

# Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immuno-castrés et pour réduire les risques d'odeurs de verrat dans la viande ?

Nathalie QUINIOU<sup>1</sup>, Giuseppe BEE<sup>2</sup>, Hanne MARIBO<sup>3</sup>, Galia ZAMARATSKAIA<sup>4</sup>, Peadar LAWLOR<sup>5</sup>

<sup>1</sup>IFIP – Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650, Le Rheu, France

<sup>2</sup>Agroscope, Rte de la Tioleyre, 4, 1725, Posieux, Suisse

<sup>3</sup>Danish Agriculture & Food Council, Copenhague, Danemark

<sup>4</sup>Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suède

<sup>5</sup>Teagasc, Moorepark, Moorepark West, Fermoy, Co. Cork, P61 C996, Irlande

Courriel : nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

■ L'arrêt de la castration chirurgicale des porcs mâles remet en question les recommandations alimentaires mises en œuvre depuis des décennies pour l'élevage des femelles et des mâles castrés. La formulation des aliments et le niveau d'alimentation doivent être revus pour valoriser au mieux le potentiel de croissance tout en répondant aux enjeux de bien-être animal et de qualité des produits.<sup>1</sup>

## Introduction

Les préoccupations sociétales croissantes sur le bien-être animal conduisent à remettre en question la castration chirurgicale précoce, sans gestion de la douleur, des porcs mâles dans les principaux pays européens producteurs de porcs (Bee *et al.*, 2015). Ainsi, la Suisse a interdit la castration chirurgicale à vif (*i.e.*, sans prise en charge de la douleur) depuis 2009, le Danemark depuis 2019, et l'Allemagne depuis le 1er janvier 2021. En France, la castration chirurgicale à vif est interdite depuis le 31 décembre 2021 par arrêté ministériel (24 février 2020) et les porcs mâles sont désormais des Mâles

Entiers (ME, encadré 1) ou des mâles immunisés contre la gonadotrophine (également appelés Mâles Immuno-Castrés, MIC). La castration chirurgicale reste possible sous anesthésie et analgésie conformément aux conditions et dérogations établies par le ministère en charge de l'agriculture.

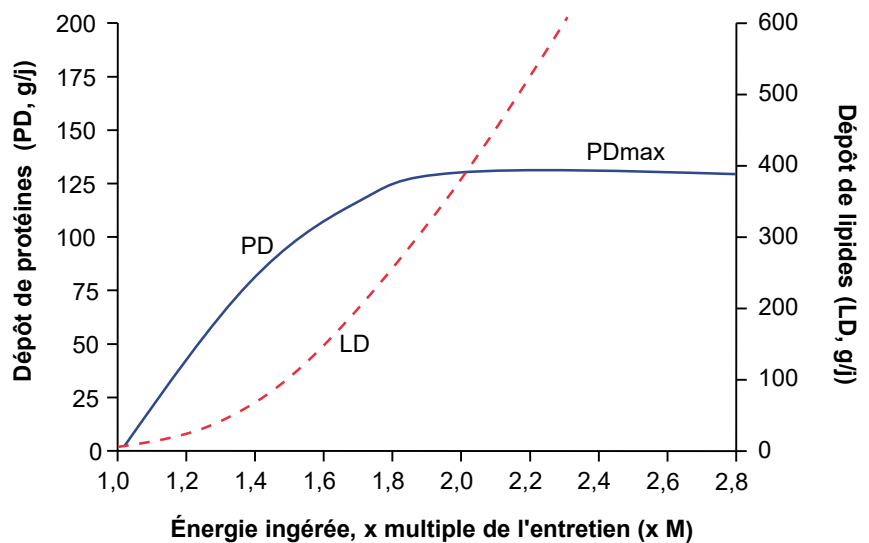
Jusqu'à récemment, la plupart des porcs charcutiers mâles était castrés afin de réduire le risque éventuel d'odeurs et de saveurs agressives, dites « odeurs de verrat », dans la viande (Parois *et al.*, 2018). Celles-ci sont principalement causées par une augmentation des teneurs en androsténone, scatol et, dans une moindre mesure, en indole dans le tissu adipeux. Les

odeurs de verrat se développent à des degrés divers chez les ME sexuellement matures et immatures et influencent considérablement l'acceptation de la viande de porc par le consommateur (Bonneau *et al.*, 2000). Une alternative déjà éprouvée à la castration chirurgicale précoce des porcs mâles est l'immunisation contre le facteur de libération de la gonadotrophine, ou immuno-castration, qui réduit considérablement l'incidence de l'odeur de verrat chez les porcs mâles (Dunshea *et al.*, 2001). Les stratégies alimentaires pertinentes pour l'élevage de bandes de porcs constituées de femelles et de mâles castrés doivent être revues pour tenir compte des conséquences de l'arrêt de la castration (encadré 2).

1 Cet article est adapté de la communication présentée aux Journées de la Recherche Porcine en 2022 (Bee et Quiniou, 2022).

**Encadré 1. Liste d'abréviations****AA** : Acides Aminés**AG** : Acides Gras**AGCC** : Acides Gras à Chaîne Courte**DIS** : Digestibilité Iléale Standardisée**DP** : Protéines Déposées**EN** : Énergie Nette**GMQ** : Gain de poids Moyen Quotidien**IC** : Indice de Consommation (quantité d'aliment/gain de poids)**LD** : Lipides Déposés**LIM** : Lipides Intra-Musculaires**LYS<sub>DIS</sub>** : Lysine Digestible Iléale Standardisée**MCC** : Mâles Castrés Chirurgicalement**ME** : Mâles Entiers**MIC** : Mâles Immuno-Castrés**N** : Azote**PV** : Poids Vif**TMP** : Taux de Muscle des Pièces de la carcasse**V2** : Seconde vaccination (rappel de vaccination) contre les risques d'odeurs de verrat**Encadré 2. Les trois défis majeurs à relever pour nourrir le porc mâle entier**

1. Adapter la stratégie alimentaire afin de couvrir les besoins nutritionnels pour un dépôt protéique efficient sans surcoût alimentaire et sans augmentation de l'utilisation des ressources et de l'impact environnemental ;
2. formuler des aliments qui nourrissent le porc et orientent son microbiote pour réduire le risque d'odeurs de verrat par des contraintes de formulation et l'incorporation de matières premières conduisant à une moindre production de scatol et d'indole ;
3. adapter l'alimentation pour atteindre des objectifs particuliers de qualités de viande et de gras pour les productions sous cahier des charges.

**Figure 1. Modèle générique d'évolution de la quantité de protéines (PD) et de lipides (LD) déposés selon l'apport énergétique chez le porc en croissance.**

<sup>1</sup> PDmax : limite supérieure de PD, x M : niveau d'apport énergétique pour atteindre PDmax (d'après van Milgen *et al.*, 2000).

**1. Besoins nutritionnels des mâles entiers****■ 1.1. Évaluation des besoins énergétiques**

L'approche factorielle utilisée pour déterminer les besoins énergétiques permet d'identifier trois composantes qui conduisent à des écarts de besoins entre les ME et les femelles ou les Mâles Castrés Chirurgicalement (MCC) : (1) l'entretien, (2) le besoin pour le dépôt de protéines et enfin (3) le besoin pour le dépôt de lipides. Le besoin énergétique pour l'activité physique, dont la couverture peut intervenir aux dépens de l'énergie ingérée disponible pour la croissance, est le plus souvent intégré au compartiment d'entretien. Chez les ME, il peut être assez important en raison d'interactions sociales agonistiques plus nombreuses entre congénères

(combats, morsures et tentatives de montes) (von Borell *et al.*, 2020).

La quantité de protéines déposées augmente presque linéairement avec l'apport énergétique jusqu'à une valeur maximale (PDmax, **figure 1**) qui dépend de la quantité d'Acides Aminés (AA) essentiels disponibles ou du potentiel de croissance de l'animal (Bikker *et al.*, 1995 ; van Milgen *et al.*, 2000). Une fois le PDmax atteint, l'énergie supplémentaire ingérée est déposée sous forme de lipides, ce qui conduit à une diminution du rapport protéines/lipides dans le gain de poids marginal. La quantité d'énergie qui permet d'atteindre le PDmax est considérée comme l'apport énergétique optimal au regard du Gain de poids Moyen Quotidien (GMQ) et de l'Indice de Consommation (IC) associé. Au-delà, le GMQ augmente peu, tandis que l'IC se détériore fortement.

**■ 1.2. Concentration énergétique de l'aliment**

Chez les jeunes MCC, l'augmentation de la concentration énergétique de l'aliment permet de contourner les limites de la capacité d'ingestion et d'accroître la quantité d'énergie ingérée journalière (Black *et al.*, 1986) et le GMQ. Chez les ME, les résultats sont plus complexes à analyser, l'appétit étant limité notamment sous l'effet des hormones sexuelles (Squires *et al.*, 1993, cités par Lawlor *et al.*, 2005). Ainsi, d'après Quiniou *et al.* (2017), l'augmentation de 0,6 MJ/kg de la teneur en Énergie Nette (EN) des aliments croissance-finition (de 9,4 à 10,0 MJ/kg) a un effet limité sur les performances quand les animaux sont alimentés à volonté en lien avec les possibilités de modulation de l'appétit. En revanche, quand ils sont rationnés sur la base d'apports journaliers en EN, l'aliment le plus dilué favorise le GMQ, sans

doute en relation avec le fait qu'avec une ration plus volumineuse la frustration alimentaire est moins intense, ce qui réduit l'activité physique et les dépenses énergétiques associées.

La formulation de l'aliment peut être réalisée avec une certaine flexibilité sur la teneur en EN. Celle-ci doit être choisie en tenant compte de la productivité attendue des ME (GMQ, IC) mais également des conséquences sur la production de scatol dans l'intestin. Une digestibilité très élevée de l'énergie implique qu'une plus faible quantité d'énergie parvient jusqu'au gros intestin, donc que moins d'énergie est disponible pour les microorganismes (Squires *et al.*, 2020). Cela conduit à sélectionner un microbiote bactérien plus enclin à utiliser le tryptophane indigestible comme source d'énergie plutôt qu'à l'intégrer dans les protéines microbiennes (encadré 3). Au-dessus de 10,0 MJ EN/kg, il est plus difficile de formuler un aliment concentré avec suffisamment de composés indigestes, *i.e.* fibres fermentescibles, en vue de réduire la production de scatol.

### ■ 1.3. Niveau d'alimentation

Les MCC ont une propension à ingérer spontanément plus d'énergie que la quantité optimale pour atteindre leur PDmax (voir § 1.1). Cela explique que dans la majorité des élevages en France, ainsi que dans certains autres pays européens tels que l'Allemagne ou la Suisse, les porcs en phase de finition sont depuis longtemps rationnés, avec à la clé des carcasses plus maigres et un

meilleur IC. Au contraire, tout au long de l'engraissement même quand l'animal est alimenté à volonté, la rétention de protéines chez le ME est limitée par la quantité d'énergie ingérée quand les besoins en AA sont couverts (Quiniou *et al.*, 1996 ; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2019).

Un rationnement modéré appliqué aux MCC provoque une diminution du dépôt de lipides sans influencer le dépôt protéique, ce qui permet de réduire l'adiposité du gain de poids et d'améliorer l'efficacité alimentaire. Un rationnement plus sévère qui touche à la fois le dépôt de protéines et de lipides n'a plus le même intérêt. La réponse des ME est comparable à celle des MCC rationnés de façon intense : le dépôt de lipides et le dépôt de protéines (donc la vitesse de croissance) diminuent, sans amélioration de l'IC. Le rationnement dégrade même l'efficacité alimentaire (Quiniou *et al.*, 2013) en raison des modifications de comportement qu'il provoque de façon importante chez les ME (Courboulay *et al.*, 2013), associées à des dépenses d'énergie au détriment de la croissance. Par ailleurs, Quiniou *et al.* (2013) n'observent pas de différence dans la teneur en viande maigre des carcasses des types génétiques modernes lorsque les ME sont alimentés à volonté ou rationnés à sec ou en soupe. En conclusion, tout facteur qui affecte la consommation spontanée d'aliment des ME affecte à la fois le dépôt de protéines et de lipides, et par conséquent le gain musculaire et le GMQ, plutôt que le dépôt de gras comme chez les MCC ou les porcs de type gras

(Quiniou *et al.*, 2016). L'alimentation à volonté est donc recommandée pour exploiter le potentiel de croissance des ME (Dunshea *et al.*, 2013), mais cette recommandation se heurte aux limites que posent les systèmes d'alimentation installés dans les élevages.

L'alimentation en soupe réalisée en auge longues permet habituellement de rationner les porcs femelles et MCC jusqu'à des poids d'abattage élevés, mais est difficile à utiliser en conditions d'alimentation à volonté. Cela peut s'envisager avec succès pour alimenter les ME avec des auge courtes équipées de capteurs pour une distribution de soupe plus fréquente (P. Lawlor, communication personnelle). La longueur d'auge interfère cependant sur l'activité des animaux. Le fractionnement des apports d'aliment est inhérent au système soupe, et entraîne des interactions sociales entre les porcs (Holinger *et al.*, 2015), notamment au moment des repas. Elles restent limitées quand la soupe est distribuée en auge longue avec accès simultané à l'aliment pour tous les animaux de la case, et l'effet sur l'IC est peu marqué (Quiniou *et al.*, 2013). Avec les auge courtes pilotées par capteurs, même s'il y a de l'aliment en permanence dans l'auge, la distribution du repas peut créer une ruée des porcs vers l'auge. Ce comportement est probablement conditionné par le bruit de l'ouverture de la vanne d'alimentation, et la multiplication des situations de compétition dans l'accès à l'aliment peut induire des dépenses d'activité supplémentaires.

#### Encadré 3. Relation entre alimentation et production intestinale du scatol et de l'indole.

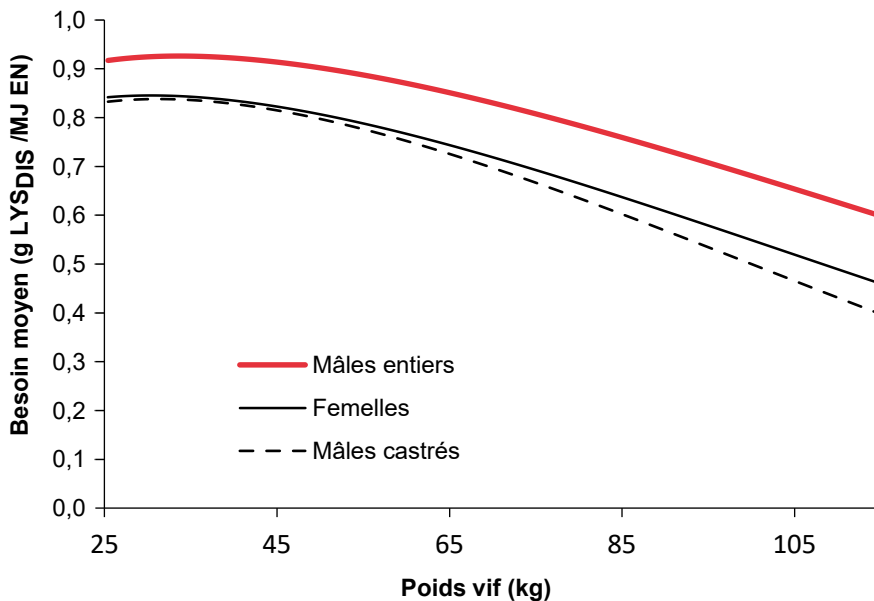
Le scatol et l'indole sont des métabolites issus de l'utilisation du tryptophane par certaines bactéries intestinales (*e.g.* genres *Clostridium* et *Olsenella* ; Whitehead *et al.*, 2008 ; Li *et al.*, 2015). Le régime alimentaire peut agir à différentes étapes impliquées dans leur production. Il peut diminuer le taux d'apoptose au niveau des muqueuses intestinales et donc l'apport de tryptophane d'origine endogène dans le gros intestin (Wesoly et Weiler, 2012).

En diminuant la digestibilité de l'énergie, l'augmentation de la quantité d'énergie disponible pour les bactéries peut :

- (1) stimuler la production de biomasse bactérienne et l'incorporation d'AA dans cette biomasse,
- (2) orienter l'activité des bactéries de la voie protéolytique vers la voie saccharolytique,
- (3) réduire l'activité de celles qui produisent le scatol et favoriser celles qui produisent de l'indole (Li *et al.*, 2019).

Une réduction du temps de transit intestinal pourrait réduire l'absorption intestinale du scatol et de l'indole (Wesoly et Weiler, 2012). Enfin la voie alimentaire peut influencer sur les teneurs en scatol et indole dans le gras par l'induction ou l'inhibition de leur métabolisme hépatique via les enzymes du cytochrome P450 (CYP450) ou l'activation de récepteurs nucléaires (Sachar et Ma, 2013 ; Rasmussen et Zamaratskaia, 2014).

**Figure 2.** Estimation des besoins en lysine digestible iléale standardisée ( $LYS_{DIS}$ ) par MJ d'énergie nette (EN, 9,7 MJ/kg) en fonction du poids et du type sexuel du porc (d'après Quiniou et al., 2010).



#### ■ 1.4. Besoins en acides aminés des mâles entiers

Le besoin en AA essentiels par unité d'énergie est plus important chez les ME que chez les MCC et chez les femelles. Cela résulte d'une combinaison entre un gain pondéral plus maigre et un appétit moindre (Quiniou et al., 2010). L'écart de besoins est plus ou moins marqué entre les différents types sexuels présents dans la bande et selon le niveau de performance observé. 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 ME est en moyenne plus élevé de 0,1 g/MJ EN comparativement à celui des MCC (figure 2). Cela conduit à recommander pour les ME une formulation à 0,94 g  $LYS_{DIS}$ /MJ EN en période de croissance (soit + 16 %) et à 0,81 g  $LYS_{DIS}$ /MJ EN en période de finition (soit + 14 %). Aymerich et al. (2020) concluent à une augmentation proche du besoin, + 17 % pour les ME par rapport aux femelles (0,91 vs. 0,75 g  $LYS_{DIS}$ /MJ EN).

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 rai-

sons technico-économiques, à l'amélioration de l'efficacité alimentaire. Elles 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 (Wilfart et al., 2016 ; Monteiro et al., 2017 ; de Quelen et al., 2021). De nombreux travaux ont permis de démontrer l'efficacité de ce type d'aliments lorsqu'ils sont formulés dans le système « énergie nette » 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 MCC et les femelles. En effet, quand la diminution de la teneur en protéines est associée à des teneurs en AA essentiels (lysine, méthionine, thréonine et tryptophane) raisonnées pour couvrir les besoins des MCC, Ruiz-Ascacibar et al. (2019) observent un moindre dépôt de protéines et une croissance dégradée chez les ME. Ce résultat est en accord avec ceux de Quiniou et Chevillon (2015) qui rapportent logiquement une réduction des performances de croissance (GMQ et IC) chez les ME quand la baisse de la teneur en protéines est associée à des apports en AA inférieurs à leurs

besoins. Ces auteurs démontrent que les aliments croissance-finition conçus pour MCC, et donc limitants en AA pour les ME, détériorent la teneur en muscle des pièces de la carcasse (TMP) des ME (figure 2). L'effet négatif est aggravé si le profil en AA essentiels de l'aliment est déséquilibré. La baisse de la teneur en protéines doit donc être réalisée en veillant à ce que l'apport en  $LYS_{DIS}$  reste compatible avec la couverture des besoins des ME, et en veillant au respect des équilibres entre AA.

#### ■ 1.5. Besoins spécifiques des mâles immuno-castrés

Avant la seconde vaccination contre le facteur de libération des gonadotrophines (V2, voir encadré 4), les recommandations nutritionnelles pour les ME s'appliquent aux MIC. Après V2, l'ingestion spontanée d'énergie augmente et n'est plus limitante pour le dépôt protéique. Le rapport protéines/lipides dans le gain de poids diminue (Huber et al., 2013 ; Poulsen Nautrup et al., 2018), ainsi que le besoin en  $LYS_{DIS}$  par MJ d'EN dont l'évolution est progressive jusqu'à être 30 % en-deçà de celui des ME environ 14 jours après V2 (Dunsha et al., 2013 ; Huber et al., 2013 ; Moore et al., 2016).

Pendant la semaine qui suit V2, l'aliment de finition distribué aux ME pourrait continuer à être utilisé comme le métabolisme ne change pas instantanément. Puis, il pourrait être remplacé par un aliment de fin de finition moins riche en AA (figure 3). Lorsqu'il n'est pas possible d'alimenter les MIC avec un régime différent après V2, le rationnement est parfois envisagé pour réduire l'apport quotidien en AA. Dans ce cas les apports en énergie diminuent également et Quiniou et al. (2012) observent une baisse du GMQ sans modification de l'IC ni du TMP. L'accès restreint à l'aliment provoque une augmentation des interactions sociales, qui peut accentuer les comportements agressifs et le nombre de lésions cutanées (Batorek et al., 2012). L'ensemble de ces résultats conduit à déconseiller de rationner les MIC après V2.

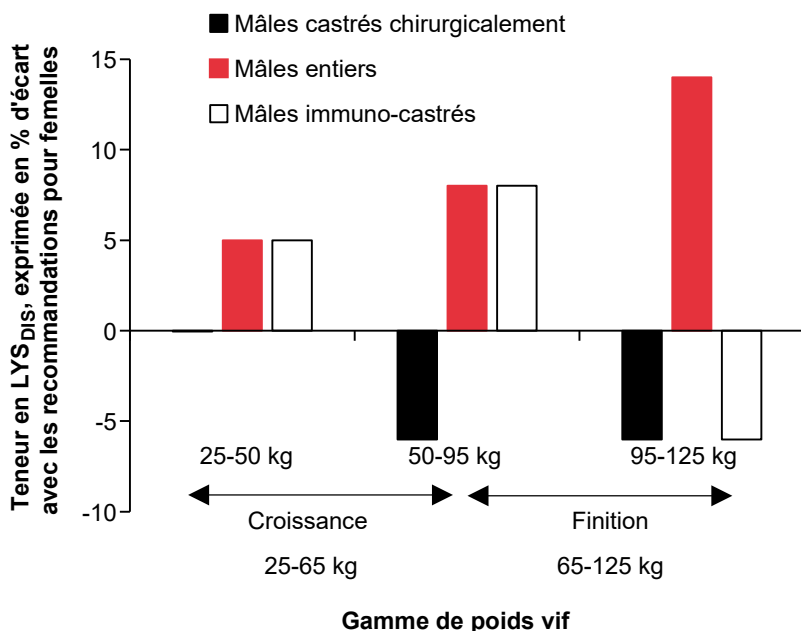
**Encadré 4. Nourrir les mâles immuno-castrés en tenant compte de l'évolution de leur statut hormonal.**

L'immuno-castration consiste à faire produire par l'animal des anticorps contre le facteur de libération des gonadotrophines. Elle s'effectue en deux temps. La première vaccination avec l'analogue du GnRFest généralement réalisée en début d'engraissement, vers 13-14 semaines d'âge. La seconde vaccination (appelé V2) a normalement lieu dans le dernier tiers de la période d'engraissement (4 à 8 semaines avant l'abattage) qui empêche le développement et le fonctionnement des testicules.

Entre l'entrée en engraissement et V2, la physiologie des mâles immuno-castrés est similaire à celle des mâles entiers, d'où des performances de croissance et de composition du gain de poids comparables (Batorek *et al.*, 2012 ; Dunshea *et al.*, 2013).

Dans les 2 semaines qui suivent V2, l'immunité se met en place par la production d'anticorps anti-GnRF. La production de testostérone chute en réponse au manque d'hormone lutéinisante (Dunshea *et al.*, 2001). Le métabolisme des mâles immuno-castrés se rapproche progressivement de celui des mâles castrés chirurgicalement, et les carcasses sont sans risque d'odeur désagréable tant que l'abattage est réalisé dans les 4 à 8 semaines qui suivent V2. Après V2, l'appétit augmente et la vitesse de croissance diminue ce qui conduit à une moins bonne valorisation des aliments (Lealiifano *et al.*, 2011 ; Dunshea *et al.*, 2013) que chez les mâles entiers.

**Figure 3. Écart de teneur recommandée<sup>1</sup> en lysine digestible iléale standardisée (LYS<sub>DIS</sub>) dans les aliments distribués aux porcs mâles entiers, castrés chirurgicalement ou immuno-castrés dans une séquence alimentaire en trois phases (d'après Dunshea *et al.*, 2013)**



<sup>1</sup> Base 100 : teneurs recommandées pour les femelles ; la troisième phase débute 1 semaine après la deuxième vaccination des mâles immuno-castrés.

## 2. Moduler la qualité des carcasses et des viandes par l'alimentation

La production de carcasse ou de viande issue de porcs mâles entiers impose de maîtriser le risque de produits non conformes aux attentes des consommateurs ou de l'aval. L'alimentation est une des voies étudiées pour réduire les problèmes posés, d'une part, par le risque d'odeurs désagréables (encadré 2) et, d'autre part, par les modifications du profil en Acides Gras (AG) de la viande et de couverture

en gras des pièces d'intérêt pour le séchage en salaison.

### ■ 2.1. Des ingrédients alimentaires pour réduire le risque d'odeurs

De nombreux travaux ont été réalisés pour tester l'intérêt de différents ingrédients ou choix de formulations sur les niveaux de scatol et d'indole dans le lard dorsal, le sang, les digesta intestinaux et les fèces (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Notre synthèse s'appuie sur les résultats publiés depuis 2010 qui sont également intégrés par les experts

mobilisés dans le COST IPEMA, réseau européen sur la recherche d'alternatives à la castration des porcs mâles, dans la liste d'ingrédients ayant un effet positif, neutre ou négatif sur le risque d'odeurs (Zamaratskaia *et al.*, 2018).

#### a. Fibres fermentescibles

L'inuline est un polymère de fructose de masse moléculaire élevée. C'est une fibre fermentescible présente en grandes quantités dans la racine de chicorée et dans le topinambour. L'incorporation de racine de chicorée dans l'aliment donne des résultats similaires à ceux obtenus avec ajout d'inuline purifiée, ce qui suggère que c'est ce composant qui est impliqué dans la réduction du scatol associée à l'incorporation de cet ingrédient dans l'aliment. En effet, une réduction des niveaux de scatol est observée dans le gros intestin quand l'aliment contient 15 % de racine de chicorée déshydratée (8 % d'inuline) et est distribué pendant les 14 jours qui précèdent l'abattage (Maribo *et al.*, 2010). Une réduction de la teneur en scatol est également observée dans le gras du cou quand cet aliment est distribué pendant les 2 semaines ou seulement les 4 jours qui précèdent l'abattage (tableau 1). Avec des aliments contenant 8 à 12 % de topinambour déshydraté, riche en fructanes de type inuline, Vhile *et al.* (2012) observent une diminution croissante des niveaux en scatol dans le gros intestin et le gras, effets attribués à une diminution de *Clostridium perfringens* et à une augmentation de la production intestinale d'acides gras à chaîne courte (AGCC), qui conduit à une baisse de pH des digesta.



**Tableau 1. Effet<sup>a</sup> de l'incorporation de chicorée dans l'aliment distribué pendant les 14 ou 4 jours qui précèdent l'abattage sur la teneur (ppm) en composés odorants dans le gras du cou.**

Source	Maribo <i>et al.</i> (2010)			Maribo <i>et al.</i> (2015)	
Durée de distribution	14 jours avant abattage			4 jours avant abattage	
Sexe	Mâle		Femelle	Mâle	
Aliment	Témoin	+Chicorée	Témoin	Témoin	+Chicorée
Scatol	0,11 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>
Indole	0,03 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,02 <sup>c</sup>	-	-
Androsténone	1,14 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,13 <sup>b</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,50 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup> Des lettres différentes en exposant indiquent que les résultats sont significativement différents intra-étude avec une probabilité de 6 et 5 %, respectivement pour l'étude de 2010 et celle de 2015.

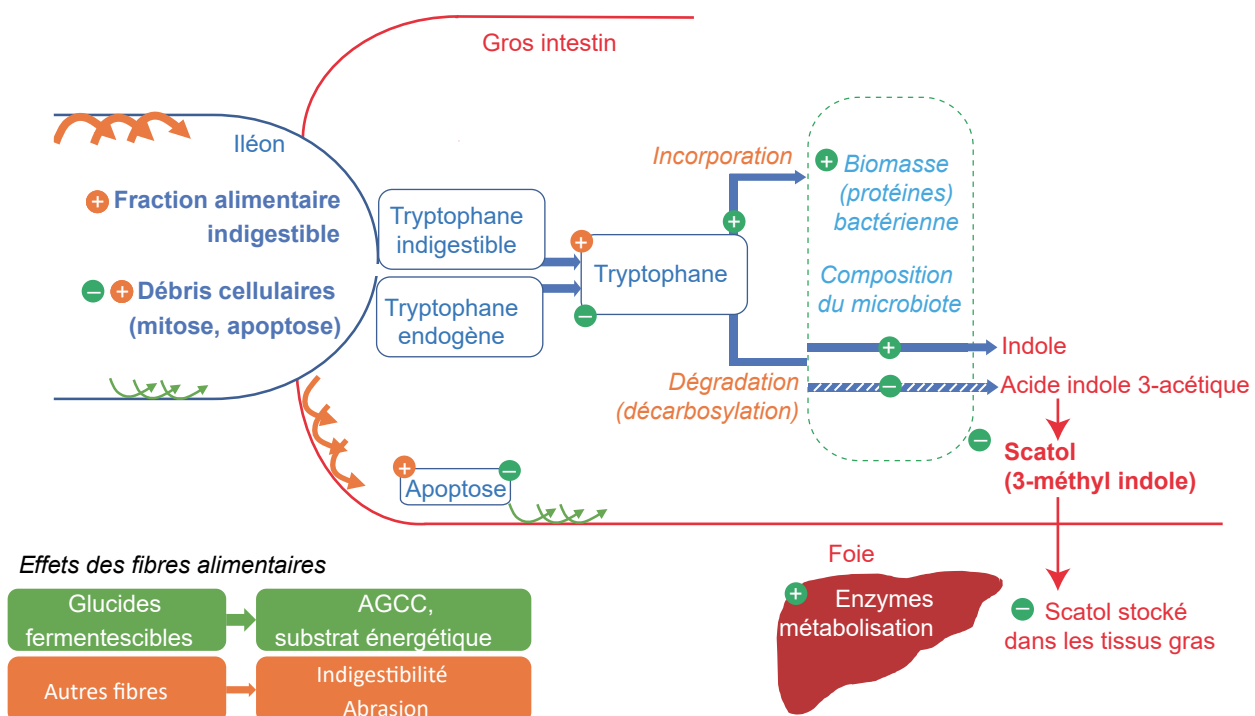
Plusieurs hypothèses sont proposées pour expliquer le mécanisme par lequel l'ajout de fibres fermentescibles permet de réduire le taux de scatol (figure 4). Uerlings *et al.* (2020) observent qu'*in vitro* des gènes liés à l'intégrité de la barrière intestinale sont activés après un traitement à l'inuline. Cela conduit à la première hypothèse, qui s'appuie sur un effet *via* les produits de leur fermenta-

tion par le microbiote intestinal, *i.e.* des AGCC. Le butyrate, en particulier, a des propriétés anti-inflammatoires (Bedford et Gong, 2018) et l'augmentation de sa concentration réduirait l'apoptose cellulaire au niveau intestinal et, par conséquent, la quantité de tryptophane endogène disponible pour la synthèse du scatol (Claus *et al.*, 2003). Ses effets sur le microbiote seraient en revanche

contrastés avec, d'une part, une réduction de l'abondance de certaines bactéries productrices de scatol (*Clostridium*, Vhile *et al.*, 2012) mais pas toutes (*Olsenella*, Li *et al.*, 2019) et, d'autre part, une stimulation de leur activité suite à un abaissement du pH intestinal observé d'abord *in vitro* par Jensen *et al.* (1995) et plus récemment *in vivo* par Li *et al.* (2019). Ainsi d'après ces auteurs, l'effet de l'inuline s'explique principalement par l'augmentation de l'activité microbienne : l'afflux d'une plus grande quantité d'énergie, non absorbée par le porc, stimule la croissance bactérienne et l'incorporation des AA dans la biomasse bactérienne. En parallèle, 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 hépatiques CYP1A2 et CYP2A19 qui métabolisent le scatol.

Parallèlement à la baisse de la teneur en scatol, la teneur en indole n'est généralement pas influencée par l'apport alimentaire d'inuline (Vhile *et al.*, 2012) ce qui est potentiellement intéressant. En effet, l'indole contribue seulement de façon mineure au risque d'odeurs de verrat et, chez plusieurs espèces, elle a

**Figure 4. Influence de la composition de l'aliment sur la disponibilité du tryptophane et son utilisation par les bactéries impliquées dans la synthèse d'indole et/ou de scatol : exemple de l'apport en fibres (d'après Wesoly et Weiler, 2012 ; Vhile et al., 2012 ; Li et al., 2019).**



un effet positif sur la santé intestinale (Whitfield-Cargile *et al.*, 2016). Cela n'a cependant pas encore été étudié chez le porc.

#### b. Amidon résistant

Deux revues de la littérature indiquent que l'apport de féculé de pomme de terre crue réduit systématiquement les niveaux de scatol (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012), probablement en relation avec sa concentration élevée en amidon résistant (Lösel et Claus, 2005). D'après Nofrarias *et al.* (2007) et Zhou *et al.* (2017), ce dernier influence la composition microbienne intestinale, augmente la production d'AGCC, améliore l'intégrité de la muqueuse intestinale, réduit les dommages causés aux colonocytes par les produits de fermentation des protéines, module le métabolisme des lipides et améliore l'intégrité de la muqueuse colique. Ces effets sont obtenus avec une supplémentation manuelle de la ration avec de la féculé (*top feeding*), ce qui n'est pas possible en pratique en élevage de porc commercial. L'incorporation peut être envisagée dans un aliment présenté sous forme de farine mais plus difficilement dans un aliment présenté sous forme de granulés. En effet, ce mode de présentation ne semble pas conduire aux mêmes avantages : avec 20 % de féculé dans l'aliment granulé, Pauly *et al.* (2008) n'observent pas de réduction du scatol dans l'intestin et suspectent une incidence des conditions de mise en œuvre du process (température, vapeur) sur les caractéristiques de l'amidon et sa digestibilité.

#### c. Tanins hydrolysables

Les tanins sont des métabolites secondaires présents dans de nombreuses plantes (Bee *et al.*, 2016). Considérés en général comme des facteurs anti-nutritionnels, leurs effets dépendent du type de composés chimiques et donc de la source végétale (Seoni *et al.*, 2021). Ainsi, ce sont les tanins condensés, non hydrolysables et de poids moléculaire élevé, qui interfèrent le plus sur la digestion en formant des complexes avec les minéraux et les protéines, dont les enzymes digestives (Rira, 2019). Au contraire, les tanins hydrolysables, de plus petit poids moléculaire, peuvent

être absorbés. Bien que toxiques pour de nombreuses espèces, les porcs semblent relativement bien les tolérer, la consommation d'aliments riches en tanins hydrolysables pouvant être sans conséquence pour leur santé, bien que pouvant entraîner une baisse de l'efficacité alimentaire (Bee *et al.*, 2016).

La production intestinale de scatol est plus faible chez les porcs recevant des compléments à base de tanins extraits de bois de châtaignier (Čandek-Potokar *et al.*, 2015). Les tanins hydrolysables inhibent la prolifération cellulaire et l'apoptose dans le cæcum, ce qui réduit l'arrivée de tryptophane endogène dans l'intestin (Bilić-Šobot *et al.*, 2016). En comparant les résultats obtenus chez des porcs recevant des aliments contenant de 0 à 3 % d'extrait de tanins, Čandek-Potokar *et al.* (2015) observent bien une diminution de la teneur en scatol dans l'intestin avec des taux d'incorporation de 1 à 2 %, mais rapportent une évolution différente de la teneur en scatol dans le gras qui est plus élevée avec l'aliment contenant 1 % de tanins que lorsque l'aliment n'en contient pas ou en contient 2 %. Les résultats d'une étude réalisée récemment, avec une plage de taux d'incorporation plus large (de 1 à 4 %), indiquent en revanche que la teneur en scatol dans le gras diminue régulièrement quand le taux d'incorporation de l'extrait de tanins augmente jusqu'à 2 % (Bahelka *et al.*, 2021).

#### d. Autres ingrédients

L'incorporation de graines de lupin bleu doux dans l'aliment modifie l'activité microbienne dans le gros intestin des porcs. À un taux élevé dans l'aliment (30 vs. 15 %), Tušnio *et al.* (2020) observent que la concentration en indole dans le côlon distal tend à diminuer. Malheureusement dans cette étude les concentrations en scatol n'ont pas été mesurées. La pulpe de betterave déshydratée incorporée à 15 % dans les aliments croissance-finition permet de diviser par 2 la teneur en scatol dans le gras (Wesoly et Weiler, 2012). À 12 %, la teneur en scatol intestinale ne diminue pas significativement (Pieper *et al.*, 2014). Holinger *et al.* (2018) ont testé la distribution d'ensilage d'herbe, à volonté dans des mangeoires, aux grands porcs blancs suisses en

supposant que l'apport accru de fibres fermentescibles favoriserait l'incorporation du tryptophane dans les protéines microbiennes. Mais aucune différence n'a été observée sur les niveaux de scatol, ni d'indole. Pieper *et al.* (2014) observent que la production de scatol dans le gros intestin diminue quand un mélange de lignine et de cellulose est incorporé à 8 %. Or la lignocellulose est peu soluble et donc peu fermentescible ; elle produit peu d'AGCC et son effet doit d'être mieux expliqué.

En nourrissant les animaux uniquement avec des céréales (orge, blé), et un complément en oligo-éléments/vitamines et sel, pendant les 3 à 4 jours qui précèdent l'abattage, Møller et Maribo (2013) ont observé une réduction du taux de scatol de 50 % dans le gras.

### ■ 2.2. Formuler des aliments pour moduler la qualité de la matière grasse des carcasses et de la viande

En conditions d'élevage identiques, les ME présentent une épaisseur de lard dorsal plus faible, une teneur plus élevée en viande maigre de la carcasse, une plus grande surface de muscle *Longissimus dorsi* par rapport aux MCC (Pauly *et al.*, 2012), et des quartiers avant plus développés. Leurs muscles présentent des teneurs en protéines et en lipides plus faibles, une teneur en eau plus élevée, et la viande est moins tendre (Pauly *et al.*, 2012 ; Aaslyng *et al.*, 2019). Le plus faible dépôt de lipides se traduit généralement par un plus grand degré d'insaturation des acides gras (Lebret, 2008 ; Wood *et al.*, 2008 ; Mourot et Lebret, 2009). Si en nutrition humaine une plus grande quantité d'AG polyinsaturés est considérée comme bénéfique, ce n'est pas le cas pour le secteur aval de la salaison qui recherche un tissu gras ferme et peu oxydable, donc présentant un niveau faible d'AG mono- et poly-insaturés (Scheeder *et al.*, 2000 ; Hadorn *et al.*, 2008). Ces différences motivent la recherche d'adaptations de la conduite alimentaire ciblées sur la qualité de la viande ou des gras, notamment pour les ME. En effet, la qualité de la carcasse et de la viande des MIC semble proche de celle des MCC (Batorek *et al.*, 2012), leur teneur en Lipides Intra-Musculaires

(LIM) étant intermédiaire entre celle des MCC et des ME (Font-I-Furnols *et al.*, 2019) et les niveaux d'AG polyinsaturés plus faibles que chez les ME (Pauly *et al.*, 2012 ; Poklukar *et al.*, 2021).

#### a. Vers une augmentation du dépôt de lipides intramusculaires

Selon la teneur moyenne en LIM de la lignée génétique utilisée, la diminution observée chez les ME par rapport aux MCC ou aux femelles peut avoir un impact sur les caractéristiques sensorielles de la viande de porc (texture et saveur, Fernandez *et al.*, 1999). Une stratégie de formulation permettant d'augmenter la quantité de LIM déposée sans altérer la teneur de la carcasse en viande maigre (critère d'importance majeur pour la rémunération de l'éleveur) consiste à réduire l'apport d'AA en dessous des besoins, tout en rationnant les animaux (Lebret, 2008). Cela 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 validée chez les ME, et est en porte-à-faux avec la recommandation de les alimenter à volonté.

#### b. Vers une modulation du profil en acides gras des tissus adipeux

Chez le porc, la quantité d'AG polyinsaturés déposée dans les lipides sous-cutanés et intramusculaires est étroitement liée à la quantité d'AG polyinsaturés ingérée (Bee *et al.*, 2002 ; Wood *et al.*, 2008). Pour augmenter le degré de saturation des gras, l'aliment pour les ME doit donc être formulé en intégrant des contraintes sur le profil en AG des lipides alimentaires, contraintes qui doivent sans doute être réactualisées dès lors qu'elles ont été développées pour des animaux plus gras.

### 3. Considérations pratiques sur l'élevage de mâles non castrés

Ce chapitre aborde quelques considérations pratiques relatives à l'élevage des ME en s'appuyant sur les résultats obtenus dans deux pays où les mâles

ne sont plus castrés depuis longtemps (Irlande et Royaume-Uni) et en France où l'arrêt de la castration est récent.

#### ■ 3.1. Retour sur 50 ans de non-castration

L'Irlande et le Royaume-Uni produisent des ME depuis les années 1970 parce que ces derniers ont une croissance plus rapide (+ 6 %) et une meilleure efficacité alimentaire (+ 8 %) que les MCC (Hanrahan, 1980, cité par Lawlor *et al.*, 2005). La comparaison de ces résultats à ceux obtenus plus récemment indique que l'écart d'IC est resté stable (- 8,4 %), tandis que la croissance est désormais comparable chez les ME et MCC (entre 9 et 126 kg de Poids Vif (PV), Lawlor *et al.*, 2005). De même, en France aucune différence significative de GMQ n'est observée entre 25 et 119 kg de PV, et l'écart d'IC atteint 14 % (Quiniou *et al.*, 2010). Dans ces deux études, les animaux étaient alimentés à volonté. Compte tenu des écarts de consommation spontanée entre ME et MCC, les GMQ similaires sont obtenus pour différents niveaux d'ingestion. Au contraire, pour une même quantité d'aliment allouée (*i.e.*, avec des ME alimentés à volonté et des MCC rationnés plus ou moins sévèrement), le GMQ des ME est plus élevé que celui des MCC (Quiniou *et al.*, 1996).

Traditionnellement, les producteurs irlandais et britanniques abattaient à un poids de carcasse plus faible qu'ailleurs en Europe, avec un risque d'odeurs de verrat également plus faible. Cependant, le poids d'abattage a considérablement augmenté ces dernières années dans ces deux pays. Ainsi entre 2000 et 2019, le PV final moyen est passé de 90,1 kg (68,1 kg de carcasse) à 118,4 kg (90,3 kg de carcasse) en Irlande (Teagasc, 2020). Cela s'est opéré sans augmentation de l'âge à l'abattage, voire une diminution de 1,4 jour. En effet, le GMQ sevrage-vente a augmenté de 210 g/j (785 vs. 585 g/j) grâce aux progrès de la sélection génétique et de la conduite d'élevage. Ainsi, le risque de carcasses odorantes n'est pas plus élevé aujourd'hui qu'il y a 20 ans en Irlande et au Royaume-Uni.

#### ■ 3.2. Impact environnemental de la phase d'engraissement

L'arrêt de la castration permet d'envisager une réduction de l'impact environnemental de la production porcine, compte tenu de l'abaissement de l'IC qui conduit à moins de rejets pour un aliment donné. D'après Lawlor *et al.* (2005), l'excrétion de N par kg de carcasse des ME est inférieure de 12 % à celle des MCC. Une réduction supplémentaire des rejets azotés est attendue quand les besoins en AA des ME sont couverts. En effet, l'IC des ME est amélioré significativement de 0,1 point quand les ME reçoivent des aliments permettant de couvrir leurs besoins en AA et non ceux des MCC, pour 9 % de rejets azotés en moins (tableau 2).

#### ■ 3.3. Conduite de l'alimentation

En Irlande et au Royaume-Uni, un aliment unique est utilisé entre 30 et 120 kg de PV, tandis qu'en France, sur la même gamme de poids, deux ou trois aliments sont utilisés le plus souvent : démarrage (aussi appelé nourrain), croissance, finition (distribué à partir de 65 kg de poids vif ou représentant 60 % de l'aliment total consommé pendant l'engraissement). Dans la majorité des cas, le même aliment est distribué à tous les porcs de la bande sans distinction de sexe, et la fréquence de distribution est également la même.

L'alimentation à la case avec des aliments différents est possible avec une distribution en soupe, le nombre de menus différents étant cependant fortement contraint par le nombre de cases concernées par chaque distribution. Le différentiel de croissance et d'efficacité alimentaire entre les ME et les femelles implique que ces dernières pourraient être nourries avec des régimes moins riches en AA (figure 2) voire en énergie. La mise en œuvre d'une alimentation différente selon le sexe implique des coûts d'équipement supplémentaires pour le stockage d'aliment ou la distribution notamment si l'alimentation est réalisée à la case ou de façon individualisée, mais



**Tableau 2. Performances des porcs mâles entiers alimentés à volonté selon la stratégie biphasé mise en œuvre pendant l'engraissement (Quiniou et Chevillon, 2015).**

Stratégie biphasé <sup>1</sup>	Pour mâles castrés chirurgicalement		Pour mâles entiers	
	Croissance	Finition	Croissance	Finition
Lysine digestible, g/MJ EN	0,84	0,71	0,94	0,81
<b>Performances de croissance</b>				
Aliment ingéré, kg/j	2,04		2,06	
Vitesse de croissance, g/j	886		898	
Indice de consommation	2,39		2,28	
<b>Bilan réel simplifié, kg/porc</b>				
N ingéré	5,17		4,92	
N retenu	2,24		2,24	
N excrété total	2,94		2,68	

<sup>1</sup>Phase de croissance : entre 24 et 65 kg de poids vif, phase de finition : entre 65 kg et l'abattage vers 112 kg de poids vif. Aliments formulés pour une teneur en énergie nette (EN) de 9,7 MJ/kg.

elle permet de réduire le coût alimentaire par kg de poids de carcasse sorti (Lawlor, 2020 ; outil Sim'Alter, <https://gtddirect.ifip.asso.fr/>).

### ■ 3.4. Ajeunement avant l'abattage

La demi-vie du scatol est relativement courte. L'ajeunement (mise à jeun) avant le départ pour l'abattoir permet de limiter la production du scatol et d'envisager une diminution de sa teneur dans le gras à la toute fin de l'engraissement. 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 niveau de risque d'odeur lié au scatol. Kjeldsen (1993, cité par Bee *et al.*, 2015) porte 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.

## Conclusion

Cette revue décrit les différentes voies à explorer pour adapter l'alimentation aux différentes problématiques de l'élevage des ME et des MIC, à la place des MCC, en réponse aux préoccupations sociétales sur le bien-être animal ayant conduit à l'interdiction de la castration chirurgicale à vif. L'objectif de ces stratégies est d'exploiter les gains d'efficacité de ces animaux à potentiel de croissance musculaire et rendement nutritionnel plus élevés que les MCC. Parallèlement, l'aliment doit permettre de limiter les risques d'odeurs de verrat, de produire une viande à teneur en LIM suffisante et un gras 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 les exploiter davantage. Ainsi, les stratégies d'alimentation appliquées jusqu'alors pour élever des femelles et des MCC doivent être revues, avec en premier lieu la remise en question du rationnement afin

de profiter, par une alimentation à volonté, de l'efficacité de la production sans perturber le comportement des animaux. Les aliments doivent être formulés spécifiquement pour nourrir l'animal en tenant compte de son microbiote digestif. Il est ainsi recommandé de ne pas formuler des aliments trop concentrés en énergie, l'incorporation de fibres alimentaires fermentescibles étant à privilégier pour orienter les fermentations bactériennes dans l'intestin et réduire le risque d'odeurs de verrat lié au scatol. Pour le choix de la teneur en acides aminés de l'aliment, tout dépend de l'objectif à atteindre : exploiter le potentiel de dépôt de protéines ou favoriser le dépôt de lipides. Dans ce dernier cas, le profil en acides gras des lipides alimentaires devant également être contrôlé. L'arrêt de la castration chirurgicale incite à adopter une approche globale qui tienne compte de l'impact du régime alimentaire sur toutes les composantes de la performance, à savoir le risque d'odeurs, la qualité des produits, le bien-être, l'environnement, la santé et, bien sûr, la rentabilité.

## Contributions des auteurs

La rédaction et révision de l'article a été coordonnée par Nathalie QUINIOU et Giuseppe BEE. Giuseppe BEE, Peadar LAWLOR, Hanne MARIBO, Nathalie QUINIOU, et Galia ZAMARATSKAIA ont participé à la rédaction d'un ou plusieurs chapitres de la première version de l'article. Tous les auteurs ont approuvé la version soumise pour publication.

## Remerciements

Les auteurs souhaitent témoigner leur reconnaissance à Ulrike Weiler (13/11/1956 – 26/07/2020) pour son implication sans relâche dans le pilotage du COST IPEMA (réseau européen sur la recherche d'alternatives à la castration des porcs mâles).

## Références

- Aaslyng M.D., Støier S., Lund B.W., Nielsen D.B., 2019. Slaughtering of entire male pigs seen from the slaughterhouse perspective. IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci., 333, 012003. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012003>
- 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. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa129>
- 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? Animal, 11, 896. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11030896>
- 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. <https://doi.org/10.1017/s1751731112000146>
- Bedford A., Gong J., 2018. Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. Anim. Nutr., 4, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.010>
- Bee G., Quiniou N., 2022. Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immuno-castrés et pour réduire les risques d'odeurs de verrat dans la viande? Journ. Recherche Porcine, 54, 117-128.
- 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. <https://doi.org/10.2527/2002.8061564x>
- Bee G., Chevillon P., Bonneau M., 2015. Entire male pig production in Europe. Anim. Prod. Sci., 55, 1347-1359. <https://doi.org/10.1071/AN15279>
- 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. <https://doi.org/10.1017/s1751731116002597>
- 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. <https://doi.org/10.2527/1995.7382355x>
- Bilić-Šobot D., Kubale V., Škrlep M., Candek-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. <http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2016.1206735>
- 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. <http://hdl.handle.net/102.100/271908?index=1>
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00102-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00102-3)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.02.012>
- 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. <https://doi.org/10.2527/2003.811239x>
- 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 Journ. Recherche Porcine, 45, 69-70. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2013/bee/JRP-2013-bienetre05.pdf>
- Dunshea F.R., Colantoni C., Howard K., McCauley I., Jackson P., Long K.A., Lopaticki 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. <https://doi.org/10.2527/2001.79102524x>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001407>
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mouro J., Lebret 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. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00038-8)
- 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. <https://doi.org/10.1017/s1751731118002021>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.020>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.01.016>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.018>
- 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. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6290>
- Jensen M.T., Cox R.P., Jensen B.B., 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 61, 3180-3184. <https://doi.org/10.1128/aem.61.8.3180-3184.1995>
- Lawlor P.G., 2020. Management of male and female finisher pigs. Teagasc Pig Advisory Newsletter, March 2020, 11 pp. <https://www.teagasc.ie/publications/2020/pigs-newsletter---march-2020.php>
- 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 pp. <https://t-stor.teagasc.ie/bitstream/handle/11019/999/eopr-4939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2010-3267>
- Lebret B., 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. Animal, 2, 1548-1558. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002796>
- 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. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.000083>
- Li X., Jensen B.B., Canibe N., Nojiri 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. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.02327-18>
- Lösel D., Claus R., 2005. Dose-dependent effects of resistant potato starch in the diet on intestinal skatole formation and adipose tissue accumulation in the pig. J. Vet. Med. A, 52, 209-212. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2005.00716.x>

- Maribo H., Claudi-Magnussen C., Jensen B.B., 2010. Effect of 15% dried chicory root in feed for male pigs. Videncenter for Svineproduktion (Ed), Foulum, Denmark, Rapport 876, 14 pp. [https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu\\_medd/2010/876](https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2010/876)
- Maribo H., Jensen B.B., Thoning H., 2015. Fibres reduces skatol in male pigs. Videncenter for Svineproduktion (Ed), Foulum, Denmark, Report 1055, 13 pp. [https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu\\_medd/2015/1055](https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2015/1055)
- Møller S., Maribo H., 2013. 4 days feeding with pure grain before slaughter reduces skatol in male pigs. Videncenter for Svineproduktion (Ed), Foulum, Denmark, Report 989, 8 pp. [https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu\\_medd/2013/989](https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2013/989)
- Monteiro A.N.T.R., Bertol T.M., de Oliveira P.A.V., Dourmad J.Y., Coldebella A., Kessler A.M., 2017. The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. *Livest. Sci.*, 197, 162-169. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.014>
- Moore K.L., Mullan B.P., Kim J.C., Dunshea F.R., 2016. Standardized ileal digestible lysine requirements of male pigs immunized against gonadotrophin releasing factor. *J. Anim. Sci.*, 94, 1982-1992. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9622>
- Mourou J., Lebreton B., 2009. Modulation de la qualité de la viande de porc par l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 22, 33-40. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2009.22.1.3330>
- Nofrías 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. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.08.016>
- 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. <http://dx.doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.1.2206>
- Pauly C., Spring P., Doherty J.V., Ampuero Kragten S., Bee G., 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrated and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal*, 2, 1707-1715. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002826>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.007>
- 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. <https://doi.org/10.1080/1745039x.2014.932962>
- Poklucar K., Čandek-Potokar M., Vred 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. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100118>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.06.002>
- de Quelen F., Brossard L., Wilfart A., Dourmad J.Y., Garcia-Launay F., 2021. Eco-friendly feed formulation and on-farm feed production as ways to reduce the environmental impacts of pig production without consequences on animal performance. *Front. Vet. Sci.*, 8, 689012. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.689012>
- 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. *Journ. Recherche Porcine*, 47, 69-74. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2015/alimentation/03A.pdf>
- 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. *Journ. Recherche Porcine*, 48, 141-142. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2021/environnement/env01.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S1357729800014831>
- 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. *Journ. Recherche Porcine*, 42, 113-118. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2010/alimentation/A6.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000444>
- 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. *Journ. Rech. Porcine*, 45, 57-62. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2013/bea/B03.pdf>
- 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. *Journ. Rech. Porcine*, 49, 81-86. <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2017/alimentation/A05.pdf>
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., 2014. Regulation of porcine hepatic cytochrome P450-implication for boar taint. *Comput. Structur. Biotechnol. J.*, 11, 106-112. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.csbj.2014.09.003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.10.018>
- Rira M., 2019. Les tanins hydrolysables et condensés : une piste pour la réduction de la production du méthane entérique par les ruminants en milieu tropical. Thèse de l'Université Clermont Auvergne, 216 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02861917>
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Bee G., 2019. Dietary CP 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. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000770>
- Sachar M., Ma X., 2013. Nuclear receptors in herb-drug interactions. *Drug Metab. Rev.*, 45, 73-78. <http://dx.doi.org/10.3109/03602532.2012.753902>
- 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. [http://dx.doi.org/10.1002/1438-9312\(200006\)102:6%3C391::AID-EJLT391%3E3.3.CO;2-T](http://dx.doi.org/10.1002/1438-9312(200006)102:6%3C391::AID-EJLT391%3E3.3.CO;2-T)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100110>
- Squires E.J., Bone C., Cameron J., 2020. Pork production with entire males: directions for control of boar taint. *Animals*, 10, 1665. <http://dx.doi.org/10.3390/ani10091665>
- Teagasc, 2020. National herd performance report 2019. Report, Teagasc Head Office (Ed), Carlow, Irlande, 18 pp. <https://www.teagasc.ie/publications/2020/national-pig-herd-performance-report-2019.php>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104137>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103855>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054941>



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., 2013. Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal*, 7, 1841-1848. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001328>

While S.G., Kjos N.P., Sørnum 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. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002138>

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. <https://doi.org/10.3390/ani10112140>

Wesoly R., Weiler U., 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animals*, 2, 221-242. <https://doi.org/10.3390/ani2020221>

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. <https://doi.org/10.1128/aem.02458-07>

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 Microb.*, 7, 246-261. <https://doi.org/10.1080/19490976.2016.1156827>

Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. Ecoalim: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. *PLoS ONE*, 11:e0167343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167343>

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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>

Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, 3, 1508-1521. <https://doi.org/10.1017/s17517311108003674>

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#.YUg6q7qza70>

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. <https://doi.org/10.1002/STAR.201600032>

## Résumé

Cet article fait le point sur les connaissances relatives aux besoins nutritionnels des porcs mâles non castrés chirurgicalement, dans la perspective de mieux valoriser leur potentiel de croissance pour une meilleure efficacité alimentaire, tout en veillant à maintenir un faible risque d'odeurs de verrat et à préserver les qualités de la carcasse et de la viande. Les raisons pour lesquelles une alimentation à volonté des mâles entiers doit être privilégiée, plutôt qu'un rationnement alimentaire, avec des aliments plus concentrés en acides aminés, sont présentées, notamment pour optimiser leur potentiel de développement de la masse protéique. Elles s'appliquent également aux porcs mâles immuno-castrés, qui peuvent être nourris comme les mâles entiers jusqu'à la deuxième vaccination contre les odeurs de verrat. Au-delà, leurs besoins en acides aminés essentiels sont nettement inférieurs à ceux des mâles entiers et les apports peuvent être diminués. Le risque d'odeurs de verrat de la viande est un problème crucial pour l'aval qui doit être maîtrisé en amont dans la production de mâles entiers. À cette fin, les impacts de l'incorporation de divers ingrédients alimentaires susceptibles de réduire les teneurs en scatole sont discutés, tant pour ce qui concerne leur efficacité que les mécanismes mis en œuvre. Avec une très faible adiposité de carcasse, les mâles entiers présentent une teneur en lipides intramusculaires inférieure à celle des femelles et des mâles castrés chirurgicalement, ce qui pénalise la qualité organoleptique de la viande. Par ailleurs, les acides gras du tissu adipeux des mâles entiers peuvent être fortement insaturés, ce qui modifie l'aptitude technologique au séchage des produits. La prise en compte de ces critères dans les cahiers des charges peut orienter les recommandations alimentaires.

## Abstract

### **What kind of feeding strategies should be used to meet nutritional requirements of entire male pigs and/or immuno-castrated pigs and to reduce the risk of boar taint in meat?**

*This paper reviews the available knowledge on nutritional requirements of non-surgically castrated male pigs to promote their potential for higher feed efficiency while ensuring low risk of boar taint and good carcass and meat qualities. Reasons for giving entire males ad libitum access to diets enriched with amino acids to satisfy their high potential for protein deposition are presented. This also applies to immuno-castrated male pigs, which can be fed like entire males until the second vaccination. Then their requirements for essential amino acids decrease significantly and supplies can be reduced accordingly. As boar taint is a crucial issue when producing entire male pigs, effects of incorporating various feed ingredients to reduce skatole level are discussed in terms of their efficacy and mode of action. With a low carcass adiposity, entire males have a lower intramuscular lipid content than females and barrows, which decreases the organoleptic quality of the meat. In addition, adipose tissues whose fatty acids may be highly unsaturated modify the technological aptitude of processed- and dry cured products. Accounting for these criteria in quality specifications of products may have impact and induce changes on the nutritional recommendations.*

QUINIOU N., BEE G., MARIBO H., ZAMARATSKAIA G., LAWLOR P., 2022. Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immuno-castrés et pour réduire les risques d'odeurs de verrat dans la viande ? *INRAE Prod. Anim.*, 35, 109-120.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.2.7079>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.