

Effect of a commercial prebiotic « AVIATOR® » on zootechnical performances, caecal microflora and meat quality of broilers

Effet d'un prébiotique commercial « AVIATOR® » sur les performances zootechniques, la composition de la microflore caecale et la qualité de la viande des poulets de chair

A. ASKRI¹, N. FITOUHI¹, A. RAACH-MOUJAHED¹, M. S. ABBASSI², Z. MAALAOUI³, H. DEBBABI^{1*}

¹ Département des Ressources Animales, Halieutiques et Technologie Agroalimentaire, Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie

² Institut de Recherche Vétérinaire de Tunis, Université de Tunis El Manar, Rue Djebel El Akhdhar, 1006 Tunis, Tunisie

³ Arm & Hammer, Animal Nutrition, North Africa, Tunis, Tunisie

*Corresponding author: debbabih@gmail.com

Abstract – The goal of this study was to evaluate the effect of prebiotic (*Saccharomyces cerevisiae* extracts) marketed under the name « AVIATOR® » as a growth factor in poultry farming. The work methodology consisted to incorporate in the feed ration, devoid of growth factor, 0,1g/kg of prebiotic « AVIATOR® » which was the dose recommended by the manufacturer. A total of one hundred twenty male chicks strain Arbor acres were allocated in two groups which are grown in cages for 42 days (6 chicks / cage). They received the same basal diet (T), or complemented with prebiotic (A). Throughout the trial period the growth performances are measured and the « caecas » are collected the day 10, 30 and the day of slaughter (day 42). The meat quality was also studied.

The addition of the prebiotic led to a significant reduction of animal mortality ($P < 0,0001$), whereas no significant effect was observed in the growth performances. Interestingly microbiological analysis showed a modulation of caecal microflora by the addition of the prebiotic, in particular the growth of endogenous *Bifidobacteria* which are perceived as beneficial to animal health. Concerning the meat quality, results did not reveal any difference in pH and CIE L*a*b* color between the control and experimental groups ($P > 0,05$). However, a discriminative sensory analysis revealed a change in the sensory quality of the meat from the experimental group.

In conclusion, results showed that the prebiotic « AVIATOR® » with the dose of 0.1g/kg may be promising to ameliorate growth performances by reducing animal mortality.

Keywords: prebiotic, mortality, *Bifidobacteria*, sensory analysis, poultry farming.

Résumé – L'objectif de l'étude a été d'évaluer l'effet d'un prébiotique commercial « AVIATOR® » à base d'extraits de *Saccharomyces cerevisiae* comme facteur de croissance sur des poulets de chair. La méthodologie a consisté à introduire dans la ration alimentaire, dépourvue de facteurs de croissance, le prébiotique « AVIATOR® » à une dose de 0,1g/kg. Cent vingt poussins de la souche Arbor acres ont été répartis en deux lots et élevés dans des cages pendant 42 jours (6 sujets / cage). Ils ont reçu un seul régime alimentaire (T), ou complémenté avec le prébiotique (A). Les performances zootechniques ont été évaluées hebdomadairement. Les caecas ont été prélevés le jour 10, 30 et le jour de l'abattage 42. La qualité de la viande a été également étudiée. Les résultats ont indiqué que l'administration du prébiotique commercial a conduit à une réduction significative du taux de mortalité des animaux ($P < 0,0001$). Néanmoins aucun effet significatif de l'additif à la dose utilisée n'a été observé sur les paramètres de croissance des poulets de chair. En revanche, une analyse microbiologique a montré une modification par l'administration du prébiotique, de la flore caecale, en particulier une croissance de *Bifidobactéries*



endogènes qui sont perçues comme bénéfiques pour la santé animale. Concernant la qualité de la viande, les résultats obtenus ont montré que l'incorporation de l'additif dans l'alimentation n'a aucun effet sur le pH et la couleur CIE L*a*b* de la viande ($P > 0,05$). Par contre, une différence significative a été perçue sur le plan sensoriel.

En conclusion, les résultats ont montré que le prébiotique « AVIATOR® » à une dose de 0,1g/kg est prometteur pour améliorer les performances zootechniques en réduisant le taux de mortalité.

Mots clés : prébiotique, mortalité, Bifidobactéries, analyse sensorielle, poulet de chair.

1. Introduction

La demande croissante de la viande des volailles liée à la flambée des prix de la viande rouge a mené à l'augmentation de la production se traduisant par l'intensification de l'élevage avicole. En contre partie, l'alimentation présente un handicap majeur pour l'éleveur puisque sa charge peut atteindre jusqu'à 70% du coût total de la production en Tunisie (FAO, 2011). Dans le but de diminuer cette charge, des antibiotiques ont été utilisés pour leur rôle dans l'amélioration des performances zootechniques en augmentant la vitesse de croissance et par conséquent la productivité et la rentabilité des élevages. Cependant, des effets indésirables ont été apparus suite à leurs utilisations. Ils ont favorisé effectivement l'apparition de souches bactériennes résistantes et des réactions allergiques chez le consommateur, ce qui a conduit à leur interdiction en 2006 (EC, 2001) et en Tunisie en Janvier 2007 (JORT, 2007)

Les chercheurs se sont orientés vers d'autres alternatives pour maintenir un niveau satisfaisant de production. Parmi celles envisagées, l'utilisation des prébiotiques est l'une des plus prometteuses (Patterson et Burkholder, 2003). La levure *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée comme additif alimentaire en nutrition avicole (Zhang et al. 2005). Des études ont suggéré que la levure pourrait efficacement contribuer à l'amélioration de la santé digestive de l'hôte-animal, notamment à la protection contre plusieurs bactéries pathogènes pour les volailles et à l'équilibre de l'écosystème caecal (Zdunczyk et al. 2005 ; Baurhoo et al. 2009). Les prébiotiques ont l'avantage, par rapport aux probiotiques, de stimuler les bactéries qui sont normalement présentes dans le tractus gastro-intestinal de l'animal individuel et donc déjà adaptées à cet environnement (Patterson et Burkholder 2003). Mais à notre connaissance, aucune relation n'a été établie entre la mortalité animale et la composition de la flore digestive lors de l'incorporation de prébiotique à base de levure, en nutrition avicole. C'est dans cette optique que s'est inscrit notre travail, visant à évaluer l'effet d'un prébiotique commercial à base d'extraits de *Saccharomyces cerevisiae* « AVIATOR® » sur les performances zootechniques, la flore microbienne caecale et la qualité de la viande des poulets de chair.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Le prébiotique

Le prébiotique est commercialisé sous le nom « AVIATOR® » produit par la société « Arm and Hammer » du groupe « Church & Dwight » (États-Unis). Ce supplément est à base de cultures de levure et de produits de l'hydrolyse enzymatique de la paroi de la levure : *Saccharomyces cerevisiae* qui sont mannan-oligosaccharides (MOS), mannose, galactosamine et glucane. Dans notre essai, le prébiotique a été utilisé à raison de 100g/tonne d'aliment.

2.1.2. Le régime alimentaire

L'aliment utilisé dans cet essai est fabriqué par la société « El Badr ». C'est un aliment de commerce dépourvu de facteurs de croissance. Le régime de base renferme du maïs, du tourteau de soja (Tableau1). Cet aliment est distribué à volonté sous forme farineuse durant toute la période de l'élevage après avoir été additionné ou non du prébiotique.

Tableau 1. Composition du régime alimentaire de base

| Ingrédients (g/Kg) | Régime alimentaire de base (1 à 42jours) |
|---|--|
| Maïs | 609,21 |
| Huile végétale | 21,39 |
| Tourteaux de Soja | 323,74 |
| Carbonate de Calcium | 11,74 |
| Phosphate Bicalcique | 21,55 |
| Vitamines + Oligoéléments | 10,00 |
| L-Lysine | 0,43 |
| DL Méthionine | 1,94 |
| Caractéristiques Nutritionnelles | |
| EM (Kcal/Kg) | 2900 |
| MAT (g/Kg) | 210 |
| Lysine (g/Kg) | 11,5 |
| Méthionine + Cystine (g/Kg) | 9 |
| Tryptophane (g/Kg) | 2,41 |
| Thréonine (g/Kg) | 7,99 |
| Calcium (g/Kg) | 10,5 |
| Phosphate disponible (g/kg) | 4,4 |

EM : Energie métabolisable, MAT : Matières azotées totales

2.2. Les animaux

Cent vingt poussins males d'un jour vaccinés appartenant à la souche Arbor acres provenant d'un même couvoir (SO.TA.VI). Les poussins ont été identifiés individuellement, pesés et répartis au hasard en deux lots : témoin (T) et expérimental « AVIATOR® » (A). Dix répétitions pour chaque lot ont été réalisées avec 6 poussins par cage. Le poids moyen (PM) des poussins est de $41,28 \pm 0,38$ g. Durant tout l'essai, les poulets sont nourris et abreuvés à volonté.

L'essai a duré 42 jours. La température a été fixée à 35°C la première semaine, puis a été réduite d'une façon régulière jusqu'à la fin de l'essai. Un éclairage continu a été assuré par des tubes néons durant l'essai.

2.3. Mesures des paramètres zootechniques

Les animaux sont pesés individuellement chaque semaine à la même heure à jeun, et les quantités ingérées (QI) sont déterminées par différence entre les distribués et les refus. Le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) sont calculés par semaine. Un enregistrement journalier est effectué pour les mortalités.

2.4. Analyses microbiologiques

L'abattage d'un sujet par cage est réalisé au jour 10, au jour 30 et le jour de l'abattage à 42 jours soit au total vingt sujets. Les caecae ont été aseptiquement prélevés et stockés à -20°C jusqu'à leur utilisation pour le dénombrement bactérien. Le dénombrement des bactéries lactiques, des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* a été réalisé selon les conditions de culture décrites dans le tableau 2 (Baurhoo et al. 2007).

Tableau 2. Conditions de culture des microorganismes

| Souche | Milieu de culture | Conditions d'incubation |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Lactobacilles | MRS | 37°C pendant 24h |
| Coliformes totaux | VRBL | 37°C pendant 24 h |
| <i>Escherichia coli</i> | MacConkey | 37°C pendant 24h |

MRS: Gélose de Man, Rogosa, Sharpe; VRBL: Violet Red Bile Lactose Agar

2.5. Analyses physicochimiques

Ces analyses ont été effectuées suite à l'abattage des sujets à 42 jours. Le pH 1 heure post-mortem et le pH 24heures ont été mesurés au niveau de la cuisse et du bréchet à 2 cm de profondeur en utilisant un pH-mètre portable Hanna HI- 99163. La mesure des paramètres de couleur CIE L*a*b* de la viande a été aussi effectuée au niveau de la cuisse et du bréchet 1 heure post mortem à l'aide d'un chroma-mètre

de type Minolta 410 (Konica Minolta Sensing, INC. Japon). L'écart colorimétrique ΔE est défini comme une mesure de différence entre deux couleurs notées dans le mode CIE Lab. Il est calculé selon l'équation suivante :

$$\Delta E = [(L_T - L_A)^2 + (a_T - a_A)^2 + (b_T - b_A)^2]^{1/2}$$

Où L : la luminance de la viande, du noir au blanc ; a : gamme de l'axe rouge à vert ; b : gamme de l'axe jaune à bleu.

2.6. Analyses sensorielles

Les échantillons de bréchet prélevés et stockés à -20°C ont été rapidement décongelés et cuits au four à une température de 120°C pendant 20 min et par la suite présentés à température de consommation au panel de dégustateurs.

2.6.1. Epreuve sensorielle discriminative ou test triangulaire

Des tests triangulaires (Afnor NF V 09-013) ont été réalisés à l'aide d'un panel composé de 12 dégustateurs entraînés. Au cours de chaque session, trois échantillons de bréchet sont présentés aux dégustateurs : deux sont identiques et le troisième est différent. Les trois échantillons, codés à l'aide d'un nombre à trois chiffres, sont présentés simultanément. Le sujet doit identifier l'échantillon différent en termes d'aspect, de couleur, d'odeur et de goût. Une fiche utilisée pour l'épreuve triangulaire est soumise à chacun des sujets sur laquelle il renseigne le code de l'échantillon perçu différent. Une question ouverte a été ajoutée au questionnaire en cas de détection d'une différence, afin que le dégustateur nous renseigne sur l'origine de la différence.

2.6.2. Epreuve sensorielle hédonique

Un test de préférence hédonique a été réalisé par vingt sujets non entraînés qui reçoivent chacun deux échantillons de bréchet T et A. Les échantillons sont codés chacun par un nombre à trois chiffres. Une fiche utilisée pour le test hédonique est fournie à chacun des sujets sur laquelle il renseigne le code de l'échantillon préféré.

2.7. Analyses statistiques

Les données expérimentales sont présentées sous forme de moyenne \pm erreur-type de la moyenne (ESM). Les analyses statistiques ont consisté en une analyse de la variance ANOVA à 2 facteurs (traitement, âge), élaborée par le logiciel PRISM version 5.0.

Les résultats du test triangulaire ont été analysés en exprimant le nombre de réponses correctes obtenues en pourcentage, et selon la loi binomiale pour établir une différence significative au seuil de 5% (ISO 4120, 1983).

3. Résultats et discussion

3.1. Effet sur les performances de croissance

Le Tableau 3 indique que les poids moyens (PM) à la fin de l'essai sont équivalents, respectivement 1736 g pour le témoin (T) et 1682 g pour le lot expérimental (A).

Tableau 3. Effet de l'AVIATOR® sur les performances zootechniques du poulet de chair

| | PM (g) | GMQ (g/j) | global | QI (g/Sujet/jour) | global | IC global (g/g) | TM global (%) |
|-----|----------|-----------|--------|-------------------|--------|-----------------|---------------|
| T | 1736,27a | 40,37a | | 89,13a | | 2,21a | 13,16a |
| A | 1681,95a | 39,04a | | 80,30a | | 2,05a | 6,16b |
| p | 0,742 | 0,791 | | 0,363 | | 0,743 | <0,0001 |
| ESM | 38,84 | 0,21 | | 1,39 | | 0,02 | 1,17 |

a, b : Les valeurs suivies de lettres différentes sur la même colonne sont significativement différentes ($P < 0,05$)
T : lot témoin, A : lot Aviator

Par conséquent l'incorporation du prébiotique n'a aucun effet sur l'évolution du poids vif des animaux ($P > 0,05$). Ce résultat est corroboré par l'analyse de l'effet de l'additif sur le gain moyen quotidien (GMQ). Pendant l'essai, les GMQ des deux lots sont identiques ($P > 0,05$). Nos résultats n'ont pas montré des effets significatifs à la dose de 0,1g/kg d'aliment sur les paramètres de croissance des poulets de

chair. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Lopez et al. (2009) montrant une absence d'effets significatifs des composants de la paroi de levure sur les paramètres de croissance des poulets de chair. De plus, aucune différence significative n'a été révélée sur les quantités ingérées (QI). En fait, l'incorporation de l'AVIATOR® n'a eu aucun effet sur l'amélioration de l'indice de consommation (IC) des poulets de chair ($P > 0,05$). Ces résultats sont en désaccord avec ceux trouvés par Mathlouthi et al. (2012) qui ont montré que les parois de *Saccharomyces cerevisiae* contribuent à l'amélioration des performances zootechniques des poulets de chair en augmentant le poids vif de 5,4% et en diminuant l'indice de consommation de 9,3%.

Par ailleurs, nos résultats ont montré que le prébiotique ajouté dans cet essai a contribué à réduire significativement le taux de mortalité des poulets de l'ordre de 54% ($P < 0,0001$). Cette réduction pourrait être expliquée par le rôle important que joue le prébiotique dans l'amélioration des mécanismes de défense du système immunitaire des poulets de chair (Abel et Czop 1992; Ferket et al. 2002; Raa 2003; Mathlouthi et al. 2012).

L'ensemble des résultats portant sur les performances zootechniques a démontré que l'addition de l'AVIATOR® a permis d'améliorer la survie des animaux, contribuant à une meilleure productivité.

3.2. Effet sur la microflore caecale

Les résultats obtenus montrent que l'addition du prébiotique a un effet ($P < 0,0001$) sur la réduction de la charge en *Escherichia coli* d'une part et sur la croissance des lactobacilles d'autre part (Tableau 4).

Tableau 4. Effet de la supplémentation de l'AVIATOR® sur la composition de la flore caecale des poulets de chair

| Jour de prélèvement | 10 ⁸ UFC/ml | <i>E. coli</i> | Coliformes totaux | Lactobacilles |
|---------------------|------------------------|----------------|-------------------|---------------|
| J10 | T | 0,11a | 41a | 0,00001a |
| | A | 0,09b | 22b | 0,075b |
| | P | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | ESM | 0,003 | 3,59 | 0,01 |
| J30 | T | 53a | 3,1a | 1,17a |
| | A | 25b | 8,8b | 1,54b |
| | P | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | ESM | 8,08 | 1,64 | 0,1 |
| J42 | T | 4,8a | 103a | 271a |
| | A | 3,4b | 256b | 354b |
| | P | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | ESM | 0,4 | 42,72 | 24 |

UFC : Unité Formant Colonie, T : lot témoin, A : lot Aviator
 a,b : Les valeurs suivies de lettres différentes sur la même colonne sont significativement différentes ($P < 0,05$)

Pour *Escherichia coli*, une diminution significative a été observée dans les échantillons des lots recevant le régime avec AVIATOR®, ce qui suggère que ce prébiotique joue un rôle très important dans la réduction des bactéries pathogènes. Ceci peut être expliqué par la compétition entre les mannan-oligosaccharides (MOS), composants de la paroi de levure, et les déterminants antigéniques de certains pathogènes contenant des résidus mannane ce qui limite la possibilité de fixation des pathogènes à la paroi intestinale et donc leur développement (Castro et al. 1994 ; De Ruiter et al. 1994).

Les résultats ont montré que l'incorporation de la paroi cellulaire de levure (*Saccharomyces cerevisiae*) contenant les MOS dans l'aliment n'a pas réduit de manière significative les concentrations de coliformes caecales ce qui confirme les résultats trouvés par Spring et al. (2000). En outre, le nombre des lactobacilles des poulets recevant le prébiotique est plus élevé que celui du lot témoin les jours 10, 30 et 42. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Baurhoo et al. (2007) qui ont montré que l'apport de MOS (0,2 %) chez des poulets entraîne une augmentation, dans leur contenu caecal, de la concentration en Lactobacilles de 0,8 logs (UFC/ml) et en Bifidobactéries de 0,6 logs (UFC/ml), comparativement à un régime témoin avec AFC (virginiamycine). Une autre étude a montré que les mannan-oligosaccharides sont capables d'améliorer la santé gastro-intestinale en nourrissant les bactéries bénéfiques comme les lactobacilles dans l'intestin (Patterson et Burkholder 2003).

L'ensemble de ces résultats a mis en exergue que l'administration du prébiotique AVIATOR® peut améliorer sélectivement les populations de lactobacilles et réduire la colonisation par des bactéries pathogènes, confirmant des études antérieures (Biggs et Parsons 2008 ; Baurhoo et al. 2009 ; Mathlouthi et al. 2012). La réduction de la mortalité dans cette étude peut être donc expliquée d'une part par une réduction des microorganismes pathogènes délétères pour le poussin, et d'autre part, par l'effet direct des composants de la paroi de *Saccharomyces cerevisiae* sur le système immunitaire de l'animal.

3.3. Effet sur la qualité de la viande

Le pH 24 heures ultime, est un critère important de la qualité de la viande, notamment en termes de la couleur (luminance L* du référentiel CIE L*a*b*). D'après le Tableau 5, l'addition du prébiotique dans l'alimentation des poulets n'a pas altéré le pH de la viande (P>0,05). Ce résultat suggère que cette supplémentation n'a pas probablement modifié le niveau des réserves énergétiques du muscle, réserves disponibles sous forme de glycogène.

Tableau 5. Effet de l'incorporation du prébiotique sur le pH et la couleur de la viande de poulet

| Paramètre | Bréchet | | Cuisse | | |
|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| | T | A | T | A | |
| pH 1 heure | 5,6±0,1 | 5,7±0,1 | 5,8±0,2 | 5,8±0,2 | |
| p | 0,67 | | 0,09 | | |
| pH 24 heures | 5,9±0,1 | 5,9 ±0,2 | 6,1±0,1 | 6,1±0,2 | |
| p | 0,12 | | 0,38 | | |
| Couleur CIE | L* | 57,75±3,52 | 58,81±3,06 | 59,18±3,5 | 58,4±2,55 |
| | a* | 8,75±1,25 | 9,4±1,37 | 11,47±1,76 | 11,72±1,54 |
| | b* | 10,2±1,92 | 10,31±2,21 | 10,71±2,92 | 10,64±3,24 |
| | ΔE | 1,248 | | 0,821 | |

T : lot témoin, A : lot Aviator

D'autre part, l'additif n'a aucun effet significatif sur les paramètres de couleur CIE L*a*b* de la viande (Tableau 5). La valeur de l'écart colorimétrique ΔE est inférieure à 5 indiquant l'absence de changement de couleur détectable par l'œil humain. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Pelicano et al. (2005).

Par ailleurs les résultats du test triangulaire discriminatif ont montré que 100% de réponses des panélistes sont correctes. En fait tous les membres du panel ont pu distinguer la viande des poulets du lot A par rapport à ceux du lot T. D'après le panel de dégustateurs, cette différence a concerné les intensités d'odeur et de goût. Par ailleurs, les résultats du test hédonique ont indiqué que la viande provenant du lot A a été majoritairement rejetée par 55% du panel de dégustateurs (Figure 1). Nos résultats suggèrent que l'addition du prébiotique à la dose préconisée pourrait avoir induit la synthèse de faibles quantités de composés volatils défavorables au goût (odeurs désagréables). Saleh et al. (2013) ont montré que l'administration de *Saccharomyces cerevisiae* dans la ration alimentaire du poulet de chair a affecté la composition en acides gras, qui sont des précurseurs de composés volatils.

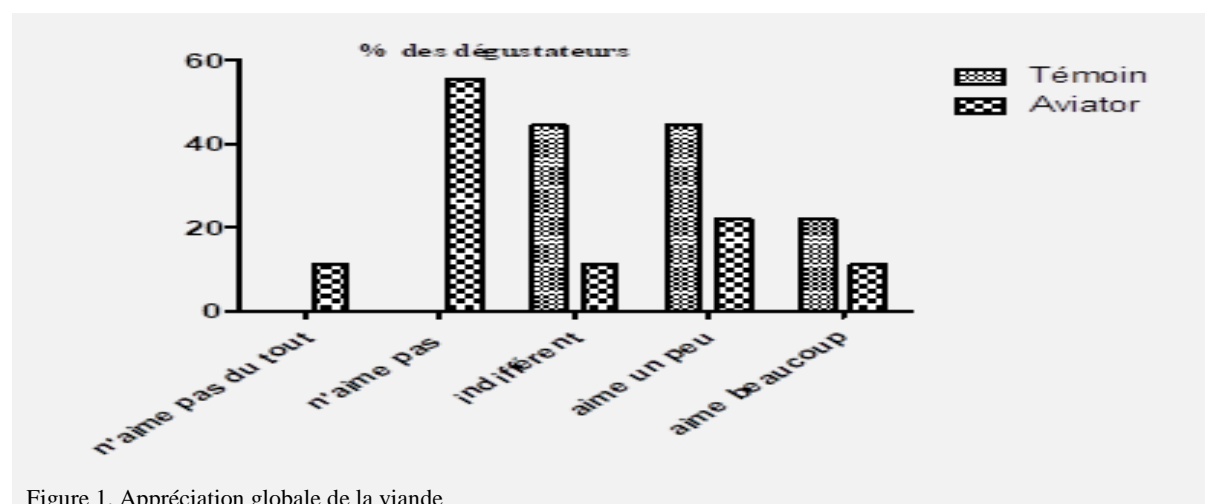


Figure 1. Appréciation globale de la viande

4. Conclusion

Les résultats de la présente étude ont montré que le prébiotique « AVIATOR® » à base d'extraits de *Saccharomyces cerevisiae* à une dose de 0,1g/kg d'aliment est prometteur pour améliorer les performances zootechniques en réduisant le taux de mortalité. Une diminution significative de la charge en *Escherichia coli* associée à une augmentation du taux de lactobacilles a été observée surtout en phase de démarrage des lots recevant AVIATOR®. Cette phase de démarrage critique a conditionné la réduction du taux de mortalité des animaux. Ce travail doit être poursuivi par une optimisation de la dose administrée, couplée à des analyses plus avancées sur la microflore caecale et sur la réponse immunitaire des animaux dans le but de mieux comprendre les mécanismes d'action mis en jeu.

5. Références

- Abel G, Czop J (1992)** Stimulation of human monocyte β -glucan receptors by glucan particles induces production of TNF- α and IL-1. *Int J Immunopharmacol* 14:1363-1373.
- Baurhoo B, Letellier A, Zhao X, Ruiz-Feria CA (2007)** Caecal populations of Lactobacilli and Bifidobacteria and *Escherichia coli* after in vivo *Escherichia coli* challenge in birds fed diets with purified lignin or mannanoligo-saccharides. *J Poultry Sci* 86:2509–2516.
- Baurhoo B, Goldflus F, Zhao X (2009)** Purified cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* increases protection against intestinal pathogens in broiler chickens. *J Poultry Sci* 8:133–137.
- Biggs P, Parsons CM (2008)** The effects of probiotic-P on growth performance, nutrient digestibilities, and cecal microbial populations in young chicks. *J Poultry Sci* 87:1796–1803.
- Castro M, Ralston NV, Morgenthaler TI, Rohrbach MS, Limper AH (1994)** *Candida albicans* stimulates arachidonic acid liberation from alveolar macrophages through alpha-mannan and beta-glucan cell wall components. *Infect Immun* 62(8): 3138-3145.
- De Ruiter GA, Van Bruggen-Van der Lugt AW, Mischnick P, Smid P, Van Boom JH, Notermans SH, Rombouts FM (1994)** 2-O-methyl-D-mannose residues are immunodominant in extracellular polysaccharides of *Mucor racemosus* and related molds. *J Biol Chem* 269(6): 4299-4306.
- EC (2001)** Commission of the European Communities, Commission Recommendation, 2001/459/EC. OJEU L 161 : 42–44.
- FAO (2011)** Evolution du secteur avicole en Tunisie. Document de travail FAO production et santé animales No. 5. Rome.
- Ferket PR, Parks CW, Grimes JL (2002)** Benefits of dietary antibiotic and mannanoligosaccharide supplementation for poultry. http://www.feedinfo.com/files/multi_2002-ferket.pdf (Accessed Jun. 2016)
- JORT (2007)** Journal Officiel de la république Tunisienne. Arrêté conjoint du ministre de l'agriculture et des ressources hydrauliques et du ministre de la santé publique du 27 décembre 2006
- Khodambashi Emami N, Samie A, Rahmani HR, Ruiz-Feria CA (2012)** The effect of peppermint essential oil and fructooligosaccharides, as alternatives to virginiamycin, on growth performance, digestibility, gut morphology and immune response of male broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175 : 57–64
- Mathlouthi N, Auclair E, Larbier M (2012)** Effet des parois de levures sur les performances zootechniques du poulet de chair. *LRRD* 24 (11): 201
- Morales-López R, Auclair E, García F, Esteve-García E, Brufau J (2009)** Use of yeast cell walls; β -1, 3/1, 6-glucans; and mannoproteins in broiler chicken diets. *J Poultry Sci* 88:601–607
- Patterson JA, Burkholder KM (2003)** Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *J Poultry Sci* 82: 627–631.
- Pelicano ERL, Souza PA, Souza HBA, Oba A, Boiago MM, Zeola NMBL, Scatolini AM, Bertanha VA, Lima TMA (2005)** Carcass and cut yields and meat qualitative traits of broilers fed diets containing probiotics and prebiotics. *Rev. Bras. Cienc. Avic* 7 (3):169-175
- Raa J (2003)** The use of immune-stimulant to enhance disease resistance and growth performance of fish and shrimp. XI Congreso Nacional de AMENA y I Congreso Latino- Americano de Nutricion Animal, Cancun, Qroo (Mexico). Asociacion Mexicana de Especialistas in Nutricion Animal, A.C. Queretaro, Qro. Mexico.: 7–75
- Saleh A A, Hayashi K, Ohtsuka A (2013)** Synergistic effect of feeding *Aspergillus awamori* and *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance in broiler chickens; promotion of protein metabolism and modification of fatty acid profile in the muscle. *Journal Poultry Sci* 50(3): 242-250.

- Santin E, Maiorka A, Macari M (2001)** Performance and intestinal mucosa development of broilers chickens fed diets containing *Saccharomyces cerevisiae* cell wall. J Appl Poult Res 10:236–244.
- Yusrizal Y, Chen TC (2003)** Effect of adding chicory fructans in feed on fecal and intestinal microflora and excreta volatile ammonia. J Poultry Sci 2(3): 188-194.
- Zhang AW, Lee BD, Lee SK, Lee KW, An GH, Song KB, Lee CH (2005)** Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. J Poult Sci 84:1015–1021.
- Zdunczyk Z, Juskiewicz J, Jankowski J, Biedrzycka E, Koncicki A (2005)** Metabolic Response of the Gastrointestinal Tract of Turkeys to Diets with Different Levels of Mannan-Oligosaccharide. J Poultry Sci 82: 1030-1036.