

Effet de la levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* 47 sur la santé, le microbiote et les performances zootechniques de porcelets sevrés

Géraldine KUHN et Tadele KIROS GEBREYOHANNES

Phileo Lesaffre Animal Care, 137 rue Gabriel Peri, 59700 Marcq-en Baroeul, France
avec la participation de Christophe ALLENO, Zootests, France

g.kuhn@phileo.lesaffre.com

Effet de la levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* 47 sur la santé, le microbiote et les performances zootechniques de porcelets sevrés

Le sevrage représente une des périodes les plus critiques pour les porcelets. Caractérisé par un risque d'anorexie sévère, une sensibilité accrue aux troubles digestifs et aux infections microbiennes, les pertes économiques peuvent être considérables. Diverses stratégies existent pour assurer le bon démarrage des animaux et les aider à passer cette phase difficile. L'une d'elles est d'utiliser les levures probiotiques dans les aliments porcelets. Deux essais ont été menés, l'un dans un élevage de 500 truies ayant des diarrhées colibacillaires récurrentes, l'autre dans une station expérimentale. Dans l'expérience 1 sur deux bandes successives, 284 porcelets de 28 jours d'âge pesant 7,2 kg ont été séparés en deux groupes identiques, l'un recevant un aliment témoin sans levure (T), l'autre un aliment supplémenté en levure probiotique Sc47 (L). Le poids, le GMQ et l'IC ont été mesurés pendant toute la période de post-sevrage, des prélèvements et des scores de diarrhée ont été effectués. A 42 et 70 jours d'âge, les performances des porcelets supplémentés ont été significativement améliorées sur les trois paramètres zootechniques : Poids (L : 24,61 kg vs T : 23,34 kg ; $P = 0,06$), GMQ (L : 0,42 vs T : 0,38 ; $P = 0,06$), et IC (L : 1,66 vs T : 1,73 ; $P = 0,006$). Dans l'expérience 2, les porcelets ont reçu différents régimes supplémentés en levures avant et après sevrage. Le poids moyen et le GMQ des porcelets dans les groupes levure-témoin et levure-levure étaient plus élevés que dans le groupe témoin-témoin. La supplémentation en levure a entraîné le développement de communautés microbiennes qui étaient phylogénétiquement plus homogènes et moins dispersées par rapport au microbiote des porcelets témoins. L'analyse du réseau de corrélation a révélé que la supplémentation en levure était associée à l'enrichissement des corrélations positives parmi les différents genres bactériens de l'écosystème de l'intestin grêle, ces corrélations suggérant un mécanisme par lequel la supplémentation en levure pourrait contribuer à la régulation de l'homéostasie intestinale et améliorer les performances des porcelets.

Effect of *Saccharomyces cerevisiae* 47 probiotic yeast on the health, microbiota and zootechnical performance of weaned piglets

Weaning is one of the most critical periods for piglets. Characterized by a risk of severe anorexia, increased susceptibility to digestive disorders and microbial infections, economic losses can be considerable. Various strategies exist to ensure that piglets start well and to help them survive this critical phase. One of them is to use probiotic yeast in piglet feed. Two trials were conducted, one on a farm of 500 sows with recurrent colibacillosis diarrhoea, the other on an experimental unit. In experiment 1 in two successive batches, 284 piglets of 28 days of age weighing 7.2 kg were separated into two identical groups, one receiving a control diet without yeast (T), the other a diet supplemented with Sc47 probiotic yeast (L). Weight, ADG, and FCR were measured throughout the post-weaning period, and samples and diarrhoea scores were taken. At 42 and 70 days of age, the performance of supplemented piglets had significantly improved on the three zootechnical criteria: weight (L: 24.61 kg vs T: 23.34 kg, $P = 0.06$), ADG (L: 0.42 vs T: 0.38, $P = 0.06$), and FCR (L: 1.66 vs T: 1.73, $P = 0.006$). In experiment 2, weaned piglets received different diets supplemented with yeast before and after weaning. Average weight and ADG of piglets in the yeast-control and yeast-yeast groups were higher than those in the control-control group. Yeast supplementation resulted in development of microbial communities that were phylogenetically more homogeneous and less dispersed than those of the microbiota of control piglets. Correlation network analysis revealed that yeast supplementation was associated with enrichment of positive correlations among different bacterial genera of the small intestine ecosystem, suggesting a mechanism by which yeast supplementation could help regulate intestinal homeostasis and improve piglet performance.

INTRODUCTION

Le sevrage est l'une des périodes la plus critique pour les porcelets, ces derniers étant soumis à divers stress qui peuvent engendrer des troubles digestifs d'intensité et de durée variable selon les facteurs qui y sont associés. Il est courant d'observer une période d'anorexie juste après le sevrage - causant des altérations structurelles de la muqueuse (Marion *et al.*, 2002) - un faible ingéré durant 2 à 3 jours (Brooks *et al.*, 2001, Bruininx *et al.*, 2002), un ralentissement du transit intestinal et une paresse gastrique. La flore digestive a ainsi toute latitude pour se multiplier et attaquer la muqueuse digestive.

De même que pour l'anorexie, le passage d'un aliment liquide à un aliment solide entraîne des modifications fonctionnelles au niveau de l'intestin (Lallès *et al.*, 2004), le métabolisme et l'assimilation des nutriments à ce niveau s'en trouvent modifiés (Le Dividich *et al.*, 2000). Tous ces événements accroissent la sensibilité des porcelets aux troubles digestifs, aux retards de la croissance et aux infections microbiennes, engendrant des diarrhées pouvant être sévères et dont l'impact économique peut être considérable (Campell *et al.*, 2013, Heo *et al.*, 2013).

En parallèle l'épithélium intestinal, en plus d'assurer la délicate fonction d'absorber les nutriments, est une des premières lignes de défense de l'organisme vis-à-vis des agressions potentielles de l'environnement. Cette barrière est à la fois physique (jonctions serrées et couche de mucus) et chimique (molécules antimicrobiennes synthétisées par les cellules épithéliales). Une bonne immunité intestinale est alors importante pour répondre activement et efficacement à l'invasion de bactéries entéropathogènes (Lallès *et al.*, 2004). Cependant au moment du sevrage, le microbiote est déstabilisé. Ne pouvant assurer complètement sa fonction de protection, les porcelets sont plus sujets aux désordres digestifs.

Aujourd'hui, différentes stratégies existent pour aider les porcelets à passer le cap du sevrage tout en assurant de bonnes performances zootechniques en post-sevrage. Les additifs alimentaires tels que les antibiotiques ont couramment été utilisés pour prévenir les retards en post-sevrage et assurer de bonnes performances. Cependant le développement des résistances bactériennes a conduit l'Union Européenne à bannir dès 2006 l'utilisation des antibiotiques à doses « facteurs de croissance ». Depuis 2012, différents plans visant à promouvoir l'usage responsable des antibiotiques ont été mis en place. (Ex : plan écoantibio 1 et 2 en France) et l'usage de l'oxyde de zinc à visée thérapeutique sera banni d'ici 2022. Parmi les alternatives possibles, les probiotiques sont utilisés pour soutenir la santé et les performances des animaux (Kenny *et al.*, 2011, Cheng *et al.*, 2014) et les levures ont été largement utilisées pour améliorer la santé intestinale tant chez l'homme (Czerucka *et al.*, 2007) que chez l'animal (Chaucheyras *et al.*, 2010). De nombreux travaux montrant l'effet positif de la levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la santé et les performances des truies (Jang *et al.*, 2013) et des porcelets (Lizardo *et al.*, 2008, Trevisi *et al.*, 2015). Leur efficacité a été démontrée notamment sur l'amélioration de l'immunité et la stimulation du système immunitaire (Jurgen *et al.*, 1997, Jang *et al.*, 2013), la réduction de l'inflammation (Zanello *et al.*, 2011), le développement d'une microflore bénéfique (Just *et al.*, 2002, données non publiées), la prévention de l'attachement des bactéries aux cellules de l'épithélium intestinal et les risques de diarrhées lors de challenge *Escherichia coli* (Trockova *et al.*, 2014, Posadas *et al.*, 2017, Zanello *et al.*, 2013, Trevisi *et al.*, 2015).

Néanmoins, malgré quelques mécanismes suggérés (Auclair, 2001), les modes d'action potentiels par lesquels la supplémentation en levures vivantes permet l'amélioration de la santé globale des porcelets sont encore mal compris. Par exemple, on comprend mal à quel point la supplémentation en levure peut influencer la composition du microbiote du tractus gastro-intestinal. Comme la maturité immunologique et digestive du porcelet est atteinte entre 7 et 10 semaines de vie (cette dernière étant fortement influencée par le type d'aliment), les stratégies nutritionnelles facilitant la prise alimentaire sous la mère et lors de la période de post-sevrage, sont importantes car elles favorisent le développement digestif, mais aussi immunitaire. Et comme le système immunitaire et la microflore intestinale évoluent ensemble chez le porcelet, une altération de l'un des deux altèrera leur développement respectif. L'objectif de ces deux études était d'une part, d'évaluer l'efficacité de la supplémentation en levures *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 sur les performances zootechniques et d'autre part, d'évaluer leurs effets sur le profil microbien du contenu caecal et colique de porcelets tout juste sevrés.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Dispositif expérimental

Deux expériences ont été réalisées pour évaluer les effets de la supplémentation en levures probiotiques (Actisaf® Sc 47, Phileo Lesaffre, France) sur la santé et les performances zootechniques de porcelets sevrés (expérience 1) et sur leur influence sur le développement du microbiote intestinal (expérience 2). Dans l'expérience 1, un élevage costarmoricaïn naisseur-engraisseur (500 truies Topigs 20 croisées P76 Choice Genetic) soumis à une pression colibacillaire importante en post-sevrage a été sélectionné. Deux bandes successives ont été suivies. Dans chacune des bandes, 19 truies ont été sélectionnées selon leur parité et 284 de leurs porcelets âgés de 4 semaines et de poids moyen de 7,2 kg ont été répartis en deux groupes homogènes (Levure (L) vs Témoin (T)) en fonction de leur poids et de leur sexe et logés dans une seule salle. Les porcelets de chaque groupe (n=142) ont été répartis dans huit cases identiques de 18 porcelets (sol caillebotis plastique, 3,95 m²/case), contenant un nourrisseur et un accès à l'eau. A 47 jours d'âge, les porcelets ont été déplacés dans une autre salle avec le même schéma expérimental, les cases ayant une superficie de 7,22 m². La température et l'humidité ont été mesurées quotidiennement. Les porcelets ont été pesés individuellement au sevrage, à 42 et 70 jours d'âge (fin de l'essai). La consommation alimentaire par case a été notée au 42^{ème} jour d'âge et en fin d'essai (70 jours d'âge). L'indice de consommation (IC) ainsi que le gain moyen quotidien (GMQ) ont été calculés. A 35, 42 et 56 jours d'âge, un score de diarrhée selon la grille de notation de Pedersen (Pedersen *et al.*) par case a été établi.

Dans l'expérience 2, 16 truies ont été sélectionnées et assignées au hasard à deux groupes expérimentaux (Levure (L) vs Témoin (T)). Huit porcelets de chaque truie, distribués également selon le sexe et le poids corporel (> 800 g), ont été choisis et bouclés individuellement. Les porcelets des huit truies assignées au groupe Levure (n=64) ont reçu une solution contenant de la levure par gavage tous les deux jours à partir du jour 1 jusqu'au sevrage, les porcelets du groupe Témoin (n=64) ont quant à eux reçu un volume égal d'eau stérile. A 26,6 jours d'âge (±0,7 j), les 128 porcelets ont été sevrés et assignés à quatre groupes de traitement : Témoin - Témoin, Témoin - Levure, Levure - Témoin et Levure - Levure. (Tableau 1).

Tableau 1 – Schéma expérimental de l'expérience 2

	Témoin		Levure	
Lactation	8 Truies		8 Truies	
	64 porcelets		64 porcelets	
Post-sevrage	Témoin	Levure	Témoin	Levure
	32 porcs	32 porcs	32 porcs	32 porcs

Le poids des porcelets a été mesuré chaque semaine dès la naissance jusqu'au sevrage afin de déterminer le GMQ pendant la durée d'allaitement.

A partir du sevrage et pendant toute la durée du post-sevrage, l'ingéré et le poids des porcelets ont été notés chaque semaine pour déterminer le GMQ et l'IC.

1.2. Régimes expérimentaux

Dans l'expérience 1, deux régimes alimentaires ont été formulés suivant les recommandations de 1^{er} et 2^{ème} âge et suivant les habitudes de l'élevage (Tableau 2). Le 1^{er} âge a été distribué pendant 14 jours, le 2^{ème} âge du 42^{ème} jour d'âge jusqu'à la fin de l'essai (J 70).

Les aliments du groupe Témoin ont été distribués tels quels tandis que ceux du groupe Levure ont été supplémentés en levures probiotiques *S. cerevisiae* 47 à raison de 1kg/t d'aliment. Tous les aliments sont distribués à volonté et sous forme de farine.

Tableau 2 – Caractéristiques nutritionnelles des aliments ⁽¹⁾

Expérience 1

	1 ^{er} âge (J28-J42)	2 ^{ème} âge (J42 -J70)
Energie nette (Mkal/kg)	3400	3500
Protéines brutes	19 %	18%
Cellulose brute	3,25 %	4,30 %
Matières grasses brutes	6,00 %	2,00 %
Cendres brutes	4,00 %	
Lysine	1,45 %	12,5 g/kg
Méthionine	0,55 %	4,3 g/kg
Calcium	0,57 %	6,5 g/kg
Humidité	10,75 %	

⁽¹⁾ Les levures *S. cerevisiae* 47 sont incorporées à raison de 1kg/t directement dans les aliments de base.

Dans l'expérience 2, pendant la période de lactation, les porcelets des truies assignées au groupe Levure ont reçu une solution contenant $2,5 \times 10^{10}$ CFU de levures probiotiques *S. cerevisiae* 47, les porcelets des truies assignées au groupe Témoin ne recevant qu'une solution d'eau stérile.

Pendant la période de post-sevrage, 32 porcelets du groupe Témoin ainsi que 32 porcelets du groupe Levure ont reçu un régime sans levure tandis que les 32 autres porcelets de chacun des deux groupes ont reçu un aliment supplémenté en levures probiotiques Sc 47 à 1kg /t (Tableau 1).

1.2. Prélèvements et analyses

Expérience 2 : à partir du sevrage, un échantillon de fèces a été prélevé une fois par semaine pour déterminer l'excrétion fécale de levures dans les différents groupes. Quatre semaines après le sevrage, deux porcelets par case soit 16 porcelets par groupe de traitement (n = 64) ont été euthanasiés de manière indolore afin de collecter et étudier l'écologie microbienne du contenu de l'intestin postérieur. L'ADN total a été extrait de 350 mg de contenu intestinal par une technique d'extraction au phénol. Une analyse séquentielle et une amplification par PCR ont été réalisées afin de mesurer la richesse et la diversité des espèces bactériennes présentes dans le caecum et le colon (indice de Shannon).

1.3. Analyses statistiques

Expérience 1 : La case a été utilisée comme unité statistique. Les données ont été analysées par un test de Tukey selon la procédure du logiciel Minitab. Les différences ont été considérées comme significatives lorsque $P < 0,05$.

Expérience 2 : La procédure univariée du logiciel SAS (SAS 9.3 ; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) a été utilisée. Un test de Tukey a été appliqué aux groupes ($P < 0,05$).

2. RESULTATS

2.1. Performances zootechniques

2.1.1. Poids corporel, GMQ et IC

Expérience 1 : sur les deux bandes consécutives, bien que les poids vifs des porcelets ne diffèrent pas le jour du sevrage ($P = 0,96$), le poids des porcelets du groupe Levure a tendance ($P = 0,06$) en fin de post-sevrage à être plus élevé que les porcelets du groupe Témoin (Figure1).

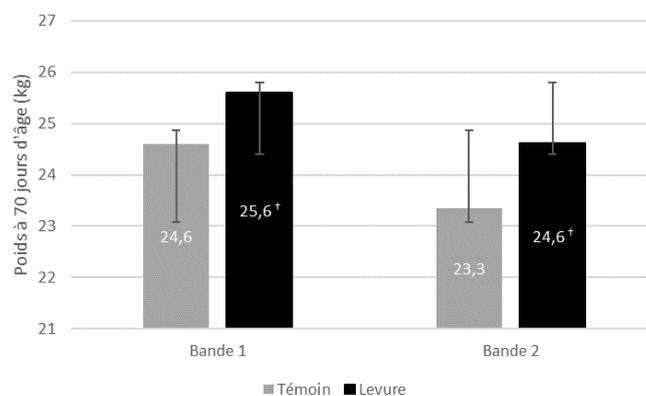


Figure 1 – Effet de la levure probiotique *S. cerevisiae* 47 sur le poids des porcelets en fin de post-sevrage (70 jours d'âge).

Notes : [†] signifie une tendance entre les traitements $P = 0,06$

Concernant le GMQ, les porcelets du groupe Levure ont un GMQ global significativement plus élevé ($P < 0,05$) dans la 1^{ère} bande et une tendance est observée pour la 2^{ème} bande comparativement aux porcelets du groupe Témoin ($P = 0,06$).

L'IC, quelles que soient la période et la bande considérées, est significativement amélioré pour le groupe Levure par rapport au groupe Témoin ($P < 0,002$) (Figure 2).

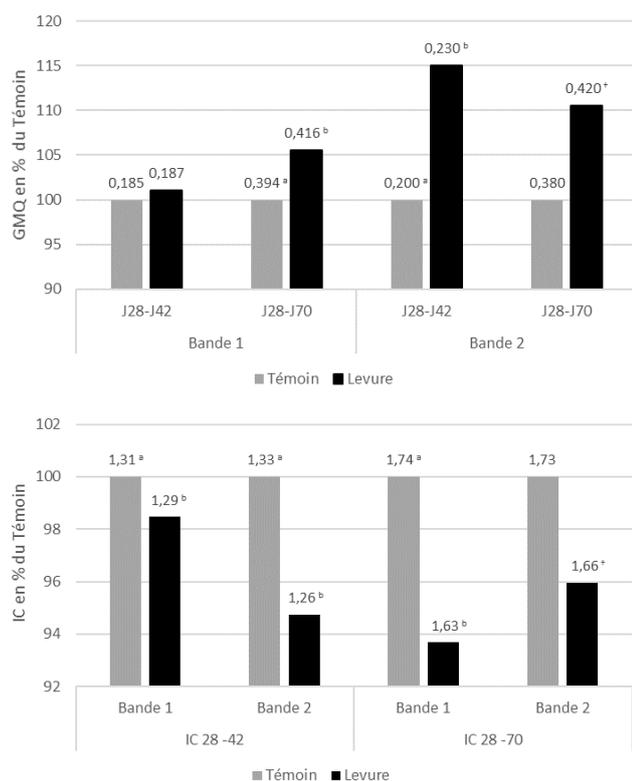


Figure 2 – Effet de la levure probiotique *S. cerevisiae* 47 sur le GMQ et l'IC des porcelets durant la période de post-sevrage

Notes : ^{a,b} signifie des différences significatives entre les traitements $P < 0,05$; ^{*} signifie une tendance entre les traitements $P = 0,06$

Nous observons les mêmes résultats dans l'expérience 2 : les porcelets du groupe Levure - Levure ont tendance ($P = 0,07$) à être plus lourds en fin de post-sevrage que ceux du groupe Témoin - Témoin et Levure - Témoin. De même, les porcelets du groupe Levure - Levure ont un GMQ significativement plus élevé ($P = 0,03$) que ceux du groupe Témoin - Témoin et Levure - Témoin.

2.1.2. Répartition des poids à 70 jours d'âge

Dans l'expérience 1, une analyse de la répartition des porcelets par gamme de poids en fin de post-sevrage montre qu'après 42 jours d'essai, 57,8 % des porcelets du groupe Levure pèsent plus de 25kg contre 47,5% pour les porcelets du groupe Témoin. (Figure 3).

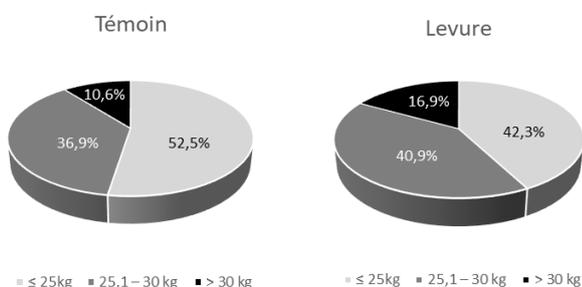


Figure 3 – Effet de la levure probiotique *S. cerevisiae* 47 sur la répartition des poids des porcelets en fin de post-sevrage

2.1.3. Excrétion et score de diarrhée :

Dans l'expérience 1 et sur les deux bandes, aucune différence significative sur les scores de diarrhée n'a été observée entre les deux groupes. Dans l'expérience 2, les porcelets des groupes Témoin et Levure ont excrété de la levure dans les fèces après sevrage. Cependant l'excrétion est nettement plus élevée ($P <$

0,0001) dans les groupes supplémentés avec les levures après le sevrage (Témoin-Levure et Levure - Levure) par rapport au groupe Témoin -Témoin. Les mêmes résultats ont été observés pour le nombre de colonies de levures isolées dans le contenu caecal.

2.2. Analyse de la diversité du microbiote (Expérience 2)

2.2.1. Impact de la levure probiotique sur la diversité du microbiote de l'intestin postérieur

Dans le contenu du microbiote caecal et colique, les échantillons appartenant aux groupes supplémentés en levures après sevrage (Levure - Levure et Témoin - Levure) sont regroupés séparément de ceux appartenant aux groupes Témoin - Témoin et Levure - Témoin ($P < 0,001$).

La permutation des dispersions des distances pondérées UniFrac a révélé que le contenu caecal des porcelets ayant reçu de la levure en post-sevrage (Levure - Levure et Témoin - Levure) hébergeait des communautés microbiennes phylogénétiquement plus homogènes et donc moins dispersées par rapport à celles appartenant aux groupes Témoin - Témoin et Levure - Témoin ($P = 0,005$). Aucune différence significative n'a été observée concernant la dispersion des communautés microbiennes du colon ($P = 0,159$).

2.2.2. Impact de la levure probiotique sur la composition du microbiote de l'intestin postérieur

La classification des taxons a permis l'identification de 13 et 15 phyla bactériens dans le microbiote des contenus caecal et colique, respectivement. Firmicutes, suivi des Bacteroidetes, Actinobactéries, Protéobactéries et Spirochetes constituait le phylum le plus dominant (0,1 % de la communauté).

Au niveau du phylum, la proportion d'Actinobactéries était significativement plus élevée ($P < 0,05$) dans le microbiote caecal et colique des porcelets supplémentés en levures avant et après sevrage que chez les porcelets du groupe Témoin-Témoin ou Levure - Témoin. La proportion des Coriobacteriaceae (famille des actinobactéries), ainsi que celle des Firmicutes (famille des Halanaerobiaceae) étaient significativement plus élevées ($P < 0,05$) dans le microbiote caecal et colique des porcelets du groupe Levure-Levure que dans celui des porcelets du groupe Témoin - Témoin.

2.2.3. Profil de co-occurrence du microbiote de l'intestin postérieur

La comparaison des modèles de corrélation des genres bactériens (corrélations positives ou co-occurrences) a permis de mieux comprendre les effets de la levure probiotique sur la structure globale des communautés microbiennes. Au niveau du microbiote caecal du groupe Levure - Levure, l'apport de levures dans l'aliment a diminué le nombre total de corrélations négatives entre les différents genres bactériens et par conséquent, comparé au groupe Témoin - Témoin, a augmenté le ratio de points positifs par rapport aux points négatifs (2,31 vs 0,99 respectivement) (Figure 4).

Par ailleurs dans le microbiote colique, le ratio entre les ponts positifs et les ponts négatifs est resté stable dans les groupes Levure-Levure (1,13) vs Témoin - Témoin (1,18).

3. DISCUSSION

La première semaine après sevrage est caractérisée par une atrophie de la muqueuse et des villosités intestinales. Limiter cette atrophie est favorable à une meilleure capacité de l'animal à digérer les aliments et à absorber les nutriments. La physiologie absorbative et sécrétoire (sécrétion d'ions et

d'électrolytes par la muqueuse intestinale) ainsi que les propriétés de barrière de l'intestin sont également perturbées. Cette capacité sécrétoire est transitoirement exacerbée par des substances sécrétagogues comme les toxines bactériennes, ce qui favorise les diarrhées. En parallèle, le tube digestif stérile à la naissance, est rapidement colonisé par des bactéries dont la composition va évoluer et se stabiliser. Or, le sevrage conduit à une diminution transitoire de la diversité et de la stabilité de la flore (Konstantinov *et al*, 2004a), ce qui affecte la résistance à la colonisation par les bactéries. En plus de ses fonctions de défense, le microbiote a un rôle important dans la restauration de l'intégrité intestinale et dans le développement du système immunitaire. L'effet des fibres fermentescibles et des prébiotiques est connu, notamment sur la stimulation de la prolifération de la flore intestinale et les fermentations. L'objectif de ces deux expériences était de mesurer les effets de la levure probiotique *S. cerevisiae* 47 sur les performances zootechniques et le microbiote de porcelets sevrés.

Dans l'expérience 1, l'élevage a été sélectionné notamment car il subit des diarrhées colibacillaires récurrentes impactant ses performances. Pour contrôler la pression pathogène, l'éleveur a habituellement un aliment 1^{er} âge sécurisé et l'usage d'un antimicrobien dans l'eau de boisson est souvent nécessaire durant cette période. Dans cet essai, bien que la 1^{ère} bande ait dû être traitée à l'aide d'un antibiotique dans l'eau de boisson, les résultats significatifs sur les paramètres zootechniques et sur les deux bandes consécutives démontrent les effets bénéfiques de la levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 sur la santé des animaux et sur son action pour assurer l'efficacité du traitement antibiotique. Les résultats peuvent s'expliquer d'une manière générale par son effet modulateur sur le microbiote mais également plus spécifiquement par son effet sur l'inflammation induite par les toxines bactériennes (Zanello *et al.*, 2011b), et sur sa capacité à fixer les bactéries par effet de « binding », ces bactéries n'étant plus capables de se fixer sur les récepteurs spécifiques des entérocytes (Posadas *et al*, 2016). Dans la deuxième expérience, l'intérêt de la supplémentation en levure sur les performances de croissance et le profil du microbiote de l'intestin postérieur de porcelets sevrés a été observé. L'effet de la levure sur la composition du microbiote de l'intestin postérieur était plus prononcé lorsque les levures étaient administrées après le sevrage, les communautés microbiennes les plus distinctes appartenant aux porcelets ayant reçu une supplémentation en levure avant et après sevrage.

Le microbiote de ce groupe de porcelets était phylogénétiquement plus homogène que celui des porcelets Témoin, montrant un rapport accru de corrélations positives par rapport aux corrélations négatives. Les effets positifs de la supplémentation en levure peuvent en partie s'expliquer par la capacité de la levure à modifier la composition du microbiote, permettant de réguler l'homéostasie intestinale au cours des premiers stades de vie et ainsi atténuer les effets négatifs du stress associé au sevrage et de ses troubles métaboliques (ex : les diarrhées). Nous avons également observé que les résultats zootechniques sont meilleurs lorsque les porcelets reçoivent une supplémentation en levure avant et après sevrage. Enfin, la supplémentation en levure et en particulier durant le post-sevrage a modifié la composition et la structure du microbiote caecal et du contenu colique : les porcelets supplémentés avec la levure *S. cerevisiae* 47 avaient un ratio corrélations positives/corrélations négatives amélioré, permettant le développement de communautés microbiennes plus homogènes. Un microbiote homogène est favorable pour l'hôte car les bactéries de la microflore coexistent en s'entraîdant. Ainsi lorsque le nombre d'une espèce bactérienne augmente, les autres espèces augmentent également. Elles créent un microbiote plus résistant aux changements. Les risques de dysbiose diminuent fortement, notamment lorsque des conditions défavorables surviennent dans l'intestin (stress ou traitements antibiotiques). Ces résultats sont obtenus en supprimant les compétitions entre les bactéries du genre *Spirochète* et les *protéobactéries* mais aussi en favorisant les relations positives entre les *actinobactéries* et le genre *Firmicutes*. Cet enrichissement peut être en partie expliqué par la présence d'espèces microbiennes bénéficiant de l'activité métabolique des autres (interactions mutualistes). Ces communautés peuvent ainsi utiliser efficacement les ressources en nutriments disponibles au sein de l'écosystème et empêcher la colonisation par des espèces opportunistes ou pathogènes. Ces deux expériences ont ainsi montré l'intérêt de l'apport des levures probiotiques dans l'aliment sur les performances des porcelets notamment en limitant les réactions inflammatoires induites par les bactéries pathogènes mais également en favorisant la mise en place d'un microbiote plus homogène et plus riche en bactéries bénéfiques. Ces dernières ayant des relations positives sans compétition assurent la mise en place d'un environnement plus stable dans l'intestin postérieur le rendant plus résistant aux pathogènes et réduisant le risque de diarrhées.

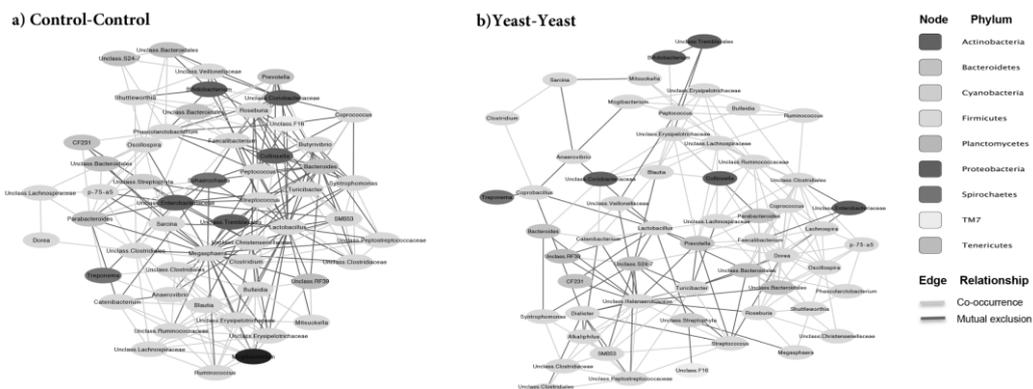


Figure 4 – Influence de la supplémentation en levure sur la structure et le type de co-occurrence du microbiote caecal

CONCLUSION

Le sevrage est la période la plus cruciale pour le porcelet car il passe d'une alimentation liquide et lactée à une alimentation solide à base de céréales associées à des anomalies au niveau de la morphologie intestinale ainsi qu'une diminution des performances de croissance. De nombreuses publications suggèrent que les stratégies alimentaires notamment l'usage des probiotiques améliorent la santé intestinale et immunologique des porcelets. Ces études terrains ont permis de mesurer l'effet de l'apport de levures probiotiques *Saccharomyces cerevisiae* 47 sur l'amélioration des performances des porcelets sevrés soumis à une forte pression pathogène. Les résultats observés confirment ceux d'autres études précédemment réalisées sur l'influence bénéfique de l'apport de levures probiotiques sur les performances de croissance des animaux. De même, les

résultats de l'expérience 2 ont montré que l'apport de levures vivantes pendant la période précédant le sevrage améliorerait les performances des animaux après le sevrage et que cet effet se maintient de manière significative lorsque l'on continue la supplémentation en levure après le sevrage. Il est intéressant de noter que plusieurs changements dans la composition du microbiote de l'intestin postérieur ont été identifiés, associés à l'amélioration des paramètres de performance des porcelets supplémentés en levure. En particulier, la supplémentation en levure a eu tendance à modifier la structure du microbiote de l'intestin postérieur pour lui donner un profil phylogénétiquement plus homogène, enrichi par une interaction positive entre les membres potentiellement bénéfiques des phyla Actinobacteria et Firmicutes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Auclair E., 2001. In Feed manufacturing in the Mediterranean region. Improving safety: From feed to food, 54, 45 - 53.
- Bontempo V., Di Giancamillo A., Savoini G., Dell'Orto V., Domeneghini C., 2006. Live yeast dietary supplementation acts upon intestinal morpho-functional aspects and growth in weanling piglets. Anim. Feed Sci. Technol., 129, 224-236.
- Brooks P.H., Moran C.A., Beal J.D., Demeckova V., Campbell A., 2001. Liquid feeding for the young piglet. In: Varley MA, Wiseman J, Eds. The Weaner Pig. Nutrition and Management. Wallingford: CAB international, 151-78.
- Bruininx EM, Schellingerhout AB, Lensen EG., 2002. Associations between individual food intake characteristics and indicators of gut physiology of group-housed weanling pigs differing in genotype. Anim. Sci., 75, 103-13.
- Campbell J. M., Crenshaw J. D., Polo J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. J. Anim. Sci. Biotechnol., 4, 19.
- Chaucheyras-Durand F., Durand H., 2010. Probiotics in animal nutrition and health. Benef. Microbes 1, 3-9.
- Cheng G. Y. et al., 2014. Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry? Front. Microbiol. 5.
- Czerucka D., Piche T., Rampal P., 2017. Yeast as probiotics - *Saccharomyces boulardii*. Aliment. Pharmacol. Ther., 26, 767-778.
- F Heo J. M. et al., 2013. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhea without using in-feed antimicrobial compounds. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 97, 207-237.
- Jang Y.D., Kang K.W., Piao L., Jeong T.S., Auclair E., Jonvel S., D'Inca R., Kim Y.Y., 2013. Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. Livestock Science, 152, 167-173.
- Jurgens M. H., Rikabi R. A., and Zimmerman D. R., 1997. The effect of dietary active dry yeast supplement on performance of sows during gestation-lactation and their pigs. J. Anim. Sci., 75, 593-597.
- Just et al. 2002. Comparative trial on suckling piglets microbiota. Données internes. INRA, France.
- Kenny M., Smidt H., Mengheri E., Miller B., 2011. Probiotics - do they have a role in the pig industry? Animal. 5, 462-470.
- Konstantinov S.R., Favier C.F., Zhu WeiYun, Williams B.A., Kluss J., Souffrant W.B., de Vos W.M., Akkermans A.D.L., Smidt H., 2004. Microbial diversity studies of the porcine gastrointestinal ecosystem during weaning transition. Anim. Res., 53, 317-324.
- Lalles J.P., Konstantinov S., Rothkotter H.J., 2004. Bases physiologiques, microbiologiques et immunitaires des troubles digestifs du sevrage chez le porcelet : données récentes dans le contexte de la suppression des antibiotiques additifs alimentaires. Journées Rech. Porcine, 36, 139-150.
- Le Dividich J., Seve B., 2000. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustment in the piglet. Dom. Anim. Endocrinol., 19, 63-74.
- Lizardo R, Nofrarias M., Guinvarch J., Justin A. L., Auclair E., Brufau J., 2008. Influence de l'incorporation de levures *Saccharomyces cerevisiae* ou de leurs parois dans l'aliment sur la digestion et les performances zootechniques des porcelets en post-sevrage. Journées Rech. Porcine, 40, 183-189.
- Marion J, Biernat M, Thomas F, et al., 2002. Small intestine growth and morphometry in piglets weaned at 7 days of age. Effect of level of energy intake. Reprod Nutr Dev., 42, 339-54.
- Posadas G. A., Broadway P.R., Thornton J. A., Carroll J. A., Lawrence A., Corley J.R., Thompson A., Donaldson J. R., 2017. Yeast Pro- and Paraprobiotics have the capability to bind pathogenic bacteria associated with Animal Disease. Anim. Sci. 1, 60-68.
- Pedersen D., Ken S., Nils T., 2011. Intra- and Inter-Observer Agreement When Using a Descriptive Classification Scale for Clinical Assessment of Faecal Consistency in Growing Pigs. J. Prevetmed., 98-4, 288 - 91.
- Trckova M. et al., 2014. The effects of live yeast *Saccharomyces cerevisiae* on postweaning diarrhea, immune response, and growth performance in weaned piglets. J. Anim. Sci., 92, 767-774.
- Trevisi P., Colombo M., Priori D., Fontanesi L., Galimberti G., Calò G., Motta V., Latorre R., Fanelli F., Mezzullo M., Pagotto U., Gherpelli Y., D'Inca R., Bosi P., 2015. Comparison of three patterns of feed supplementation with live *Saccharomyces cerevisiae* yeast on postweaning diarrhea, health status, and blood metabolic profile of susceptible weaning pigs orally challenged with *Escherichia coli* F4ac. J. Anim. Sci., 93, 2225-2233.
- Zanello G., Meurens F., Serreau D., Chevalyere C., Melo S., Berri M., D'Inca R., Auclair E., Salmon H., 2013. Effects of dietary yeast strains on immunoglobulin in colostrum and milk of sows. Vet. Immunol. Immunopathol., 152, 20-27.
- Zanello G., Meurens F., Berri M., Chevalyere C., Melo S., Auclair E., Salmon H., 2011b. *Saccharomyces cerevisiae* decreases inflammatory responses induced by F4+ enterotoxigenic *Escherichia coli* in porcine intestinal epithelial cells. Vet. Immunol. Immunopathol., 141, 133-138.