



**HAL**  
open science

## La microflore digestive : une composante oubliée de la nutrition des volailles

Irène Gabriel, Serge Mallet, Michel Lessire

### ► To cite this version:

Irène Gabriel, Serge Mallet, Michel Lessire. La microflore digestive : une composante oubliée de la nutrition des volailles. Cinquième Journée de la Recherche Avicole, ITAVI, Mar 2003, Tours, France. pp.117-124. hal-03366816

**HAL Id: hal-03366816**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03366816>**

Submitted on 6 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LA MICROFLORE DIGESTIVE : UNE COMPOSANTE OUBLIEE DE LA NUTRITION DES VOLAILLES

Gabriel Irène, Mallet Serge, Lessire Michel

<sup>1</sup> INRA, Station de Recherches Avicoles, 37 380 Nouzilly, France

## Résumé

Chez les oiseaux la flore intestinale du jabot à l'intestin est composée principalement de lactobacilles, alors que les caeca hébergent surtout des anaérobies strictes. La microflore varie en fonction de l'âge de l'animal, de son environnement, du stress et de l'alimentation. Elle entraîne des changements de la structure et du fonctionnement du tube digestif. Elle entraîne des modifications de la digestion des aliments, ainsi qu'une augmentation des besoins énergétiques. La flore indigène a des conséquences sur la santé de l'animal du fait de la production de différents métabolites. Ainsi, elle peut avoir un effet protecteur vis-à-vis des micro-organismes néfastes et est responsable en partie du développement du système immunitaire intestinal. Tous ces effets de la microflore ont des conséquences sur la croissance de l'animal, ainsi que sur la composition et la qualité organoleptique de la viande et de l'œuf. Cela montre qu'une connaissance plus approfondie de la microflore et de ses conséquences sont nécessaires pour essayer de l'orienter dans un but bénéfique à l'animal et au producteur.

## Introduction

Jusqu'à présent la microflore intestinale des oiseaux et ses variations étaient contrôlées par les antibiotiques facteurs de croissance. Avec leur suppression annoncée en Europe pour 2006, des alternatives devront être développées pour maîtriser la microflore car toute modification même légère de celle-ci peut avoir des conséquences économiques importantes. Il est donc nécessaire de mieux connaître la microflore ainsi que ses effets afin d'éviter des conséquences néfastes voir de l'orienter dans un but bénéfique.

La microflore de l'oiseau et ses effets ont été étudiés principalement chez le poulet, en comparant des animaux conventionnels à des animaux axéniques. Par ailleurs d'autres études, effectuées en comparant des animaux avec et sans prébiotiques, probiotiques ou antibiotiques, montrent l'effet d'une modification de la flore. Les travaux effectués chez les mammifères sont plus nombreux, mais les résultats ne sont pas forcément transposables aux oiseaux du fait de différences anatomiques et physiologiques (colon très développé; élargissement du cæcum des rongeurs axéniques).

Nous présentons dans le texte qui suit l'état actuel des connaissances sur la microflore digestive des volailles. Après une description de la microflore du tube digestif, nous nous intéresserons à ses effets sur la physiologie digestive, son influence sur la valeur nutritionnelle de l'aliment, son rôle sur la santé et ses conséquences sur l'animal.

## 1. Caractérisation de la flore digestive du poulet

Tous les micro-organismes ne peuvent pas être mis en évidence par les méthodes de culture conventionnelle. De plus, les problèmes techniques liés à l'isolement et à la culture de la flore anaérobie font que la plupart des études ne prennent en compte que la flore aérobie ou anaérobie facultative. Pour résoudre ces problèmes, les techniques de biologie moléculaire se sont développées. Elles permettent de mettre en évidence tous les micro-organismes présents mêmes s'ils ne sont pas viables dans les conditions de laboratoire, grâce à leur ADN. Mais dans le cas des oiseaux, ces techniques n'en sont qu'à leur début (Knarreborg et al., 2002). La plupart des études décrivant la flore intestinale sont anciennes et utilisent les méthodes de culture conventionnelle. A l'heure actuelle, la flore digestive reste donc incomplètement décrite.

### 1.1. Description et localisation dans le tractus digestif

La flore digestive peut se trouver dans la lumière intestinale ou adhérer à la muqueuse digestive. La flore luminale dépend des nutriments disponibles, de la vitesse de transit et de la présence ou non de substances antimicrobiennes. La flore des muqueuses dépend de l'expression par l'hôte de sites d'adhésion spécifiques sur les membranes des entérocytes, de la vitesse de production de mucus, de la production d'anticorps (Ig) sécrétoires, et de l'extrusion de matériel cellulaire de la membrane.

La flore digestive comprend des bactéries et des champignons. Chez le poulet, 29 genres bactériens ont été identifiés (Fuller, 1984). Chaque genre serait

représenté par 3 à 4 espèces, et chaque espèce par 3 à 4 types métaboliques différents, ce qui ferait plus de 200 types différents, sachant que seulement 25% des souches seraient identifiées. Le tube digestif contient donc une large population bactérienne de différents types métaboliques et morphologiques. Ainsi, le nombre total de cellules bactériennes est plus important que le nombre de cellules eucaryotes constituant le corps de l'hôte.

**TABLEAU :** Nombre de bactéries viables (log<sub>10</sub> / g de contenu) des groupes majoritaires dans le tube digestif du poulet (d'après Smith, 1965)

log <sub>10</sub>	Jabot	Gésier	Duodénum	Iléon	Caeca
Lactobacilles	8.7	7.3	8.0	8.6	8.7
Enterocoques	4.0	3.7	4.0	4.2	6.7
Coliformes	1.7	-	2.0	2.7	5.6
Levures	2.7	-	1.7	-	2.0
Clostridies	-	-	(-)	(-)	9.0
Anaérobies obligatoirement non sporulant	-	-	-	-	10.0
Streptocoque anaérobies	-	-	-	-	10.0

- : log < 1 ; (-) : pas toujours présent

Chez le poulet, les deux sites principaux d'activité bactérienne sont le jabot et les caeca. Globalement, la flore du jabot à l'iléon terminal est composée principalement d'anaérobies facultatives alors que les caeca contiennent en plus des anaérobies strictes, ces derniers étant dominants (Fuller, 1984). Dans le jabot, on trouve principalement des lactobacilles qui peuvent être attachés à l'épithélium en formant presque une couche complète. On trouve aussi des entérocoques, des coliformes, et des levures. Dans le gésier et le proventricule, le faible pH fait chuter la population bactérienne. Dans le duodénum, le nombre important d'enzymes, la forte pression en oxygène et la présence de fortes concentrations de composés antimicrobiens tels que les sels biliaires limitent la croissance bactérienne. On trouve principalement des lactobacilles ainsi que des entérocoques et des coliformes. Plus loin dans l'intestin, l'environnement devient plus favorable à la croissance bactérienne à cause de la plus faible pression d'oxygène, la faible concentration en enzymes et sels biliaires (réabsorption et dégradation en partie par la microflore). Si les aliments sont bien digestibles, par manque de substrat, la flore est limitée. Dans l'iléon, on trouve principalement des lactobacilles attachés aux entérocytes, des entérocoques et des coliformes. Dans les caeca, on trouve une large population de types morphologiques variés, enfouie dans la couche de mucus et attachée à l'épithélium. En effet, le contenu de cet organe étant rarement renouvelé (1 à 2 fois/jour), cela le rend favorable au développement des bactéries. On trouve en majorité des anaérobies strictes comme les *Eubacterium*, des bifidobactéries ou des clostridies. On trouve aussi des anaérobies

facultatifs comme des lactobacilles, des entérocoques, et des coliformes.

## 1.2. Variation en fonction de l'âge, de l'environnement, du stress, de l'alimentation et de l'individu

A l'éclosion, le tube digestif est stérile. La flore qui va s'installer dépend de l'environnement de l'œuf au moment de l'éclosion qui définit l'ordre dans lequel les animaux sont exposés aux micro-organismes et de leur aptitude à coloniser l'intestin. Les coliformes, les streptocoques et les clostridies colonisent rapidement l'intestin, dès le premier jour, alors que les lactobacilles ne sont pas trouvés avant trois jours et les bactéroïdes pas avant cinq jours. La colonisation par les lactobacilles est retardée dans les milieux propres. Au contraire, on peut trouver des lactobacilles dans le tube digestif de poussins mis en contact à l'éclosion avec des lactobacilles (Fuller, 1984). Par ailleurs, des antagonismes entre bactéries peuvent limiter le développement d'une espèce par rapport à une autre. Le poulet développe une flore bactérienne stable en deux semaines au niveau de son intestin, mais il lui faut quatre à six semaines pour que celle de ses caeca se stabilise.

Selon le milieu d'élevage, le développement de la microflore est différent. Ainsi, on note des populations plus élevées chez des animaux élevés au sol sur litière propre ou litière contaminée par une bande précédente par rapport à des animaux élevés en cage individuelle (Mallet et al., 2001).

Au cours de leur élevage, les poulets sont soumis à de nombreux stress tels que la densité d'élevage, les conditions de température ou des parasites intestinaux comme les coccidies qui modifient la flore intestinale (Kimura et al., 1976 ; Suzuki et al., 1989).

La flore est modifiée par l'alimentation. Ainsi, le type de céréales en particulier la présence de polysaccharides non amylacés hydrosolubles (Mathlouti et al., 2002) ou leur mode de présentation (Gabriel et al., 2002) entraînent des changements de flore. De même, les matières grasses (Knarreborg et al., 2002) ou le type d'amidon peuvent avoir un effet (Weurding, 2002).

Il est à noter aussi qu'il existe une forte variabilité entre individus probablement due à l'effet de ces différents facteurs.

## 2. Impact sur la physiologie digestive

La microflore et la muqueuse digestive ont des relations à la fois symbiotiques et compétitives qui entraînent des modifications de la structure et du fonctionnement du tube digestif.

## **2.1. Modifications anatomiques et physiologiques**

Par rapport à des poulets axéniques, les animaux conventionnels, ont un intestin plus lourd et plus long, ainsi qu'une paroi plus épaisse (Coates, 1980 ; Furuse et Okumura, 1994). Cet épaississement est dû principalement aux tissus connectifs en particulier la lamina propria, et au tissu lymphoïde. Les villosités sont plus hautes et de formes irrégulières, et les cryptes plus profondes. Cependant, les microvillosités sont plus petites ce qui conduit à une surface intestinale plus faible. Le renouvellement de la muqueuse intestinale est plus rapide conduisant à des entérocytes immatures, avec moins d'enzymes et de transporteurs (Palmer et Rolls, 1983).

Les différents métabolites produits par les bactéries tels que les acides gras volatils, l'ammoniaque et les amines, seraient responsables du développement plus important des tissus intestinaux (Muramatsu, 1990 ; Furuse et al., 1991).

## **2.2. Production et hydrolyse du mucus**

Alors que certains micro-organismes s'attachent à l'épithélium du tube digestif, certains colonisent les mucines de l'iléon, des caeca et du colon du poulet. Le gel formé par le mucus pourrait servir à stabiliser la communauté microbienne. Celle-ci modifie le fonctionnement des cellules en gobelet et la composition chimique du mucus intestinal directement en libérant localement des facteurs bio actifs ou indirectement par l'activation des cellules immunitaires de l'hôte (Deplancke et Gaskins, 2001). Par ailleurs les mucines pourraient être utilisées comme source de carbone et d'énergie par certaines bactéries grâce à leurs activités glycosidiques.

## **2.3. Modification du transit, activité motrice intestinale**

Chez l'oiseau la flore ne semble pas modifier la vitesse de transit (Coates, 1973). Cependant, selon le type de flore l'effet peut être différent comme le montre l'effet de l'ajout de lactobacilles selon le type de régime (donc de flore initiale) sur le transit de la poule : absence d'effet avec un régime maïs/soja, augmentation de la vitesse de transit avec un régime orge/maïs/soja (Nahashon et al., 1994b).

## **3. Influence sur la valeur nutritionnelle de l'aliment**

### **3.1. Digestion des aliments**

L'épaississement de la paroi intestinale en présence de la microflore étant lié principalement à l'augmentation des tissus connectifs, ne peut pas avoir d'influence sur l'absorption. Cependant, celle-ci pourrait être diminuée du fait de la réduction de la

surface intestinale par unité de longueur. Mais la longueur plus importante de l'intestin pourrait compenser cet effet négatif. Par ailleurs, le renouvellement rapide des entérocytes et donc leur maturité plus faible conduit à une réduction des activités enzymatiques. Ainsi, l'activité de certaines enzymes impliquées dans le métabolisme, l'absorption et l'incorporation par les entérocytes de composants alimentaires pourraient être modifiée (Whitt et Savage, 1988).

Les aliments peu digestibles constituent un substrat pour la microflore. Ils subissent ainsi une fermentation bactérienne plus importante que les aliments hautement digestibles ; en conséquence, la flore a plus d'effet sur ce type d'aliment.

Les micro-organismes du tube digestif sont en compétition avec l'hôte. D'une part, ils possèdent un très grand nombre d'enzymes par rapport à leur hôte, d'autre part pour ceux qui se trouvent dans la lumière intestinale ils peuvent utiliser les constituants alimentaires avant l'hôte. Ils pourraient, cependant, avoir un effet positif en libérant des nutriments absorbables par l'hôte. Ainsi, la suppression d'antibiotiques peut entraîner une augmentation de la digestibilité de la matière sèche (Raharjo et Farrell, 1984).

### **3.1.1. Digestion des protéines**

La microflore n'entraîne pas de différences d'activité trypsique dans l'intestin (Philips et Fuller, 1983) ou de différence d'absorption de la méthionine au niveau du jéjunum (Yokota et Coates, 1982). L'effet de la microflore sur la digestibilité des protéines conduit selon les études à des résultats variables, probablement dus aux différences de composition des régimes alimentaires. Ainsi, alors que Salter et Fuller (1974) n'observent pas de différence de digestibilité fécale apparente entre des animaux axéniques et conventionnels, Kussaibati et al. (1982 a) observent une digestibilité plus faible chez les conventionnels. D'après Salter (1973), la microflore aurait un effet positif sur la digestion des protéines dans le cas des protéines de mauvaise qualité qui sont mal hydrolysées par l'hôte et pourraient être hydrolysées par la microflore. Dans le cas de protéines trop sévèrement modifiées par la chaleur, même la microflore ne pourrait les hydrolyser. Par ailleurs, la microflore pourrait avoir un rôle sur la digestibilité apparente dans la mesure où elle augmente la production de protéines endogènes (mucus, débris cellulaire, biomasse microbienne) (Kussaibati et al., 1982 a), mais elle utilise aussi ces protéines, pouvant dans certains cas conduire à une excrétion endogène plus faible (Salter, 1973). Cependant, globalement, il semblerait que dans le cas d'une alimentation constituée de protéines de bonne qualité, la microflore ait peu d'effet.

### 3.1.2. Digestion des lipides

Chez le jeune poulet de moins de trois semaines, la flore diminue la digestibilité fécale des lipides de 2 points dans un régime contenant des matières grasses végétales à 10 points avec des matières grasses animales (Boyd et Edwards, 1967 ; Kussaibati et al., 1982 a). Ceci provient de la faible concentration en sels biliaires conjugués, elle-même due à leur déconjugaison par la microflore. Comme les sels biliaires conjugués servent à la formation des micelles, leur faible concentration réduit la solubilisation des lipides et donc leur absorption, en particulier ceux contenant des acides gras saturés à longue chaîne. Par conséquent, la digestibilité des acides gras insaturés tels que l'acide oléique et linoléique n'est pas modifiée par la présence de microflore, alors que la digestibilité des acides gras saturés tels que l'acide palmitique et stéarique est fortement diminuée.

### 3.1.3. Digestion des glucides

Parmi les glucides, on distingue deux types : ceux que l'oiseau peut digérer (amidon, dextrine, oligosaccharides et monosaccharides) et ceux qui ne peuvent être utilisés que par la microflore, les polysaccharides non amylacés (cellulose, hémicellulose, substances pectiques).

Dans le cas des glucides utilisables par l'hôte, la microflore ne semble pas intervenir. En effet, elle ne modifie pas l'activité des enzymes impliquées dans leur digestion, telles que l'amylase pancréatique (Lepkowsky et al., 1964) ou les dissaccharidases intestinales (Siddons et Coates, 1972), ni l'absorption du glucose (Yokota et Coates, 1982). Ainsi globalement la digestion de l'amidon de maïs n'est pas modifiée (Kussaibati et al., 1982 a) bien que des micro-organismes soient capables d'hydrolyser l'amidon en particulier dans le jabot.

En ce qui concerne les glucides que l'oiseau ne peut utiliser, ils sont fermentés par la microflore, dans le jabot et principalement au niveau des caeca.

### 3.1.4. Minéraux et vitamines

La microflore a un effet négatif sur la nutrition minérale. Ainsi, chez le poulet, elle diminue l'absorption du calcium et entraîne une augmentation des besoins en magnésium et en phosphore (Coates, 1980).

Les bactéries intestinales synthétisent des vitamines (B, K) mais elles seraient utilisées par elles-mêmes, sauf l'acide folique qui pourrait servir à l'animal (Coates, 1980). En présence de flore les besoins en vitamines seraient augmentés pour détoxifier les produits bactériens et répondre au stress physiologique. Par ailleurs, *in vitro* les vitamines B seraient moins bien absorbées par l'intestin de poulets conventionnels que de poulets axéniques (Ford et

Coates, 1971). Cependant, ces résultats n'ont pas été confirmés *in vivo*.

## 3.2. Métabolisme azoté et énergétique

A partir de l'urée et par désamination d'acides aminés les bactéries produisent de l'ammoniac. Cet ammoniac pourrait être utilisé par l'hôte pour synthétiser des acides aminés non essentiels (Furuse et Okumura, 1994). Mais les besoins en protéines sont plus importants chez les animaux conventionnels par rapport à des poulets axéniques. En effet, la synthèse protéique est augmentée au niveau du foie et de l'intestin (Furuse et Okumura, 1994). Par ailleurs, avec un régime pauvre en énergie (2 800 kcal/kg), la présence de microflore entraîne une diminution de l'efficacité d'utilisation des protéines.

L'effet de la microflore sur l'énergie métabolisable conduit à des résultats variables selon les études. Il a été rapporté aussi bien un effet négatif (Kussaibati et al., 1982 b) qu'un effet positif (Furuse et Okumura, 1994). Le type d'alimentation qui entraîne une modulation de la flore doit être à l'origine de ces différences de résultats. La flore peut avoir un effet négatif du fait de la diminution de la digestibilité des nutriments, en particulier des lipides, des pertes liées à la fermentation des glucides disponibles pour l'animal, et de l'augmentation des pertes endogènes. Elle peut par ailleurs avoir un effet bénéfique lié aux fermentations à la fois des glucides digestibles mais non utilisés par l'hôte et des glucides indigestibles produisant ainsi des acides gras volatils qui pourraient servir de source d'énergie pour l'animal.

Cependant, même si la microflore améliore l'énergie métabolisable, elle n'est pas utilisée pour augmenter les performances des animaux. En effet, bien que la flore entraîne parfois une plus faible température corporelle et production de chaleur à jeun, d'autres besoins énergétiques d'entretien sont augmentés (Furuse et Okumura, 1994). Bien que le métabolisme intestinal soit augmenté du fait de la plus importante synthèse protéique, cette perte énergétique est faible. Cette augmentation des besoins énergétiques s'expliquerait par un détournement de l'énergie alimentaire par les bactéries et une consommation d'énergie pour détoxifier les nombreuses substances produites par la microflore.

Globalement la flore entraîne donc une augmentation des besoins énergétiques et peut entraîner des pertes d'utilisation énergétique.

## 4. Rôle sur la santé de l'animal

### 4.1. Production de métabolites nuisibles ou utiles

Par fermentation des aliments, les bactéries produisent des métabolites qui dans certains cas peuvent être toxiques. Ainsi, le tryptophane est métabolisé en

indole et skatol, la cystéine en mercaptan d'éthyl et de méthyl. Les bactéries à Gram négatif produisent des endotoxines (lipopolysaccharides) libérées lors de la lyse de leurs parois cellulaires. Ces endotoxines entraînent de la fièvre et la libération de pyrogènes endogènes. D'autres toxines peuvent affecter la motricité intestinale entraînant des diarrhées. Certaines bactéries peuvent retoxifier des substances détoxifiées dans le foie, entraîner la formation de substances mutagènes et carcinogènes ou libérer des oligopeptides potentiellement inflammatoires (Broom et al., 1993).

Les bactéries produisent aussi des composants qui peuvent avoir un effet bénéfique, tels que des vitamines, des acides qui diminuent le pH intestinal et différentes substances antimicrobiennes.

La flore bactérienne produit des composants qui peuvent avoir un effet à la fois bénéfique et néfaste. Ainsi, elle produit des acides gras volatils qui ont un rôle dans le phénomène appelé 'effet barrière' détaillé plus loin. Ils sont aussi une source d'énergie et interviennent dans la physiologie du tube digestif. Cependant, les acides gras volatils ont aussi des effets indésirables liés à cet effet bénéfique sur les bactéries pathogènes. Ainsi, la résistance à l'acidité de *Salmonella Typhimurium* est augmentée par l'exposition à des acides gras volatils (Kwon et Ricke, 1998). Les bactéries produisent de l'ammoniac qui pourrait être utilisé par l'hôte pour la synthèse d'acides aminés non essentiels, mais qui est aussi néfaste pour la cellule et doit être détoxifié en acide urique. Les bactéries décarboxylent certains acides aminés conduisant à la formation d'amines. Ces amines qui stimulent la croissance de la muqueuse intestinale pourraient également avoir un effet négatif. Ainsi, l'histamine, bien qu'étant beaucoup moins efficace que les cytokines, est impliquée dans la réaction inflammatoire.

#### **4.2. Protection contre les micro-organismes néfastes**

La flore autochtone empêche l'implantation de la flore pathogène. Ce phénomène, appelé 'effet barrière', se met en place avant la maturité complète du système immunitaire du tube digestif. Ainsi, les lactobacilles excluent les coliformes chez des animaux gnotobiotiques (Fuller, 1977). Cependant, chez des poulets conventionnels, l'effet est beaucoup moins important (Watkins et Kratzer, 1983), du fait probablement de la présence d'autres micro-organismes qui empêchent ou réduisent l'action des lactobacilles.

Les mécanismes à la base de cet effet barrière sont variés. La flore naturelle du jabot, en particulier les lactobacilles, diminue le pH de cet organe autour de 4.5 conduisant à un effet bactéricide limitant la croissance des bactéries néfastes. La flore produit aussi des acides gras volatils, dont le type et la

quantité dépendent de la nature des bactéries et des substrats disponibles. Dans le jabot, on trouve principalement de l'acide lactique, et dans les caeca, principalement de l'acide acétique, en moins grande quantité de l'acide propionique et butyrique, et des traces d'autres acides. Ces acides gras organiques ont un effet bactéricide (Wielen et al., 2000).

L'effet barrière peut être dû à la production de substances antimicrobiennes par la flore autochtone. Ces composants peuvent soit inhiber soit tuer les pathogènes. Ainsi, les lactobacilles homofermentaires (dont *L. acidophilus*) produisent différents types de bactériocines qui ont un large spectre d'activité, ainsi que du peroxyde d'hydrogène.

La flore bénéfique peut aussi intervenir par l'utilisation compétitive de nutriments essentiels ou en modifiant des récepteurs utilisés par les bactéries ou leurs toxines empêchant ainsi leur développement dans le tube digestif.

#### **4.3. Stimulation du système immunitaire**

La flore intestinale participe au développement et au maintien d'un système immunitaire intestinal (SII) efficace. Lors de la colonisation du tube digestif par la microflore, celle-ci agit probablement à la fois comme source d'antigènes et d'immunomodulateurs non spécifiques (Salminen et al., 1998). Elle a donc deux types d'influence sur le système immunitaire. D'une part, elle est une source d'antigènes capables de déclencher la réponse immunitaire spécifique systémique et locale, d'autre part, elle influence le nombre et la distribution des populations cellulaires du SII et joue un rôle dans la régulation de la réponse immunitaire.

Au niveau de la réponse immunitaire systémique, la flore serait responsable de l'évolution de la production d'IgM en IgG (Sato et al., 1986), ces derniers étant les anticorps les plus importants quantitativement.

La flore digestive est le stimulus antigénique majeur responsable de la migration et de la maturation des cellules lymphoïdes précurseurs présentes dans les plaques de Peyer. Ainsi, elle agit sur le développement et la maturation des plasmocytes producteurs d'IgA sécrétoires, ces derniers ayant comme fonction principale d'empêcher la fixation des pathogènes sur la muqueuse intestinale. La prolifération de ces cellules plasmiques est due à une réponse spécifique aux antigènes rencontrés, et à une stimulation mitogénique non spécifique, en partie due aux lipopolysaccharides des bactéries à Gram négatif (*E. coli*, *Bacteroides*, ..). Chez les oiseaux, bien que les plaques de Peyer recouvrent une surface beaucoup plus faible, la microflore est aussi à l'origine de l'infiltration de la muqueuse intestinale par des cellules productrices d'anticorps en particulier les IgA (Honjo et al., 1993). Ceux-ci faisant partie du système immunitaire des muqueuses, toute réponse

immunitaire initiée dans l'intestin peut affecter la réponse immunitaire des autres muqueuses.

Certaines bactéries stimulent l'immunité non spécifique en activant la fonction des macrophages (phagocytose, synthèse de cytokines) (Moreau et Gaboriau-Routhiau, 2000). Comme les phagocytes sont impliqués dans la production d'anticorps en tant que cellules présentatrices d'antigènes, il est possible que la stimulation de la production d'IgA intestinaux soit expliquée en partie par l'effet de la microflore sur les cellules phagocytaires. La production de cytokines pro et anti-inflammatoire par les lymphocytes intra-épithéliaux, régulent la réponse inflammatoire pour qu'elle soit fonctionnelle sans être excessive. Cependant, un mauvais équilibre de la flore peut conduire à des effets néfastes. Les cytokines peuvent modifier le métabolisme de l'animal et entraîner une augmentation du catabolisme protéique et une réduction de la masse musculaire. Elles détournent ainsi les acides aminés des muscles et de l'alimentation vers le foie pour synthétiser des protéines de la phase aiguë et la gluconéogenèse. Des acides aminés sont aussi utilisés pour la synthèse des différents composants du système immunitaire (cellules, Ig, cytokines). Les cytokines entraînent aussi une hyperlipidémie et affecte le métabolisme minéral.

La flore digestive module aussi la réponse immunitaire spécifique au niveau local et systémique (Salminen et al., 1998). Ainsi, elle permet la persistance de l'absence de réponse systémique à un antigène induit par la présence initiale du même antigène, c'est-à-dire la tolérance orale aux protéines alimentaires et bactériennes. Elle intervient aussi dans la modulation de la réponse immunitaire contre les pathogènes.

Les bactéries intestinales ayant des propriétés immunomodulatrices différentes suivant les espèces, les conséquences sur la réponse immunitaire de l'animal dépendent de la composition de la flore.

#### 4.4. Bien-être animal

Les interactions entre les micro-organismes et la muqueuse intestinale et leurs effets sur la santé de l'animal ont des conséquences sur le bien-être animal. Par ailleurs différents produits issus en particulier de la fermentation des acides aminés par les micro-organismes conduisent à des odeurs nauséabondes (ammoniac, mercaptan) qui peuvent provoquer un inconfort chez l'animal.

### 5. Conséquences pour l'animal

#### 5.1. Performances

Dans la plupart des cas, les animaux conventionnels ont une croissance moins bonne que les animaux axéniques tout en ayant une consommation similaire.

Ceci pourrait s'expliquer par plusieurs phénomènes comme on a pu le voir précédemment. Tout d'abord, chez les animaux conventionnels, la digestion est réduite, en particulier celle des lipides. De plus, les micro-organismes détournent des glucides et protéines de la ration pour satisfaire leurs propres besoins au détriment de l'hôte. Pour finir, l'augmentation du renouvellement des cellules intestinales et la stimulation du système immunitaire détournent des nutriments aux dépens des processus de production comme le dépôt musculaire.

Cet effet négatif sur la croissance pourrait être aussi lié à la présence de certains micro-organismes. Ainsi, deux types bactériens faisant partie de la flore courante des caeca ont été incriminés : *Streptococcus faecium* (ou *Enterococcus hirae*) et *Clostridium perfringens*. Cependant, ces bactéries ne seraient pas les seules responsables de la baisse de croissance des animaux conventionnels. Ainsi, un filtrat de fiente sans bactérie entraîne aussi une baisse de croissance. Il contiendrait un virus qui n'a cependant pas été identifié (Fuller, 1984).

#### 5.2. Qualités des produits animaux (viande, oeuf)

La microflore intestinale peut avoir des effets aussi bien sur la qualité bactériologique des produits que sur leur composition et qualités organoleptiques.

Suite à une contamination de la carcasse au moment de l'abattage, différentes bactéries intestinales peuvent avoir un effet négatif sur la qualité sanitaire des produits avicoles. Ces bactéries peuvent présenter un danger aussi bien pour l'animal que pour l'homme comme dans le cas des Salmonelles ou faire partie de la flore normale du poulet comme *Campylobacter jejuni*, chez qui, il ne crée pas de pathologie, alors que chez l'homme il entraîne des diarrhées.

Par ailleurs, différents effets peuvent être observés sur la composition et la qualité organoleptique de la viande et de l'œuf.

En ce qui concerne la viande, certains effets ont pu être observés sur sa qualité lorsque la flore intestinale est modifiée par l'utilisation d'antibiotique ou de probiotiques. Ainsi, l'utilisation de probiotiques peut diminuer la teneur en lipides de la carcasse dont le cholestérol (Wambeke et Peters, 1995 ; Haddadin et al., 1996). Les qualités organoleptiques de la viande peuvent aussi être modifiées. La viande de poulets conventionnels a une saveur poulet plus forte et plus caractéristique que celle de poulets axéniques (Harris et al., 1968). De même, la modification de la flore intestinale au moyen de l'alimentation entraîne une modification de la saveur de la viande (Mead et al., 1983), tout comme l'utilisation d'antibiotique (Sheldon et Essary, 1982). Dans le cas des volailles consommées après faisandage, ce mode de maturation de la viande entraîne le développement de saveurs qui seraient liées en partie à la microflore digestive (Barnes, 1979). Des composants des saveurs,

originaires de la flore intestinale, seraient transférés de l'intestin vers le muscle.

Dans le cas de l'œuf aussi bien sa coquille que l'intérieur peuvent être modifiés par les changements de microflore intestinale liés à l'utilisation d'antibiotiques ou de probiotiques. Ainsi, certains probiotiques peuvent augmenter l'épaisseur de la coquille (poids de l'œuf identique), sa teneur en calcium, ainsi que sa résistance (Mohan et al., 1995 ; Tortuero et Fernandez, 1995 ; Angelovicova et al., 1996 ; Panda et al., 2000). L'intérieur de l'œuf peut aussi être modifié pour plusieurs critères : sa composition, son aspect et son goût. Ainsi, la présence de flore entraîne une modification de la composition en acides gras du jaune d'œuf (Furuse et Okumura, 1994). La teneur en cholestérol du jaune peut être réduite par l'utilisation de probiotiques (Mohan et al., 1995). La qualité de l'albumen de l'œuf (rigidité du gel mesurée en unité Haugh) est améliorée par l'ajout de certains probiotiques (Nahashon et al., 1994a). La couleur du jaune de l'œuf peut être modifiée (Angelovicova et al., 1996). Le mauvais goût des jaunes des œufs bruns que l'on observe parfois même en l'absence des matières premières critiques (colza, farine de poisson) peut être supprimé par l'ajout de certains antibiotiques (Zentek et Kamphues, 2002). Ce mauvais goût est dû à des bactéries de la flore intestinale à Gram positif.

Bien que des effets positifs puissent être observés sur les produits animaux lors de la modification de la microflore par l'utilisation d'antibiotique ou de probiotique, certaines études ne montrent aucun effet ou même parfois un effet négatif (Zobac et al., 1996 ; Tarasewicz et al., 2000).

### **Conclusion et perspectives : contrôle de la microflore**

La flore intestinale a des effets sur l'animal à de nombreux niveaux. Elle peut avoir aussi bien des effets négatifs que positifs selon sa composition qui varie en fonction de nombreux paramètres. Il s'agit donc d'un équilibre complexe et difficile à maîtriser.

Dans le cadre de la recherche d'alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance, de nombreuses solutions ont été proposées aussi bien au niveau de la gestion sanitaire et hygiénique des élevages, qu'au niveau de l'alimentation. Dans le premier cas, on peut limiter le développement de la microflore néfaste en gérant au mieux l'aménagement des bâtiments et en pratiquant le vide sanitaire ce qui est largement effectué en France.

Au niveau nutritionnel, de nombreuses alternatives ont été proposées (composition de l'aliment, traitements technologiques). En ce qui concerne les traitements technologiques, on peut d'une part stériliser les aliments en vue de limiter l'apport de flores exogènes, d'autre part utiliser un traitement technologique approprié pour augmenter la

digestibilité de l'aliment limitant ainsi les substrats disponibles pour la microflore. Ce dernier objectif peut aussi être atteint en équilibrant au mieux les formules alimentaires avec des acides aminés de synthèse pour correspondre le plus possible aux besoins de l'animal, ou en ajoutant des enzymes. Celles-ci peuvent hydrolyser les composants alimentaires pour les rendre plus facilement disponibles pour l'hôte, ou hydrolyser les composants peu digestibles utilisés comme substrats par les micro-organismes.

On peut chercher à protéger l'hôte contre l'action néfaste de certaines bactéries. Ainsi, des substances naturelles, comme la bêtaïne, peuvent être utilisées pour protéger la muqueuse intestinale. On peut aussi améliorer l'immunité intestinale par la voie alimentaire.

La microflore ou son action peuvent être contrôlées. Il serait par exemple possible d'utiliser des acides organiques qui auraient un effet toxique sur les bactéries ou bloquer l'activité d'enzymes microbiennes néfastes à l'hôte avec des inhibiteurs comme dans le cas des enzymes hydrolysant les acides biliaires. On peut orienter la microflore en utilisant des pro et des prébiotiques. De nombreux travaux ont été effectués ces dernières années dans ce domaine mais les résultats sont très variables. Les effets de la modification de la flore dépendent de très nombreux facteurs : type de bactéries et quantité utilisés, additifs présents dans le probiotique (acides aminés, vitamines), alimentation, type d'animaux cibles (espèce, souche, âge), conditions d'élevage (présence ou non de stress). Ainsi, bien que de nombreuses études concluent à un effet bénéfique, d'autres ne montrent aucun effet de la modification de la microflore, voire des effets négatifs, sans oublier que les études publiées ne sont pas représentatives de l'ensemble des études effectuées. Par ailleurs, une modification de flore peut avoir à la fois des effets bénéfiques et des effets néfastes. Il s'avère donc important de connaître les effets des différents types de micro-organismes pour pouvoir à l'avenir orienter la flore dans un but bénéfique.

### **Références bibliographiques**

- Angelovicova, M., 1996. *Zivocisna Vyroba*, 41, 391-395.
- Barnes, E. M., 1979. *J.Appl.Bacteriol.*, 46,407-419.
- Boyd, F. M., Edwards, H. M., 1967. *Poult.Sci.*, 46, 1481-1483.
- Broom, M. F., Sherriff, R. M., Ferry, D. M., Chadwick, V. S., 1993. *Biochem.J.* 291, 895-900.
- Coates, M. E., 1973. *Proc.Nutr.Soc.*, 32, 53-58.
- Coates, M. E., 1980. In : *Growth in animals* (Lawrence edit) Butterworths, London, pp175-188.
- Deplancke, B., Gaskins, H. R., 2001. *Am.J.Clin.Nutr.*, 73, 1131-1141 S.



- Ford, D. J., Coates, M. E., 1971. *Proc.Nutr.Soc.*, 30, 10A-11A.
- Fuller, R., 1977. *Br.Poult.Sci.*, 18, 85-94.
- Fuller, R., 1984. *Proc.,Nutr.,Soc.*, 43, 55-61.
- Furuse, M., Okumura, J., 1994. *Comp.Biochem. Physiol.*, 109A, 547-556.
- Furuse, M., Yang, S. I., Niwa, N., Okumura, J., 1991. *Br.Poult.Sci.*, 32, 159-165.
- Gabriel, I., Mallet, S., Leconte, M., Fort, G., Naciri, M., 2002. *Arch.Geflügelkd.*, 66, 179.
- Haddadin, M. S. Y., Abdulrahim, S. M., Hashlamoun, E. A. R., Robinson, R. K., 1996. *Poult.Sci.*, 75, 491-494.
- Harris, N. D., Strong, D. H., Sunde, M. L., 1968. *J. Food Sci.*, 33, 543-547.
- Honjo, K., Hagiwara, T., Itoh, K., Takahashi, E., Hirota, Y., 1993. *J.Vet.Med.Sci.*, 55, 1031-1034.
- Kimura, N., Mimura, F., Nishida, S., Kobayashi, A., Mitsuoka, T., 1976. *Poult.Sci.*, 55, 1375-1383.
- Knarreborg, A., Simon, M. A., Engberg, R. M., Jensen, B. B., Tannock, G. W., 2002. *Appl. Environ.Microbiol.*, 68, 5918-5924.
- Kussaibati, R., Guillaume, J., Leclercq, B., 1982 a. *Ann. Zootech.*, 483-488.
- Kussaibati, R., Guillaume, J., Leclercq, B., and Lafont, J. P., 1982 b. *Arch.Geflügelkd.*, 46, 42-46.
- Kwon, Y. M., Ricke, S. C., 1998. *Appl.Environ. Microbiol.*, 64, 3458-3463.
- Lepkovsky, S., Wagner, M., Furuta, F., Ozine, K., Koike, T., 1964. *Poult.,Sci.*, 43, 722-726.
- Mallet, S., Bouvarel, I., Lessire, M., 2001. In : *Quatrièmes Journées de la Recherche Avicoles*, pp 159-164.
- Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B., Larbier, M., 2002. *Anim.Res.*, 51, 395-406.
- Mead, G. C., Griffiths, N. M., Impey C. S., Coplestone, J. C., 1983. *Br. Poult. Sci.*, 24, 261-272.
- Mohan, B., Kadirvel, R., Bhaskaran, M., Natarajan, A., 1995. *Br. Poult. Sci.*, 36, 799-803.
- Moreau, M. C., Gaboriau-Routhiau, V., 2000. In : *Probiotics (Fuller et Perdigon edit.) Kluwer academic publishers*, pp 69-114.
- Muramatsu, T., 1990. *Int.J.Biochem.*, 22, 793-800.
- Nahashon, S. N., Nakaue, H. S., Mirosh, L. W., 1994a. *Poult. Sci.*, 73, 1699-1711.
- Nahashon, S. N., Nakaue, H. S., Snyder, S. P., Mirosh, L. W., 1994b. *Poult.Sci.*, 73, 1712-1723.
- Palmer, M. F., Rolls, B. A., 1983. *Br.J.Nutr.*, 50, 783-790.
- Panda, A. K., Reddy, M. R., Ramarao, S. V., Praharaj, N. K., 2000. *Indian J. Poult. Sci.*, 35, 102-104.
- Philips, S. M., Fuller, R. 1983. *Br.Poult.Sci.*, 24, 115-121.
- Raharjo, Y. C., Farrell, D. J., 1984. *Aust.J.Exp. Agric.Anim.Husb.*, 24, 516-521.
- Salminen, S., Bouley, C., Boutron-Ruault, M. C., Cummings, J. H., Franck, A., Gibson, G. R., Isolauri, E., Moreau, M. C., Roberfroid, M., Rowland, I., 1998. *Br.J.Nutr.*, 80, S147-171.
- Salter, D. N., 1973. *Proc.Nutr.Soc.*, 32, 65-71.
- Salter, D. N., Fulford, R. J., 1974. *Br.J.Nutr.*, 32, 625-637.
- Sato, K., Nagai, H., Kai, O., 1986. *Jpn.Poult.Sci.*, 23, 91-96.
- Sheldon, B. W., Essary, E. O., 1982. *Poult. Sci.*, 61, 280-287.
- Siddons, R. C., Coates, M. E., 1972. *Br.J.Nutr.*, 27, 101-112.
- Smith, H. W., 1965b. *J.Pathol.Bacteriol.*, 89, 95-122.
- Suzuki, K., Kodam, Y., Mitsuoka, T., 1989. *Bifidobacteria Microflora*, 8, 23-38.
- Tarasewicz, Z., Danczak, A., Szczerbinska, D., Romaniszyn, K., Ligocki, M., 2000. *Roczniki Naukowe Zootechniki*, 19, 385-393.
- Tortuero, F., Fernandez, E., 1995. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 53, 255-265.
- Wambeke, F. v., Peeters, J., 1995. *Arch. Geflugelkd.*, 59, 125-129.
- Watkins, B. A., Kratzer, F. H., 1983. *Poult.Sci.*, 62, 2088-2094.
- Weurding, R. E., 2002. *Thesis, Wageningen*, 155 p.
- Whitt, D. D., Savage, D. C., 1988. *Appl.Environ. Microbiol.*, 54, 2405-2410.
- Wielen, P. W. J. J. van der, Biesterveld, S., Notermans, S., Hofstra, H., Urlings, B. A. P., Knapen, F. van, 2000. *Appl. Environ.Microbiol.*, 66, 2536-2540.
- Yokota, H., Coates, M. E., 1982. *Br.J.Nutr.*, 47, 349-356.
- Zentek, J., Kamphues, J., 2002. *Wiener Tierarztliche Monatsschrift*, 89, 100-106.
- Zobac, P., Kumprecht, I., Jelinek, P., Doscocil, J., Suchy, P., 1996. *Zivocisna Vyroba*, 41, 407-412.