

consommation d'aliment pendant l'engraissement, Quiniou *et al.* (2010) ont modélisé l'évolution du besoin en lysine digestible iléale standardisée (LYS_{DIS}) selon le sexe et considèrent que celui des mâles entiers est supérieur de 0,1 g/MJ EN en moyenne à celui des porcs castrés chirurgicalement tout au long de la phase de croissance-finition. Cet écart peut être un peu plus élevé pendant le début de l'engraissement en relation avec l'évolution du profil de besoin de chaque type sexuel, ainsi l'exemple illustré dans la figure 2 (obtenu avec des aliments formulés à 9,7 MJ EN/kg) conduit à recommander une formulation à 0,94 vs. 0,81 g/MJ EN en période de croissance (soit +16%) et 0,81 vs. 0,71 g/MJ EN en période de finition (soit +14%). Dans une autre étude, Maribo *et al.* (2015a) ont montré qu'un apport supplémentaire de 17 à 25 % d'AA (lysine, méthionine, thréonine et tryptophane), par rapport à ce qui est recommandé par les normes danoises, permet d'améliorer le GMQ et l'IC des mâles entiers.

Aymerich *et al.* (2020) ont réalisé un essai en mode dose-réponse en période de finition avec des mâles entiers, et cette fois des femelles, où ils ont comparé cinq niveaux d'apport en LYS_{DIS} . Ils concluent à un besoin plus élevé de 17 % pour des mâles entiers que pour les femelles (0,91 vs. 0,75 g LYS_{DIS} /MJ EN), valeur qui rejoint celle que la même équipe obtient par méta-analyse sur l'ensemble de l'engraissement (Aymerich *et al.*, 2021). Cet écart est plus important que celui rapporté entre ces deux sexes par Quiniou *et al.* (2010). A partir de ces différents résultats, il apparaît que l'écart de besoins peut être plus ou moins marqué entre les sexes, en relation avec le niveau de performance observé, considéré en moyenne ou de façon dynamique.

Moore *et al.* (2013) émettent l'hypothèse que les mâles entiers utiliseraient plus efficacement les AA disponibles pour la croissance que les femelles. Entre 50 et 100 kg de poids vif, avec un aliment formulé à 0,50 g LYS_{DIS} /MJ d'énergie digestible (ndlr : estimé à 0,7 g/MJ EN à partir de la formule et des valeurs des tables INRA-AFZ-CIRAD, www.feedtables.com), pour une même quantité de LYS_{DIS} ingérée par les porcs des deux sexes et un GMQ proche de la valeur maximale observée pendant l'essai, les mâles entiers affichaient un GMQ 13,2 % plus élevé et une efficacité alimentaire 10,4 % plus élevée que les femelles.

Ces dernières années, les préoccupations sociétales croissantes au sujet de l'impact environnemental de l'élevage ont renforcé l'intérêt porté depuis déjà longtemps, pour des raisons technico-économiques, à l'amélioration de l'efficacité alimentaire et ont conduit à concevoir des aliments à teneur réduite en protéines, pour une teneur en AA essentiels adaptée aux besoins des animaux, afin de réduire les rejets d'azote et les émissions d'ammoniac. De nombreux travaux ont permis de démontrer l'efficacité de ce type d'aliments lorsqu'ils sont formulés dans le système énergie nette (EN) en tenant compte de la digestibilité iléale standardisée des AA (Quiniou et Boutry, 2016). Toutefois, l'arrêt de la castration remet en question les niveaux nutritionnels retenus en routine pour alimenter les mâles castrés chirurgicalement et les femelles. En effet, quand la diminution de la teneur en protéines est associée à une réduction des teneurs en AA essentiels (lysine, méthionine, thréonine et tryptophane) jusqu'à un niveau qui reste compatible avec la couverture des besoins des mâles castrés chirurgicalement, Ruiz-Ascacibar *et al.* (2019) observent un moindre dépôt de protéines et une croissance dégradée chez les mâles entiers recevant des régimes à teneurs abaissées en protéines et AA. Ce résultat est accord avec ceux de Quiniou et Chevillon (2015) qui démontraient une dégradation des

performances de croissance (GMQ et IC) chez les mâles entiers quand la baisse de la teneur en protéines était associée à des apports en AA inférieurs aux besoins. Ainsi, avec des aliments croissance-finition conçus pour mâles castrés et donc limitants en AA pour les mâles entiers, ces auteurs observaient une détérioration de la teneur en muscle des pièces (TMP) de la carcasse des mâles entiers dont les besoins sont plus élevés (Figure 2). L'effet négatif est aggravé si le profil en AA essentiels de l'aliment est déséquilibré.

D'après Martinez-Ramirez *et al.* (2008), un apport carencé en AA essentiels sur une courte période (par exemple, en période de croissance) ne pénaliserait pas le dépôt protéique sur l'ensemble de l'engraissement, compte tenu de la croissance compensatoire que pourraient développer les mâles entiers issus de types génétiques à potentiel de croissance musculaire élevé pendant la période de réalimentation (période de finition).

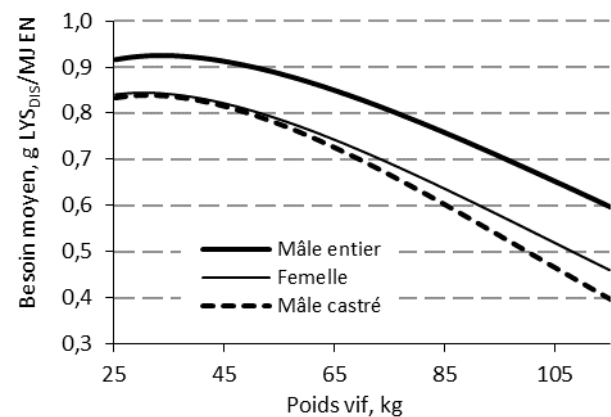


Figure 2 - Estimation des besoins en lysine digestible iléale standardisée (LYS_{dis}) par MJ d'énergie nette (EN) chez le porc en fonction du poids et du sexe (d'après Quiniou *et al.*, 2010)

5. BESOINS SPÉCIFIQUES DU MALE IMMUNO-CASTRÉ

La première vaccination contre le facteur de libération des gonadotrophines est généralement administrée en début d'engraissement, vers 12 semaines d'âge, et la seconde 4 à 6 semaines avant l'abattage. Entre l'entrée en engraissement et V2, la physiologie des mâles entiers et des porcs immuno-castrés est similaire, d'où des performances de croissance et de composition du gain de poids comparables (Batorek *et al.*, 2012 ; Dunshea *et al.*, 2013). Par conséquent, sur cette période les recommandations nutritionnelles émises pour valoriser le potentiel de croissance et de dépôt protéique des mâles entiers s'appliquent aussi aux mâles immuno-castrés.

Dans les 2 semaines qui suivent la deuxième injection, la production de testostérone chute en réponse au manque d'hormone lutéinisante (Dunshea *et al.*, 2001 ; Brunius *et al.*, 2011). Par la suite, le métabolisme des porcs immuno-castrés se rapproche progressivement de celui des porcs castrés chirurgicalement, et entraîne une augmentation de l'appétit, une réduction de la croissance et une moins bonne valorisation des aliments (Lealiifano *et al.*, 2011 ; Dunshea *et al.*, 2013) que chez les mâles entiers. Dès lors que les porcs immuno-castrés déposent davantage de lipides après V2, notamment en raison de l'augmentation de leur consommation d'aliment, le rapport protéines/lipides dans le gain de poids diminue. Cela conduit à une décroissance progressive des besoins en LYS_{DIS} par MJ d'EN,

jusqu'à 30 % en-deçà de ceux des mâles entiers environ 14 jours après V2 (Dunshea *et al.*, 2013 ; Huber *et al.*, 2013 ; Moore *et al.*, 2016).

L'utilisation d'un aliment de fin de finition (Figure 3), moins riche en AA que celui distribué aux mâles entiers sur la même période mais plus riche que celui distribué aux mâles castrés chirurgicalement (Elsbernd *et al.*, 2015), permettrait d'éviter le gaspillage de nutriments et d'améliorer d'autant l'efficacité des porcs immuno-castrés. Les modifications du métabolisme n'étant pas instantanées, l'utilisation de l'aliment de finition pour mâles entiers pourrait se poursuivre pendant la semaine qui suit V2 (Dunshea *et al.*, 2013).

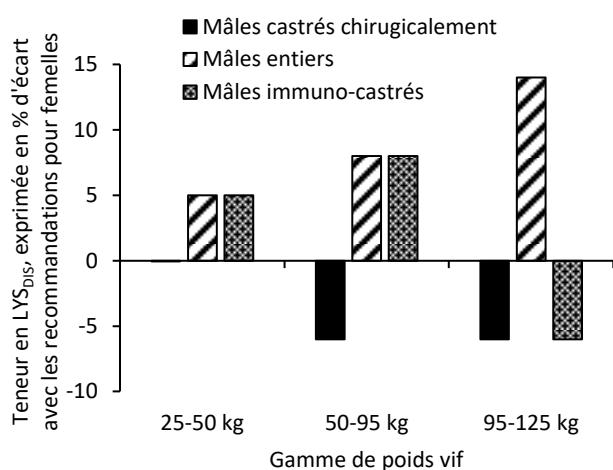


Figure 3 – Ecarts de teneur recommandée en lysine digestible idéale standardisée (LYS_{DIS}) dans les aliments distribués aux porcs mâles entiers, castrés chirurgicalement ou immuno-castrés dans une séquence en trois phases¹, exprimés par rapport aux teneurs recommandées pour les femelles (d'après Dunshea *et al.*, 2013)

¹ La troisième phase débute 1 semaine après la deuxième vaccination des mâles immuno-castrés.

Lorsqu'il n'est pas possible de passer à un régime de finition différent après V2 pour alimenter les mâles immuno-castrés, le rationnement est parfois envisagé pour réduire l'apport quotidien en lysine et en protéines, avec en perspective d'en réduire le gaspillage et de diminuer les émissions d'azote. Cependant, cela conduit également à diminuer les apports en énergie. Or, les résultats disponibles indiquent que cela pénalise la croissance, sans améliorer l'efficacité alimentaire ni la teneur en muscle des pièces (Quiniou *et al.*, 2012). Par ailleurs, la durée des repas (min/repas) et la vitesse d'ingestion (g/min) augmentent après V2 (Weiler *et al.*, 2013). Dans ces conditions, l'accès restreint à l'auge s'accompagne d'un nombre plus élevé d'interactions sociales, notamment les interactions négatives, et peut conduire à un comportement plus agressif et un plus grand nombre de lésions cutanées chez les porcs (Batorek *et al.*, 2012). Ainsi, en l'absence de résultats probants sur l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des sources azotées, les modifications comportementales observées l'emportent et conduisent à déconseiller le rationnement des mâles immuno-castrés après V2.

6. CONTROLER LES ODEURS DE VERRAT PAR LA VOIE DE L'ALIMENTATION

La composition de l'aliment peut influencer et réguler la synthèse intestinale du scatol et de l'indole par différents

mécanismes. Premièrement, le régime alimentaire peut réduire la disponibilité du L-tryptophane, précurseur du scatol et de l'indole, dans le côlon en modifiant le taux d'apoptose au niveau des muqueuses intestinale et donc l'apport en tryptophane endogène. Ensuite, l'alimentation peut modifier la composition du microbiote intestinal et la disponibilité des espèces bactériennes productrices de scatol appartenant à deux genres, à savoir *Clostridium* et *Olsenella* (Whitehead *et al.*, 2008 ; Li *et al.*, 2015). Certains composants alimentaires peuvent augmenter la disponibilité de l'énergie et orienter l'activité microbienne d'une activité protéolytique vers une activité saccharolytique ou augmenter l'activité microbienne, augmentant ainsi l'incorporation d'AA dans la biomasse bactérienne, et supprimant la conversion du tryptophane en scatol (Li *et al.*, 2019). Le régime alimentaire influence également le temps de transit intestinal et le taux d'absorption du scatol et de l'indole (Wesoly et Weiler, 2012). En outre, les composés bioactifs présents dans l'aliment peuvent affecter les taux de scatol et d'indole dans le tissu gras par l'induction ou l'inhibition de leur métabolisme *via* les enzymes du cytochrome P450 (CYP450) ou l'activation des récepteurs nucléaires (Sachar et Ma, 2013 ; Rasmussen et Zamaratskaia, 2014).

Un effort important a été fait pour étudier les possibilités de réduire les niveaux de scatol par la voie alimentaire. De nombreux travaux ont été réalisés pour tester l'intérêt de différents ingrédients et formulations sur les niveaux de scatol et d'indole dans le lard dorsal, le sang, les digesta intestinaux et les fèces, et les résultats de ces études sont largement documentés (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Dans le présent article, nous résumons et discutons les résultats de recherches publiées depuis 2010. Nous avons accordé une attention particulière aux ingrédients qui permettent à la fois de réduire le niveau des composés de l'odeur de verrat. Ils sont également présents dans la liste d'ingrédients (à effet positif, neutre ou négatif sur le risque d'odeur lié au scatol ou à l'androsténone) établie par les experts européens mobilisés dans le COST IPEMA, réseau européen sur la recherche d'alternatives à la castration des porcs mâles (Zamaratskaia *et al.*, 2018).

6.1. Racine de chicorée et inuline

Bien que les conclusions des travaux conduits sur le sujet ne soient pas toujours cohérentes en raison des différences de dispositifs expérimentaux utilisés, nombreux sont ceux qui démontrent une réduction du scatol quand de la racine de chicorée est ajoutée dans l'aliment. L'addition d'inuline purifiée dans l'aliment donne des résultats similaires à ceux de la racine de chicorée, ce qui suggère que l'inuline, une fibre fermentescible également présente en grandes quantités dans le topinambour, est le principal composant de la chicorée à agir sur la réduction du scatol. Dans une première étude, Maribo *et al.* (2010) ont observé une réduction de la teneur en scatol dans le gras après distribution d'un aliment contenant 15 % de chicorée pendant les 14 jours qui précèdent l'abattage. Cependant, le coût de la chicorée est très élevé. Aussi, la possibilité de raccourcir la période de distribution a été testée dans un autre essai. Maribo *et al.* (2010 ; 2015b) rapportent une réduction du taux de scatol de 50 à 60 % après l'apport continu d'un aliment contenant 15 % de chicorée pendant les 3 à 4 jours qui précèdent l'abattage.

Les niveaux d'indole ne sont généralement pas influencés par l'apport alimentaire de racine de chicorée ou d'inuline. Aluwé *et al.* (2017) ont suggéré que l'ajout de chicorée ou

d'oligosaccharides pouvait diminuer la conversion bactérienne du tryptophane en scatol tout en augmentant sa conversion en indole. Plus récemment, Li *et al.* (2019) sont arrivés à une conclusion similaire. Bien que spéculative, l'absence d'effet sur l'indole pourrait être considérée comme un résultat positif, étant donné que l'indole ne contribue que de façon mineure aux odeurs de verrat et qu'il a un effet positif sur la santé intestinale d'autres espèces (Whitfield-Cargile *et al.*, 2016 ; Gao *et al.*, 2018). Il est important de souligner qu'à notre connaissance, le rôle de l'indole dans la santé du porc n'a pas été étudié.

L'inuline est un polymère de fructose de masse moléculaire élevée. Elle est fermentée par le microbiote endogène, avec pour conséquence une augmentation de la production d'acides gras à chaîne courte (AGCC), tels que l'acétate, le propionate et le butyrate (den Besten *et al.*, 2013). Le butyrate, en particulier, est bénéfique en raison de ses propriétés anti-inflammatoires (Tan *et al.*, 2014 ; Bedford et Gong, 2018). Lepczyński *et al.* (2017) ont démontré que des compléments alimentaires contenant de la racine de chicorée séchée et de l'inuline modifiaient l'expression de plusieurs protéines hépatiques associées au métabolisme énergétique et induisaient l'expression de protéines impliquées dans la protection contre le stress oxydatif. De plus, une étude utilisant un modèle *in vitro* du tractus gastro-intestinal du porc a montré une activation des gènes liés à l'intégrité de la barrière intestinale après un traitement à l'inuline (Uerlings *et al.*, 2020).

Plusieurs hypothèses sont proposées pour expliquer le mécanisme exact par lequel la racine de chicorée permet de réduire le taux de scatol. Selon l'une d'elles, l'ajout de chicorée ou d'autres sources de fibres alimentaires fermentescibles favoriserait l'augmentation de la concentration de butyrate dans le côlon, ce qui réduirait l'apoptose cellulaire et, par conséquent, la disponibilité du tryptophane endogène pour la synthèse du scatol (Claus *et al.*, 2003). Les composants de la racine de chicorée moduleraient le profil bactérien du microbiote et diminueraient l'abondance des bactéries productrices de scatol. Néanmoins, aucune de ces deux hypothèses n'a été confirmée. Overland *et al.* (2011) et Li *et al.* (2019) ont expliqué la réduction du scatol associée à l'apport de chicorée comme une réponse à une activité microbienne accrue et à une incorporation accrue des AA dans la biomasse bactérienne, ce qui conduit à une moindre synthèse du scatol à partir du tryptophane. En outre, Rasmussen *et al.* (2011) suggèrent que l'effet de la chicorée pourrait être dû, au moins en partie, à l'augmentation de l'activité des enzymes CYP1A2 et CYP2A19 qui métabolisent le scatol.

6.2. Tannins hydrolysables

Les tannins hydrolysables sont des composés alimentaires ayant le potentiel de réduire les niveaux de scatol et d'indole dans le gras. Ce sont des métabolites secondaires présents dans de nombreuses plantes (Čandek-Potokar *et al.*, 2015 ; Bee *et al.*, 2016). Ils inhibent la prolifération cellulaire et l'apoptose dans le cæcum, ce qui réduit la disponibilité des débris cellulaires et du tryptophane nécessaire à la production de scatol dans l'intestin (Bilić-Šobot *et al.*, 2016).

En général, les tannins sont considérés comme des facteurs antinutritionnels, car ils forment des complexes avec les minéraux et les protéines, dont les enzymes digestives, et ils interfèrent donc avec la digestibilité des nutriments. Cependant, en comparaison avec d'autres animaux, les tannins semblent être relativement bien tolérés par les porcs, ces

derniers pouvant consommer des aliments riches en tannins sans conséquences négatives pour leur santé (Seoni *et al.*, 2020). Čandek-Potokar *et al.* (2015) ont observé une production intestinale de scatol plus faible chez les porcs recevant des compléments à base de tannins. Cependant, ces auteurs précisent que cet effet n'était pas cohérent avec celui observé sur les teneurs de scatol et d'indole dans le gras dorsal, avec le taux d'incorporation le plus faible (1 vs. 2 ou 3 %). Par conséquent, avant de pouvoir utiliser des compléments à base de tannins hydrolysables pour réduire l'odeur de verrat, un travail préalable est nécessaire pour déterminer la dose optimale. Récemment, Bahelka *et al.* (2021) ont suggéré une teneur de 2 %.

La teneur dans le gras d'un autre composant des odeurs de verrat, l'androsténone, pourrait également être abaissée par l'incorporation de tannins dans l'aliment. Bien que jusqu'à présent aucun effet significatif n'ait pu être démontré par les différents auteurs, les résultats disponibles convergent vers une baisse de la teneur en androsténone avec les aliments qui contiennent des tannins hydrolysables (Čandek-Potokar *et al.*, 2015 ; Bee *et al.*, 2016 ; Tretola *et al.*, 2019 ; Bahelka *et al.*, 2021). Les auteurs associent cet effet à la circulation entéro-hépatique de l'androsténone qui pourrait la rendre disponible pour la liaison dans la bile et donc indisponible pour la réabsorption (Squires *et al.*, 2020). D'autres études sont nécessaires pour confirmer l'effet des tannins hydrolysables sur l'androsténone et pour élucider le mécanisme sous-jacent.

6.3. Fécule de pomme de terre crue

Deux revues indiquent que l'apport de fécule de pomme de terre crue dans l'alimentation réduit systématiquement les niveaux de scatol (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Il est probable que l'effet réducteur de la fécule de pomme de terre crue sur le scatol soit dû à sa forte concentration en amidon résistant. L'amidon alimentaire résistant modifie la composition microbienne intestinale, augmente la production d'AGCC, améliore l'intégrité de la muqueuse intestinale, réduit les dommages causés aux colonocytes, module le métabolisme des lipides et améliore l'intégrité de la muqueuse colique (Nofrarias *et al.*, 2007 ; Zhou *et al.*, 2017). Dans les essais rassemblés dans les revues citées ci-dessus, la fécule de pomme de terre crue n'était pas incorporée dans l'aliment mais distribuée en *top feeding*, ce qui n'est pas possible en élevage de porc commercial. Il est alors nécessaire de trouver des solutions pratiques pour apporter la fécule de pomme de terre crue. Or, l'incorporation dans un aliment présenté sous forme de granulé ne semble pas conduire aux mêmes avantages. En effet, Pauly *et al.* (2008) n'ont pas observé de réduction des niveaux de scatol dans l'intestin distal ou dans les tissus adipeux de mâles entiers quand la fécule de pomme de terre crue était incorporée à 20 % dans un aliment présenté sous forme de granulés. Cela résulte probablement de l'incidence des conditions de mise en œuvre du process (température, vapeur) sur les caractéristiques (degré de gélatinisation) de l'amidon et sa digestibilité (Sun *et al.*, 2006), et sans doute d'une réduction ou d'une perte des propriétés de l'amidon cru mentionnées précédemment.

6.4. Autres ingrédients

Une étude récente a démontré que l'alimentation avec des graines de lupin bleu doux modifiait l'activité microbienne dans le gros intestin des porcs (Tuśnio *et al.*, 2020). Ces auteurs ont incorporé de la graine de lupin à un taux élevé dans l'aliment

(30 %), ce qui a eu tendance à diminuer la concentration d'indole dans le côlon distal en dessous de celle observée avec un taux d'incorporation deux fois moins élevé (15 %). Hélas, les concentrations de scatol n'ont pas été mesurées dans cet essai. D'après Mølbak *et al.* (2007), l'addition de lupin doux et de racine de chicorée dans l'aliment augmente l'abondance de *Bifidobacterium thermoacidophilum* et de *Megasphaera elsdenii* dans le colon.

En supposant que l'apport accru d'énergie fermentescible (*via* un régime riche en fibres) favoriserait l'utilisation du tryptophane pour la synthèse microbienne des protéines au lieu de sa conversion en composés indoliques dans l'intestin postérieur, Holinger *et al.* (2018) ont tenté de réduire les concentrations de scatol et d'indole en distribuant de l'ensilage d'herbe aux grands porcs blancs suisses. Mais cette étude n'a pas permis d'observer de diminution ni du niveau de scatol, ni du niveau d'indole.

Plusieurs tentatives ont été faites pour réduire la production de scatol et d'indole en incorporant de la pulpe de betterave sucrière dans l'aliment distribué au porc. D'après la revue de Wesoly et Weiler (2012), une incorporation à 15 % dans la formule pendant tout l'engraissement permet d'abaisser la teneur en scatol dans le gras (en moyenne 37 vs. 65 ng/g). Pieper *et al.* (2014) ont suggéré un effet sur la synthèse de scatol dans le gros intestin proximal.

Quelques expériences ont également été réalisées pour étudier l'effet du topinambour sur les odeurs de verrat. Vhile *et al.* (2012) ont rapporté une tendance à la diminution des niveaux de scatol dans le gros intestin postérieur et les tissus adipeux, alors que les niveaux d'indole n'étaient pas modifiés. La réduction des niveaux de scatol s'explique par une diminution de *Clostridium perfringens* et une augmentation de la production intestinale d'AGCC, ce qui réduit le pH des digesta.

Pieper *et al.* (2014) ont observé une diminution des niveaux de scatol lorsqu'un mélange de lignine et de cellulose est incorporé dans le régime. Les auteurs ont suggéré que cet effet était dû à la combinaison de sources de fibres solubles et insolubles qui ont fourni des glucides fermentescibles au microbiote intestinal tout au long de l'intestin. Dans cette étude, la formation de scatol dans le gros intestin proximal et distal était réduite. Or, contrairement à l'inuline, la cellulose est peu soluble et n'est pas facilement disponible comme substrat pour le microbiote intestinal. Le mécanisme à l'origine de cette réduction nécessite d'être mieux caractérisé.

Un autre moyen, beaucoup plus économique, de réduire le scatol consiste à nourrir les animaux uniquement avec des céréales pendant les 3 à 4 jours qui précèdent l'abattage. D'après Møller et Maribo (2013), cela permet de réduire le taux de scatol de 50 %. Pour alimenter ainsi seulement les porcs de la case qui partent pour l'abattoir, cela suppose de disposer d'équipements de distribution d'aliment individualisée ou d'abattre toute la case le même jour.

7. MODULER LA QUALITE DE LA CARCASSE ET LE PROFIL EN ACIDES GRAS L'ALIMENTATION

Une teneur plus élevée en protéines et une teneur plus faible en lipides dans le gain de poids contribuent à une diminution de l'IC et de l'adiposité des carcasses (Quiniou *et al.*, 1996, 2010 ; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2017, 2019). Ainsi, lorsqu'ils sont élevés dans des conditions identiques, toutes les observations confirment que les mâles entiers présentent une épaisseur de lard dorsal plus faible, une teneur plus élevée en viande maigre

et une plus grande surface de la coupe du muscle dorsal long par rapport aux mâles castrés chirurgicalement (Lundstöröm *et al.*, 2009 ; Pauly *et al.*, 2012). Mais d'autres critères que les proportions de muscle et de gras dans la carcasse diffèrent selon le sexe tels que la conformation des carcasses, avec des quartiers avant plus développés et une plus faible part de jambon, des muscles qui contiennent moins de protéines, et une viande moins tendre chez les mâles entiers que chez les mâles castrés chirurgicalement (Aaslyng *et al.*, 2019). La qualité de la carcasse et de la viande des porcs immuno-castrés semblent être similaires à celles des porcs castrés chirurgicalement (Batorek *et al.*, 2012), ce qui signifie qu'aucune adaptation spécifique du régime alimentaire, i.e. ciblée sur la qualité de la viande, n'est nécessaire pour les porcs immuno-castrés. Cependant, il faut être conscient que, par rapport aux mâles entiers, l'activité des enzymes lipogéniques dans les tissus adipeux augmente nettement chez les porcs immuno-castrés, surtout après la deuxième injection. Cela entraîne un plus grand développement des adipocytes et, finalement, un dépôt accru de lipides (Poklucar *et al.*, 2021).

La plus faible adiposité de la carcasse est associée à une plus faible teneur en lipides intramusculaires (Pauly *et al.*, 2012), et des teneurs moins élevées sont donc observées chez les mâles entiers que chez les mâles castrés chirurgicalement, les mâles immuno-castrés présentant une teneur intermédiaire (Font_I_Furnols *et al.*, 2019). Selon la teneur moyenne en LIM de la lignée génétique utilisée, la diminution observée chez les mâles entiers par rapport aux mâles castrés chirurgicalement ou aux femelles pourrait avoir un impact sur les caractéristiques sensorielles de la viande de porc, comme sa texture et sa saveur (Fernandez *et al.*, 1999).

Le plus faible dépôt de lipides se traduit généralement par un plus grand degré d'insaturation du tissu adipeux (Wood *et al.*, 2008). Bien que l'ampleur de l'effet diffère selon les tissus, les porcs immuno-castrés ont généralement des niveaux d'acides gras polyinsaturés plus faibles que les mâles entiers (Pauly *et al.*, 2012 ; Poklucar *et al.*, 2021). Du point de vue de la nutrition humaine, une plus grande quantité d'acides gras polyinsaturés peut être considérée comme bénéfique (Simopoulos, 2000). Cependant, du point de vue du secteur aval de transformation de la viande, les tissus mous présentant un niveau élevé d'acides gras mono- et poly-insaturés conviennent moins bien (Scheeder *et al.*, 1998, 2000 ; Hadorn *et al.*, 2008).

La question se pose de savoir comment éviter ces « défauts » par la voie alimentaire. La composition en acides gras du porc peut être facilement manipulée en sélectionnant les ingrédients alimentaires appropriés (Mourot et Lebret, 2009). En effet, chez le porc, la quantité d'acide gras polyinsaturés ingérée est étroitement liée à la quantité déposée dans les lipides sous-cutanés et intramusculaires (Bee *et al.*, 2002 ; Wood *et al.*, 2008). Quand la qualité des gras est un critère important de qualité, des recommandations alimentaires intègrent des contraintes sur la composition des lipides apportés par l'aliment (Stoll, 2016). Cependant, les recommandations disponibles actuellement ont été développées pour des porcs castrés chirurgicalement et pour des femelles et elles pourraient ne plus être adaptées pour des animaux qui déposent moins de gras.

Une stratégie de formulation permettant d'augmenter la quantité de LIM déposée sans altérer la teneur de la carcasse en viande maigre consiste à réduire le rapport protéines/lysine/énergie du régime alimentaire en dessous des besoins tout en rationnant les animaux (Lebret *et al.*, 2001). L'application d'une

telle stratégie freine la croissance et augmente l'âge des porcs à l'abattage, or le développement des LIM est tardif. À notre connaissance, cette stratégie n'a pas encore été testée chez des mâles entiers mais seulement chez des porcs ayant un potentiel certain de dépôt de LIM (Lebret, 2008). Il reste donc à savoir si elle serait efficace chez les mâles entiers issus des races modernes sélectionnées pour leur viande maigre pour atteindre une teneur en LIM accrue. Cependant, même dans ce cas, il n'est pas certain qu'elle puisse être appliquée compte tenu des incidences que le rationnement a sur le comportement des mâles entiers.

8. CONSIDÉRATIONS PRATIQUES SUR L'ÉLEVAGE DE MÂLES ENTIERS OU DE PORCS IMMUNO-CASTRÉS

Ce chapitre aborde quelques considérations pratiques, positives et négatives, relatives à l'élevage des mâles entiers.

8.1. Un demi-siècle de non-castration

L'Irlande et le Royaume-Uni produisent des mâles entiers depuis les années 1970 parce que les mâles entiers ont une croissance plus rapide et une meilleure efficacité alimentaire que leurs homologues castrés chirurgicalement. Dès les années 80, Hanrahan (1980) évalue à 8 % l'amélioration de l'efficacité alimentaire de la carcasse et à 6 % l'augmentation du gain de poids journalier moyen de la carcasse quand les mâles ne sont pas castrés. Plus récemment, Lawlor *et al.* (2005) ont constaté entre le sevrage et l'abattage (9-126 kg de PV) que l'IC était amélioré de 8,4 % chez les mâles entiers par rapport aux porcs castrés chirurgicalement, pour un GMQ similaire. Entre 25 et 119 kg, l'écart d'IC est de 14 % d'après Quiniou *et al.* (2010), sans différence significative de GMQ. Dans ces deux études, les animaux étaient alimentés à volonté, les GMQ similaires étant observés pour un niveau d'ingestion spontanée différents. En revanche, pour une même quantité d'aliment consommée (i.e., avec des mâles entiers alimentés à un niveau proche de l'à volonté et des mâles castrés chirurgicalement rationnés plus ou moins sévèrement), un GMQ plus élevé est observé chez les mâles entiers (Quiniou *et al.*, 1996).

Traditionnellement, les producteurs de ces pays ont pu bénéficier de la réduction des coûts de production associés à la production de mâles entiers puisque (1) le poids de la carcasse était faible par rapport à celui observé dans les autres bassins de production en Europe et (2) le risque d'odeurs de verrat était également plus faible. Cependant, le poids d'abattage a considérablement augmenté ces dernières années comme il est très avantageux, d'une part pour les éleveurs, de produire des porcs plus lourds et, d'autre part, pour les transformateurs de réaliser des économies sur le coût unitaire de transformation et, enfin, parce que les secteurs de l'aval et de la restauration étaient demandeurs de pièces (jambons) ou carcasses plus lourdes. Ainsi, le poids vif à l'abattage en Irlande était en moyenne de 90,1 kg (68,1 kg de carcasse) en 2000, contre 118,4 kg (90,3 kg de carcasse) en 2019 (Teagasc, 2020). Cette augmentation de 28 kg du poids à l'abattage peut sembler importante, mais elle s'est opérée sans augmentation de l'âge des porcs à l'abattage, celui-ci ayant même diminué de 1,4 j depuis 2000. En effet, dans le même temps, le GMQ moyen du sevrage à la vente est passé de 585 à 795 g/j grâce aux progrès génétiques et à l'amélioration de la nutrition, des conditions de logement, ainsi que du suivi sanitaire. Par conséquent, le risque que les mâles entiers dégagent des odeurs de verrat n'est pas plus élevé aujourd'hui qu'il y a 20 ans.

8.2. Non castration et impact environnemental

La production de mâles entiers présente également certains avantages pour l'environnement par rapport à la production de porcs castrés chirurgicalement. En effet, les mâles entiers nourris avec le même régime que les porcs castrés chirurgicalement ont une meilleure efficacité alimentaire que ces derniers, ce qui est associé à une réduction des rejets. Ainsi, Lawlor *et al.* (2005) ont constaté que l'excrétion de N par kg de carcasse était inférieure de 11,7 % pour les mâles entiers par rapport aux porcs castrés chirurgicalement, principalement en raison de la rétention accrue de N chez les mâles entiers. Une diminution supplémentaire des rejets est attendue quand les mâles entiers reçoivent des aliments formulés pour couvrir leurs besoins en AA. En effet, Quiniou et Chevillon (2015) ont observé que l'IC était amélioré de 0,1 point quand les mâles entiers recevaient des aliments formulés pour couvrir leurs besoins en AA et non ceux des mâles castrés. Cette meilleure efficacité alimentaire était associée à une amélioration de 1,3 point de TMP et conduisait à une diminution de 9% des rejets.

8.3. Non castration et constitution des cases

Les mâles entiers sont beaucoup plus agressifs que les femelles et les porcs castrés chirurgicalement. Boyle et Björklund (2007) ont observé les niveaux les plus élevés d'agressivité et de comportements de monte dans les groupes de mâles entiers non mixtes, les niveaux intermédiaires dans les groupes mixtes et les niveaux les plus bas dans les groupes de femelles. Ces auteurs concluent à un meilleur bien-être des mâles entiers lorsqu'ils sont élevés dans des groupes mixtes et, à l'inverse, que des groupes non mixtes seraient préférables pour les femelles, qui ne sont alors pas stressées par les comportements de monte et les combats provoqués par les mâles. Les conditions de logement interagissent probablement avec la constitution des groupes. Ainsi, Courboulay *et al.* (2013) ont également observé une fréquence inférieure de comportements agressifs initiés par les mâles entiers dans les cases mixtes, mais pas d'incidence sur la fréquence des comportements sexuels.

8.4. Non castration et stratégie d'alimentation

En ce qui concerne la prévalence de l'odeur de verrat, les résultats d'une étude réalisée en exploitation par Heyrman *et al.* (2021) ont montré que toute mesure visant à réduire l'agressivité et le stress et, dans une certaine mesure, le comportement sexuel, est susceptible de réduire la prévalence des odeurs de verrat dans un contexte d'élevage commercial. Dans la majorité des cas en Irlande, au Royaume-Uni et en France, les mâles entiers et les femelles ne sont pas élevés en groupes séparés et le même régime alimentaire est donc distribué aux porcs des deux sexes. Dans la plupart des élevages, entre 30 et 120 kg de poids vif, un seul régime est utilisé en Irlande et au Royaume-Uni. En France, le plus souvent encore deux ou trois aliments sont utilisés (nourrain, croissance, finition), même si une tendance commence à se dégager vers une ou deux phases supplémentaires.

En Irlande et au Royaume-Uni, lorsque mâles entiers et femelles sont élevés en groupe distincts, la séquence alimentaire n'est pas modifiée d'une case à l'autre selon le sexe des animaux. En France, l'alimentation à la case avec des aliments différents est possible avec une distribution en soupe, le nombre de menus différents étant fortement contraint par le nombre de cases concernées par chaque distribution afin de ne pas perdre en précision (Mauvert *et al.*, 2020).

Quand la même stratégie d'alimentation est appliquée à toutes les cases, le seul avantage de la séparation des sexes dans ces élevages est de pouvoir vider les cases de mâles plus tôt, car ces derniers atteignent leur poids d'abattage cible plus tôt que les femelles (Quiniou *et al.*, 2010), ou de les abattre plus lourds que les femelles à un âge d'abattage donné. Un autre avantage de séparer les mâles entiers des femelles est que celui d'éviter la possibilité que les femelles soient gestantes au moment de l'abattage, ce qui peut être un problème lorsque les porcs sont abattus à des poids particulièrement élevés et sont donc plus âgés et plus matures à l'abattage.

Le différentiel de croissance et d'efficacité alimentaire entre les mâles entiers et les femelles implique que ces dernières pourraient être nourries avec des régimes moins riches en AA (Figure 2) voire en énergie. Si ces mesures sont mises en œuvre, sans tenir compte des coûts d'équipement supplémentaire pour le stockage d'aliment ou la distribution, elles peuvent réduire le coût alimentaire de ~2,4 centimes d'euros/kg de poids de carcasse sorti dans le contexte irlandais d'après Lawlor (2020). Dans le contexte français, en se référant uniquement à la teneur en AA, alimenter les femelles avec un aliment moins concentré que celui permettant de couvrir le besoin des mâles permettrait de réduire le coût alimentaire de ~0,5 centimes d'euros/kg de carcasse (pour un écart de 4 €/tonne entre les deux types d'aliment, outil Sim'Alter, 2021).

Allen *et al.* (2001) ont recommandé aux producteurs de porcs irlandais d'élever les mâles entiers en groupes mixtes, sur des caillebotis intégraux et de les nourrir avec des aliments à teneur réduite en protéines brutes, sous forme liquide afin de réduire le risque d'odeurs de verrat. Les résultats de travaux plus récents s'accordent ou pas avec ces recommandations, selon le critère considéré. Ainsi, concernant la composition des groupes, Courboulay *et al.* (2014) ont également rapporté un risque d'odeurs moins élevé quand les mâles sont élevés en groupes mixtes, en relation avec une teneur en androsténone moins élevée dans le gras.

A partir d'une enquête réalisée sur le niveau de risque d'odeurs de lots de porcs en provenance de 22 fermes aux Pays-Bas, Heyrman *et al.* (2021) n'ont pas pu confirmer l'avantage de la soupe sur l'alimentation à sec ou d'un mode de présentation de l'aliment par rapport à un autre. En revanche, ces auteurs ont rapporté que les lots de porcs nourris avec un régime finition à faible teneur en protéines présentaient un risque plus élevé d'odeurs de verrat. Sans plus d'information sur les caractéristiques des aliments, ils attribuent cet effet négatif à une digestibilité iléale inférieure des protéines (favorisant l'arrivée de tryptophane dans le gros intestin et son utilisation bactérienne par la voie protéolytique) et à des performances de croissance pénalisées par une moindre rétention de protéines. Cela permet d'insister sur les précautions nécessaires à prendre pour formuler des aliments à basse teneur en protéines pour le mâle entier. Pour une teneur en AA essentielle donnée et une teneur en EN donnée, il est recommandé de veiller à rajouter des contraintes de formulation sur la teneur en fibres fermentescibles afin d'orienter le métabolisme bactérien vers l'incorporation du tryptophane dans sa biomasse. Ainsi, Quiniou et Chevillon (2015) ont comparé des aliments croissance-finition iso-EN (9,7 MJ/kg) formulés pour une teneur en protéines inférieure de 20 g/kg aux aliments témoins, mais

présentant la même teneur en LYS_{DIS} (0,84 et 0,71 g/MJ EN, respectivement dans les aliments croissance-finition) et en fibres fermentescibles (146 et 137 g/kg). Des performances identiques (GMQ, IC, TMP) ont été obtenues, sans risque accru d'odeur de verrat liée au scatol, et une proportion plus élevée de porcs à très faible teneur en androsténone.

8.5. Non castration et jeunement avant l'abattage

La demi-vie du scatol est relativement courte. L'ajeunement réalisé avant le départ pour l'abattoir permet de limiter la production du scatol et d'envisager une diminution de la teneur en scatol dans le gras à la toute fin de l'engraissement et du risque d'odeur lié à ce composant. D'après les résultats de l'enquête réalisée par van Wagenberg *et al.* (2013) à partir de lots de porcs tracés depuis leur élevage d'origine jusqu'à l'abattoir, l'ajeunement doit durer au moins 6 heures pour abaisser le risque d'odeur lié au scatol. Kjeldsen (1993) portent cette durée à 12 heures. En France, une durée d'ajeunement de 12 heures avant la montée dans le camion est recommandée pour limiter la mortalité pendant le transport et elle ne doit pas dépasser 24 heures avant l'abattage conformément à la réglementation. En pratique, les animaux se retrouvent dans une situation où ils sont privés d'aliment à un stade où leur niveau d'ingestion est habituellement élevé. Cela perturbe leur comportement, et la faim peut provoquer une escalade des comportements de monte et des agressions.

CONCLUSION

Cette revue décrit les différentes voies à explorer pour adapter l'alimentation aux différentes problématiques de l'élevage des mâles entiers et des porcs immuno-castrés. L'objectif de ces stratégies est d'exploiter les gains de croissance et d'efficacité de ces animaux à potentiel de croissance et rendement nutritionnel plus élevés que ceux des mâles castrés chirurgicalement. Parallèlement, avec le même régime alimentaire, les producteurs devraient pouvoir atteindre de faibles niveaux d'odeur de verrat, une teneur en lipides intramusculaire suffisante et un tissu adipeux adapté à la transformation ou à la maturation de la viande. Avons-nous les solutions pour tout cela ? Nous avons les principales pièces du puzzle, mais il faut encore les exploiter davantage. En effet, les résultats disponibles ne sont pas toujours cohérents en raison de divers facteurs, tels que le type de race ou de croisement, les conditions d'élevage et les régimes alimentaires. À l'avenir, il faudra adopter une approche plus globale qui tienne compte de l'impact de l'ensemble du régime alimentaire, avec tous ses avantages sur les performances, le risque d'odeurs, la qualité des produits, le bien-être, la santé et, bien sûr, la rentabilité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les experts scientifiques du COST IPEMA soutenu par l'Union Européenne qui ont participé aux travaux sur les alternatives à la castration des porcs mâles, en particulier sur le volet alimentaire : Hanne Maribo (Pig Research Center, Danemark), Galia Zamaratskaia (Université d'Uppsala, Suède) et Peadar Lawlor (Teagasc, Irlande) et souhaitent témoigner leur reconnaissance à Ulrike Weiler (13/11/1956 - 26/07/2020) pour son implication sans relâche dans le pilotage du COST IPEMA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaslyng M.D., Støier S., Lund B.W., Nielsen D.B., 2019. Slaughtering of entire male pigs seen from the slaughterhouse perspective. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 333, 012003.
- Allen P., Joseph R., Lynch B., 2001. Reducing the incidence of boar taint in Irish pigs. Final Report Project Armis No. 4404, The National Food Centre Teagasc, Dublin, Irlande. 18 p. (<https://t-stor.teagasc.ie/bitstream/handle/11019/118/Report%2033.pdf?sequence=1>)
- Aluwé M., Heyrman E., Theis S., Sieland C., Thurman K., Millet S., 2017. Chicory fructans in pig diet reduce skatole in back fat of entire male pigs. Res. Vet. Sci., 115, 340-344.
- Aymerich P., Soldevila C., Bonet J., Farré M., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D., 2020. Interrelationships between sex and dietary lysine on growth performance and carcass composition of finishing boars and gilts. Transl. Anim. Sci., 4, 1-13.
- Aymerich P., Tokach M.D., Drits S.S., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D., 2021. Lysine requirement of finishing boars and gilts: a meta-analysis. Animal, 15, 100218.
- Bahelka I., Bučko O., Flák P., 2021. Can hydrolysable tannins in diet of entire male pigs affect carcass, pork quality traits, amino and fatty acid profiles, and boar taint, skatole and androstenone levels? Animals, 11, 896.
- Batorek N., Candek-Potokar M., Bonneau M., van Milgen J., 2012. Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. Animal, 6, 1330-1338.
- Bedford A., Gong J., 2018. Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. Anim. Nutr., 4, 151-159.
- Bee G., Gebert S., Messikommer R., 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. J. Anim. Sci., 80, 1564-1574.
- Bee G., Chevillon P., Bonneau M., 2015. Entire male pig production in Europe. Anim. Prod. Sci., 55, 1347-1359.
- Bee G., Silacci P., Ampuero-Kragten S., Candek-Potokar M., Wealleans A., Litten-Brown J., Salminen J., Mueller-Harvey I., 2016. Hydrolysable tannin-based diet rich in gallotannins has a minimal impact on pig performance but significantly reduces salivary and bulbourethral gland size. Animal, 11, 1617-1625.
- Biagia G., Cipollini I., Paulicks B.R., Roth F.X., 2010. Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets. Arch. Anim. Nutr., 64, 121-135.
- Bikker P., Karabinas V., Verstegen M.W., Campbell R.G., 1995. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. J. Anim. Sci., 73, 2355-2363.
- Bilić-Šobot D., Kubale V., Škrlep M., Čandek-Potokar M., Prevolnik Povše M., Fazarinc G., Škorjanc D., 2016. Effect of hydrolysable tannins on intestinal morphology, proliferation and apoptosis in entire male pigs. Arch. Anim. Nutr., 70, 378-388.
- Black J., Campbell R., Williams I., James K., Davies G., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. Res. Devel. Agr., 3, 121-145.
- Bonneau M., Walstra P., Claudi-Magnussen C., Kempster A.J., Tornberg E., Fischer K., Diestre A., Siret F., Chevillon P., Claus R., Dijksterhuis G., Punter P., Matthews K.R., Agerhem H., Béague M.P., Oliver M.A., Gispert M., Weiler U., Von Seth G., Leask H., Font I Furnols M., Homer D.B., Cook G.L., 2000. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: IV. Simulation studies on consumer dissatisfaction with entire male pork and the effect of sorting carcasses on the slaughter line, main conclusions and recommendations. Meat Sci., 54, 285-295.
- Boyle L., Björklund L., 2007. Effects of fattening boars in mixed or single sex groups and split marketing on pig welfare. Anim. Welf., 16, 259-262.
- Brunius C., Zamaratskaia G., Andersson K., Chen G., Norrby M., Madej A., Lundström K., 2011. Early immunocastration of male pigs with Improvac®—Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. Vaccine, 29, 9514-9520.
- Büniger B., Schrader L., Schrader H., Zacharias B., 2015. Agonistic behaviour, skin lesions and activity pattern of entire male, female and castrated male finishing pigs. Appl. Anim. Behav. Sci., 171, 64-68.
- Čandek-Potokar M., Škrlep M., Batorek Lukač N., Zamaratskaia G., Prevolnik Povše M., Velikonja Bolta Š., Kubale V., Bee G., 2015. Hydrolysable tannin fed to entire male pigs affects intestinal production, tissue deposition and hepatic clearance of skatole. Vet. J., 204, 162-167.
- Claus R., Lösel D., Lacorn M., Mentschel J., Schenkel H., 2003. Effects of butyrate on apoptosis in the pig colon and its consequences for skatole formation and tissue accumulation. J. Anim. Sci., 81, 239-248.
- Courboulay V., Quiniou N., Goues T., Chevillon P., 2013. Incidence des conditions d'élevage sur le comportement et le risque de blessures chez les porcs mâles entiers Journées Rech. Porcine, 45, 69-70.
- Courboulay V., Leroy C., Poissonnet A., Chevillon, Quiniou N., 2014. Influence de la composition du groupe en engraissement (mixte ou unisexe) et du nombre de départs à l'abattoir sur le comportement et les performances des porcs et le risque d'odeurs des viandes de mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 45, 255-260.
- Cronin G., Dunshea F., Butler K., McCauley I., Barnett J., Hemsworth P., 2003. The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. Appl. Anim. Behav. Sci., 81, 111-126.
- den Besten G., van Eunen K., Groen A.K., Venema K., Reijngoud D.J., Bakker B.M., 2013. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. J. Lipid. Res., 54, 2325-2340.
- Dunshea F.R., Colantoni C., Howard K., McCauley I., Jackson P., Long K.A., Lopatnicki S., Nugent E.A., Simons J.A., Walker J., Hennessy D.P., 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. J. Anim. Sci., 79, 2524-2535.
- Dunshea F.R., Allison J.R., Bertram M., Boler D.D., Brossard L., Campbell R., Crane J.P., Hennessy D.P., Huber L., de Lange C., Ferguson N., Matzat P., McKeith F., Moraes P.J., Mullan B.P., Noblet J., Quiniou N., Tokach M., 2013. The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review. Animal, 7, 1769-1778.
- Elsbernd A.J., Stalder K.J., Karriker L.A., Patien J.F., 2015. Comparison among gilts, physical castrates, entire males, and immunological castrates in terms of growth performance, nitrogen and phosphorus retention, and carcass fat iodine value. J. Anim. Sci., 93, 5702-5710.
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebreton B., 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 2. Consumer acceptability of *m. longissimus lumborum*. Meat Sci., 53, 67-72.
- Font-I-Furnols M., Brun A., Gispert M., 2019. Intramuscular fat content in different muscles, locations, weights and genotype-sexes and its prediction in live pigs with computed tomography. Animal, 13, 666-674.
- Gao J., Xu K., Liu H., Liu G., Bai M., Peng C., Li T., Yin Y., 2018. Impact of the gut microbiota on intestinal immunity mediated by tryptophan metabolism. Front. Cell. Infect. Microbiol., 8, 13.
- Girard M., Bee G., 2020. Invited review: tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. Animal, 14, 95-107.
- Girard M., Thanner S., Pradervand N., Hu D., Ollagnier C., Bee G., 2018. Hydrolysable chestnut tannins for reduction of postweaning diarrhea: Efficacy on an experimental ETEC F4 model. PLOS ONE, 13, e0197878.
- Girard M., Hu D., Pradervand N., Neuenschwander S., Bee G., 2020. Chestnut extract but not sodium salicylate decreases the severity of diarrhea and enterotoxigenic *Escherichia coli* F4 shedding in artificially infected piglets. PLOS ONE, 15, e0214267.
- Hadorn R., Eberhard P., Guggisberg D., Piccinali P., Schlichtherle-Cerny H., 2008. Effect of fat score on the quality of various meat products. Meat Sci., 80, 765-770.
- Hanrahan T., 1980. Relative performance of boars, gilts and castrates. Report, Dunsinea, Moorepark and Western Research Centres, Dublin, Ireland, 67 p.
- Heyrman E., Millet S., Tuytens F.A.M., Ampe B., Janssens S., Buys N., Wauters J., Vanhaecke L., Aluwé M., 2021. On-farm prevalence of and potential risk factors for boar taint. Animal, 15, 100141.

- Holinger M., Hillmann E., Früh B., 2014. Prevalence of injuries and the resulting requirements in housing conditions of entire male pigs. *Tieraerztl. Umsch.*, 69, 235-239.
- Holinger M., Früh B., Hillmann E., 2015. Group composition for fattening entire male pigs under enriched housing conditions-Influences on behaviour, injuries and boar taint compounds. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 165, 47-56.
- Holinger M., Früh B., Stoll P., Pedan V., Kreuzer M., Bérard J., Hillmann E., 2018. Long-term effects of castration, chronic intermittent social stress, provision of grass silage and their interactions on performance and meat and adipose tissue properties in growing-finishing pigs. *Meat Sci.*, 145, 40-50.
- Huber L., Squires E.J., de Lange C.F.M., 2013. Dynamics of nitrogen retention in entire male pigs immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J. Anim. Sci.*, 91, 4817-4825.
- IPEMA Core Group, 2019. Fiche d'information : production de porcs immuno-castrés. 4 p (www.ca-ipema.eu/papers)
- Jensens M.T., Cox R.P., Jensen B.B., 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. *Appl. Environm. Microbiol.*, 61, 3180-3184.
- Kjeldsen N., 1993. Practical experience with production and slaughter of entire male pigs. In: M. Bonneau (Ed), Measurement and prevention of boar taint in entire male pigs, 60, 137-144.
- Lawlor P.G., 2020. Management of male and female finisher pigs. *Teagasc Pig Advisory Newsletter*, March 2020, 11.
- Lawlor P.G., Lynch P.B., Mullane J., Kerry J.P., Hogan S.A., Allen P., 2005. Enhancement of pigmeat quality by altering pre-slaughter management. End of Project Report 4939. 66 p.
- Lealiifano A., Pluske J.R., Nicholls R., Dunshea F., Campbell R.G., Hennessy D., Miller D., Hansen C.F., Mullan B., 2011. Reducing the length of time between slaughter and the secondary gonadotropin-releasing factor immunization improves growth performance and clears boar taint compounds in male finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2782-2792.
- Lebreton B., 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2, 1548-1558.
- Lebreton B., Juin H., Noblet J., Bonneau M., 2001. The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Anim. Sci.*, 72, 87-94.
- Lepczyński A., Herosimczyk A., Ożgo M., Marynowska M., Pawlikowska M., Barszcz M., Taciak M., Skomiał J., 2017. Dietary chicory root and chicory inulin trigger changes in energetic metabolism, stress prevention and cytoskeletal proteins in the liver of growing pigs—a proteomic study. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 101, e225-e236.
- Li X., Jensen R.L., Højberg O., Canibe N., Jensen B.B., 2015. *Olsenella scatoligenes* sp. nov., a 3-methylindole- (skatole) and 4-methylphenol- (*p*-cresol) producing bacterium isolated from pig faeces. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 65, 1227-1233.
- Li X., Jensen B.B., Canibe N., Nohji H., 2019. The mode of action of chicory roots on skatole production in entire male pigs is neither via reducing the population of skatole-producing bacteria nor via increased butyrate production in the hindgut. *Appl. Environ. Microbiol.*, 85, e02327-02318.
- Lundstöröm K., Matthews K.R., Haugen J.E., 2009. Pig meat quality from entire males. *Animal*, 3, 1497-1507.
- Maribo H., Christiansen M., 2013. Economy in production of entire males. Rapport 984, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 16 p.
- Maribo H., Claudi-Magnussen C., Jensen B.B., 2010. Effect of 15% dried chicory root in feed for male pigs. Rapport 876, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark (https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2010/876)
- Maribo H., Møller H., Thoning H., 2015a. Male pigs grow faster increasing the protein and energy level in the diet. Rapport 1061, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 11 p.
- Maribo H., Jensen B.B., Thoning H., 2015b. Fibres reduces skatol in male pigs. Rapport 1055, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 13 p.
- Martinez-Ramirez H.R., Jeaurond E.A., de Lange C.F.M., 2008. Dynamics of body protein deposition and changes in body composition after sudden changes in amino acid intake: II. Entire male pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, 2168-2179.
- Maupertuis F., Olivier D., Quiniou N., 2020. Mise en œuvre d'un programme d'alimentation multiphase en soupe pour une moindre utilisation de protéines par les porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 52, 69-74.
- Mølbak L., Thomsen L., Jensen T.K., Bach Knudsen K., Boye M., 2007. Increased amount of *Bifidobacterium thermacidophilum* and *Megasphaera elsdenii* in the colonic microbiota of pigs fed a swine dysentery preventive diet containing chicory roots and sweet lupine. *J. Appl. Microbiol.*, 103, 1853-1867.
- Møller S., Maribo H., 2013. 4 days feeding with pure grain before slaughter reduces skatol in male pigs. Rapport 989, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 8 p.
- Moore K.L., Mullan B.P., Campbell R.G., Kim J.C., 2013. The response of entire male and female pigs from 20 to 100-kg liveweight to dietary available lysine. *Anim. Prod. Sci.*, 53, 67-74.
- Moore K.L., Mullan B.P., Kim J.C., Dunshea F.R., 2016. Standardized ileal digestible lysine requirements of male pigs immunized against gonadotropin releasing factor. *J. Anim. Sci.*, 94, 1982-1992.
- Mourou J., Lebreton B., 2009. Modulation de la qualité de la viande de porc par l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 22, 33-40.
- Needham T., Hoffman L.C., Gous R.M., 2017. Growth responses of entire and immunocastrated male pigs to dietary protein with and without ractopamine hydrochloride. *Animal*, 11, 1482-1487.
- Noblet J., Karege C., Dudois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 26, 267-276.
- Nofrarias M., Martínez-Puig D., Pujols J., Majó N., Pérez J.F., 2007. Long-term intake of resistant starch improves colonic mucosal integrity and reduces gut apoptosis and blood immune cells. *Nutrition*, 23, 861-870.
- Overland M., Kjos N.K., Fauske A.K., Teige J., Sorum H., 2011. Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs. *Livest. Sci.*, 140, 206-217.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Pauly C., Spring P., Doherty J.V., Ampuero Kragten S., Bee G., 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal*, 2, 1707-1715.
- Pauly C., Luginbuhl W., Ampuero S., Bee G., 2012. Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted--results of a meta-analysis study. *Meat Sci.*, 92, 858-862.
- Pieper R., Boudry C., Bindelle J., Vahjen W., Zentek J., 2014. Interaction between dietary protein content and the source of carbohydrates along the gastrointestinal tract of weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.*, 68, 263-280.
- Poklukar K., Čandek-Potokar M., Vrecl M., Batorek-Lukač N., Fazarinc G., Kress K., Weiler U., Stefanski V., Škrlep M., 2021. The effect of immunocastration on adipose tissue deposition and composition in pigs. *Animal*, 15, 100118.
- Poulsen Nautrup B., van Vlaenderen I., Aldaz A., Mah C.K., 2018. The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: a meta-analysis. *Res. Vet. Sci.*, 119, 182-195.
- Quiniou N., Boutry C., 2016. Performances technico-économiques et environnementales des porcs quand la teneur en protéines des aliments biphasé s'ajuste sous les normes CORPEN lors de la formulation. *Journées Rech. Porcine*, 48, 141-142.
- Quiniou N., Noblet J., 2012. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. *J. Anim. Sci.*, 90, 4362-4372.

- Quiniou N., Chevillon P., 2015. Performances de croissance et risques d'odeurs de verrat de porcs mâles entiers selon les apports alimentaires en acides aminés essentiels ou en protéines. Journées Rech. Porcine, 47, 69-74.
- Quiniou N., Dourmad J.Y., Noblet J., 1996. Effect of energy intake on the performance of different types of pigs from 45 to 100 kg body weight: 1. Protein and lipid deposition. Anim. Sci., 63, 277-288.
- Quiniou N., Courboulay V., Salaün Y., Chevillon P., 2010. Conséquences de la non castration des porcs mâles sur les performances de croissance et le comportement : comparaison avec les mâles castrés et les femelles. Journées Rech. Porcine, 42, 113-118.
- Quiniou N., Monziols M., Colin F., Goues T., Courboulay V., 2012. Effect of feed restriction on the performance and behaviour of pigs immunologically castrated with Improvac®. Animal, 6, 1420-1426.
- Quiniou N., Courboulay V., Goues T., Le Roux A., Chevillon P., 2013. Incidence des conditions d'élevage sur les performances de croissance, les caractéristiques de carcasse et le risque d'odeur des porcs mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 45, 57-62.
- Quiniou N., Valable A.S., Lebas N., Courboulay V., 2017. Effet du niveau d'ingestion et de la teneur en énergie de l'aliment sur les performances de croissance, le comportement et le risque d'odeurs sexuelles du porc mâle entier. Journées Rech. Porcine, 49, 81-86.
- Quiniou N., Renaudeau D., Daumas G., 2021. Influence du rationnement et de la couverture des besoins en acides aminés sur les performances du porc en croissance selon les conditions climatiques. Journées Rech. Porcine, 53, 169-174.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., 2014. Regulation of porcine hepatic cytochrome P450—implication for boar taint. Comput. Structur. Biotechnol. J., 11, 106-112.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., Ekstrand B., 2011. *In vivo* effect of dried chicory root (*Cichorium intybus* L.) on xenobiotica metabolising cytochrome P450 enzymes in porcine liver. Toxicol. Lett., 200, 88-91.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Boillat V., Spring P., Bee G., 2017. Impact of amino acid and CP restriction from 20 to 140 kg BW on performance and dynamics in empty body protein and lipid deposition of entire male, castrated and female pigs. Animal, 11, 394-404.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Bee G., 2019. Dietary crude protein and amino acid restriction has a different impact on the dynamic of protein, amino acid and fat deposition in entire male, castrated and female pigs. Animal, 13, 74-82.
- Sachar M., Ma X., 2013. Nuclear receptors in herb-drug interactions. Drug Metab. Rev., 45, 73-78.
- Scheeder M.R.L., Gläser K.R., Schwörer D., Wenk C., 1998. Oxidative stability and texture properties of fermented sausage produced from pork differing in fatty acid composition. In: Proc. of the 44th ICoMST, Barcelone, Espagne.
- Scheeder M.R.L., Gläser K.R., Eichenberger B., Wenk C., 2000. Influence of different fats in pig feed on fatty acid composition of phospholipids and physical meat quality characteristics. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 102, 391-401.
- Seoni E., Battacone G., Ampuero Kragten S., Dohme-Meier F., Bee G., 2021. Impact of increasing levels of condensed tannins from sainfoin in the grower-finisher diets of entire male pigs on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. Animal, 15, 100110.
- Sim'Alter, 2021. Module GTdirect d'évaluation de l'incidence d'un arrêt de la castration sur le résultat économique de l'élevage de porc. <https://gtdirect.ifip.asso.fr/>
- Simopoulos A., 2000. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. Poultry Sci., 79, 961-970.
- Squires E., Young L., Hacker R., Adeola O., 1993. The role of growth hormones, β -adrenergic agents and intact males in pork production: a review. Can. J. Anim. Sci., 73, 1-23.
- Squires E.J., Bone C., Cameron J., 2020. Pork production with entire males: directions for control of boar taint. Animals, 10, 1665.
- Stoll P., 2016. Fütterungsempfehlung Fettqualität beim Schwein. In: I.F. Agrarwissenschaften (Eds), Umdenken in der Eiweissversorgung der Nutztiere, ETH-Zurich, Suisse, 200-202.
- Sun T., Lærke H.N., Jørgensen H., Bach Knudsen K.E., 2006. The effect of extrusion cooking of different starch sources on the *in vitro* and *in vivo* digestibility in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 131, 66-85.
- Tan J., McKenzie C., Potamitis M., Thorburn A.N., Mackay C.R., Macia L., 2014. The role of short-chain fatty acids in health and disease. Adv. Immunol., 121, 91-119.
- Teagasc, 2020. National herd performance report 2019. Report, Teagasc Head Office, Carlow, Ireland, 18 p.
- Tretola M., Maghin F., Silacci P., Ampuero S., Bee G., 2019. Effect of supplementing hydrolysable tannins to a grower-finisher diet containing divergent PUFA levels on growth performance, boar taint levels in back fat and intestinal microbiota of entire males. Animals, 9, 1063.
- Tuśnio A., Barszcz M., Świąch E., Skomiał J., Taciak M., 2020. Large intestine morphology and microflora activity in piglets fed diets with two levels of raw or micronized blue sweet lupin seeds. Livest. Sci., 240, 104137.
- Uerlings J., Schroyen M., Willems E., Tanghe S., Bruggeman G., Bindelle J., Everaert N., 2020. Differential effects of inulin or its fermentation metabolites on gut barrier and immune function of porcine intestinal epithelial cells. J. Funct. Foods, 67, 103855.
- van Milgen J., Quiniou N., Noblet J., 2000. Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs. Anim. Sci., 71, 119-130.
- van Wagenberg C.P.A., Snoek H.M., van der Fels J.B., van de Peet-Schwering C.M.C., Vermeer H.M., Heres L., 2019. Farm and management characteristics associated with boar taint. Animal, 7, 1841-1848.
- von Borell E., Bonneau M., Holinger M., Prunier A., Stefanski V., Zöls S., Weiler U., 2020. Welfare aspects of raising entire male pigs and immunocastrates. Animals, 10, 2140.
- Vhile S.G., Kjos N.P., Sørum H., Øverland M., 2012. Feeding Jerusalem artichoke reduced skatole level and changed intestinal microbiota in the gut of entire male pigs. Animal, 6, 807-814.
- Weiler U., Götz M., Schmidt A., Otto M., Müller S., 2013. Influence of sex and immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in adipose tissue of pigs. Animal, 7, 300-308.
- Wesoly R., Weiler U., 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. Animals, 2, 221-242.
- Whitehead T.R., Price N.P., Drake H.L., Cotta M.A., 2008. Catabolic pathway for the production of skatole and indoleacetic acid by the acetogen *Clostridium drakei*, *Clostridium scatologenes*, and swine manure. Appl. Environ. Microbiol., 74, 1950-1953.
- Whitfield-Cargile C.M., Cohen N.D., Chapkin R.S., Weeks B.R., Davidson L.A., Goldsby J.S., Hunt C.L., Steinmeyer S.H., Menon R., Suchodolski J.S., 2016. The microbiota-derived metabolite indole decreases mucosal inflammation and injury in a murine model of NSAID enteropathy. Gut Micr., 7, 246-261.
- Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. Meat Sci., 78, 343-358.
- Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. Animal, 3, 1508-1521.
- Zamaratskaia G., Maribo H., Canibe N., Milet S., Quiniou N., Bee G., 2018. Ipema Deliverables 3 e. - Created and published list of feed ingredients with boar taint reducing capacities (WG2). Consulté le 22 octobre 2018 (<https://zenodo.org/record/1460483#.YUg6q7gza70>)
- Zhou L., Fang L., Sun Y., Su Y., Zhu W., 2017. Effects of a diet high in resistant starch on fermentation end-products of protein and mucin secretion in the colons of pigs. Starch/Stärke, 69, 1600032.