

Effet de l'augmentation des apports alimentaires en méthionine, thréonine et tryptophane au moment du sevrage

**sur les performances et l'état de santé de porcelets
élevés dans des conditions d'élevage très dégradées**

***Didier Gaudré (IFIP)
Florian Besnard
(stagiaire ESA Angers)***

3^e trimestre 2021

Résumé

Des travaux récents indiquent que la méthionine, la thréonine et le tryptophane peuvent influencer favorablement la santé digestive, la réponse à l'inflammation et le statut anti-oxydant des porcelets au sevrage. Dans cette optique, l'enrichissement en méthionine, thréonine et tryptophane de l'aliment de sevrage est testé dans cet essai mené à partir de porcelets élevés en conditions très dégradées d'élevage. Des apports supplémentaires d'acides aminés de synthèse permettent de parvenir à des ratios méthionine/lysine, méthionine + cystine/lysine, thréonine/lysine et tryptophane/lysine supérieurs au profil protéique idéal habituellement recommandé à ce stade physiologique : respectivement, 53 et 38 %, 75 et 60 %, 70 et 65 %, 22 et 19 %. Les porcelets (n=240) sont introduits au sevrage dans une salle non nettoyée et dont le lisier des animaux de la bande précédente est toujours présent dans les préfosse. La période de distribution de ce supplément d'acides aminés est limitée aux deux premières semaines post-sevrage correspondant à la période dite de 1^{er} âge. A l'issue de cette période, tous les porcs reçoivent le même aliment pendant la période de 2^{ème} âge (de 2 à 5 ½ semaines après sevrage). Les performances zootechniques des porcs sont mesurées. En complément, une évaluation de l'état corporel des animaux est réalisée (notation des griffures et des plaies), des dosages sanguins sont effectués afin d'évaluer le statut oxydant et d'apprécier l'état inflammatoire. Enfin le score fécal et le taux de matière sèche des fèces sont également enregistrés.

Les résultats de l'essai ne permettent de conclure quant à l'effet favorable d'une supplémentation accrue en ces acides aminés au moment du sevrage. L'essai est marqué par un épisode de diarrhées particulièrement intense à partir de 9 jours de post-sevrage. Les traitements antibiotiques étant volontairement réduits pour ce type d'essai (conditions dégradées d'élevage), la colistine n'a été distribuée qu'à partir de 14 jours. Dans l'intervalle, 28 porcs sont morts avec des signes de diarrhée soit près de 16 % de l'effectif du régime test et 8 % de celui du régime témoin. Aucune différence significative des performances zootechniques en faveur du régime test n'est observée dans cet essai, et sur l'ensemble de la période de post-sevrage, l'indice de consommation est significativement plus faible avec le régime témoin. Cependant, la teneur en haptoglobine plasmatique mesurée après 7 jours de post-sevrage est significativement moins élevée avec le régime test soit juste avant l'épisode de diarrhées et l'on observe que l'écart numérique de performances est en faveur de ce même régime à ce stade, mais sans que ces différences soient détectées comme significatives. Pour une raison indéterminée, les porcs du régime test sont davantage affectés par l'épisode de diarrhée sur le plan de la mortalité. Leur efficacité alimentaire tend aussi à diminuer à partir de 7 jours de post-sevrage. De même, la teneur en matières sèches des fèces après 14 jours de post-sevrage est numériquement plus faible, avec le régime test ; la différence étant cependant non significative sur le plan statistique.

Il semble que l'effet de la nature des régimes alimentaires soit largement atténué lorsque les conditions sanitaires se dégradent fortement. Ce qui milite avant tout pour le respect des consignes de biosécurité et de précautions sanitaires.

1-Contexte de l'étude

Il existe 20 acides aminés, dont certains sont dits indispensables ou essentiels. Ces derniers doivent être apportés par l'alimentation car ils ne sont pas ou peu synthétisés par l'organisme du porc. Les acides aminés non essentiels sont ceux dont les besoins nécessaires à l'animal sont faibles et/ou peuvent être entièrement complétés par l'utilisation d'autres acides aminés.

Parmi les acides aminés indispensables, le plus limitant pour le porc est la lysine, suivie de la thréonine, de la méthionine et du tryptophane auxquels on ajoute plus récemment la valine, l'isoleucine, la leucine, l'histidine, la phénylalanine et la tyrosine (Gloaguen et al., 2013). Les acides aminés essentiels doivent être apportés suivant un équilibre qui reflète principalement la composition des protéines déposées par l'animal. En tenant compte de cet équilibre et du rendement d'utilisation de chaque acide aminé, un profil de protéine idéale peut être établi qui correspond à l'apport nécessaire pour la couverture des différents besoins de l'animal. Le moindre déficit en un acide aminé essentiel réduit les performances et entraîne le gaspillage des autres acides aminés, de fait apportés alors en excès. La protéine idéale s'exprime sous la forme de ratios entre acides aminés relativement à la lysine (considérée comme l'acide aminé le plus limitant). La formulation de l'aliment respecte ce principe.

Les recommandations d'apport en acides aminés proposées par l'IFIP sont de respecter les ratios minima suivants (exprimés en g d'acides aminés digestibles par g de lysine digestible) : respectivement 30, 60, 65, 19 et 70 % pour la méthionine, l'ensemble méthionine + cystine, thréonine, tryptophane et valine. La teneur en lysine digestible de l'aliment est exprimée en g par MJ d'énergie nette (EN) et varie selon le poids du porc depuis son sevrage (1,25 à 1,30 g/MJ entre 6 et 12 kg, 1,15 à 1,20 g/MJ entre 12 et 25 kg). La teneur en EN de l'aliment entre 6 et 12 kg est comprise entre 10 et 11 MJ/kg. Entre 12 et 25 kg, cette teneur peut varier entre 9,5 et 10,5 MJ/kg.

La couverture des apports en acides aminés essentiels est réalisée par l'incorporation de matières premières, en particulier celles riches en protéines comme les tourteaux ainsi que d'acides aminés de synthèse. Lors de la formulation, des contraintes de teneurs minimales et maximales en protéines sont également prises en compte. En plus de l'intérêt pour la santé digestive du porcelet, la diminution de la teneur en protéines permet de diminuer les rejets azotés. Mais une teneur minimale en protéines est en général imposée afin d'être sûr de satisfaire tous les besoins en acides aminés (notion de marge de sécurité appliquée lors de la formulation des aliments).

En matière de réduction de l'usage des antibiotiques en élevage de porc au moment du sevrage, le rôle de la composition de l'aliment est largement mentionné. Même si le respect des bonnes pratiques en élevage et l'application des principes de biosécurité semblent prioritaires sur la composition de l'aliment (Gaudré et al., 2017), il reste utile de poursuivre la recherche des meilleures techniques disponibles sur le plan nutritionnel, permettant de limiter la fréquence et l'incidence des diarrhées à l'issue du sevrage qui restent la principale raison de la prescription des antibiotiques. En effet, la recherche dans ce domaine continue d'apparaître comme nécessaire,

sachant que l'additif alimentaire parfait permettant de remplacer les antibiotiques n'existe pas encore (Thacker, 2013).

De récents travaux indiquent que les apports en méthionine, thréonine et tryptophane seraient à augmenter au moment du sevrage en raison de leur influence sur la santé digestive, la réponse à l'inflammation et le statut anti-oxydant. Une synthèse de ces travaux est proposée ci-dessous.

La méthionine et la cystine sont des acides aminés soufrés. La cystine peut être synthétisée par l'organisme par la transformation de la sérine, la méthionine apportant l'atome de soufre (Courtney-Martin et Pencharz, 2016). La méthionine quant à elle ne peut être synthétisée à partir de cystine. La formulation de l'aliment est réalisée avec des contraintes de teneurs minimales en méthionine, d'une part, et en méthionine et cystine, d'autre part (Roth et Kirchgessner, 1989). La cystine est un précurseur de la formation du glutathion peroxydase qui permet la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau. D'autre part, selon Rakhshandeh et al. (2014), la stimulation du système immunitaire augmente le besoin en cystine. La méthionine en tant que précurseur de la cystine augmente la concentration en glutathion peroxydase (Lebret et al., 2018). L'effet positif de la méthionine a été montré chez le poulet de chair (Wen et al., 2016) à partir d'une supplémentation supérieure aux recommandations, la concentration en antioxydant dans le plasma augmentant. Sur les porcs en croissance, une supplémentation de 400 µg/kg en méthionine (comportant trois acides aminés de méthionine) améliore la concentration totale en antioxydant et la réponse immunitaire mais une supplémentation de 800 µg/kg provoque des peroxydations lipidiques (Tian et al., 2014). Enfin, la méthionine participe à la formation de l'épithélium du tube digestif (Chen et al., 2014). Il faut préciser que pour les aliments 1er âge distribués au moment du sevrage des animaux, le ratio entre teneurs en méthionine digestible et lysine digestible atteint généralement de l'ordre 35 %, soit une valeur plus élevée que le ratio de 30 % minimum recommandé. Ceci s'explique par la pauvreté en cystine des matières premières utilisées pour ce type d'aliment. Par conséquent, afin de satisfaire le ratio de 60 % de méthionine + cystine, la part de méthionine digestible dans l'aliment est augmentée au-delà du seuil minimal recommandé.

La thréonine est l'acide aminé majoritaire dans la formation du mucus : il représente 16 % des acides aminés totaux dans le mucus (Adeola et al., 2016). Au moment du sevrage, le renouvellement du tissu digestif est intense, puisque l'on assiste à une érosion rapide des villosités intestinales et à leur remplacement dans les jours qui suivent le sevrage (Cera et al., 1988). Les travaux de Ball (2002) et de Bertelo et al. (1998) confirment que les besoins en thréonine de la muqueuse intestinale et des mucines sont élevés. C'est également l'acide aminé majoritaire dans la formation des entérocytes. La thréonine est impliquée d'une part, dans la production de mucus du tractus digestif (Le Floc'h et al., 2014), et d'autre part, dans la mise en place de la réponse immunitaire (formation des immunoglobulines) (Defa et al., 1999). Ainsi, la supplémentation en thréonine augmente la production d'immunoglobulines G chez les porcelets ayant été exposés à une maladie (Ren et al., 2014). Il est donc nécessaire en quantité importante quotidiennement (Le Floc'h et al., 2018). Cependant, il est à noter que la supplémentation en thréonine ne doit pas être excessive car un ratio

thréonine/lysine trop élevé, entraîne dans certaines conditions une baisse de la consommation d'aliment et une baisse de la vitesse de croissance (Sève et al., 1999).

Le profil optimal en acides aminés de l'aliment évolue selon les conditions d'élevage (Le Floc'h et al., 2004). L'activation du système immunitaire engendre une augmentation des besoins en acides aminés (van der Meer et al., 2016). Il est ainsi recommandé d'augmenter la teneur en tryptophane des aliments lorsque les conditions d'élevage se dégradent compte tenu de la concentration plus élevée de cet acide aminé dans les protéines de l'inflammation (Melchior et al., 2002). Les protéines de l'inflammation sont synthétisées avec une part plus importante de tryptophane que les autres protéines corporelles. Un rapport supérieur à 21% entre le tryptophane et la lysine digestible semble améliorer l'efficacité alimentaire pour les porcelets élevés en condition dégradées (Le Floc'h et al., 2007). Les porcelets ayant une alimentation pauvre en tryptophane ont une réponse inflammatoire plus prononcée (Le Floc'h et Seve, 2007). Le tryptophane participe à la formation de l'épithélium intestinal (Koopmans et al., 2006; Le Floc'h et al., 2018). Sur un autre plan, il est utile de savoir que le tryptophane participe à la synthèse de la sérotonine et de la mélatonine qui interviennent dans la régulation de l'appétit. Un apport insuffisant en tryptophane, provoque une chute de la consommation journalière d'aliment (Henry et al., 1995; Le Floc'h et Sève, 2007). L'apport nécessaire en tryptophane dépend directement des autres acides aminés neutres. Les acides aminés neutres rentrent en compétition avec le tryptophane pour le transport du tryptophane jusqu'au cerveau (Fernstrom et al., 1973). Un excès d'acides aminés neutres entraîne donc un défaut de la production de sérotonine (Henry, 1993).

2-Objectif de l'expérimentation

Compte tenu de ce contexte, l'étude propose d'évaluer l'intérêt d'un accroissement des apports en méthionine, thréonine et tryptophane sur les performances et l'état de santé de porcelets dans la période après sevrage (aliment 1^{er} âge distribué dans les deux semaines qui suivent le sevrage). Le régime témoin respecte les recommandations habituelles d'apport en ces aminés établies pour optimiser la croissance et l'efficacité alimentaire, soit relativement à la lysine digestible, 30 % de méthionine digestible, 60 % de méthionine + cystine digestibles, 65 % de thréonine digestible et 19 % de tryptophane digestible.

Tableau 1 : Principales caractéristiques nutritionnelles des aliments 1^{er} âge

Régime¹	Témoin	Test
<i>Matières azotées totales, %</i>	18,5	18,7
<i>Amidon, %</i>	36,7	36,5
<i>Cellulose brute, %</i>	2,4	2,4
<i>Lactose, %</i>	7,0	7,0
<i>Energie nette (EN), MJ/kg</i>	10,7	10,7
<i>Lysine digestible, g/MJ EN</i>	1,21	1,21
<i>Teneur en acides aminés digestibles, en % de la lysine digestible</i>		
<i>Méthionine</i>	38	53
<i>Méthionine + Cystine</i>	60	75
<i>Thréonine</i>	65	70
<i>Tryptophane</i>	19	22

¹ Aliments composés de 36 % de blé, 15 % de maïs, 10 % d'orge, 10 % de tourteau de soja, 6 % de graine de soja extrudée, 12 % de poudre de lactosérum, 2 % de protéines de pomme de terre et 2 % de concentrés de protéines de soja. Les apports supplémentaires d'acides aminés proviennent de L-méthionine, L-thréonine et L-tryptophane.

Les teneurs retenues pour l'aliment test sont établies sur les bases suivantes. Le ratio de 22 % entre tryptophane et lysine est basé sur les conclusions de la méta-analyse de Simongiovanni et al. (2013). Le ratio de 70 % entre thréonine et lysine tient compte de la possibilité d'une limitation de l'ingéré qui dans certaines conditions peut se produire en lien avec un excès de thréonine (Sève et al., 1999). Entre le ratio appliqué dans l'aliment témoin et celui appliqué dans l'aliment test, la teneur en thréonine digestible est augmentée de 8 %. Le ratio de 75 % entre méthionine + cystine et lysine est basé sur les données de Kim et al. (2012), qui observent une maximisation du dépôt protéique à ce ratio lorsque des porcs sont soumis à un challenge infectieux. L'augmentation de ce ratio est obtenue par l'apport de méthionine ; le ratio entre méthionine et lysine atteint alors 53 %. Les caractéristiques nutritionnelles des aliments 1^{er} âge sont présentées dans le tableau 1.

A l'issue de la période de 1^{er} âge, tous les animaux reçoivent le même aliment 2^{ème} âge jusqu'à la fin du post-sevrage (9 ½ semaines d'âge).

Les porcs (n=240) sont introduits dans des salles de post-sevrage en conditions très dégradées d'élevage (salles non vidées du lisier de la bande précédente, non nettoyées et non désinfectées) de façon à se situer dans des conditions très à risque sur le plan sanitaire.

Afin de ne pas interférer avec la nature des régimes, aucun antibiotique n'est distribué. Des cases de 10 porcelets sont constituées au sevrage en tenant compte du sexe, du poids et de l'origine maternelle des animaux.

Les données de performances zootechniques sont complétées par des mesures réalisées à l'issue de la principale période critique de post-sevrage (soit 2 semaines après sevrage). Des notations d'état corporel permettant d'apprécier visuellement l'état de santé (présence de plaies, de boiteries, arthrites, griffures...) sont effectuées sur tous les animaux.

Dans chaque case sont sélectionnés, deux porcs mâles castrés et deux femelles, dont les poids sont les plus proches du poids moyen de la case à la mise en lots (au sevrage). Après 7 et 14 jours de post-sevrage, l'état des fèces de ces porcs est évalué. En premier lieu, une notation de score fécal (1 : moulé et segmenté, 2 : moulé, 3 : bouse, 4 : diarrhée, 5 : diarrhée liquide) est réalisée et permet de déterminer la proportion de porcs atteints de diarrhée (notes 4 et 5). Au cours de cette opération, les fèces de ces animaux sont prélevées individuellement afin de déterminer leur taux de matière sèche, ce qui permet de mesurer de façon plus objective les différences entre régimes. Au total, les fèces de 96 porcs sont collectées à 7 puis à 14 jours de post-sevrage.

Des prélèvements sanguins sont effectués après 14 jours de post-sevrage sur la moitié des porcs préalablement sélectionnés pour la caractérisation des fèces (deux porcs par case et 48 porcs au total). Les critères sanguins recherchés comprennent la détermination de la formule sanguine, le dosage de protéines de l'inflammation (haptoglobine) et d'un critère de statut du stress oxydatif (défense anti oxydante et espèces réactives de l'oxygène).

Au sevrage, vers 28 jours d'âge, les porcelets sont mis en lots selon leur poids et leur sexe. Le 1^{er} essai est constitué de 12 blocs de 2 cases contenant chacune 12 porcelets, répartis entre 2 salles. Dans chaque bloc, chaque case est affectée à l'un des deux régimes (une case témoin et une case test).

3-Matériels et méthodes

3.1-Conditions et logement des animaux

Les salles utilisées pour le premier essai ne sont pas lavées et par conséquent, ni désinfectées, ni vidées du lisier collecté lors de la bande précédente. Les porcs sont logés en conditions proches de la densité recommandée (0,30 m² par porc). La ventilation des salles est gérée de façon identique, avec pour logique de rechercher une température ambiante proche de 27 à 28°C les premiers jours de post-sevrage, pour parvenir progressivement en fin de post-sevrage à une température ambiante de 24°C.

3.2-Alimentation

En maternité, les porcelets reçoivent l'aliment 1^{er} âge témoin dans des augettes à partir de 10 jours d'âge. Il est recherché une distribution libérale de l'aliment la dernière semaine de lactation, en mettant en place des augettes disposant d'une réserve d'aliment.

L'aliment est distribué à volonté sous forme de granulés dans des nourrisseurs. La longueur d'auge des nourrisseurs permet de respecter un accès de 6 cm par porc présent représentant une longueur supérieure à celle recommandée (5 cm par porc). L'eau est mise à disposition à volonté à l'aide d'un abreuvoir. Seul l'aliment 1^{er} âge est différent, l'aliment 2^{ème} âge est le même pour les deux régimes comparés. Toutes les formules d'aliments sont définies par l'IFIP.

Les apports en acides aminés se font sur le principe de la protéine idéale en se basant sur des ratios relatifs à la lysine. Pour le régime témoin, l'aliment 1^{er} âge

présente les ratios suivants : 38 % de méthionine, 60 % de méthionine + cystine, 65 % de thréonine et 19 % de tryptophane. Pour le régime test, l'aliment 1^{er} âge présente les ratios suivants : 53 % de méthionine, 75 % de méthionine + cystine, 70 % de thréonine et 22 % de tryptophane (Tableau). Les aliments apportent la même quantité d'énergie nette, de lactose, de lysine digestible, de cellulose brute et de matière grasse. Les formulations d'aliments sont détaillées en annexes.

La distribution de l'aliment 2^{ème} âge débute deux semaines après sevrage sans transition avec le 1^{er} âge. Il est formulé par l'IFIP et correspond à l'aliment classique distribué en 2^{ème} partie de sevrage, c'est-à-dire entre 2 et 5 ½ semaines de post-sevrage.

3.3-Traitements médicamenteux

Les porcelets ne font pas l'objet de traitement sanitaire préventif. Les diarrhées ne sont pas traitées dans la mesure du possible, les interventions thérapeutiques sont limitées au maximum. Si des traitements sont effectués, ceux-ci sont notés de même que les poids, les dates et les causes probables de mortalité des porcelets au cours des essais.

3.4-Mesures

3.4.1-Suivi du poids et de la consommation d'aliment

Tous les porcelets sont pesés individuellement après 1 et 2 semaines en post-sevrage et à la fin de la période vers 5 ½ semaines. Avant la pesée des animaux, les quantités d'aliment restant dans les nourrisseurs sont aspirées et pesées, les animaux sont mis à jeun à 16h la veille de la pesée. La quantité d'aliment distribuée entre deux pesées correspond à la somme des quantités ajoutées au cours de la période déduite des quantités aspirées la veille de la pesée. Elle est calculée par case et par période.

3.4.2-Suivi des caractéristiques des aliments

Un échantillon de chaque aliment 1^{er} âge et de l'aliment 2^{ème} âge est prélevé à réception puis chaque semaine de distribution directement dans les nourrisseurs. Ces derniers échantillons sont rassemblés en fin d'essai et servent à constituer l'échantillon représentatif de ce que les porcs ont reçu. Les échantillons sont analysés en laboratoire. Les teneurs en acides aminés sont mesurées pour vérifier leur conformité par rapport aux teneurs attendues.

3.4.3-Collecte d'échantillons de fèces et de sang

Une notation de l'état corporel de tous les porcelets est effectuée une semaine après le sevrage. Des échantillons de fèces sont collectés sur 4 porcelets par case pour mesurer leur teneur en matière sèche (MS), une notation de score fécal est également réalisée. Au total, les fèces de 96 porcelets sont prélevées après 1 et 2 semaines de post-sevrage. Les porcs faisant l'objet de ces prélèvements et notations sont choisis en fonction de leur poids et de leur sexe ; 2 porcs femelles et 2 porcs mâles dont le poids est le plus proche de la moyenne du poids des animaux de la case au moment du sevrage.

Haptoglobine

L'haptoglobine est une protéine qui est un marqueur important de l'inflammation chez le porc. Sa concentration sanguine peut doubler ou tripler selon l'importance de l'inflammation (Segalés et al., 2004). C'est une protéine majoritairement produite par les hépatocytes. Son rôle est de se fixer à l'hémoglobine libre du sang libérée à la suite de la destruction des érythrocytes. En effet, l'hémolyse (après la durée de vie de 120 jours des globules rouges, ou d'une lyse induite) libère de l'hémoglobine qui va fusionner avec l'haptoglobine pour ensuite être transportée jusqu'au foie. Le complexe hémoglobine-haptoglobine est ensuite métabolisé au niveau du système réticulo-endothélial hépatique qui en recycle une partie (Humblet, 2005). Néanmoins cette protéine n'est pas une protéine de transport, c'est une protéine qui protège contre la toxicité de l'hémoglobine libre. Ainsi, si le stock d'haptoglobine n'est pas suffisant, l'hémoglobine libre peut engendrer des lésions vasculaires par ses propriétés oxydantes (Humblet, 2005). On observe une augmentation significative de l'haptoglobine plasmatique 6 jours après la période du sevrage (Robert et al., 2009). De plus, il existe une corrélation positive entre la concentration d'haptoglobine et les peroxydes plasmatiques en relation avec le stress oxydatif (Robert et al., 2009).

Stress oxydatif

Le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre composés antioxydants et composés oxydants en faveur de ces derniers. L'oxydation correspond à une perte d'un ou plusieurs électrons d'une molécule au profit d'une molécule dite oxydante. Deux catégories de molécules sont recherchées ; les formes réactives de l'oxygène (FRO), aussi appelées espèces réactives de l'oxygène (ERO), et les molécules antioxydantes (Migdal et Serres, 2011).

Pour neutraliser les formes réactives de l'oxygène, un système de molécules antioxydantes (vitamines C et E, catécholamines, etc...) et enzymatiques (superoxyde dismutase, catalase, peroxydase, glutathion) est présent pour protéger les tissus (Gagné, 2019). Néanmoins, certains mécanismes libèrent en grande quantité ces molécules oxydantes. Par exemple, lors de la réponse immunitaire, certains composés peroxydes sont libérés. D'autre part, certaines cellules immunitaires libèrent par exocytose le contenu de leurs granules cytotoxiques, composé de protéases, à l'intérieur des cellules cibles. Il se déclenche alors une multitude de réactions biochimiques à l'intérieur de la cellule, qui conduisent à son apoptose. Une grande quantité de formes réactives de l'oxygène est ensuite libérée hors de la cellule lors de l'apoptose et pèse sur le statut oxydant par l'augmentation des ERO (Martinvalet et Thiery, 2008).

Une prise de sang est effectuée une semaine après sevrage sur la moitié des porcs retenus pour les observations de fèces (soit 1 porc femelle et 1 porc mâle par case). Les critères sanguins mesurés sont la formule sanguine (nombre de leucocytes dans les différentes catégories), les caractéristiques des érythrocytes (nombre, volume globulaire moyen, hématocrite et hémoglobine), la teneur en haptoglobine, la capacité antioxydante totale et les métabolites dérivés des formes réactives de l'oxygène. L'intérêt du dosage de ces derniers critères sanguins est commenté ci-dessus.

3.4.4-Calculs

La vitesse de croissance de chaque porc (GMQ) est calculée par différence entre le poids vif en fin de période et le poids vif au début, divisée par la durée de la période. Elle est calculée par porc mais la moyenne des individus de la case est retenue pour la comparaison des régimes, puisque la case constitue l'unité expérimentale sur le plan statistique.

Le nombre de jours de présence des porcs dans une case pour une période donnée est calculé. Si un porc meurt avant la fin de la période, le nombre de jours de présence de cet individu est pris en compte. La consommation moyenne journalière (CMJ) correspond à la quantité d'aliment distribué divisée par le nombre de jours de présence.

Pour chaque case, le gain de poids vif de chaque porc entre deux pesées est additionné. En cas de mortalité, le gain de poids de l'animal mort est pris en compte dans le gain de poids de la case. Si le porc meurt avant la fin de la période d'élevage étudiée, le GMQ correspondant n'est pas pris en compte pour le calcul du GMQ moyen de la case pour cette période. Bien évidemment, le GMQ de ce porc obtenu au cours des périodes antérieures est utilisée. En cas de perte de poids d'un porc au cours d'une période d'élevage, le GMQ négatif obtenu est pris en compte pour déterminer le GMQ moyen de la case lors de la période considérée. La perte de poids est additionnée au gain de poids des autres porcs de la même case. La consommation d'aliment de la case au cours de la période est divisée par le gain de poids pour calculer l'indice de consommation (IC).

3.5-Traitements statistiques

La case constitue l'unité expérimentale pour toutes les données mesurées. Les résultats associés aux performances zootechniques (poids, GMQ, CMJ, IC) sont comparés par analyse de variance (procédure GLM, SAS) en prenant en compte les effets du régime et du bloc. Les autres mesures sont comparées par analyse non paramétrique (procédure NPAR1WAY, SAS).

4-Résultats

Préambule

Un épisode de diarrhées sévères est intervenu une semaine après sevrage. Dans une logique de réduction des interventions thérapeutiques, aucun traitement n'a été effectué à l'apparition des premières mortalités. Cependant la situation s'est dégradée et un traitement à base de colistine distribuée par l'eau de boisson a été mis en place de 13 à 18 jours de post-sevrage. Au bilan, la mortalité est importante pour cet essai ; 28 porcs sont morts avec des signes de diarrhées. Un dernier porc est mort en fin d'essai (environ 3 semaines après l'épisode de diarrhée) avec des symptômes différents (boiteries). Les 28 porcs sont morts entre 9 et 14 jours de post-sevrage. Il y a deux fois plus de porcs morts dans le régime test (19 vs 9). D'autre part, un certain nombre de porcs présentent un GMQ négatif dans les 2 premières semaines de post-sevrage. Après 7 jours de post-sevrage, 7 porcs du régime témoin et 4 du régime test sont dans cette situation mais aucun d'entre eux ne fait partie des morts. Entre 7 et 14 jours, ils sont 10 pour le régime témoin et 25 pour le régime test à présenter un GMQ négatif. 15 des 19 porcs morts avec diarrhées du régime test font partie des porcs avec un QMG négatif entre 7 et 14 jours post-sevrage et la proportion est de 8 pour 9 porcs dans le régime témoin. Bien évidemment, ce taux de mortalité élevé et les pertes de poids des animaux compliquent l'analyse des effets des régimes.

Les performances zootechniques moyennes obtenues dans les 2 régimes sont présentées dans le tableau 2. Dans les 7 premiers jours après sevrage, il n'est pas observé d'effet significatif du régime sur les performances zootechniques malgré des écarts numériques légèrement en faveur du régime test. Entre 7 et 14 jours de post-sevrage, une tendance est observée en faveur du régime témoin pour l'IC. Les autres mesures ne diffèrent pas de façon significative entre les régimes. Sur l'ensemble des 14 premiers jours, aucune différence significative n'est observée, malgré un écart numérique en faveur du régime témoin pour l'IC. Dans la seconde partie de l'essai correspondant à la phase de 2ème âge, pendant laquelle les animaux reçoivent le même aliment, une tendance de l'effet du régime est constatée toujours en faveur du régime témoin. Les autres performances zootechniques ne sont pas affectées de façon significative par le régime. Au bilan sur l'ensemble du post-sevrage, l'IC est significativement plus faible pour le régime témoin et il n'y a pas de différence significative pour les autres critères.

Tableau 2 : Effets du régime sur les performances zootechniques en conditions très dégradées d'élevage

Régime	Témoin	Test	Effets ¹	ETR ¹
Poids au sevrage, kg	8,87	8,88	B**	0,01
Période de 0 à 7 jours après sevrage				
Poids à 7 jours, kg	9,51	9,70	B**	0,28
CMJ ² , g/j	138	154		33
GMQ ² , g/j	92	117		40
IC ² , kg/kg	1,59	1,42		0,46
Période de 7 à 14 jours après sevrage				
Poids à 14 jours, kg	11,00	11,07	B**	0,34
CMJ, g/j	312	320	B*	36
GMQ, g/j	212	201		58
IC, kg/kg	1,59	1,90	B*, R ^t	0,35
Période de 0 à 14 jours après sevrage				
CMJ, g/j	225	235		29
GMQ, g/j	152	157	B*	24
IC, kg/kg	1,59	1,73		0,20
Période de 14 à la fin du PS				
Poids fin de sevrage, kg	28,42	28,45	B**	1,16
CMJ, g/j	981	1025		87
GMQ, g/j	666	666		41
IC, kg/kg	1,48	1,54	R ^t	0,07
Totalité de la période de post-sevrage				
CMJ, g/j	702	718	B*	49
GMQ, g/j	489	489		29
IC, kg/kg	1,48	1,56	R*	0,06

¹ A partir de l'analyse de variance prenant en compte les effets du régime (R) et du bloc (B) : ETR : écart-type résiduel, ** effet très significatif (P-value<0,01), *effet significatif (0,01<P-value<0,05), tendance t (0,05<p-value<0,1

² GMQ = gain moyen quotidien en g/j ; IC=indice de consommation en kg/kg ; CMJ= consommation moyenne journalière en g/j

L'effet des régimes sur les valeurs obtenues de différents paramètres sanguins est présenté dans le tableau 3. Le test statistique ne permet pas de mettre en évidence de différence significative liée au régime à l'exception de la teneur en haptoglobine. Le nombre de leucocytes et leurs caractéristiques, le nombre d'érythrocytes et leurs caractéristiques, le nombre de thrombocytes ne diffèrent pas ainsi que la capacité oxydante totale et les métabolites dérivés des formes réactives de l'oxygène.

Tableau 3 : Comparaison de l'effet du régime sur la composition du sang 7 jours après sevrage en conditions très dégradées d'élevage

Régime	Témoin	Test	Statistiques ¹
Leucocytes, milliers de cellules/mm ³	14,8	14,1	
Lymphocytes, milliers de cellules/mm ³	8,1	7,0	
Monocytes, milliers de cellules/mm ³	1,2	1,2	
Polynucléaires neutrophiles, milliers de cellules/m ³	5,3	5,6	
Erythrocytes, millions de cellules/mm ³	7,1	6,8	
Volume globulaire, µm ³	54,5	55,5	
Hématocrite, %	38,6	37,9	
Hémoglobine, g/dl	11,2	10,9	
Thrombocytes, milliers de cellules/mm ³	570	549	
Capacité antioxydante totale, µmol/l	2543	2470	
Métabolites dérivés des formes réactives de l'oxygène	908	870	
Haptoglobine, mg/ml	1,95	1,27	R*

¹ A partir d'un test non paramétrique sur l'effet du régime. Les données présentées correspondent aux moyennes arithmétiques obtenues par régime.

Le tableau 4 présente l'effet des régimes sur le score fécal, la teneur en matière sèche des fèces, les griffures et les plaies. Aucun effet significatif du régime n'est observé. Un écart numérique est observé pour les matières sèches des fèces à 14 jours de post-sevrage mais le risque de première espèce (19 %) est éloigné du seuil de signification habituellement retenu (5 %).

Tableau 4 : Comparaison de l'effet du régime sur le score fécal, la teneur en matières sèches des fèces, les griffures et les plaies

Régime	Témoin	Test	Statistiques ¹
Score fécal à 7 jours	2,5	2,6	
Matières sèches des fèces à 7 jours	25,0	25,2	
Score fécal à 14 jours	3,1	3,4	
Matières sèches des fèces à 14 jours	19,8	16,5	
Griffures	14,6	15,0	
Plaies	4,2	3,8	

¹ A partir d'un test non paramétrique sur l'effet du régime. Les données présentées correspondent aux moyennes arithmétiques obtenues par régime.

5-Discussion

Les résultats de cet essai ne permettent pas de conclure à un effet favorable d'une augmentation des apports alimentaires en méthionine, thréonine et tryptophane de l'aliment distribué pendant 14 jours après sevrage chez le porcelet logé dans des conditions très dégradées d'élevage. L'indice de consommation est significativement en faveur du régime témoin sur la totalité de la période de post-sevrage et l'écart

numérique observé dans les 2 semaines de post-sevrage, correspondant à la phase de distribution des acides aminés supplémentaires, n'est pas favorable au régime test.

Après 7 jours de post-sevrage, les performances zootechniques, les caractéristiques sanguines et l'état de fèces ne sont pas modifiés de façon significative par le régime, à l'exception de la teneur en haptoglobine plasmatique. Celle-ci est réduite pour les animaux du régime test en accord avec les résultats de la bibliographie citée précédemment. De 7 à 14 jours de post-sevrage, l'indice de consommation tend à se détériorer pour les porcs du régime test. A 14 jours de post-sevrage, le taux de matières sèches des fèces est numériquement inférieur pour le régime test. Ces constats suggèrent que les animaux du régime test aient été davantage affectés par l'épisode diarrhéique que les animaux témoins. La différence importante du taux de mortalité milite également dans ce sens. Il est difficile d'imaginer que ce soit un effet du régime. Il est vraisemblable que ce soit simplement le fait du hasard.

Nous n'avons pas souhaité renouveler l'essai dans les mêmes conditions. Celui-ci a à nouveau été effectué, mais dans des conditions normales d'élevage et aucune différence significative des performances entre régimes n'a été constatée (données non publiées). Ce résultat est conforme aux recommandations habituelles en termes de protéine idéale, à partir du moment où les conditions d'élevage ne sont pas dégradées.

6-Conclusion

Les résultats de cet essai ne permettent pas de conclure à un effet favorable d'un apport supplémentaire en méthionine, thréonine et tryptophane dans l'aliment de sevrage en conditions très dégradées d'élevage. Même si le coût de cette incorporation est limité aujourd'hui compte tenu du tarif attractif des acides aminés de synthèse, il est difficile de promouvoir cette pratique à partir de cette étude.

Cependant, il peut être observé que l'effet des régimes est sans doute relativement limité lorsque les conditions sanitaires se dégradent véritablement comme cela a été le cas dans cet essai. En conséquence, il nous semble prioritaire d'investir dans la biosécurité et la protection sanitaire des élevages.

Références bibliographiques

Adeola, O., Xue, P.C., Cowieson, A.J., Ajuwon, K.M., 2016. Basal endogenous losses of amino acids in protein nutrition research for swine and poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 221, 274–283.

Cera K R, D C Mahan, R F Cross, G A Reinhart, R E Whitmoyer, 1988. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J Anim Sci.* Feb;66(2):574-84.

Courtney-Martin, G., Pencharz, P.B., 2016. Sulfur Amino Acids Metabolism From Protein Synthesis to Glutathione, in: *The Molecular Nutrition of Amino Acids and Proteins*. Elsevier, pp. 265–286.

- Defa, L., Changting, X., Shiyan, Q., Jinhui, Z., Johnson, E.W., Thacker, P.A., 1999. Effects of dietary threonine on performance, plasma parameters and immune function of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 78, 179–188.
- Fernstrom, J.D., Larin, F., Wurtman, R.J., 1973. Correlation between brain tryptophan and plasma neutral amino acid levels following food consumption in rats. *Life Sci.* 13, 517–524.
- Gagné, F., 2019. Titre du chapitre, Chapter 6. In: *Oxidative Stress*, Ed. Elsevier Enhanced Reader.
- Gaudré, D., 2017. La réduction de la teneur en protéines des aliments de sevrage en tant qu'alternative à l'usage des antibiotiques. *Les Cahiers de l'IFIP Vol 4 - N° 1*
- Gloaguen, M., Le Floc'h, N., van Milgen, J., 2013. Couverture des besoins en acides aminés chez le porcelet alimenté avec des régimes à basse teneur en protéines *INRA Prod. Anim.*, 26 (3), 277-288.
- Henry, Y., 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Prod. Anim.* 6, 199–212.
- Henry, Y., Conseil, G., Lemarié, M., Amet, A., Bénard, Y., Rissel, J., Jaffrennou, L., Alix, M., Renoux, H., Surel, P., Mézière, N., Colléaux, Y., 1995. Influence d'un déficit ou d'un déséquilibre alimentaire en acides aminés pendant une phase initiale de la croissance sur les performances du porc en finition. *Ann. Zootech.* 44, 3–28.
- Humblet, M.-F., Godeau J.-M. 2005. Titre *Ann. Méd. Vét.* 2005, 149, 20-33
- Kim J.C., Mullan B.P., Frey B., Payne H.G., Pluske J.R., 2012. Whole body protein deposition and plasma amino acid profile in growing and/or finishing pigs fed increasing levels of sulfur amino acid with or without *Escherichia coli* lipopolysaccharide challenge. *J. Anim.Sci.*, 90:362-365.
- Koopmans, S.J., Guzik, A.C., van der Meulen, J., Dekker, R., Kogut, J., Kerr, B.J., Southern, L.L., 2006. Effects of supplemental L-tryptophan on serotonin, cortisol, intestinal integrity, and behavior in weanling piglets. *J. Anim. Sci.* 84, 963–971.
- Lebret, B., Batonon-Alavo, D.I., Perruchot, M.-H., Mercier, Y., Gondret, F., 2018. Improving pork quality traits by a short-term dietary hydroxy methionine supplementation at levels above growth requirements in finisher pigs. *Meat Sci.* 145, 230–237.
- Le Floc'h, N., Melchior, D., Obled, C., 2004. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation. *Livest. Prod. Sci.* 87, 37–45.
- Le Floc'h, N., Melchior, D., Le Bellego, L., Matte, J.J., Sève, B., 2007. Le statut sanitaire affecte-t-il le besoin en tryptophane pour la croissance des porcelets après le sevrage ? *Journées Rech. Porcine*, 39, 125-132.
- Le Floc'h, N., Seve, B., 2007. Biological roles of tryptophan and its metabolism: Potential implications for pig feeding. *Livest. Sci.* 112, 23–32.

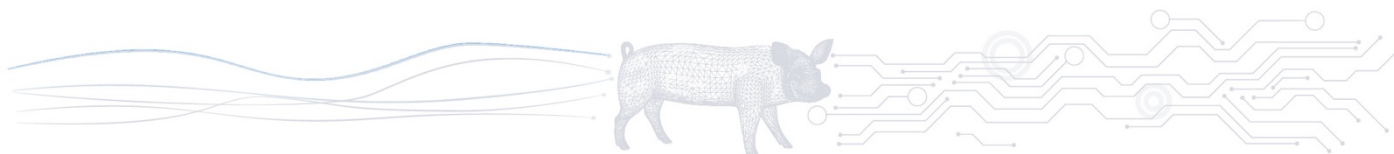
- Le Floc'h, N., Deblanc, C., Cariolet, R., Gautier-Bouchardon, A., Merlot, E., Simon, G., 2014. Effect of Feed Restriction on Performance and Postprandial Nutrient Metabolism in Pigs Co-Infected with *Mycoplasma hyopneumoniae* and Swine Influenza Virus. *PloS One* 9, e104605.
- Le Floc'h, N., Wessels, A., Corrent, E., Wu, G., Bosi, P., 2018. The relevance of functional amino acids to support the health of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 245, 104–116.
- Martinvalet, Denis ; Thiery, Jérôme ; Comment les granzymes tuent leurs cibles, *Med Sci (Paris)*, 2008, Vol. 24, N° 11; p. 901-903.
- Melchior, D., Sève, B., Floc'H, N.L., 2002. Conséquences d'une inflammation chronique sur les concentrations plasmatiques d'acides aminés chez le porcelet : Hypothèses sur l'implication du tryptophane dans la réponse immunitaire. *Journées de la Recherche Porcine*, 34, 341-347.
- Migdal, C., Serres, M., 2011. Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *médecine/sciences* 27, 405–412.
- Rakhshandeh A., K Htoo J., Karrow N., Miller S.P., de Lange C., 2014. Impact of immune system stimulation on the ileal nutrient digestibility and utilisation of methionine plus cysteine intake for whole-body protein deposition in growing pigs. *British Journal of Nutrition*, 14, 111(1):101-10.
- Ren, M., Liu, X.T., Wang, X., Zhang, G.J., Qiao, S.Y., Zeng, X.F., 2014. Increased levels of standardized ileal digestible threonine attenuate intestinal damage and immune responses in *Escherichia coli* K88+ challenged weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 195, 67–75.
- Robert, F., Bebin, K., Garrau, J.-M., Gueriot, J.-F., Foret, R., Brack, M., Garrel, C., 2009. Evaluation et correction du stress oxydatif du porcelet en post-sevrage 2009. *Journées Recherche Porcine*, 41, 173-178.
- Roth, F.X., Kirchgessner, M., 1989. Influence of the methionine: cysteine relationship in the feed on the performance of growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 61, 265–274.
- Segalés, J., Piñeiro, C., Lampreave, F., Nofrarías, M., Mateu, E., Calsamiglia, M., Andrés, M., Morales, J., Piñeiro, M., Domingo, M., 2004. Haptoglobin and pig-major acute protein are increased in pigs with post weaning multisystemic wasting syndrome (PMWS). *Vet. Res.* 35, 275–282.
- Sève B., Sawadogo M., Schaeffer V., Dufour-Etienne F., Bercovici D., Van Cauwenberghe S., 1999. Interaction entre les apports alimentaires de thréonine et de protéines sur le rendement d'utilisation des acides aminés pour la croissance chez le porcelet au sevrage. *Journées de la Recherche Porcine.* 31, 267-274.
- Simongiovanni, A., Corrent, E., Floc'H, N.L., van Milgen, J., 2013. Le besoin en tryptophane des porcs charcutiers. *Journées Recherche Porcine*, 45, 163-164.

Thacker Philip A., 2013. Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* volume 4, Article number: 35

Tian, Y.-Y., Zhang, L.-Y., Dong, B., Cao, J., Xue, J.-X., Gong, L.-M., 2014. Effects of Chromium Methionine Supplementation on Growth Performance, Serum Metabolites, Endocrine Parameters, Antioxidant Status, and Immune Traits in Growing Pigs. *Biol. Trace Elem. Res.* 162, 134–141.

Van der Meer, Y., Lammers, A., Jansman, A.J.M., Rijnen, M.M.J.A., Hendriks, W.H., Gerrits, W.J.J., 2016. Performance of pigs kept under different sanitary conditions affected by protein intake and amino acid supplementation. *J. Anim. Sci.* 94, 4704–4719.

Wen, C., Jiang, X.Y., Ding, L.R., Wang, T., Zhou, Y.M., 2016. Effects of dietary methionine on growth performance, meat quality and oxidative status of breast muscle in fast- and slow-growing broilers. *Poult. Sci.* pew432.



Partenaire de vos innovations



@IFIP_inst_porc



IFIP - Institut du porc



IFIP - WebTV

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la convention 2017-452 du plan Ecoantibio 2, grâce au soutien financier du ministère en charge de l'agriculture.

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*