôt stimulées ou non affectées (Wallace *et al.*, 1994 ; Cheeke, 1999 ; Wang *et al.*, 2000 ; Francis *et al.*, 2002 ; Sliwinski *et al.*, 2002b).

En ce qui concerne les produits de la fermentation du rumen, une étude de Busquet *et al.* (2006) nous apporte quelques renseignements. Ainsi, un extrait de fenugrec (*Trigonella foenum graecum*) ne réduit pas la concentration totale en acides gras volatils même à forte dose, ce qui suggère que cet extrait ne réduit pas la fermentation de la ration alimentaire et la disponibilité de l'énergie. Par contre, le fenugrec diminue la proportion des acides gras volatils ramifiés, augmente la proportion de propionate et réduit la concentration en azote ammoniacal. Ces effets peuvent être attribués à la forte teneur en saponines stéroïdiennes

du fenugrec. À l'inverse, *Yucca schidigera* qui contient également des saponines stéroïdiennes ne présente pas d'effets au niveau de la fermentation du rumen, ce qui serait dû au pH élevé utilisé lors de cette expérimentation (Busquet *et al.*, 2006). En effet, Cardozo *et al.* (2005) a récemment démontré que les effets de *Yucca schidigera* sur la fermentation du rumen étaient fortement **dépendants du pH du milieu**. De même, Hess *et al.* (2001) ont noté, dans le cadre d'un apport important de savonnier (*Sapindus saponaria*), une diminution *in vitro* de 20% de la quantité de méthane produite par rapport au contrôle. À l'inverse, Sliwinski *et al.* (2002b) n'ont pas observé un quelconque effet lié à la dose de saponines apportée par *Yucca schidigera* en ce qui concerne la méthanogénèse et la dégradation des fibres. Par contre, les saponines stéroïdiennes du *Yucca* sembleraient inhiber l'adhésion, qui est un mécanisme essentiel à la digestion de la cellulose, ce qui contribuerait à la diminution de la digestion de la cellulose observée *in vitro* par Wang *et al.* (2000).

Des extraits de *Yucca* sp. peuvent également **se lier avec l'ammoniac** lorsque les concentrations de NH_4 dans le rumen sont élevées puis re-libérer celui-ci quand sa concentration est redevenue faible, ce qui permet ainsi de fournir un apport continu et adéquat d'azote ammoniacal pour la synthèse protéique des microbes. Ceci est cohérent avec les résultats obtenus par Sliwinski *et al.* (2002b). De plus, l'activité des protéases est augmentée par la présence de saponines en forte quantité mais celle des désaminases reste stable ce qui prévient la complète dégradation des protéines en ammonium. Comme nous l'avons présenté précédemment, les saponines ont une forte activité anti-protozoaires ce qui est également un élément explicatif du fait que des extraits de *Yucca* réduisent la concentration ammoniacale du rumen. En effet, la source principale d'ammoniac d'origine ruminale est la protéolyse des protéines bactériennes qui est elle-même le résultat de l'ingestion par les protozoaires des bactéries du rumen. Ainsi, une diminution du nombre de protozoaires entraîne inévitablement une réduction de la protéolyse des protéines bactériennes (Wallace *et al.*, 1994 ; Cheeke, 1999).

Un autre effet positif attribué aux saponines du *Yucca* sp. chez les ruminants est **l'amélioration du piégeage de l'azote ammoniacal** dans les pailles supplémentées en urée. Ceci augmente la disponibilité des nutriments pour les bactéries du rumen et réduit les pertes en NH_4 dans l'air. Cependant, pour certains auteurs (Killeen *et al.*, 1998a ; Cheeke, 1999), les effets de *Yucca schidigera* en terme de réduction de la concentration en ammoniac dans l'air des bâtiments d'élevage n'est probablement pas le fait des saponines. En effet, ceux-ci ont montré que les effets du *Yucca* sur le métabolisme de l'azote étaient causés par la fraction non extractible par le butanol qui ne contient pas de saponines. L'addition de feuilles de *Sesbania sesban* dans l'alimentation animale peut améliorer le flux de protéines du rumen par la suppression de l'activité des protozoaires mais il a été observé que les bactéries ruminales avaient la capacité de métaboliser ces facteurs anti-protozoaires. De même, les saponines peuvent être dégradées par la salive des moutons nourris à long terme avec une alimentation riche en saponines. Notons que les effets des saponines sont plus prononcés lorsqu'elles sont directement administrées dans le rumen plutôt qu'ajoutées dans l'alimentation (Francis *et al.*, 2002).

En ce qui concerne l'aquaculture, il a été démontré que les saponines avaient un **effet hautement toxique** pour les poissons du fait de leur agressivité au niveau de l'épithélium respiratoire. La présence de saponines dans l'eau engendre une **augmentation du stress** chez les poissons. Ainsi, la présence de saponines dans l'eau ou dans l'alimentation aquacole peut engendrer une augmentation de la consommation en oxygène, des dommages au niveau de la muqueuse intestinale et une diminution de l'activité enzymatique de l'intestin. Cependant, l'incorporation de 150 mg.kg^{-1} d'écorce de bois de Panama (*Quillaja saponaria*) dans la ration alimentaire des carpes communes et des tilapias est potentiellement intéressant en terme de croissance et d'utilisation des nutriments. En effet, la croissance des carpes communes nourries avec du bois de Panama est significativement supérieure à celles dont l'alimentation est classique. Cependant, cet effet positif sur la

croissance des carpes communes n'est pas visible lorsque l'alimentation contient des saponines de *Yucca schidigera* (Francis *et al.*, 2002). Ceci pourrait être lié au type de saponine apportée, puisque le *Yucca schidigera* contient des saponines stéroïdiennes et le bois de Panama, des saponines terpéniques (Sliwinski *et al.*, 2002b). L'incorporation de saponines dans l'alimentation aquacole reste donc envisageable notamment pour diminuer les coûts dus aux protéines animales. Néanmoins, les mécanismes d'action des saponines restant méconnus et leurs actions très variables en fonction du type de saponines incorporé et de l'espèce animale, il nous faut rester prudent quant à une généralisation de l'utilisation de ces molécules dans l'alimentation aquacole.

Chez les animaux mono-gastriques, des études ont montré que des extraits de **Yucca** (*Yucca schidigera*) favorisaient la croissance, l'efficacité alimentaire et la santé des poulets, des porcs et des lapins. Ainsi, une étude de Amber *et al.* (2004) a montré qu'une alimentation supplémentée en extrait de *Yucca schidigera* améliorait les performances des lapins, se traduisant par une augmentation significative du ratio de conversion alimentaire, du gain moyen quotidien et du poids vif à l'abattage. Par contre, la quantité d'aliment ingérés ne semblait pas être affectée par l'apport en saponines. Bien que les mécanismes expliquant ces effets bénéfiques ne soient pas encore déterminés avec précision (Francis *et al.*, 2002), ils peuvent être attribués à une amélioration de l'état sanitaire des lapins (Amber *et al.*, 2004). En effet, la suppression de l'activité de l'uréase et de la production d'ammoniac peut être bénéfique pour la santé animale puisque l'ammoniac peut provoquer des dommages significatifs à la surface des cellules de la muqueuse intestinales et que l'uréase est connue pour jouer un rôle essentiel dans les gastrites induites par *Helicobacter Pylori*. De plus, l'addition de *Yucca schidigera* dans la ration alimentaire des lapins diminue significativement les concentrations en urée et en ammoniac dans le sang et les fèces, probablement du fait de la capacité des composés glucidiques, contenus dans le *Yucca Schidigera*, à complexer l'ammoniac (Colina *et al.*, 2001). Enfin, nous pouvons noter que les saponines du *Yucca schidigera* ne pouvant traverser la membrane épithéliale du tube digestif, elles doivent influencer la digestion à l'intérieur du lumen grâce à leurs propriétés surfactantes (Amber *et al.*, 2004).

Cependant, il existe aussi des études faisant état d'**effets négatifs** liés à l'incorporation dans l'alimentation animale de saponines. Ainsi, celles-ci peuvent engendrer une diminution de la croissance, de la consommation alimentaire et une diminution de la production d'œufs chez les poules (Preston *et al.*, 1999). Ces effets négatifs découleraient de plusieurs propriétés des saponines comme la réduction de la quantité d'aliments ingérés du fait de leur goût astringent, de la réduction de la mobilité intestinale et de la dégradation des protéines, des dommages causés au niveau de la membrane intestinale et de l'inhibition du transport des nutriments. La production de métabolites actifs issus de l'hydrolyse des saponines par les bactéries intestinales est également un processus à considérer (Francis *et al.*, 2002).

Ainsi, en ce qui concerne les effets potentiels des saponines en terme de croissance et de performance animale, il est difficile de trancher. En effet, celles-ci présentent à la fois des aspects positifs et des aspects négatifs, effets qui sont le plus souvent difficiles à expliquer. De plus, de nombreux facteurs comme l'origine et la nature des saponines incorporées dans l'alimentation, l'espèce animale considérée, etc.... ont une influence parfois non négligeable sur le comportement des animaux dont la ration alimentaire contient des plantes riches en saponines.

8.4. Effet sur le métabolisme du cholestérol

Un certain nombre d'études ont montré que des saponines de différentes sources **diminuaient la teneur en cholestérol** du sérum sur un panel large d'animaux (y compris les humains). Ceci serait dû à la formation de larges micelles nées de l'interaction entre les

saponines et des stérols comme le cholestérol et les acides biliaires (Cheeke, 1999 ; Francis *et al.*, 2002), entraînant ainsi une accélération du métabolisme du cholestérol au niveau du foie et une diminution des teneurs en cholestérol dans le sérum. Cependant, aucune étude n'a encore pu mettre en évidence d'interférences de la diminution de l'absorption intestinale de cholestérol dues à certaines saponines sur la re-circulation entéro-hépatiques des acides biliaires (Francis *et al.*, 2002). De plus, Morehouse *et al.* (1999) ont montré que le mécanisme d'action des saponines était luminal mais n'impliquait pas de complexation stœchiométrique avec le cholestérol. D'autres auteurs suggèrent que les mécanismes d'action des saponines incluent un retard de l'absorption intestinale de ration grasse par l'inhibition de l'activité des lipases pancréatiques. Néanmoins, certaines études ne démontrent pas d'effets anti-cholestérolémiques des saponines ou seulement en réponse à une ration alimentaire trop riche en cholestérol (Francis *et al.*, 2002).

Ainsi, à la vue de ces résultats, nous pouvons conclure que certaines saponines ont une **action hypocholestérolémiante**. Cependant, bien que la complexation du cholestérol ait lieu dans la lumière intestinale, des facteurs tels que la quantité de saponines et de cholestérol dans la ration alimentaire, et la présence d'autres ligands de ces molécules peuvent jouer un rôle et peuvent expliquer l'obtention de résultats très divers. Une meilleure connaissance de la nature des interactions entre une saponine particulière et le cholestérol, et une meilleure appréhension de la nature des autres ligands potentiels du cholestérol sont essentielles pour parvenir à une dose efficace de cette saponine particulière dans la ration alimentaire afin de garantir un effet hypocholestérolémiant significatif.

8.5. Effets sur la reproduction animale

Les **effets négatifs** des saponines sur la **reproduction animale** sont connus de longue date et sont attribués à leurs propriétés abortives, anti-zygotes et anti-implantation (Francis *et al.*, 2002). Cependant, la réduction de la concentration en ammoniac du rumen pourrait engendrer des effets favorables pour la reproduction bien que ces effets bénéfiques n'aient pas été mis encore été mis en évidence (Cheeke, 1999).

8.6. Effet sur le système immunitaire

Les saponines contenues dans l'écorce du bois de Panama (*Quillaja saponaria*) ainsi que d'autres ont démontré, sous forme d'extraits bruts ou de composés purifiés, leur intérêt puisqu'elles **favorisent la prolifération de cellules immunitaires** *in vitro* et *in vivo* (Cheeke, 1999 ; Francis *et al.*, 2002). En effet, des saponines purifiées de bois de Panama **accroissent la production d'anticorps** sans en produire des allergènes. Des complexes immunostimulants formulés avec des préparations de ces mêmes saponines induisent des réponses au niveau des lymphocytes-T cytotoxiques, des anticorps et/ou des défenses immunitaires chez les porcs, les lapins, les moutons, les vaches, les chevaux et les dindes (Francis *et al.*, 2002).

Les mécanismes de l'**action immunostimulante** des saponines ne sont pas clairement déterminés mais plusieurs explications ont été mises en avant. Ainsi, les saponines favoriseraient la production de cytokines comme les interleukines et les interférons ce qui serait un moyen de stimuler les défenses immunitaires. Il est également probable qu'elles interagissent avec des cellules présentant un antigène ce qui induirait diverses réponses. Enfin, l'incorporation de saponines dans la cellule ou dans les membranes endosomiales pourraient favoriser la présentation aux protéases cytosoliques de l'antigène incorporé (Francis *et al.*, 2002).

Les actions variées des saponines semblent indiquer que leurs effets immunostimulants sont le résultat d'un ciblage spécifique des intermédiaires physiologiques plutôt que le résultat d'un effet non spécifique sur la perméabilité de la membrane cellulaire.

Les saponines présentes dans les plantes et dans les produits à base de plantes possèdent divers effets biologiques. A la vue de toute l'information présentée ici, il est difficile d'établir des relations actives claires et structurées en ce qui concerne les effets des saponines dans les systèmes biologiques. Ceci est largement dû au vaste nombre de saponines ayant une structure chimique similaire et à la complexité des réactions cellulaires physiologiques qui sont souvent différemment influencées par de petites et subtiles différences dans la stéréo-structure des ligands effecteurs. Les saponines peuvent également interagir avec les autres constituants présents dans l'alimentation animale.

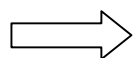
De nombreuses saponines (triterpénoïque ou stéroïdique) ont la capacité de rendre perméable les membranes cellulaires. Elles ont aussi montré un large spectre d'effets cytotoxiques contre les cellules cancéreuses. Leur capacité à diminuer le taux de cholestérol dans le sérum chez les animaux a également été rapportée. D'autres propriétés attribuées aux saponines et qui participent aux effets bénéfiques de celles-ci traitent de l'amélioration de l'efficacité alimentaire favorisant ainsi la croissance chez les ruminants, les monogastriques et certains poissons.

Cependant, de nombreux points restent encore méconnus comme les facteurs qui influencent l'activité positive ou négative des saponines, les effets des saponines au niveau des cycles de reproduction et de la balance hormonale, les mécanismes d'action qui interviennent au niveau des intestins etc.... Tout ceci met donc en évidence la nécessité de mettre en place des études *in vivo* qui permettront, à terme, de répondre à toutes ces interrogations et de définir les quantités de saponines nécessaires à incorporer dans l'alimentation pour garantir les effets biologiques désirés.

À RETENIR :

➤ Les effets positifs et négatifs observés chez les animaux, suite à l'ingestion de saponines végétales, résident dans leur capacité à interagir avec la membrane des cellules et à leur activité immunostimulante.

- ✓ Leur degré d'activité est dépendant du pH (pour les saponines du Yucca) et de la dose administrée ;
- ✓ Leur spectre d'action vis à vis des microorganismes est plus spécifique, particulièrement vis à vis des protozoaires ;
- ✓ Modulation de l'efficacité des vaccins ;



Pistes les plus prometteuses : interaction avec le métabolisme des lipides (cholestérol) ;
interaction avec le métabolisme du carbone (rejets de CO₂ et CH₄) ;
interaction avec le métabolisme de l'azote (rejet NH₃).

9. Les classes phytochimiques potentiellement utilisables dans l'alimentation animale en vue d'une meilleure stabilisation des produits finaux

9.1. Le β -carotène chez les ruminants

Les caroténoïdes sont des pigments de couleur jaune à orange-rouge et sont synthétisés uniquement par les plantes. Les animaux sont donc dépendants de leur alimentation pour ce qui concerne leur besoin en caroténoïdes. Néanmoins, ils peuvent les métaboliser et les convertir en d'autres caroténoïdes, cette conversion étant spécifique à chaque espèce animale. Ainsi, contrairement aux autres ruminants comme les chèvres et les moutons, les bovins absorbent des quantités significatives de β -carotène de par leur alimentation. Lorsque celui-ci n'est pas totalement transformé en vitamine A, le surplus est alors déposé dans les tissus adipeux ou sécrété vers les matières grasses du lait. Le β -carotène est le principal caroténoïde détecté dans le sérum et les tissus adipeux des bovins, il intervient pour 85-90% dans la couleur du gras du bœuf et l'intensité de cette couleur est corrélée premièrement avec sa teneur en caroténoïdes et secondairement avec sa teneur en lutéine (xanthophylle) (Mora *et al.*, 1999).

Il existe peu d'informations sur la transformation et le métabolisme microbien du β -carotène dans le rumen. C'est pourquoi une étude de Mora *et al.* (1999) s'est intéressée à ce sujet pour mieux comprendre les mécanismes intervenant dans la pigmentation jaune du gras chez le bétail, phénomène fortement dépréciateur économiquement pouvant conduire au rejet de la carcasse à l'abattoir. Ainsi, il ressort de cette étude que le taux de disparition du β -carotène dans le rumen obtenu *in vitro* est de l'ordre de 10.5%. Néanmoins, la partie expérimentale *in situ* a mis en évidence le fait que le β -carotène n'est pas dégradé dans le rumen. Il réside donc de grandes incertitudes concernant les mécanismes intervenant dans le métabolisme du β -carotène chez les ruminants.

Des études visant à évaluer l'efficacité du β -carotène et autres oxycaroténoïdes en tant qu'antioxydants durant la transformation et le stockage des viandes n'ont pas été concluantes notamment par rapport aux α -tocophérols (King *et al.*, 1995).

9.2. Les tocophérols et l'huile essentielle d'origan chez les volailles

La viande de volaille est relativement riche en acides gras poly-insaturés et est, par conséquent, sensible à une détérioration oxydative. Cette sensibilité à la détérioration oxydative diffère selon les espèces de volailles, celle-ci étant plus importante pour la viande de dinde par rapport à celle de poulet par exemple bien que ces deux espèces aient une composition comparable en acides gras. Cette différence est attribuée à la faible capacité des dindes à stocker dans leurs tissus les tocophérols présents dans leur alimentation comparativement aux poulets (Florou-Paneri *et al.*, 2005a). Ainsi, pour améliorer la stabilité oxydative des produits carnés, l'incorporation d' α -tocophérol (vitamine E) et de ses dérivés dans l'alimentation animale, ont été testés chez le porc, la dinde et le poulet. Les tocophérols sont principalement localisés dans la membrane cellulaire et protège les acides gras et le cholestérol de cette membrane des dommages peroxydatifs causés par des radicaux libres hautement réactifs comme les hydroxyles, les peroxydes et les superoxydes (Ahn *et al.*, 1995). En dehors des tocophérols, d'autres antioxydants naturels comme un mélange d'huiles essentielles par exemple, additionnés à l'alimentation, pourraient avoir le pouvoir d'augmenter la capacité antioxydative de la viande de dinde (Florou-Paneri *et al.*, 2005a).

Les résultats de l'étude de Ahn *et al.* (1995) montrent que l'acide α -linoléique incorporé dans l'alimentation des poulets peut effectivement enrichir les muscles de la poitrine et des cuisses en acides gras poly-insaturés ω -3 et en acides gras di-insaturés ω -6, ceux-ci remplaçant alors les acides gras mono-insaturés et les acides gras saturés. De plus,

les tocophérols également incorporés dans l'alimentation des poulets augmentent les quantités de tocophérols dans les tissus. De plus, il apparaît que l'effet antioxydant des tocophérols assimilés par digestion est plus important que celui induit par un ajout de tocophérols directement sur les produits carnés. Ainsi, une incorporation de tocophérols dans l'alimentation animale pourrait **améliorer la stabilité des viandes** de volailles, de porc, de veau et de bœuf lors du stockage. Cependant, dans l'expérience de Ahn et al. (1995), il apparaît que les tocophérols présents dans les muscles de la poitrine, après addition dans l'alimentation, ne sont pas en quantité suffisante pour contrôler seuls l'oxydation lipidique.

Les résultats de l'étude de Florou-Paneri et al. (2005a) montrent que l'origan brut (*Origanum vulgare*) et l'huile essentielle d'origan n'ont aucun effet sur la croissance des dindes à la dose de 5 g.kg⁻¹ et 200 mg.kg⁻¹ respectivement, lorsqu'ils sont incorporés dans l'alimentation des dindes. Ceci est cohérent avec des résultats antérieurs obtenus par Botsoglou et al. (2004) et par Florou-Paneri et al. (2005b) sur des poules. De même, une alimentation supplémentée en huile essentielle d'origan (200 mg.kg⁻¹ d'aliments ingérés) n'engendre pas de différences significatives en ce qui concerne le poids d'un œuf et sa forme, le diamètre du jaune et sa couleur, et l'épaisseur de la coquille (Florou-Paneri et al., 2005b).

Néanmoins, l'**origan** brut et l'huile essentielle d'origan sont **efficaces pour retarder l'oxydation lipidique** des blancs et des cuisses de dinde durant le stockage réfrigéré lorsqu'ils sont incorporés dans l'alimentation des volailles. L'origan brut est plus efficace à la dose de 10 g.kg⁻¹ de matière sèche qu'à la dose de 5 g.kg⁻¹ de matière sèche mais est équivalent à un apport d'huile essentielle d'origan de 200 mg.kg⁻¹ de matière sèche ¹¹. De même, un apport d'huile essentielle de 100 mg.kg⁻¹ de matière sèche ingérée est moins efficace qu'un apport d'origan brut de 5 g.kg⁻¹ de matière sèche ingérée. Cette meilleure stabilité oxydative offerte par l'incorporation d'origan brut ou d'huile essentielle d'origan dans la ration alimentaire des dindes est probablement due aux composés antioxydants qui ont pénétré le système circulatoire et ont été distribués dans les tissus, exhibant ainsi leur activité antioxydante (Florou-Paneri et al., 2005a). De même, il apparaît que des poules dont l'alimentation a été supplémentée en huile essentielle d'origan ou en α -tocophérols (vitamine E) présentent des œufs dont le jaune contient moins de malondialdéhyde ¹², comparativement à des œufs provenant de poules dont l'alimentation n'était pas supplémentée en huile essentielle d'origan ou en α -tocophérols. Ceci met donc en évidence le potentiel antioxydant de ces deux composés et leur intérêt dans la recherche d'une meilleure stabilité oxydative des produits finaux issus des volailles. Le mécanisme d'action de l'huile essentielle d'origan et des α -tocophérols serait que le possible transfert des constituants antioxydants de l'huile essentielle d'origan ou les α -tocophérols dans l'organisme des poules pourrait entraîner l'inhibition de la chaîne de réactions impliquée dans l'oxydation des lipides consommés ; ceci engendrant à terme la réduction des produits de l'oxydation transférés vers le jaune d'œuf (Florou-Paneri et al., 2005b).

Cependant, il n'a pas encore été développé de méthode analytique capable d'identifier et de quantifier les constituants de l'huile essentielle d'origan présents à l'état de trace dans les tissus. Par conséquent, la biodisponibilité de ces constituants ne peut pas être directement démontrée (Florou-Paneri et al., 2005a).

¹¹ Si l'origan est à 2% d'huile essentielle, un apport de 10 g d'origan (en matière sèche) correspond à un apport de 200 mg d'huile essentielle d'origan par kilogramme.

¹² Parmi les aldéhydes formés lors de la peroxydation lipidique, le plus connu est le malondialdéhyde. C'est le beta-dialdéhyde tricarboné le plus simple, produit lors de la coupure des acides gras polyinsaturés possédant au moins trois doubles liaisons (acide arachidonique, acide éicosapentaénoïque, acide docosapentaénoïque, acide gamma-linolénique). À ce jour, le malondialdéhyde est le marqueur le plus utilisé pour déterminer un stress oxydant.

CONCLUSION

Le sentiment de méfiance envers les produits de synthèse qui s'est généralisé ces dernières années parmi les consommateurs et les risques sanitaires engendrés par une utilisation excessive de ces produits, notamment les antibiotiques promoteurs de croissance, a conduit l'Union européenne à légiférer et à interdire l'emploi de ces produits de synthèse depuis janvier 2006. Le contexte actuel du monde de l'élevage a donc conduit la profession à s'interroger et à mettre en œuvre des recherches pour développer de nouveaux produits alternatifs en accord avec la législation européenne et bénéfiques pour les animaux.

De part leur histoire et leur usage traditionnel, de nombreuses plantes et extraits de plantes suscitent un intérêt grandissant depuis quelques années dans les pays développés notamment alors que certaines vertus de ces plantes font partie intégrante du folklore dans de nombreux pays depuis bien longtemps (Annexe 5). Suite à la lecture de nombreux articles scientifiques sur le sujet, nous avons compilé dans cette synthèse les principaux résultats qui en ressortent. Ainsi, nous nous sommes intéressés à trois grandes classes phytochimiques, à savoir les huiles essentielles et oléorésines, les tanins et les saponines. Il ressort, de cette étude, que ces trois classes peuvent agir à différents niveaux chez les animaux lorsqu'ils sont incorporés à leur alimentation.

Nous avons pu relever que les huiles essentielles, les tanins et les saponines ont une action sur :

- les microorganismes et les parasites ;
- l'assimilation des protéines et croissance ;
- le rejet d'ammoniaque ;
- le rejet de carbone (sous forme de CO_2 , CH_4 , ...) ;
- l'assimilation des oligo-éléments, sels, et eau ;
- la prévention des pathologies non parasitaires ;
- l'immunostimulation ;
- la prise alimentaire ;
- la reproduction et la lactation ;
- la conservation des produits dérivés : lait, viande, œuf et laine.

Cependant, chacune a des propriétés propres qui lui permet d'agir plus ou moins sévèrement sur les animaux. Ainsi, les huiles essentielles (et les oléorésines) sont principalement connues pour les propriétés antibactériennes à large spectre d'action puisqu'elles s'attaquent aussi bien aux bactéries Gram+ qu'aux bactéries Gram-. De plus, leur action dépend fortement de la dose utilisée et du pH du rumen. Pour ce qui est des tanins, leur propriété commune est leur capacité à complexer les protéines. Cela leur confère une action plus spécifique notamment envers les bactéries Gram+ dont l'efficacité est dépendante de la dose utilisée. Enfin, les saponines sont connues pour leur capacité à perméabiliser la membrane des cellules et pour leur action immunostimulante. Elles ont également une action très spécifique puisqu'elles sont anti-protozoaires. Leur efficacité est aussi dépendante de la dose utilisée.

Par cette étude bibliographique, nous avons pu appréhender le potentiel de certaines plantes et extraits à base de plantes lorsqu'elles sont incorporées à l'alimentation animale dans un objectif de promotion de la croissance et de la performance des animaux. Cependant, certains résultats sont contradictoires et il est difficile en l'état de préconiser une plante pour un usage du fait de l'incertitude qui persiste sur les effets *in vivo* à long terme, sur les mécanismes d'action mis en œuvre et même sur le rôle de certains constituants et leurs effets précis sur les animaux après leur ingestion. En effet, il n'a pas encore été développé de méthode analytique capable d'identifier et de quantifier les constituants de certains extraits de plantes présents à l'état de trace dans les tissus mais aussi les molécules actives des tanins et des saponines ce qui rend encore plus délicates les extrapolations et les conclusions qui peuvent découler des résultats des expérimentations *in vitro* et *in vivo*.

C'est pourquoi, des efforts de recherche sont encore nécessaires notamment pour définir avec précision les doses d'utilisation car nous avons pu constater que quelle que soit la classe phytochimique considéré, leur action est fortement dépendant de la quantité incorporée dans l'alimentation animale. Le chemin est encore long mais les pistes nombreuses et déjà, plusieurs plantes ont montré un réel potentiel qu'il est désormais nécessaire d'exploiter au mieux.

Notons au passage, que pour bon nombre d'études publiées, la nature exacte de l'extrait est très mal voire pas du tout indiquée. La variabilité des résultats obtenus pourrait alors refléter les différences importantes de composition entre deux extraits de la même plante.

BIBLIOGRAPHIE

- Acamovic, T. et Stewart C. S. (1999). "Plant phenolic compounds and gastrointestinal micro-organisms." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 137-139.
- Ahn, D. U., Wolfe F. H. et Sim J. S. (1995). "Dietary alpha-linoleic acid and mixed tocopherols, and packaging influences on lipid stability in broiler chicken breast and leg muscle." *Journal of Food Science* **60**(6): pp. 1013-1018.
- Al-Ankari, A. S., Zaki M. M. et Al-Sultan S. I. (2004). "Use of Habek Mint (*Mentha logifolia*) in broiler chickens diets." *International Journal of Poultry Science* **3**(10): pp. 629-634.
- Amber, K., Yakout H. M. et Hamed Rawya S. (2004). "Effect of feeding diets containing Yucca extract or probiotic on growth, digestibility, nitrogen balance and caecal microbial activity of growing New Zealand white rabbits." *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico)*: pp. 737-745.
- Beauchemin, K. A. et Mc Ginn S. M. (2006). "Effects of various feed additives on the methane emissions from beef cattle." *International Congress Series* **1293**: pp. 152-155.
- Beauchemin, K. A. et Mc Ginn S. M. (2006). "Methane emissions from beef cattle : effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil." *Journal of Animal Science* **84**: pp. 1489-1496.
- Becker, K. et Makkar H. P. S. (1999). "Effects of dietary tannic acid and quebracho tannin on growth performance and metabolic rates of common carp (*Cyprinus carpio* L.)." *Aquaculture* **175**: pp. 327-335.
- Beigh, S. Y., Nawchoo I. A. et Iqbal M. (2003). "Traditionnal veterinary medicine among the tribes of Kashmir Himalaya." *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* **10**(4): pp. 121-127.
- Benchaaar, C., Petit H. V., Berthiaume R., Ouellet D. R., Chiquette J. et Chouinard P. Y. (2007). "Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage." *Journal of Dairy Science* **90**: pp. 886-897.
- Benchaaar, C., Petit H. V., Berthiaume R., Whyte T. D. et Chouinard P. Y. (2006). "Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows." *Journal of Dairy Science* **89**: pp. 4352-4364.
- Bisognano, C. (2000). "Impact de la résistance antibiotique et des fluoroquinolones sur l'adhérence à la fibronectine de *Staphylococcus aureus* : étude fonctionnelle et mécanismes moléculaires." *Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Genève* **Sc. 3242**.
- Bordia, A., Bansal H. C., Arora S. K. et Singh S. V. (1975). "Effect of the essential oils of garlic and onion on alimentary hyperlipemia." *Atherosclerosis* **21**: pp.15-19.
- Bordia, A., Verma S. K., Vyas A. K., Khabya B. L., Rathore A. S., Bhu N. et Bedi H. K. (1977). "Effect of essential oil of onion and garlic on experimental atherosclerosis in rabbits." *Atherosclerosis* **26**: pp. 379-386.

Botsoglou, N. A., Christaki E., Florou-Paneri P., Giannenas I., Papageorgiou G. et Spais A. (2004). "The effect of a mixture of herbal essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance parameters and oxidation of body lipids in broilers." In : *Florou-Paneri et al., 2005. Oregano herb versus oregano essential oil as feed supplements to increase the oxidative stability of turkey meat. International Journal of Poultry Science* 4(11), pp. 866-871.

Botsoglou, N. A., Florou-Paneri P., Christaki E., Fletouris D. J. et Spais A. B. (2002). "Effect of dietary oregano essential oil on performance of chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues." *British Poultry Science* 43(2): pp. 223-230.

Brooker, J. D., O'Donovan L., Skene I. et Sellick G. (1999). "Mechanisms of tannin resistance and detoxification in the rumen." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 127-132.

Busquet, M., Calsamiglia S., Ferret A., Cardozo P. W. et Kamel C. (2005b). "Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture." *Journal of Dairy Science* 88: pp. 2508-2516.

Busquet, M., Calsamiglia S., Ferret A., Carro M. D. et Kamel C. (2005c). "Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation." *Journal of Dairy Science* 88: pp. 4393-4404.

Busquet, M., Calsamiglia S., Ferret A. et Kamel C. (2005a). "Screening for effects of plant extracts and active compounds of plants on dairy cattle rumen microbial fermentation in a continuous culture system." *Animal Feed Science and Technology* 123-124: pp. 597-613.

Busquet, M., Calsamiglia S., Ferret A. et Kamel C. (2006). "Plants extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation." *Journal of Dairy Science* 89: pp. 761-771.

Cardozo, P. W., Calsamiglia S., Ferret A. et Kamel C. (2004). "Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture." *Journal of Animal Science* 82: pp. 3230-3236.

Cardozo, P. W., Calsamiglia S., Ferret A. et Kamel C. (2005). "Screening of the effects of natural plant extracts at different pH on *in vitro* rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle." *Journal of Animal Science* 83: pp. 2572-2579.

Cardozo, P. W., Calsamiglia S., Ferret A. et Kamel C. (2006). "Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixyure of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet." *Journal of Animal Science* 84: pp. 2801-2808.

Castillejos, L., Calsamiglia S. et Ferret A. (2006). "Effect of essential oil active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems." *Journal of Dairy Science* 89: pp. 2649-2658.

Castillo, M., Martin-Orue S. M., Roca M., Manzanilla E. G., Badiola I., Perez J. F. et Gasa J. (2006). "The response of gastrointestinal microbiota to avilamycin, butyrate, and plant extracts in early-weaned pigs." *Journal of Animal Science* 84: pp. 2725-2734.

Cheeke, P. R. (1999). "Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition." *Proceedings of the American Society of Animal Science*: pp. 1-10.

Clark, H., De Klein C. et Newton P. (2001). "Potential management practices and technologies to reduce nitrous oxide, methane and carbon dioxide emissions from New-Zealand agriculture." *Rpport préparé pour le Ministère de l'agriculture et de la forêt.*: 81 pp.

Colina, J. J., Lewis A. J., Miller P. S. et Fischer R. L. (2001). "Dietary manipulation to reduce aerial ammonia concentrations in nursery pig facilities." *Journal of Animal Science* **79**: pp.3096-3103.

Cornelison, J. M., Yan F., Watkins S. E., Rigby L., Segal J. B. et Waldroup P. W. (2006). "Evaluation of hops (*Humulus lupulus*) as an antimicrobial in broiler diets." *International Journal of Poultry Science* **5**(2): pp. 134-136.

Coulon, J.-B. et Priolo A. (2002). "La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux." *INRA Productions animales* **15**(5): pp. 333-342.

Crevieu-Gabriel, I. et Naciri M. (2001). "Effet de l'alimentation sur les coccidioses chez le poulet." *INRA Productions animales* **14**: pp. 231-246.

Edwards, N. J. (1999). "A review of tannins and other secondary metabolites in the fodder shrub tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*)." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 170- 174.

Ferket, P. R. (2004). "Raising drug-free poultry - What are the alternatives ?" *Poultry Service Industry Workshop*.

Florou-Paneri, P., Nikolakakis I., Giannenas I., Koidis A., Botsoglou E., Dots V. et Mitsopoulos I. (2005b). "Hen performance and egg quality as affected by dietary oregano essential oil and alpha-tacopheryl acetate supplementation." *International Journal of Poultry Science* **4**(7): pp. 449-454.

Florou-Paneri, P., Palatos G., Govaris A., Botsoglou D., Giannenas I. et Ambrosiadis I. (2005a). "Oregano herb versus oregano essential oil as feed supplements to increase the oxidative stability of turkey meat." *International Journal of Poultry Science* **4**(11): pp. 866-871.

Francis, G., Kerem Z., Makkar H. P. S. et Becker K. (2002). "The biological action of saponins in animal systems : a review." *British Journal of Nutrition* **88**: pp. 587-605.

Gauthier, R. (2005). "Organic acids and essential oils, a realistic alternatives to antibiotic growth promoters in poultry." *I Forum internacional de avicultura - Brasil*: pp.148-157.

Giannenas, I., Florou-Paneri P., Papazahariadou M., Christaki E., Botsoglou N. A. et Spais A. B. (2003). "Effect of dietary supplementation with oregano essential oil on performance of broilers after experimental infection with *Eimeria tenella*." *Archives of Animal Nutrition* **57**(2): pp. 99-106.

Githiori, J. B., Athanasiadou S. et Thamsborg S. M. (2006). "Use of plants in novel approaches for control gastrointestinal helminths in livestock with emphasis on small ruminants." *Veterinary Parasitology* **139**: pp. 308-320.

Grela, E. R. (2000). "Influence of herb supplements in pig feeding on carcass traits and some organoleptic and chemical parameters of meat." In : Janz et al., 2007. *Preliminary investigation of the effects of low-level dietary inclusion of fragrant essential oils and oleoresins on pig performance and pork quality*. *Meat Science* **75**, pp. 350-355.

Griggs, J. P. et Jacob J. P. (2005). "Alternatives to antibiotics for organic poultry production." *Journal of Applied Poultry Research* **14**: pp.750-756.

Hayat, B., Jabeen F., Hayat C. S. et Akhtar M. (1996). "Comparative prophylactic effects of salinomycin and some indigenous preparations against coccidiosis in broiler chicks." *In : Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001. Effet de l'alimentation sur les coccidioses chez le poulet. INRA Productions animales* **14**, pp. 231-246.

Hernandez, F., Madrid J., Garcia V., Orengo J. et Megias M. D. (2004). "Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility, and digestive organ size." *Poultry Science* **83**: pp. 169-174.

Hess, H. D., Machmüller A., Diaz T. E. et Kreuzer M. (2001). "Rusitec evaluation of the potential of saponin-rich tropical fruits to manipulate rumen fermentation and to reduce methanogenesis." *In : Sliwinski et al., 2002. Efficacy of plant extracts rich in secondary constituents to modify rumen fermentation. Animal Feed Science and Technology* **101**, pp. 101-114.

Hess, H. D., Monsalve L. M., Lascano C. E., Carulla J. E., Diaz T. E. et Kreuzer M. (2003). "Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits : effects on *in vitro* ruminal nitrogen turnover and methanogenesis." *Australian Journal of Agricultural Research* **54**(7): pp. 703-713.

Hess, H. D., Tiemann T. T., Noto F., Carulla J. E. et Kreuzer M. (2006). "Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock." *International Congress Series* **1293**: pp. 164-167.

Hill, G. M., Utley P. R. et Newton G. L. (1986a). "Digestibility and utilization of ammonia-treated and urea-supplemented peanut skin diets fed to cattle." *In : West et al., 1993. Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science* **76**, pp. 590-599.

Hill, G. M., Utley P. R. et Newton G. L. (1986b). "Influence of dietary crude protein on peanut skin digestibility and utilization by feedlot steers." *In : West et al., 1993. Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science* **76**, pp. 590-599.

Hoste, H., Jackson F., Athanasiadou S., Thamsborg S. M. et Hoskin S. O. (2006). "The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants." *Trends in Parasitology* **22**(6): pp. 253-261.

Huyghebaert, G. (2003). "Replacement of antibiotics in poultry." *Eastern Nutrition Conference*: pp. 55-78.

Ibrir, F., Greathead H. M. R. et Forbes J. M. (2001). "The effect of thymol/carvacrol treatments on the performance of broiler chickens infected with *Eimeria acervulina*." *Proceedings of Alternatives to Feed Antibiotics and Anticoccidials in Pig and Poultry Meat Production*.

Jamroz, D., Wertelecki T., Houszka M. et Kamel C. (2006). "Influence of diet type on the inclusion of plant active substances on morphological and histochemical characteristics on the stomach and jejunum walls in chicken." *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **90**: pp. 255-268.

Jamroz, D., Wiliczekiewicz A., Wertelecki T., Orda J. et Skorupinska J. (2005). "Use of active substances of plant origin in chicken diets based on maize and locally grown cereals." *British Poultry Science* **46**(4): pp. 485-493.

Janz, J. A. M., Morel P. C. H., Wilkinson B. H. P. et Purchas R. W. (2007). "Preliminary investigation of the effects of low-level dietary inclusion of fragrant essential oils and oleoresins on pig performance and pork quality." *Meat Science* **75**: pp. 350-355.

Johnson, I. T., Gee J. M., Price K., Curl C. et Fenwick G. R. (1986). "Influence of saponins on gut permeability and active nutrient transport *in vitro*." In : Francis et al., 2002. *The biological action of saponins in animal systems : a review*. *British Journal of Nutrition* **88**, pp. 587-605.

Jorgensen, H., Gabert V. M., Hedemann M. S. et Jensen S. K. (2000). "Digestion of fat does not differ in growing pigs fed diets containing fish oil, rapeseed oil or coconut oil." *The Journal of Nutrition* **130**: pp. 852-857.

Kahn, L. P. et Diaz-Hernandez A. (1999). "Tannins with anthelmintic properties." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 140-149.

Kammerer, M. (2005). "Plantes et extraits en nutrition animale - Quels sont les risques ?" *Journée AFTAA-AFZ " Plantes et extraits en nutrition animale : intérêt zootechnique, sécurité alimentaire et avenir réglementaire"*. pp. 1-2.

Kermanshashi, H. et Riasi A. (2006a). "Effect of dietary *Berberis vulgaris* fruit and enzyme on some blood parameters of laying hens fed wheat-soyabean based diets." *International Journal of Poultry Science* **5**(1): pp. 89-92.

Kermanshashi, H. et Riasi A. (2006b). "Effect of tumeric powder (*Curcuma longa*) and soluble NSP degrading enzyme on some blood parameters of laying hens." *International Journal of Poultry Science* **5**(5): pp. 494-498.

Killeen, G. F., Connolly C. R., Walsh G. A., Duffy C. F., Headon D. R. et Power R. F. (1998a). "The effects of dietary supplementation with *Yucca schidigera* extract or fractions thereof on nitrogen metabolism and gastrointestinal fermentation processes in the rat." In : Cheeke, 1999. *Actual and potential applications of Yucca schidigera and Quillaja saponaria saponins in human and animal nutrition. Proceedings of the American Society of Animal Science*, pp. 1-9.

King, A. J., Uijttenboogaart T. G. et De Vries A. W. (1995). "Alpha-tocopherol, Beta-carotene and ascorbic acid as antioxydants in stored poultry muscle." *Journal of Food Science* **60**(5): pp. 1009-112.

Lee, K. W., Everts H. et Beynen A. C. (2004). "Essential oils in broiler nutrition." *International Journal of Poultry Science* **3**(12): pp. 738-752.

Lee, K. W., Everts H., Kappert H. J., Frehner M., Losa R. et Beynen A. C. (2003). "Effects of dietary essential oil components on growth performance, digestive enzymes and lipid metabolism in female broiler chickens." *British Poultry Science* **44**(3): pp. 450-457.

Mahmood, S., Smithard R. et Sarwar M. (1997). "Effects of salseed (*Shorea robusta*) tannins, restricted feed intake and gae on relative pancreas weight and activity of digestive enzymes in male broilers." *Animal Feed Science and Technology* **65**: pp. 215-230.

Mandal, S. C., Sasmal N. K. et Ray S. (1994). "Effect of IHP-250C (Zygox) on lesion scores of *Eimeria necatrix* infected chicks." In : Crevieu-Gabriel et Naciri, 2001. *Effet de l'alimentation sur les coccidioses chez le poulet. INRA Productions animales* 14, pp. 231-246.

Manzanilla, E. G., Perez J. F., Martin M., Kamel C., Baucells F. et Gasa J. (2004). "Effect of plant extracts and formic acid on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs." *Journal of Animal Science* 82: pp. 3210-3218.

Mc Brayer, A. C., Utley P. R., Lowery R. S. et Mc Cormick W. C. (1983). "Evaluation of peanut skins (testa) as a feed ingredient for growing-finishing cattle." In : West et al., 1993. *Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science* 76, pp. 590-599.

Mc Sweeney, C. S., Palmer B. et Krause D. O. (1999). "Rumen microbial ecology and physiology in sheep and goats fed a tannin-containing diet." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 150-155.

Min, B. R., Pinchak W. E., Anderson R. C., Fulford J. D. et Puchama R. (2006). "Effects of condensed tannins supplementation level on weight gain and *in vitro* and *in vivo* bloat precursors in steers grazing winter wheat." *Journal of Animal Science* 84: pp. 2546-2554.

Mitsch, P., Zitterl-Eglseer K., Köhler B., Gabler C., Losa R. et Zimpernik I. (2004). "The effect of two different blends of essential oil components on the proliferation of *Clostridium perfringens* in the intestines of broiler chickens." *Poultry Science* 83: pp. 669-675.

Moore, K. M., Barry T. N., Cameron P. N., Iopez-Villalobos N. et Cameron D. J. (2003). "Willow (*Salix* sp.) as a supplement for grazing cattle under drought conditions." *Animal Feed Science and Technology* 104: pp. 1-11.

Mora, O., Romano J. L., Gonzalez E., Ruiz F. J. et Shimada A. (1999). "*In vitro* and *in situ* disappearance of β -carotène and luteine from lucerne (*Medicago sativa*) hay in bovine and caprine ruminal fluids." *Journal of Science, Food and Agriculture* 79: pp. 273-276.

Morehouse, L. A., Bangerter F. W., De Ninno M. P., Inskeep P. B., Mc Carthy P. A., Pettini J. L., Savoy Y. E., Sugarman E. D., Wilkins R. W., Wilson T. C., Woody H. A., Zaccaro L. M. et Chandler C. E. (1999). "Comparison of synthetic saponin cholesterol absorption inhibitors in rabbits : evidence for a non-stoichiometric, intestinal mechanism of action." In : Francis et al., 2002. *The biological action of saponins in animal systems : a review. British Journal of Nutrition* 88, pp. 587-605.

Morin, A. (2003). "Animaux : Structures et fonctions - Les protozoaires." Université d'Ottawa - BIO2525 <http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/cours/protozoaires.htm>.

Mougenel, M. (1991). "Les plantes dans l'alimentation du bétail et la phytothérapie animale." 3ème *Rencontres Techniques Economiques PAM*: pp. 244-248.

Osakwe, I. I. et Drochner W. (2006). "Nutritive value of *morinda lucida* and its fermentation parameters in West African dwarf (WAD) sheep when fed as supplement to grass hay." *Small Ruminants Research* 64: pp. 107-115.

Paolini, V., Bergeaud J. P., Grisez C., Prevot F., Dorchies P. et Hoste H. (2003). "Effects of condensed tannins on goats experimentally infected with *Haemonchus contortus*." *Veterinary Parasitology* 113: pp. 253-261.

Paschma, J. et Wawrzynski M. (2003). "Effect of dietary herb supplement for pigs on growth parameters, slaughter traits and dietetic value of pork." In : Janz et al., 2007. *Preliminary investigation of the effects of low-level dietary inclusion of fragrant essential oils and oleoresins on pig performance and pork quality*. Meat Science 75, pp. 350-355.

Pell, A. N., Woolston T. K., Nelson K. E. et Schofield P. (1999). "Tannins : biological activity and bacterial tolerance." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 121-126.

Plumb, J. J., Blackall L. L. et Klieve A. V. (1999). "Rumen bacterial diversity with and without mulga (*Acacia aneura*) tannins." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 156-160.

Prakash, S. K. (2006). "Effects of herbal extracts towards microbial activity against pathogenic *Escherichia coli* in poultry." *International Journal of Poultry Science* 5(3): pp; 259-261.

Preston, C. M., Mc Cracken K. J. et Bedford M. R. (1999). "Effects of *Yucca schidigera* extract, *Saccharomyces boulardii* and enzyme supplementation of wheat-based diets on broiler performance and diet metabolisability." *British Poultry Science* 40S: pp. 39-40.

Priolo, A., Lanza M., Bella M., Pennisi P., Fasone V. et Biondi L. (2002). "Reducing the impact of condensed tannins in a diet based on carob pulp using two levels of polyethylene glycol : lamb growth, digestion and meat quality." *Animal Research*: pp. 305-313.

Qiyu, D. et Guanghai Q. (1999). "Tannins in livestock feeds in China." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 76-80.

Quiles, J. L., Mesa M. D., Ramirez-Tortosa C. L., Aguilera C. M., Battino M., Gil A. et Ramirez-Tortosa M. C. (2002). "*Curcuma longa* extract supplementation reduces oxidative stress and attenuates aortic fatty streak development in rabbits." *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 22: pp. 1225-1231.

Rahmann, G. et Seip H. (2006). "Alternative strategies to prevent and control endoparasite diseases in organic sheep and goat farming systems - a review of current scientific knowledge." *Sonderhefte der Landbauforschung Völkenrode* 298: pp. 49-90.

Rajaian, H., Jalae J. et Aghajani A. (2006). "*Berberis vulgaris* as growth promoter in broiler chickens." *International Journal of Poultry Science* 5(4): pp. 395-397.

Ramirez-Restrepo, C. A. et Barry T. N. (2005). "Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants." *Animal Feed Science and Technology* 120: pp. 179-201.

Ramirez-Restrepo, C. A., Barry T. N., Lopez-Villalobos N., Kemp P. D. et Harvey T. G. (2005a). "Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins in increase reproductive efficiency in ewes under commercial dryland farming conditions." *Animal Feed Science and Technology* 121(1-2): pp. 23-43.

Roth, S., Steingass H. et Drochner W. (2001). "Reducing the methane emission and optimisation of N-supply in ruminants by treating feeds with tannins." In : Sliwinski et al., 2002. *Rumen fermentation and nitrogen balance of lambs fed diets containing plant extracts rich in tannins and saponins, and associated emissions of nitrogen and methane*. Archives of Animal Nutrition 56, pp. 379-392.

Sansoucy, R. (1995). "La stratégie de la FAO pour l'utilisation durable des ressources fourragères localement disponibles." *Revue mondiale de zootechnie* - <http://www.fao.org/docrep/V8180T/v8180T00.htm#Contents>.

Sliwinski, B. J., Kreuzer M., Wettstein H. R. et Machmüller A. (2002a). "Rumen fermentation and nitrogen balance of lambs fed diets containing plant extracts rich in tannins and saponins, and associated emissions of nitrogen and methane." *Archives of Animal Nutrition* **56**: pp. 379-392.

Sliwinski, B. J., Soliva C. R., Machmüller A. et Kreuzer M. (2002b). "Efficacy of plant extracts rich in secondary constituents to modify rumen fermentation." *Animal Feed Science and Technology* **101**: pp. 101-114.

Utley, P. R. et Hellwig R. E. (1985). "Feeding value of peanut skins added to bermudagrass pellets and fed to growing beef calves." In : West et al., 1993. *Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows*. *Journal of Dairy Science* **76**, pp. 590-599.

Valdez, F. R., Bush L. J., Goetsch A. L. et Owens F. N. (1986). "Effect of steroidal saponins on ruminal fermentation and on production of lactating dairy cows." *Journal of Dairy Science* **69**(6): pp. 1568-1575.

Villarreal, M., Cochran R. C., Rojas-Bourrillon A., Murillo O., Munoz H. et Poore M. (2006). "Effect of supplementation with pelleted citrus pulp on digestibility and intake in beef cattle fed a tropical grass-based diet (*Cynodon nlemfuensis*)." *Animal Feed Science and Technology* **125**: pp. 163-173.

Wallace, R. J., Arthaud L. et Newbold C. J. (1994). "Influence of *Yucca schidigera* extract on ruminal ammonia concentrations and ruminal microorganisms." *Applied and Environmental Microbiology* **60**(6): pp. 1762-1767.

Wanapat, M., Pimpa O., Sripuek W., Puramongkol T., Petlum A., Boontao U., Wachirapakorn C. et Sommart K. (1999). "Cassava hay : an important on-farm feed for ruminants." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 81-84.

Wang, Y., Mc Allister T. A., Yanke L. J. et Cheeke P. R. (2000). "Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes." *Journal of Applied Microbiology* **88**: pp. 887-896.

Wattiaux, M. A. (2006). "Métabolisme protéique chez la vache laitière." *Institut Babcock* : http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de_html/ch05.fr.html.

Wattiaux, M. A. et Armentano L. E. (2006). "Métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière." *Institut Babcock* : http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de_html/ch03.fr.html.

Wattiaux, M. A. et Grummer R. R. (2006). "Métabolisme des lipides chez la vache laitière." *Institut Babcock* : http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de_html/ch04.fr.html.

Wattiaux, M. A. et Howard W. T. (2006). "Digestion chez la vache laitière." *Institut Babcock* : http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de_html/ch01.fr.html.

West, J. W., Hill G. M. et Utley P. R. (1993). "Peanut skins as a feed ingredient for lactating dairy cows." *Journal of Dairy Science* **76**: pp. 590-599.

Williams, R. B. (1999). "A compartmentalised model for the estimation of the cost of coccidiosis to the world's chicken production industry." *International Journal for Parasitology* **29**(8): pp. 1209-1229.

Wiryawan, K. G., Miller H. M. et Holmes J. H. G. (1997). "Mung beans (*Phaseolus aureus*) for finishing pigs." *Animal Feed Science and Technology* **66**: pp. 297-303.

Wiryawan, K. G., Tangendjaja B. et Suryahadi (1999). "Tannin degrading bacteria from indonesian ruminants." *Tannins in livestock and human nutrition Proceedings of an International Workshop*: pp. 133-136.

Yanez Ruiz, D. R., Martin Garcia A. I., Moumen A. et Molina Alcaide E. (2004). "Ruminal fermentation and degradation patterns, protozoa population and urinary purine derivatives excretion in goats and wethers fed diets based on olive leaves." *Journal of Animal Science* **82**: pp. 3006-3014.

Youn, H. J. et Noh J. W. (2001). "Screening of the anticoccidial effects of herb extracts against *Eimeria tenella*." *Veterinary Parasitology* **96**(4): pp. 257-263.

INDEX

(nom commun)

Ail.....	28, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 43, 44, 46, 51, 63
Allicine.....	35
Anémone de Corée.....	46
Anéthole.....	44
Anis vert.....	33
Armoine annuelle.....	45
Bois de Panama.....	60, 61, 62, 63, 64
Brachiaria.....	49
Cade.....	36
Calliandra.....	49, 52, 54
Cannelier.....	35
Cannelle.....	33, 34, 35, 46
Canola.....	27, 37, 39
Capsaïcine.....	25, 27, 39, 40, 41
Carvacrol.....	25, 26, 28, 33, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 46
Carvone.....	34
Cassava/Manioc.....	32, 98
Cassia.....	41, 46, 97
Châtaigner.....	48, 54
Chénopode.....	51
Chicorée amère.....	52, 53
Cinnamaldéhyde.....	27, 28, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43
Clou de girofle.....	33, 35, 46
Curcuma.....	27, 42, 43, 44, 45
Curcumine.....	44, 45
Echinacée.....	33
Epine-vinette.....	42
Eugénol.....	26, 33, 34, 35, 37, 39, 44, 46
Fenugrec.....	60, 61, 62
Gingembre.....	33, 36, 39
Haricot mungo/Soja vert.....	57
Lilas des Indes.....	45
Lotier sp.	28, 29, 55, 56
Luzerne.....	38, 39, 54, 55, 61
Melon amer.....	45
Menthe à feuille longue.....	33, 41, 51
Mimosa.....	54
Mulga.....	49
Oignon.....	27, 43, 44, 51
Olivier.....	31
Origan.....	28, 29, 33, 34, 36, 39, 41, 46, 66, 67
Piment.....	33, 34, 36, 37, 39, 40
Pipérine.....	44
Poivre noir.....	47
Prêle des champs.....	33
Pulpe de Caroube.....	50
Pulpe de citron.....	31
Quebracho.....	52, 53, 54, 55, 58, 59
Sainfoin.....	53

Sal.....	56, 57, 59
Sauge officinale.....	33, 41
Saule.....	34
Savonnier.....	62
Sophora.....	46
Sulla/Chèvre-feuille français.....	51, 52
Tagasaste.....	48
Tea tree.....	33, 34
Téguments de cacahuètes.....	32, 33
Thé.....	52
Thymol.....	26, 28, 33, 34, 35, 38, 41, 42, 44, 46
Thym.....	33, 34, 41, 46
Tournesol.....	27, 37, 38
Yucca.....	34, 61, 65, 63, 65

INDEX

(nom scientifique)

<i>Acacia</i> sp.	49, 51, 54
<i>Allium sativum</i>	33, 35, 37, 46, 93, 97
<i>Artemisia</i> sp.	45, 51, 93
<i>Berberis</i> sp.	42, 45
<i>Brachiaria humidicola</i>	50
<i>Calliandra calothyrsus</i>	49, 52, 54
<i>Camellia sinensis</i>	52
<i>Capsicum annuum</i>	36, 37
<i>Cassia auriculata</i>	41, 46
<i>Castanea sativa</i>	48, 54
<i>Chamaecytisus proliferus</i>	48
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	51, 94
<i>Cichorium intybus</i>	52, 53
<i>Cinnamomum cassia</i>	33, 34, 35, 46
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	35
<i>Curcuma longa</i>	41, 43, 45, 46
<i>Echinacea</i> sp.	33
<i>Equisetum arvense</i>	33
<i>Eugenia caryophyllata</i>	33, 35, 46
<i>Hedysarum coronarium</i>	52, 53, 54
<i>Humulus lupulus</i>	42
<i>Juniperus oxycedrus</i>	36
<i>Lotus corniculatus</i>	28, 52, 54, 55, 56
<i>Lotus pedunculatus</i>	49, 52, 54
<i>Manihot esculenta</i>	32
<i>Medicago sativa</i>	55, 61
<i>Melaleuca alternifolia</i>	34
<i>Melia azedarach</i>	45, 95
<i>Mentha</i> sp.	33, 41
<i>Momordica charantia</i>	45
<i>Morinda lucida</i>	48, 54
<i>Olea europaea</i>	31
<i>Onobrychis vulgare</i>	53
<i>Origanum vulgare</i>	33, 34, 41, 46, 67
<i>Phaseolus aureus</i>	57, 58
<i>Pimpinella anisum</i>	33, 34
<i>Piper</i> sp.	46
<i>Pulsatilla koreana</i>	46
<i>Quillaja saponaria</i>	60, 61, 62, 64
<i>Salix</i> sp.	32
<i>Salvia officinalis</i>	33
<i>Sapindus saponaria</i>	62
<i>Schinopsis</i> sp.	52, 53, 54, 55, 58, 59
<i>Sesbania sesban</i>	62
<i>Shorea robusta</i>	56, 57, 59
<i>Sophora flavescens</i>	46
<i>Syzygium aromaticum</i>	33, 46
<i>Thymus vulgaris</i>	33, 34, 46, 98
<i>Trigonella Foeniculum graecum</i>	60, 61

<i>Yucca schidigera</i>	61, 62, 63
<i>Zingiber officinale</i>	36

ANNEXE 1

Alimentation animale : utilisation des additifs
Règlement (CE) n° 1831/2003 du 22 septembre 2003
(In <http://europa.eu/scadplus/leg/fr/lvb/l12037d.htm>)

Afin de simplifier la législation relative aux additifs destinés aux aliments pour animaux, ce règlement uniformise et rationalise les règles relatives à l'évaluation et à l'autorisation de ces additifs. Par ailleurs, afin de garantir un degré élevé de protection de la santé humaine et animale, le règlement prévoit des mesures concernant l'étiquetage des additifs destinés aux aliments des animaux et des règles plus strictes concernant certaines substances.

ACTE

Règlement (CE) n° [1831/2003](#) du Parlement européen et du Conseil, du 22 septembre 2003, relatif aux additifs destinés à l'alimentation des animaux.

SYNTHÈSE

Le présent règlement vise à établir une procédure uniforme pour l'autorisation de mise sur le marché et l'utilisation des additifs pour l'alimentation des animaux. Il vise également à fixer des règles pour l'étiquetage et la surveillance de ces substances.

Champ d'application

Ces règles couvrent tous les additifs * destinés à l'alimentation des animaux, à l'exception des auxiliaires technologiques * et des médicaments vétérinaires tels que définis par la directive [2001/82/CE](#) autres que les coccidiostatiques et les histomonostatiques utilisés comme additifs pour l'alimentation animale. Les antibiotiques autres que les coccidiostatiques et les histomonostatiques sont donc interdits.

Le présent règlement complète ainsi la législation communautaire relative à l'interdiction des antibiotiques en prévoyant l'élimination progressive, à partir de janvier 2006, des quatre additifs antibiotiques encore présents sur le marché de l'Union européenne : monensine sodium, salinomycine-sodium, avilamycine et flavophospholipol.

Procédure d'autorisation

Pour être valablement mis sur le marché et utilisés, les additifs pour aliments des animaux doivent être autorisés par l' [Autorité européenne de sécurité des aliments](#) (AESA). La demande est effectuée auprès de la Commission, laquelle en informe les États membres et transmet cette demande à l'AESA. La demande doit contenir un certain nombre d'informations, telles que, notamment, le nom et l'adresse du demandeur, une description du mode d'obtention et de fabrication, ainsi que des usages prévus de l'additif, les conditions proposées pour la mise sur le marché de l'additif, etc. Parallèlement à cette demande, le demandeur doit envoyer des échantillons au laboratoire communautaire de référence pour analyse. L'AESA peut demander un complément d'informations.

Pour que l'additif soit autorisé, le demandeur doit prouver :

- que l'additif a une influence favorable sur les caractéristiques des aliments auxquels il est incorporé ou sur la production animale ;
- que l'additif n'a pas d'effet néfaste sur la santé animale, la santé humaine ou l'environnement ;
- que la présentation de l'additif ou l'altération des caractéristiques des produits auxquels il est ajouté ne porte pas préjudice à l'utilisateur et ne l'induit pas en erreur.

Dans les six mois qui suivent la réception de la demande, l'AESA rend son avis en se basant sur les informations fournies par le demandeur et sur le rapport d'évaluation transmis par le laboratoire communautaire de référence. Si cet avis est favorable, il doit comporter, notamment, des informations sur les conditions et restrictions spécifiques concernant la manipulation, la surveillance consécutive à la mise sur le marché et l'utilisation de l'additif, y compris les espèces ou les catégories animales auxquelles l'additif est destiné, des informations sur les exigences supplémentaires spécifiques concernant l'étiquetage des additifs, ainsi que, le cas échéant, une proposition pour la fixation de limites maximales de résidus (LMR) dans les denrées alimentaires d'origine animale concernées.

Sur la base de l'avis de l'AESA, la Commission décide ou non d'autoriser l'additif. Cette autorisation est valable 10 ans et peut être renouvelée.

Les produits autorisés en vertu de la directive [70/524/CEE](#), ainsi que l'urée et ses dérivés et tout acide aminé, sel d'acide aminé ou substance analogue, figurant aux points 2.1, 3 et 4 de l'annexe de la directive [82/471/CEE](#), doivent faire l'objet d'une demande d'autorisation conforme au présent règlement soit un an avant la date d'expiration de l'autorisation donnée pour une durée limitée en vertu de la directive [70/524/CEE](#), soit sept ans après l'entrée en vigueur du présent règlement dans le cas d'une autorisation donnée sans limite de temps ou donnée en vertu de la directive [82/471/CEE](#).

Le présent règlement prévoit des dispositions relatives à l'utilisation aux fins de la recherche des additifs non autorisés, ainsi que des dispositions relatives à l'utilisation de certains additifs (notamment ceux produits à partir d'organismes génétiquement modifiés).

Les personnes qui mettent sur le marché ou qui utilisent un additif autorisé sont responsables du respect des conditions ou restrictions éventuellement imposées par la Commission.

Sur la base d'un avis de l'AESA, la Commission peut décider de modifier, de suspendre ou de révoquer une autorisation.

Informations relatives aux additifs

Les additifs sont inscrits dans un registre accessible au public. Ils sont classés dans une ou plusieurs des cinq catégories suivantes : additifs technologiques ; additifs sensoriels ; additifs nutritionnels ; additifs zootechniques ; coccidiostatiques et histomonostatiques. Ces catégories sont elles-mêmes divisées en groupes fonctionnels organisés selon les fonctions principales des additifs.

Les additifs doivent être étiquetés de manière claire et indélébile en faisant apparaître certaines informations, parmi lesquelles le nom spécifique des additifs conformément aux autorisations et leur numéro d'identification, le nom et l'adresse du responsable de ces indications, le poids net ou le volume net des additifs, ainsi que le mode d'emploi et toute

recommandation de sécurité concernant l'utilisation et, le cas échéant, les exigences spécifiques mentionnées dans l'autorisation.

Dans certains cas, la Commission peut estimer nécessaire de garder confidentielles certaines informations lorsqu'elles risquent de nuire sensiblement à la position concurrentielle du professionnel concerné.

Contexte

La directive [70/524/CEE](#) constituait la législation de base relative aux additifs. Cette directive et ses annexes ont été modifiées de nombreuses fois sans que la législation soit consolidée. Le [Livre blanc sur la sécurité alimentaire](#) avait annoncé la clarification et la simplification de la législation effectuée par le présent règlement.

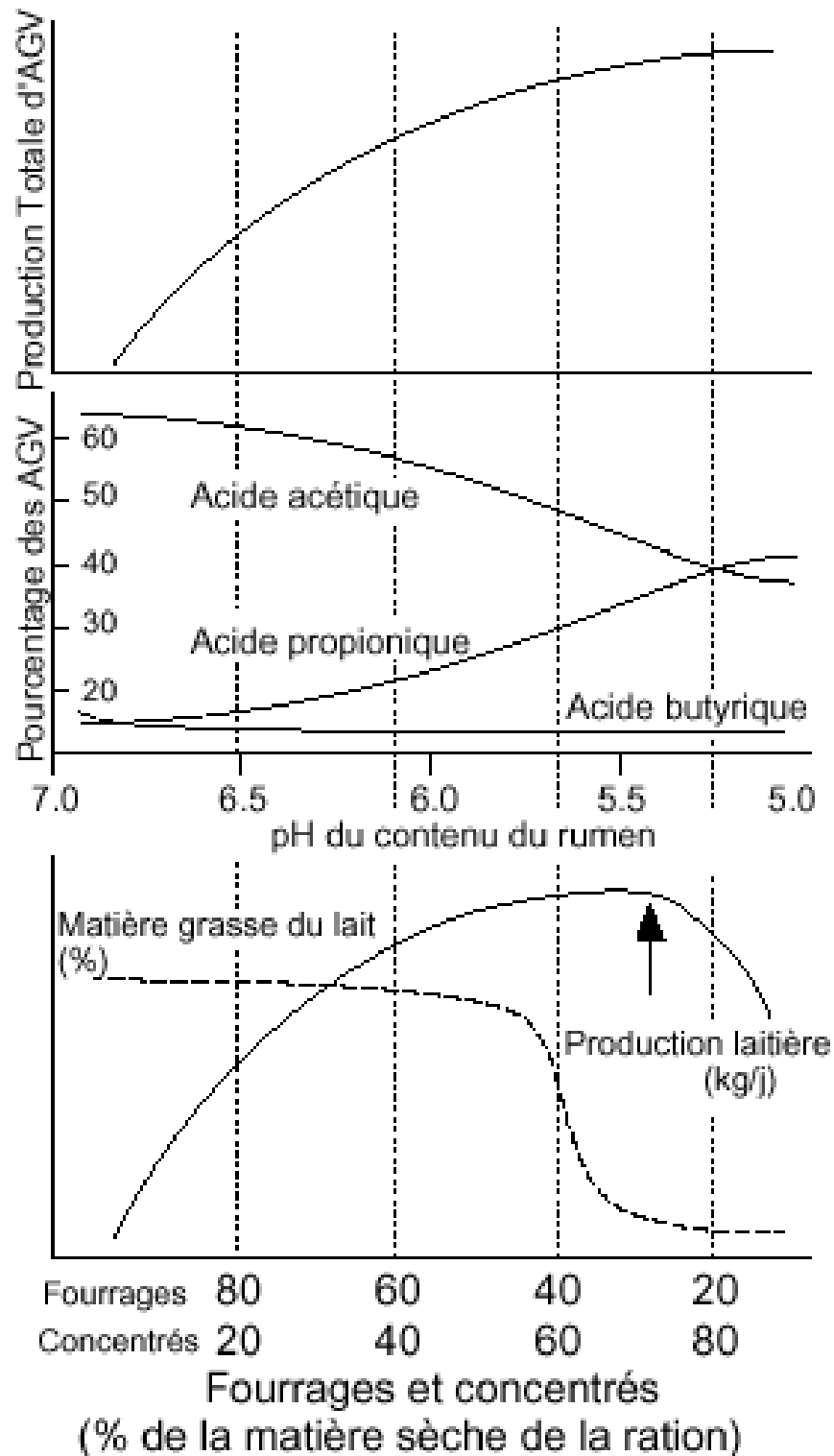
Les directives [70/524/CEE](#) et 87/153/CEE sont abrogées, mais certaines de leurs dispositions restent temporairement en vigueur.

Termes-clés de l'acte

- Additifs pour l'alimentation des animaux : substances, micro-organismes ou préparations, autres que les matières premières pour aliments des animaux et les prémélanges, délibérément ajoutés aux aliments pour animaux ou à l'eau pour remplir notamment une ou plusieurs des fonctions suivantes : répondre aux besoins nutritionnels des animaux, avoir un effet positif sur les caractéristiques des aliments pour animaux ou des produits d'origine animale, sur la couleur des poissons ou oiseaux d'ornement, sur les conséquences environnementales de la production animale, sur la production, le rendement ou le bien-être des animaux, ou avoir un effet coccidiostatique ou histomonostatique.
- Auxiliaires technologiques : substance qui n'est pas consommée comme un aliment pour animaux en tant que tel, utilisée délibérément dans la transformation d'aliments pour animaux ou de matières premières pour aliments des animaux pour répondre à un certain objectif technologique pendant le traitement ou la transformation et pouvant avoir pour résultat la présence non intentionnelle mais techniquement inévitable de résidus de cette substance ou de ses dérivés dans le produit final.

ANNEXE 2

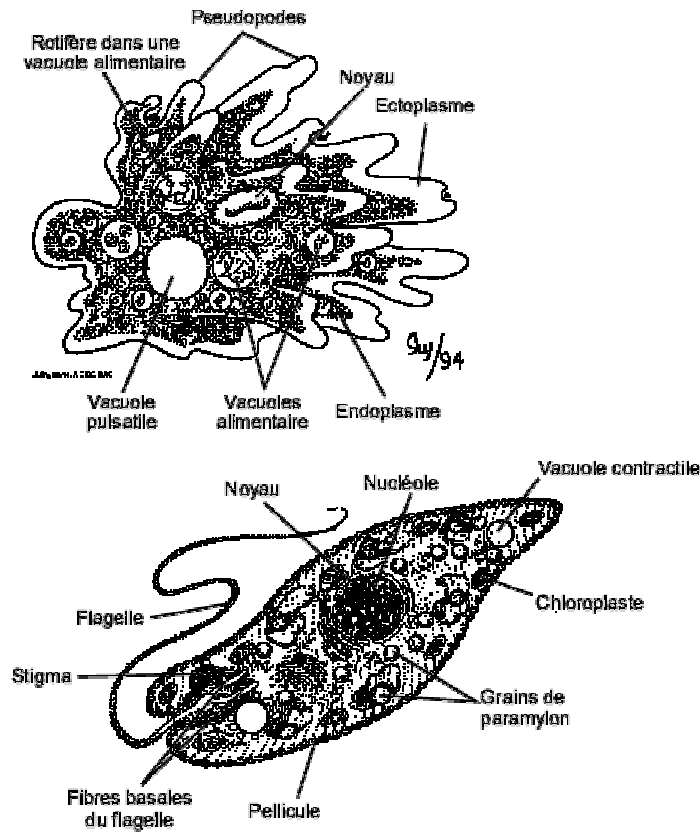
Effet de la composition de la ration sur la production d'AGV dans le rumen et la production de lait
(In Wattiaux et Armentano, 2006)



ANNEXE 3

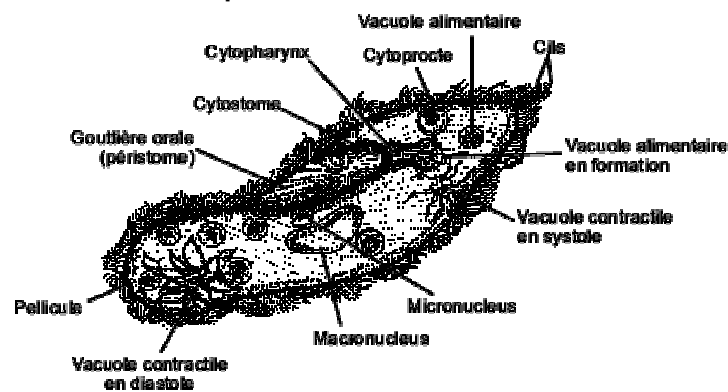
Les protozoaires selon leur classification

L'amibe et l'euglène (en bas) sont tous deux des Sarcomastigophores.



BIODIDAC ©Jon Houseman

La paramécie est un cilié



BIODIDAC ©Jon Houseman

ANNEXE 4

Plantes et préparations de plantes utilisées comme anti-helminthes
(D'après Rahmann et Seip, 2006)

Nom botanique	Préparation	Dosage	Risques, effets secondaires et efficacité	Vérification scientifique et commentaires
<i>Allium sativum</i>	Gousse écrasée	1 Tsp/animal/jour	Pas d'effets secondaires connus. Efficace contre GIN et vers pulmonaires	Application traditionnelle lors d'un essai <i>in vivo</i> n'a pas montré d'effets de l'ail contredisant l'efficacité attendue
	Poudre sèche	Mixer avec le fourrage - Pas de dosage		
	Jus	Voie orale - Pas de dosage		
	Capsule	2-3/animal/jour		
<i>Annonum senegalensis</i>	Extrait d'écorce séchée	Non spécifié	Pas de toxicité notée	Traditionnellement utilisée par les fermiers nigériens. Des test <i>in vitro</i> on montré un potentiel prometteur
<i>Artemisia abrotanum</i>	Herbes moulues	1 Tbs/mouton, 2 fois par jour pendant plusieurs jours	Pas de toxicité notée	Pas de tests scientifique mais utilisée traditionnellement et semble fiable
<i>Artemisia absinthium</i>	Fleurs séchées et écrasées	Tremper dans l'eau	Faible à modérément toxique	Test <i>in vitro</i> montrant une réduction significative sur <i>Trichstrongylus</i>
<i>Artemisia cina</i>	Graines et hampes florales	Non spécifié	Toxique à forte dose, effets secondaires à petite dose et pas d'effets sur ténia	Utilisée pour la fabrication du Santonin (médecine humaine)
<i>Artemisia dracunculus</i>	Feuilles et huile	Consommée naturellement dans les pâtures	Ne pas donner chez les femelles en gestation	Propriétés vermifuges connues dans la médecine traditionnelle
<i>Artemisia herba-alba</i>	Racines moulues	10-30g /animal	Pas d'information disponible	Efficace contre <i>Haemonculus contortus</i> chez des chèvres
<i>Artemisia vulgaris</i>	Fleurs séchées et écrasées	Non spécifié	Légèrement toxique, ne pas utiliser chez des femelles en gestation	Pas d'informations fiable
	Infusion	4 tsp/l, infuser 1-2 minutes		
	Plante entière	Non spécifié		
<i>Asarum canadense</i>	Racines séchées	Non spécifié	Feuilles sont toxiques	Utilisée traditionnellement en Afrique
<i>Azadiracta indica</i>	Graine et son huile	Dose dépend du type d'administration	Pas d'indication sur l'efficacité lors des tests <i>in vivo</i>	Résultats vérifiés scientifiquement mais sont très variables
	Feuilles séchées			
	Fruit			
	Ecorce			
	Tourteau			

Nom botanique	Préparation	Dosage	Risques, effets secondaires et efficacité	Vérification scientifique et commentaires
Carica papaya	Latex	Administration selon la teneur en composé actif	Diminue la fertilité. Peut causer des avortements.	Essais <i>in vitro</i> ont confirmés les propriétés antihelminthes. Utilisée traditionnellement dans les Philippines.
	Graines			
	Feuilles			
	Fruit			
	Racines			
Mélange aqueux de feuilles et de fruits	350 ml			
	Extrait de plante	Utilisé lors de test <i>in vitro</i>		
	Graines moulues mélangées à de l'eau	3g/kg/BW pendant 6 jours		
Chenopodium ambrosioides	Graines et huile essentielle de graines	Non spécifié	Huile essentielle est hautement toxique à forte dose. Utilisée comme vermifuge. Moins efficace contre les ténias	Base de données sur internet, Université de Cornell
	Huile, plante entière ou feuilles moulues mélangées à de l'eau	0,2 ml/kg BW chez les chèvres et 0,1 ml/kg BW chez les moutons		
Chrysanthemum cinerariifolium	Sous forme de poudre	Non spécifié	Faible toxicité chez les mammifères	Deux essais <i>in vivo</i> ont montré peu ou pas d'efficacité
Crucifères	Graines de Brassica negra et Sinapsis alba	57 g/agneau	Peut être toxique à forte dose	Pas d'essais <i>in vivo</i> , usage traditionnel
	Graines de Brassica oleracea et Descurainia sophia	Non spécifié		
	Raphanus sativus	Non spécifié	Pas d'information disponible	
	Armaratia rusticana, Brassica rapa et Nastrium officinale	Non spécifié		
Cucurbita pepo	Graines	60 g/mouton en trois doses avec de l'huile	Considéré comme sain. Graines germées produisent des toxines	Sources fiables de recherches scientifiques

Nom botanique	Préparation	Dosage	Risques, effets secondaires et efficacité	Vérification scientifique et commentaires
<i>Daucus carota</i>	Plante entière Racines Graines	Non spécifié	Les racines peuvent induire des contractions utérines et d'autres effets secondaires sont suspectés	Pas de vérifications scientifiques
<i>Dryopteris</i> ssp.	Rhizomes Jeunes pousses Extrait à l'éther	Doit être suivi d'un purgatif pour expulser les vers paralysés	Dosage est critique car toxique à forte dose	Efficacité populaire contre les ténias
<i>Eucalyptus grandis</i>	Feuilles fraîches Extraits de feuilles	Dépend de plusieurs facteurs	Peut être toxique	Des tests <i>in vivo</i> ont montré chez des chèvres une efficacité de 90% sur <i>H. contortus</i> mais pas sur <i>Ostertagia</i>
<i>Ferula conocaula</i> , <i>Ferula gigantea</i> , <i>Ferula narthex</i>	Résine des racines, pâture	Pâturer durant 20 jours sur <i>Ferula gigantea</i>	Pas d'information disponible	Pas de tests scientifique mais utilisée traditionnellement
<i>Fumaria parviflora</i>	Extrait aqueux ou à l'éthanol de la plante entière	183 mg/kg BW	Pas de toxicité notée lors de tests <i>in vivo</i>	Aussi efficace que les produits anthelminthiques de synthèse. Avenir prometteur
<i>Juglans regia</i>	Feuilles Huiles des graines Ecorce Racines	Non spécifié	Pas d'information disponible	Utilisé depuis longtemps en médecine traditionnelle
<i>Khaya senegalensis</i>	Extrait à l'éthanol sur poudre d'écorce	500 mg/kg BW	Pas d'information disponible	Utilisé traditionnellement comme vermifuge. Tests <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> confirment les propriétés anthelminthiques
<i>Mallotus philippensis</i>	Fruit en poudre Extraits aqueux ou au méthanol	375 mg/kg BW	Peut provoquer des diarrhées et des agitations	Essais <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> confirment les propriétés anthelminthiques
<i>Melia azedarach</i>	Feuilles Ecorce des racines Pulpe de fruit	Non spécifié	Légère toxicité des fruits, efficace contre <i>H. contortus</i>	Essais sur des chèvres ont montré l'efficacité et n'ont pas montré d'effets secondaires
<i>Melinis minutiflora</i>	Racines moulues et mélangées avec de l'eau Extrait brut à l'éthanol pour essai <i>in vitro</i>	Non spécifié Non spécifié	Peut engendrer des effets antinutritionnels	Utilisé traditionnellement en République dominicaine comme vermifuge. Effets vérifiés <i>in vitro</i> sur <i>H. contortus</i>

Nom botanique	Préparation	Dosage	Risques, effets secondaires et efficacité	Vérification scientifique et commentaires
<i>Newbouldia laevis</i>	Racines Extraits des feuilles	Non spécifié	Pas d'information disponible	Traditionnellement utilisée par les fermiers d'Afrique de l'Ouest. Des test in vitro on montré une efficacité
<i>Nigella sativa</i>	Huile essentielle Graine mûre Graines moulues	2,5g/kg BW	Pas d'information disponible	Traditionnellement utilisée comme antihelminthe. Effet confirmé <i>in vivo</i> sur ténias
<i>Ocimum sanctum</i> , <i>Ocimum gratissimum</i>	Feuilles	Non spécifié	Hépathotoxique, hépathocarcinogène forte dose	Efficacité confirmée <i>in vitro</i> sur <i>H. contortus</i>
<i>Spigelia marilandica</i>	Plante entière Racine	Non spécifié	Toxique à forte dose	Efficace contre ténias et nématodes
<i>Tanacetum vulgare</i>	Graines Feuilles et hampes florales Infusion de la plante entière	Peut être administré comme fourrage frais	Toxique à forte dose	Utilisée traditionnellement. Pas d'essais <i>in vivo</i> mais efficacité confirmée par tests <i>in vitro</i>
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	Feuilles fraîchement coupées	4g/kg BW pendant 3 jours ou 500g feuilles par mouton	Pas d'information disponible	Utilisée traditionnellement en Afrique. Efficacité confirmée par tests <i>in vitro</i> . Les essais <i>in vivo</i> ont montré qu'une supplémentation régulière était bénéfique

ANNEXE 5

Informations sur les plantes utilisées en médecine vétérinaire
traditionnelle dans la région du Kashmir (D'après Beigh *et al.*, 2003)

Matériel végétal	Partie de la plante utilisée	Maladie ou infection traitées	Méthode de traitement
Alliaceae			
<i>Allium astropurpureum</i> Waldst. & Kit.	Bulbe	Lutte contre l'anorexie chez les bovins	Mélange de tissus végétaux avec des levures à donner en complément alimentaire au bétail
<i>Asparagus racemosus</i> Willd.	Racine	Troubles des reins et du foie chez les bovins	En complément alimentaire
Amaranthaceae			
<i>Amaranthus caudatus</i> Linn.	Graine	Lutte contre les effets du froid chez les boeufs	Pâte avec des graines pilées et de l'eau chaude puis donner en complément alimentaire au bétail
Asclepiadaceae			
<i>Cynanchum arnottianum</i> Wight. Contrib.	Feuille	Lutte contre les larves résidant dans les blessures des bovins, chevaux et moutons	Mettre en poudre et appliquer sur les blessures ou mettre en poudre et mélanger avec de l'eau puis vaporiser la solution sur les blessures
Brassicaceae			
<i>Brassica campestris</i> Linn. Var. <i>toria</i>	Graine	Lutte contre une faible production de lait, débilite chez la vache	Séchage, extraction de l'huile puis utiliser sous forme de tourteaux pour l'alimentation des vaches
<i>Pleuroptepyrum alpinum</i> Linn.	Plante entière	Lutte contre la dysentrie et les problèmes gastriques chez les bovins	Broyer et donner le jus en complément alimentaire au bétail
Caesalpiniaceae			
<i>Cassia hirsuta</i> Linn.	Graine	Lutte contre les épidémies chez les volailles	En complément alimentaire
Caprifoliaceae			
<i>Viburnum foetans</i> Decne	Feuille	Lutte contre la paresse chez les bovins	En complément alimentaire
Hippocastanaceae			
<i>Aesculus indica</i> Colbr. Ex Cambess	Fruit	Lutte contre les problèmes de peau chez les bovins (fissures, entailles)	Mettre en poudre les noyaux, en faire une pâte avec de l'eau et appliquer sur le bétail
Iridaceae			
<i>Crocus sativus</i> Linn.	Partie florale	Lutte contre la fièvre chez les bovins et les volailles	Mélanger avec du miel et donner en complément alimentaire aux animaux
<i>Iris kashmiriana</i> Baker	Bulbe	Lutte contre les troubles hépatiques et l'hydropisie chez les bovins	En complément alimentaire
Lamiaceae			
<i>Nepeta cateria</i> Linn.	Feuille	Lutte contre la dysentrie chez les chèvres et les moutons	Préparer une décoction et donner en complément alimentaire aux animaux

Matériel végétal	Partie de la plante utilisée	Maladie ou infection traitées	Méthode de traitement
<i>Thymus serpyllum</i> Linn.	Graine	Lutte contre les effets du froid chez les boeufs	Broyer avec du sucre brut et donner le mélange en complément alimentaire aux animaux
Menyanthaceae			
<i>Nymphoides peltatum</i> O. Kuntze (Gmel.)	Plante entière	Lutte contre une faible production de lait chez la vache	En complément alimentaire
Podophyllaceae			
<i>Podophyllum hexandrum</i> Royle	Racine et rhizome	Lutte contre les verrues et la croissance tumorale	Ecraser et appliquer l'extrait sur les verrues et les tumeurs des animaux
Polygonaceae			
<i>Polygonum alpinum</i> All. (Meissn)	Partie aérienne	Lutte contre la dysenterie chez les bovins	En complément alimentaire
Punicaceae			
<i>Punica granatum</i> Linn.	Ecorce du fruit (exocarpe)	Lutte contre la dysenterie chez les volailles et les moutons	Séchage, broyage de l'exocarpe, mélange avec du sucre et du sel, faire une pâte avec la mixture et de l'eau puis donner en complément alimentaire aux animaux
Ranunculaceae			
<i>Ranunculus hirtellus</i> Royle	Partie aérienne	Lutte contre les effets de la chaleur chez les bovins	En complément alimentaire
Salicaceae			
<i>Populus nigra</i> Linn.	Poils des graines	Coupures et entailles des agneaux	Enlever les poils des graines et les appliquer directement sur les coupures et les entailles
Sapindaceae			
<i>Desmodium tiliaefolium</i> G. Don.	Racine	Lutte contre la perte d'appétit chez les vaches	En complément alimentaire
Scrophulariaceae			
<i>Picrorhiza kurrooa</i> Royle ex Benth.	Racine	Lutte contre la débilité chez les chevaux	Ecraser pour obtenir un extrait et donner en complément alimentaire aux chevaux
Solanaceae			
<i>Hyoscyamus niger</i> Linn.	Feuille	Lutte contre les effets toxiques chez les bovins	En complément alimentaire
<i>Nicotiana tabacum</i> Linn.	Feuille	Lutte contre les myiasises et les entailles chez les bovins	Ecraser, mélanger avec du citron et de l'eau et donner en complément alimentaire au bétail
<i>Solanum melongena</i> Linn.	Pousse aérienne et fruit	Lutte contre l'anorexie chez les bovins	En complément alimentaire
Verbenaceae			
<i>Verbena officinalis</i> Linn.	Plante entière	Lutte contre la paralysie chez les bovins	En complément alimentaire