

Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles

Séverine PAROIS¹, Michel BONNEAU², Patrick CHEVILLON², Catherine LARZUL³, Nathalie QUINIOU², Annie ROBIC³, Armelle PRUNIER¹

¹ PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590, Saint-Gilles, France

² IFIP-Institut du Porc, BP 35004, La Motte au Vicomte, 35651, Le Rheu, France

³ GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-ENVY, 31320, Castanet Tolosan, France

Courriel : armelle.prunier@inra.fr

■ Les défauts d'odeur des viandes, liés à la présence d'androsténone et de scatol dans le tissu adipeux, sont le frein majeur au développement de l'élevage des porcs mâles entiers. L'accumulation de ces molécules est sous le contrôle de multiples facteurs. Quels sont-ils ? Dans quelle mesure peut-on les utiliser pour réduire les défauts d'odeur des carcasses ? À défaut d'abolir entièrement les carcasses odorantes, comment les utiliser dans la chaîne de production ?

Introduction

La majorité des porcs mâles continuent à être castrés à vif en France et dans les autres pays de l'UE malgré l'objectif d'arrêter cette pratique d'ici 2018 (Anonymous, 2010). Cette pratique, réalisée essentiellement pour éviter des odeurs désagréables dans la viande, est douloureuse et les antalgiques sont peu efficaces ou présentent de nombreux inconvénients qui les rendent difficilement applicables (Courboulay *et al.*, 2017). Une première solution au problème est l'immunocastration qui consiste à inhiber l'activité testiculaire en neutralisant, par des anticorps, l'hormone hypothalamique nécessaire à cette activité. Cependant, cette méthode présente plusieurs inconvénients (Guatteo *et al.*, 2012). L'autre solution possible est l'élevage de porcs mâles non castrés (= mâles entiers) (figure 1). Cette option nécessite de résoudre le problème des odeurs sexuelles et de réduire le risque de comportements agressifs et sexuels

qui peuvent à leur tour détériorer le bien-être animal ou la qualité de la carcasse (Prunier et Bonneau, 2006). Cet article fait le point des connaissances sur les principaux composés à l'origine des odeurs sexuelles, leurs mécanismes de synthèse et de dégradation,

les facteurs de variation de leur teneur dans la viande et de leur perception par les consommateurs puis les méthodes de détection. Les leviers d'action disponibles pour résoudre le problème posé et les verrous à lever sont ensuite présentés et discutés.

Figure 1. Élevage de porcs mâles non castrés.



1. Définition et origine de l'odeur de verrat

Des odeurs désagréables, qualifiées d'odeurs sexuelles, peuvent se manifester lors de la cuisson de la viande de porc mâle entier. Deux molécules en sont principalement à l'origine : l'androsténone (5-androst-16-ene-3one), à odeur urinaire prononcée, et le scatol (3-methyl-indole), à odeur fécale caractéristique (Prunier et Bonneau, 2006 ; Lundström *et al.*, 2009). Une troisième molécule, l'indole, ayant également une odeur fécale est probablement impliquée mais à un moindre degré compte tenu de la plus faible sensibilité des consommateurs pour cette molécule (Moss *et al.*, 1993). Ces trois molécules sont lipophiles et s'accumulent dans le tissu gras. La présence excessive de l'androsténone seule ou du scatol seul est suffisante pour induire une odeur désagréable. Ce problème d'odeur semble l'apanage du porc mâle entier même si des problèmes sont ponctuellement rapportés chez des porcs femelles (Hansen *et al.*, 1994) ou chez l'agneau à cause du scatol (Devincenzi *et al.*, 2014) et chez le bélier tibétain à cause de l'androsténone (Han *et al.*, 2015).

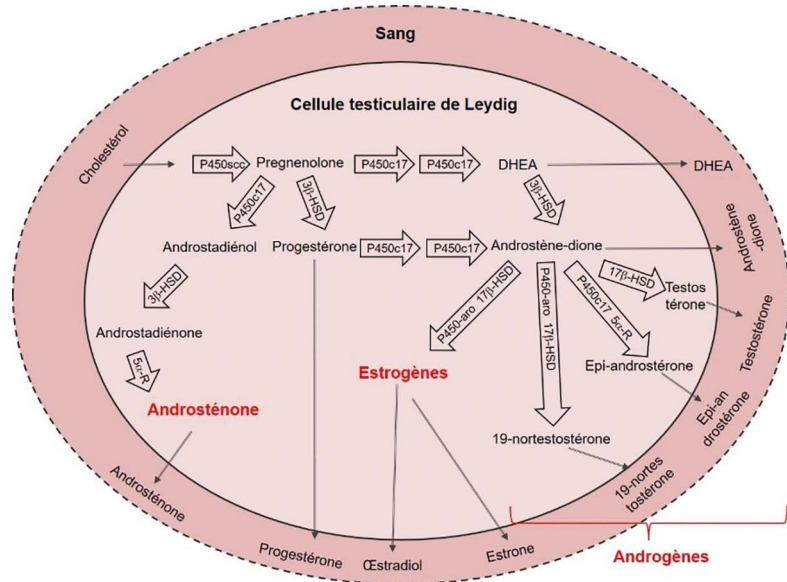
■ 1.1. L'androsténone

Les testicules porcins ont la particularité de synthétiser de l'androsténone en quantité importante, en sus des autres stéroïdes (Robic *et al.*, 2014). Ce composé a un rôle de phéromone bien démontré pour la reproduction (stimulation du comportement sexuel des femelles) et possible pour la régulation des relations sociales (McGlone *et al.*, 1986).

L'androsténone est synthétisée à partir du cholestérol sanguin par les cellules de Leydig (figure 2). L'activité de ces cellules est régulée par deux hormones hypophysaires, la LH (« *Luteinizing Hormone* ») et la FSH (« *Folliculo-Stimulating Hormone* »), elles-mêmes sous le contrôle de l'hormone hypothalamique GnRH (« *Gonadotrophin-Releasing Hormone* »). Trois enzymes (cytochrome P450scc, cytochrome P450C17, 3 β -hydroxy-stéroïde déshydrogénase synthétisées par les gènes

Figure 2. Biosynthèse des stéroïdes sexuels dans le testicule de porc.

- Le nom des enzymes est inscrit à l'intérieur des flèches.
- Toutes les enzymes dont le nom commence par P450 sont intégrées au complexe cytochromique P450 : P450scc est codée par le gène CYP11A1, P450c17 est codée par le gène CYP17A et P450-aro codée par l'un des 3 gènes CYP19A1x.
- L'enzyme 3 β -HSD (enzyme 3 β -hydroxystéroïde déshydrogénase/ Δ 5- Δ 4 isomérase) est codée par le gène HSD3B, 17 β -HSD (enzyme 17 β -hydroxystéroïde déshydrogénase) par l'un des gènes HSD17 β x ou par l'un des 5 gènes AKRCx, et 5 α -R (enzyme 5 α -réductase) est codée par le gène SRD5A.
- DHEA = déhydroépiandrostérone.



CYP11A1, CYP17 et HSD3B) sont communes aux voies de synthèse de l'androsténone, des androgènes et des œstrogènes (Robic *et al.*, 2014), seules une ou deux de ces enzymes étant spécifiques d'un type de stéroïdes (figure 2). La quatrième enzyme (5 α -réductase codée par le gène SRD5A1) nécessaire à la synthèse de l'androsténone est aussi impliquée dans la synthèse d'autres androgènes, en particulier l'épi-androstérone. Les synthèses de l'androsténone et des œstrogènes sont très fortement corrélées entre elles et très faiblement avec celle de la testostérone (Robic *et al.*, 2016). Cependant, le lien entre la synthèse des œstrogènes et de l'androsténone n'est probablement pas un lien de cause à effet puisque l'abolition de la synthèse des œstrogènes pendant plusieurs semaines par un inhibiteur spécifique ne modifie pas la teneur en androsténone du tissu adipeux (Zamaratskaia et Berger, 2014).

L'androsténone circule dans le sang essentiellement sous forme libre (Zamaratskaia *et al.*, 2008). Cependant, une fraction minoritaire est liée de façon

non spécifique à des protéines du sang. Une partie de l'androsténone circulante est captée par les glandes salivaires et excrétée dans le milieu extérieur par la salive pour jouer son rôle de phéromone. L'androsténone est liée dans la salive à une protéine spécifique, la phéromaxéine, qui permet d'augmenter sa solubilité (Booth, 1984). Une autre partie de l'androsténone circulante passe dans le tissu gras où elle est stockée. Tous les types de tissu gras sont concernés : intramusculaire, intra-abdominal et surtout sous-cutané (Wauters *et al.*, 2016 ; Meinert *et al.*, 2017). Il s'agit, *a priori*, d'un stockage passif qui est d'autant plus facile que la molécule est très lipophile. Ce stockage est réversible et l'androsténone du tissu gras peut être relarguée dans le sang. La demi-vie apparente de l'androsténone dans le tissu adipeux sous-cutané mesurée après castration des porcs est de l'ordre de 4 jours (Bonneau *et al.*, 1982). Par ailleurs, le tissu gras ne possède pas les enzymes nécessaires pour synthétiser l'androsténone à partir du cholestérol ou d'autres stéroïdes issus de la circulation sanguine (Robic *et al.*, 2016).

Une partie de l'androsténone circulante est métabolisée. Ce métabolisme comprend deux étapes distinctes : une étape d'inactivation (métabolisme de phase 1) et une étape de conjugaison (métabolisme de phase 2) (Zamaratskaia et Squires, 2009). Ces mécanismes de dégradation sont communs à de très nombreuses molécules, stéroïdes ou xénobiotiques. Le foie est l'organe principal de dégradation de l'androsténone, mais les poumons et les reins (surtout pour la phase 2) peuvent être mis à contribution. La 3 β -hydroxy-stéroïde déshydrogénase semble être l'enzyme majeure du métabolisme de phase 1 qui conduit à au moins deux métabolites : le 3 α -androsténol et le 3 β -androsténol. Les principales enzymes du métabolisme de phase 2, SULT1A1 (sulfotransférase) et UGT (uridine-di-phosphate-glucuronosyltransférase), permettent d'ajouter un groupement sulfate ou glucuronyl qui aboutit à une grande diversité de produits terminaux (Bonneau et Terqui, 1983). Cette phase 2 augmente la solubilité des métabolites et facilite leur élimination urinaire.

■ 1.2. Le scatol

Le scatol est synthétisé dans le colon par des bactéries (figure 3) à partir de tryptophane (TRP) provenant de la fraction indigestible de l'aliment et de TRP d'origine endogène (desquamation de la muqueuse

intestinale, recyclage de TRP bactérien) (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Le TRP peut également être métabolisé en indole (figure 3). Les quantités de scatol et d'indole produites dépendent largement de la quantité de TRP disponible et de l'activité bactérienne. Cette production semble similaire chez les individus mâles entiers, mâles castrés et femelles (Zamaratskaia et Squires, 2009) même si des différences de microbiote existent entre mâles et femelles (Zhou *et al.*, 2015). Une partie importante du scatol et de l'indole produits est directement excrétée dans les fèces d'où ces molécules peuvent être volatilisées en l'état ou après modification par les bactéries présentes dans les déjections. À notre connaissance, le scatol n'a pas de rôle biologique.

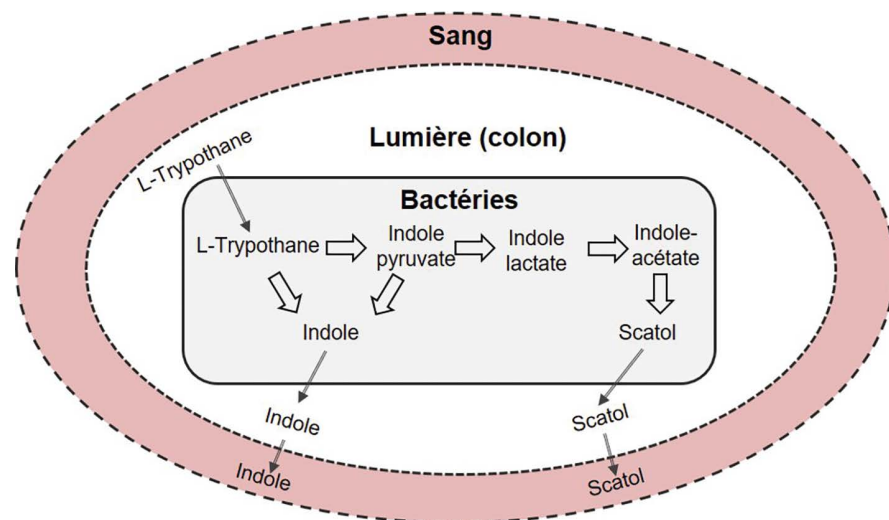
Le scatol et l'indole sont absorbés par la muqueuse intestinale tout au long du colon et transportés par la veine porte vers le foie, où une partie est catabolisée en proportion variable d'un porc à l'autre (de moins de 50 % à plus de 90 % selon Agergaard et Laue (1998). Une petite quantité de scatol semble être absorbée vers la fin du colon et le rectum et transférée vers la circulation générale par la veine cave sans passer par le foie (Claus *et al.*, 1993). Comme pour l'androsténone, le scatol du sang peut passer dans les différents tissus gras pour y être

stocké. Ce stockage est, *a priori*, passif et réversible.

Le scatol non stocké dans le tissu gras est métabolisé. Ce métabolisme comporte les deux étapes déjà décrites pour l'androsténone et se situe dans les mêmes organes (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Le métabolisme de la phase 1 conduit à au moins huit métabolites différents, dont l'3-hydroxy-3-méthylindole (HMOI) et l'indole-3-carboxylique acide. Leurs concentrations urinaires mesurées la veille de l'abattage sont corrélées significativement à la teneur en scatol du tissu adipeux (Wesoly et Weiler, 2012 ; Brunius *et al.*, 2016). Les enzymes impliquées dans cette phase appartiennent à la superfamille du cytochrome P450 : enzymes codées par les gènes CYP1A1 et CYP1A2, CYP2A19, CYP2C33v4, CYP2C49, CYP3A et CYP2E1 (Rasmussen et Zamaratskaia, 2014 ; Nielsen *et al.*, 2017). Ces enzymes participent d'une façon générale à la détoxification des xénobiotiques et plusieurs d'entre elles sont présentes dans d'autres tissus que le foie comme le sang, l'intestin, les tissus musculaires et adipeux. Le statut hormonal de l'animal régule l'activité de ces enzymes. D'une façon générale, les stéroïdes testiculaires semblent réduire l'activité de ces enzymes au niveau hépatique (Rasmussen et Zamaratskaia, 2014), avec des variations en fonction de l'enzyme ou du stéroïde considéré (Rasmussen et Zamaratskaia, 2014 ; Borrissier-Pairo *et al.*, 2015). Il en résulterait un risque d'odeur lié au scatol plus élevé chez les mâles non castrés que chez les mâles castrés et les femelles. Le métabolisme de la phase 2 aboutit à une forte diversité de produits terminaux, où les conjugués 6-sulfatoxy-scatol, sulfatés ou glucuroniques du 5-OH-3-MI et du HMOI sont prédominants. L'élimination de ces métabolites se fait essentiellement par voie urinaire (Friis, 1993). La demi-vie du scatol semble beaucoup plus courte que celle de l'androsténone. Après injection intraveineuse d'un produit marqué au ¹⁴C, 85 % de la radioactivité est récupérée au bout de 24 heures pour le scatol (Friis, 1993) contre moins de 60 % au bout d'une semaine pour l'androsténone (Bonneau et Terqui, 1983).

Figure 3. Biosynthèse du scatol dans l'intestin.

- L'action d'enzymes est symbolisée par des flèches creuses
- Les bactéries sont par ex. *Clostridium drakei* ou *Lactobacillus helveticus*



2. Facteurs de variation

■ 2.1. L'âge et le poids vif

L'androsténone est produite de façon croissante au cours du développement pubertaire comme l'attestent l'augmentation simultanée des concentrations plasmatiques d'androsténone, de testostérone et d'œstradiol ainsi que le franchissement des différentes étapes de la spermatogénèse jusqu'à l'acquisition de la fertilité (Zamaratskaia *et al.*, 2004 ; Wagner et Claus, 2008). Il en résulte une augmentation de la teneur en androsténone avec l'âge dans le tissu gras (Bonneau *et al.*, 1987). Cette augmentation a lieu entre 2 et 5 mois d'âge selon l'individu et la race considérés (cf. § 2.2.). L'évolution de la teneur en scatol en fonction de l'âge semble moins liée au développement pubertaire (Zamaratskaia *et al.*, 2004).

L'âge, et son corollaire le poids vif à l'abattage, constituent une source de variation de la teneur en androsténone de la viande. Cependant, pour la réduire de façon très importante, il faudrait abattre les animaux très tôt au cours du développement pubertaire et probablement très en deçà de la pratique actuelle, environ 120 kg de poids vif et 6 mois, comme le suggèrent les résultats de Walstra *et al.* (1999).

■ 2.2. Le génotype

Plusieurs études ont montré que les lignées maternelles, sélectionnées sur des caractères de reproduction et de productivité numérique, ont des risques d'odeur de verrat plus élevés que les lignées paternelles principalement sélectionnées sur la vitesse de croissance, l'efficacité alimentaire ou contre l'adiposité de la carcasse. Ainsi, Mathur *et al.* (2013) ont mis en évidence que les lignées maternelles Landrace et Yorkshire ont des concentrations d'androsténone et de scatol dans le gras dorsal plus élevés qu'une lignée paternelle de type Piétrain au stade usuel d'abattage. La race Duroc présente un niveau d'androsténone encore plus élevé au même stade (Oskam *et al.*, 2010).

Dans la revue bibliographique de Robic *et al.* (2008), l'héritabilité de la teneur en androsténone est estimée à 0,56 en moyenne, avec une gamme très large, de 0,25 à 0,88. L'héritabilité de la teneur en scatol est moins élevée, se situant entre 0,19 et 0,54. Ces résultats ont été confirmés par des études plus récentes (Baes *et al.*, 2013 ; Mathur *et al.*, 2013 ; Parois *et al.*, 2015). La corrélation génétique entre la teneur des deux composés est positive, avec une valeur de l'ordre de 0,4. Lorsque le défaut d'odeur est évalué par une analyse sensorielle, en laboratoire ou à l'abattoir, par comparaison avec des méthodes analytiques, l'héritabilité est plus faible. Par exemple, l'héritabilité de l'odeur de verrat évaluée par le nez humain à l'abattoir est estimée à 0,11-0,14 (Mathur *et al.*, 2013).

Plusieurs études ont été réalisées pour identifier les zones du génome ayant un effet quantitatif sur le caractère d'odeur de verrat. D'après leurs résultats, recensés par le NAGRP sur le site <https://www.animalgenome.org/>, les zones détectées dépendent largement, d'une part, des lignées utilisées dans les protocoles de détection et, d'autre part, des méthodes de mesure de l'odeur de verrat. Quelques zones du génome ont été localisées sur les chromosomes 6, 7, 10 et 14 pour l'androsténone et/ou le scatol (de Campos *et al.*, 2015 ; Große-Brinkhaus *et al.*, 2015). Jusqu'à présent aucune mutation causale ayant un effet direct sur les niveaux d'androsténone ou de scatol n'a pu être mise en évidence dans les études conduites sur le polymorphisme de gènes impliqués dans le métabolisme de ces deux composés.

Compte tenu de l'héritabilité élevée des caractères liés à l'odeur de verrat, il est possible de mettre en œuvre des stratégies de sélection pour diminuer ce risque. Ainsi Willeke *et al.* (1987) ont démontré qu'il était possible d'abaisser le niveau d'androsténone dans le tissu gras sans toutefois pouvoir atteindre une concentration indétectable. Au niveau des populations en sélection, la méthode de sélection la plus efficace implique de doser les composés odorants dans un échantillon de gras prélevé par biopsie sur les animaux vivants (Baes

et al., 2013). Ceci permet de diminuer le risque d'odeur de verrat plus rapidement qu'en s'appuyant sur des dosages effectués à partir d'échantillons prélevés à l'abattoir sur des collatéraux. Cependant, l'alternative mise en œuvre actuellement est d'évaluer le risque à l'abattoir chez les collatéraux par le nez humain (Mathur *et al.*, 2013) car cela permet de travailler sur de grands effectifs. Par ailleurs, il est possible d'utiliser l'information génomique pour prédire les teneurs en composés odorants dans le tissu gras (Haberland *et al.*, 2014 ; de Campos *et al.*, 2015 ; Lukić *et al.*, 2015).

La sélection contre l'odeur de verrat doit être conduite en tenant compte des incidences potentielles sur les autres caractères d'intérêt, notamment les caractères de reproduction et de qualité des produits. En effet, une sélection contre l'androsténone n'induit pas d'évolution défavorable des caractères de croissance et de composition de la carcasse, mais elle risque d'altérer les caractères de reproduction mâle et femelle (Willeke *et al.*, 1987 ; Sellier et Bonneau, 1988 ; Mercat *et al.*, 2015). Cependant, les corrélations génétiques estimées entre le niveau d'androsténone dans le gras et la taille de la portée par Strathe *et al.* (2013a, 2013b) n'indiquent pas d'antagonisme génétique. Hidalgo *et al.* (2014) ont même montré qu'une sélection contre les odeurs de verrat à partir d'un haplotype du chromosome 6 pouvait avoir des effets plutôt favorables sur les caractères de reproduction des truies. Par ailleurs, les teneurs en eau et en gras intra-musculaire de la viande ou en gras de la carcasse diffèrent entre mâles castrés et mâles entiers, ce qui témoigne de l'implication des stéroïdes sexuels sur ces critères (Prunier et Bonneau, 2006 ; Pauly *et al.*, 2012). De plus, Mörlein et Tholen (2015) ont observé des concentrations en acides gras polyinsaturés plus élevées chez les porcs présentant de très faibles concentrations de composés odorants par rapport à ceux ayant des niveaux élevés. On peut donc s'attendre à des effets de la sélection génétique contre les odeurs sexuelles sur d'autres critères de qualité de la viande et des carcasses. Cependant, à notre connaissance, ces effets n'ont pas encore été suffisamment évalués.

■ 2.3. La conduite alimentaire

Le scatol étant issu de la dégradation du TRP dans le colon, l'alimentation est un levier d'action potentiel de sa production et *in fine* de sa teneur dans le gras du fait de son influence sur *i*) la disponibilité du TRP dans le colon, *ii*) l'orientation des fermentations bactériennes et *iii*) l'élimination fécale du scatol produit.

Le TRP présent dans le colon provient de la fraction indigestible de l'aliment ou des sécrétions endogènes (desquamation de la muqueuse intestinale ou du recyclage du TRP bactérien) (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). La fraction indigestible peut être réduite en diminuant le taux d'incorporation des sources de protéines telles que les tourteaux. La couverture des besoins et l'équilibre des apports en acides aminés essentiels sont alors assurés en incorporant des acides aminés de synthèse. Cette stratégie mise œuvre par Quiniou et Chevillon (2015) s'est révélée efficace pour réduire l'afflux de TRP dans le gros intestin mais n'a pas permis de réduire de façon significative la concentration en scatol du tissu adipeux dans leurs conditions expérimentales.

Les fibres fermentescibles constituent une source d'énergie indigestible pour le porc mais utilisable par les bactéries tandis que la lignine est relativement inerte (Van Oeckel *et al.*, 1998). En disposant de l'énergie provenant de fibres fermentescibles, la croissance bactérienne peut être stimulée. Une partie du TRP présent est alors incorporée dans les protéines bactériennes et donc non disponible pour la production de scatol. Par ailleurs, les processus fermentaires conduisent à la production d'acides gras volatils qui abaissent le pH de la lumière intestinale, ce qui oriente l'utilisation du TRP vers la production d'indole au lieu du scatol (Wesoly et Weiler, 2012). De plus, le butyrate issu de la fermentation des fibres inhibe l'apoptose et donc l'apport de TRP endogène issu des muqueuses intestinales. D'autres effets des fibres peuvent être attendus. L'accélération du transit digestif (Lindberg, 2014) serait favorable

à l'élimination fécale du scatol. En revanche, l'effet « barrière » des fibres réduit l'accessibilité des polypeptides des aliments à l'action des enzymes digestives (pepsines et peptidases) et accroît ainsi la fraction indigestible.

Parmi les matières premières étudiées pour réduire le risque d'odeur liée au scatol, certaines sont efficaces quand l'apport est réalisé durant les 2 semaines qui précèdent l'abattage. L'amidon cru de pomme de terre, distribué à hauteur de 600 g par jour réduit la proportion de porcs à teneur élevée en scatol (Zamaratskaia *et al.*, 2005). La chicorée, incorporée à hauteur de 15 % dans l'aliment permet de diminuer le niveau moyen de scatol dans le gras. Le lupin incorporé à 25 % dans l'aliment est également efficace mais avec des effets négatifs sur la croissance (Hansen *et al.*, 2008), tandis qu'incorporé à 10 % il n'influence significativement ni la vitesse de croissance ni la teneur en composés indoliques (Aluwé *et al.*, 2009).

Le mode de présentation et de distribution de l'aliment, granulé ou farine distribuée sous forme de soupe, pourrait influencer la teneur en scatol via des effets sur l'utilisation digestive de l'aliment. Cependant, l'incidence sur la teneur en scatol du gras reste modérée (Wesoly et Weiler, 2012 ; Quiniou *et al.*, 2013). Un rationnement en fin d'engraissement semble augmenter le risque d'odeurs évaluées par le nez humain (Van Wagenberg *et al.*, 2013). Cet effet pourrait s'expliquer par le fait qu'en rationnant les animaux, ils sont plus âgés à l'abattage et donc probablement plus matures au plan pubertaire. Sachant que le nez humain ne permet pas de différencier une odeur déplaisante liée au scatol seul, à l'androsténone seule ou aux deux, le risque pourrait concerner l'une des deux ou les deux molécules.

La mise à jeun avant l'abattage devrait réduire la production de scatol dans l'intestin et *in fine* la teneur dans le gras compte tenu de la demi-vie courte du scatol. La seule référence bibliographique disponible montre qu'un jeûne de 12 heures réduit le risque par rapport à l'absence de mise à jeun (Kjeldsen, 1993). D'après Van Wagenberg *et al.*

(2013), le risque d'odeurs évaluées par le nez humain est augmenté si le jeûne dure moins de 6 heures par rapport à 6-12 heures et ne change pas au-delà de 12 heures.

Les recommandations en termes de conduite alimentaire sont de raisonner les caractéristiques de l'aliment à apporter en fin d'engraissement dans l'objectif de nourrir à la fois l'animal et son microbiote, d'alimenter les porcs de façon libérale et de mettre les porcs suffisamment longtemps à jeun avant l'abattage. L'utilisation d'un aliment spécifique de fin d'engraissement peut s'avérer efficace pour réduire le scatol mais est potentiellement coûteux et difficile à organiser quand tous les porcs de la case ne sont pas abattus le même jour.

■ 2.4. L'environnement physique

Chez le verrat adulte, les concentrations plasmatiques et séminales de testostérone et d'androsténone sont maximales en fin d'été/début d'automne à cause des variations de la photopériode (Claus *et al.*, 1983 ; Weiler *et al.*, 1996). Chez le porc mâle entier en croissance, cet effet sur le développement sexuel ou la teneur en androsténone du tissu gras n'est pas clairement établi au poids usuel d'abattage. Cependant, les études portant sur ce sujet (Andersson *et al.*, 1998 ; Walstra *et al.*, 1999 ; Prunier *et al.*, 2013 ; Thomsen *et al.*, 2015b) ont comparé des périodes centrées sur juin/juillet et décembre/janvier qui ne correspondent pas à celles des minima et maxima définis chez le verrat adulte.

D'après Hansen *et al.*, (1994), la concentration en scatol du tissu adipeux augmente chez les porcs abattus en été (température ambiante dans les bâtiments $\geq 22^\circ\text{C}$) comparativement en hiver (17°C), mais cet effet n'est pas retrouvé dans certaines études (Prunier *et al.*, 2013 ; Thomsen *et al.*, 2015b) ou seulement partiellement (Walstra *et al.*, 1999). Cette variabilité des résultats s'explique probablement par une interaction complexe entre propreté des animaux, renouvellement de l'air et température ambiante dans les salles.

L'augmentation de la température ambiante au-delà de la température critique supérieure du porc déclenche des adaptations comportementales permettant au porc d'évacuer une partie de la chaleur qu'il produit. Ainsi, les animaux se roulent dans leurs déjections pour se mouiller et augmenter la perte de chaleur par évaporation (Huynh *et al.*, 2005 ; Thomsen *et al.*, 2015b). Ce comportement augmente le risque d'absorption via la peau puisque le scatol et l'indole excrétés dans les fèces peuvent traverser le tissu cutané (Wesoly *et al.*, 2016). De plus, à température ambiante élevée, la volatilisation du scatol et la production de scatol à partir de précurseurs présents dans les déjections seraient augmentées (Hansen *et al.*, 1994). Sachant que le scatol peut être absorbé au niveau pulmonaire comme cela a été démontré chez le lapin (Bray et Carlson, 1980), ce phénomène pourrait contribuer à augmenter la teneur en scatol du tissu adipeux quand il fait chaud.

Indépendamment de la saison, plusieurs études montrent que la concentration en scatol du gras est plus forte chez les animaux élevés en loges sales (Hansen *et al.*, 1994 ; Thomsen *et al.*, 2015a ; Parois *et al.*, 2017b). Ceci peut s'expliquer comme précédemment par une augmentation de l'absorption au niveau des poumons et/ou au travers de la peau, en particulier celle du ventre du fait de sa plus grande finesse. Tout facteur de logement qui dégrade la propreté des cases ou la qualité de l'air ambiant est donc un facteur de risque au regard de l'accumulation de scatol et d'indole dans le tissu gras des porcs. C'est le cas pour une densité élevée des porcs, ou pour des animaux logés sur un sol en caillebotis partiel comparé au caillebotis intégral, ou encore pour une litière mal gérée. La litière de paille n'est pas un facteur de risque en soi, car les concentrations en indole et scatol dans le gras de porcs élevés sur litière propre sont similaires à celles observées sur caillebotis intégral (Prunier et Roy, 2015). Par ailleurs, l'hygiène peut influencer la flore intestinale (Le Floc'h *et al.*, 2014) et favoriser la prolifération de bactéries productrices de scatol (Parois *et al.*, 2017b).

Les recommandations en termes de pratiques d'élevage sont donc de maintenir les loges propres, de bien ventiler les salles et de réguler la température pour éviter tout excès de chaleur.

■ 2.5. L'environnement social

L'androsténone est une phéromone (cf. § 1.1.) qui semble avoir un effet inhibiteur sur les comportements agressifs (McGlone *et al.*, 1981 ; McGlone et Morrow, 1988). Par ailleurs, les relations sociales entre animaux sont largement régulées par leur rang hiérarchique. Le rang est établi dans les premières heures suivant la constitution d'un nouveau groupe en fonction de l'issue des interactions agonistiques entre dyades de porcs (Meese et Ewbank, 1973). Or, la testostérone, dont les voies de synthèse sont en partie communes à celles de l'androsténone, stimule les comportements agonistiques (Birger *et al.*, 2003). Dominance et androsténone sont donc *a priori* liées. Ceci est confirmé par l'observation, à plusieurs stades du développement sexuel, d'une concentration en androsténone dans le tissu gras ou le plasma plus élevée chez les porcs dominants que chez les porcs dominés (Giersing *et al.*, 2000 ; Parois *et al.*, 2017a). Par ailleurs, un effet d'« entraînement » semble exister : plus l'androsténone serait élevée chez le porc présentant le niveau le plus élevé, plus elle serait élevée chez les autres porcs du même groupe.

Pour limiter les conflits sociaux, la stratégie consiste à élever les porcs en groupes stables depuis le sevrage et, si possible, à les faire se rencontrer dès la phase de lactation. Cela s'avère efficace pour réduire la fréquence des bagarres et des lésions et celle des comportements de monte même si les effets sont plus (Rydhmer *et al.*, 2013) ou moins (Fabrega *et al.*, 2011) marqués selon les études. Cependant, la familiarisation précoce est sans effet sur les teneurs en androsténone et en scatol du tissu adipeux à l'abattage (Rydhmer *et al.*, 2013). De même, élever les mâles en loges individuelles, ce qui limite drastiquement les conflits entre animaux, est sans effet sur les teneurs en composés odorants (Desmoulin *et al.*, 1979, Pauly *et al.*, 2009).

Élever des porcs mâles entiers dans la même loge ou à proximité de femelles pourrait stimuler leur développement sexuel. Cependant, les résultats sont contradictoires : augmentation de la teneur en androsténone du gras dans certaines études (Bonneau et Desmoulin, 1980 ; Patterson et Lightfoot, 1984), aucun effet dans d'autres (Andersson *et al.*, 2005 ; Fabrega *et al.*, 2011 ; Holinger *et al.*, 2015) ou même réduction de la teneur en androsténone (Courboulay *et al.*, 2014).

La maîtrise de l'environnement social des animaux n'est donc pas un levier efficace pour réduire les odeurs sexuelles. Cependant, favoriser la stabilité des groupes sociaux et permettre aux porcs de se connaître dès la lactation ont un effet très positif pour réduire les comportements indésirables, montes et agressions, et donc améliorer le bien-être animal.

■ 2.6. L'état de stress et de santé

Sachant que le stress est susceptible de moduler le développement sexuel (Von Borell *et al.*, 2007), la composition du microbiote (Bailey *et al.*, 2011) ou l'activité hépatique de CYP2E1 (Maksymchuk et Chashchyn, 2012), il peut potentiellement influencer la synthèse et/ou la dégradation de l'androsténone et du scatol et *in fine* la teneur dans le gras de ces composés. Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de données bibliographiques sur l'influence du stress en élevage sur ce critère. Les données disponibles suggèrent une augmentation des teneurs du gras en androsténone et scatol avec le stress juste avant l'abattage (Wesoly *et al.*, 2015), mais ceci demande à être confirmé.

L'inhibition de la fonction de reproduction lors d'un état inflammatoire chronique est décrite dans plusieurs espèces autres que le porc (Diemer *et al.*, 2003 ; Bouman *et al.*, 2005 ; Tomaszewska-Zaremba *et al.*, 2016). Ainsi, les cytokines synthétisées au cours d'une inflammation chronique inhibent l'axe gonadotrope et donc la synthèse des stéroïdes sexuels. Cependant, chez le porc, l'étude de

Parois *et al.* (2016) n'a pas permis d'établir de lien entre une inflammation chronique modérée et le développement sexuel ou la concentration du tissu adipeux en androsténone.

Le scatol étant produit par les bactéries intestinales, il est vraisemblable que des troubles intestinaux modifient sa production. Ainsi, dans les semaines qui suivent le sevrage, une augmentation de la concentration plasmatique du scatol est observée chez les femelles et les mâles entiers ou castrés (Lanthier *et al.*, 2006). Lorsqu'elles ont été mesurées, les teneurs en scatol du tissu adipeux et du contenu caecal sont anormalement élevées. De même, à la suite d'une dysenterie, des valeurs anormalement élevées de scatol ont été mesurées dans le tissu gras de porcs mâles entiers ou immunocastrés abattus en fin d'engraissement (Skrlep *et al.*, 2012). Cela s'explique soit par une augmentation de la synthèse de scatol du fait d'une modification du microbiote intestinal ou de l'accroissement du flux de TRP d'origine endogène à cause de la desquamation de la muqueuse intestinale ; soit par une diminution du catabolisme du scatol en raison d'une réduction de l'expression du cytochrome hépatique P450 (Cheng et Morgan, 2001).

La maîtrise de la santé digestive des porcs est donc très importante pour réduire les risques d'odeurs sexuelles. Les conséquences d'une réduction de l'état de stress sur les odeurs sexuelles ne sont pas connues mais seront positives pour le bien-être et la santé des porcs.

3. Consommation de la viande de porc mâle entier

Considérer une carcasse comme odorante implique l'existence de seuils de risque, reposant sur les capacités humaines de perception des odeurs. Cette perception pouvant être modulée par différents facteurs, il est important de les prendre en compte lors de la détermination des seuils qui pourront être utilisés pour la détection des

carcasses malodorantes sur la chaîne d'abattage. Outre le risque d'odeurs sexuelles, la viande de porc mâle entier diffère de celle du mâle castré et de la femelle par sa plus faible teneur en gras et une plus grande insaturation des acides gras. Ce type de viande nécessite donc quelques adaptations afin d'optimiser son utilisation, notamment en salaison (fabrication des produits secs) (Lundström *et al.*, 2009).

■ 3.1. Perception des odeurs sexuelles par les consommateurs

La perception des odeurs sexuelles par les consommateurs dépend d'un grand nombre de facteurs liés à l'animal, au type de produit, au mode de préparation/consommation et au consommateur lui-même (figure 4).

i) Les odeurs sont d'autant plus facilement perçues que les viandes contiennent plus d'androsténone et/ou de scatol. Cette quantité dépend de la teneur en composés odorants dans le gras et du pourcentage de gras dans la viande. Dans certains produits comme la saucisse, le mélange du gras malodorant avec du gras provenant d'animaux indemnes d'odeurs sexuelles permet de réduire la perception des odeurs par dilution.

ii) Certains ingrédients inclus dans la préparation ou la composition des produits peuvent masquer les odeurs sexuelles, l'un des plus efficace étant la fumée (Font-i-Furnols, 2012).

iii) Du fait de leur poids moléculaire, l'androsténone et le scatol sont relativement peu volatils et ne sont perçus qu'à une température de chauffage élevée. Ainsi, les odeurs sexuelles sont plus facilement perçues lorsque le consommateur procède lui-même à la cuisson de la viande. Elles sont davantage perçues lors de l'activation de la muqueuse olfactive par les molécules odorantes inhalées directement (odorat) que par celles qui y arrivent par voie rétro-nasale lorsque le produit est en bouche (flaveur) (Font-i-Furnols, 2012 ; figure 5). Les deux molécules ont un comportement légèrement différent au moment de la cuisson. Le scatol est moins lipophile que l'androsténone, davantage soluble dans l'eau et possède une température d'évaporation plus faible. Par conséquent, lors de la cuisson d'une viande odorante, cette molécule est émise et perçue plus rapidement par le consommateur mais avec moins de persistance que l'androsténone (de Kock *et al.*, 2001).

iv) enfin les consommateurs ne perçoivent pas tous les odeurs sexuelles avec la même sensibilité. Alors que la

Figure 4. Principaux facteurs déterminant la perception des odeurs sexuelles par les consommateurs.

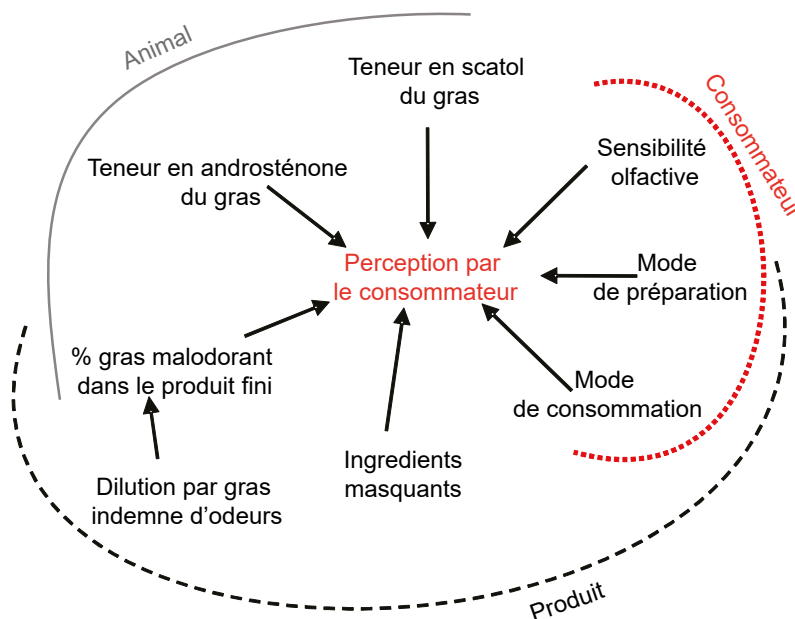
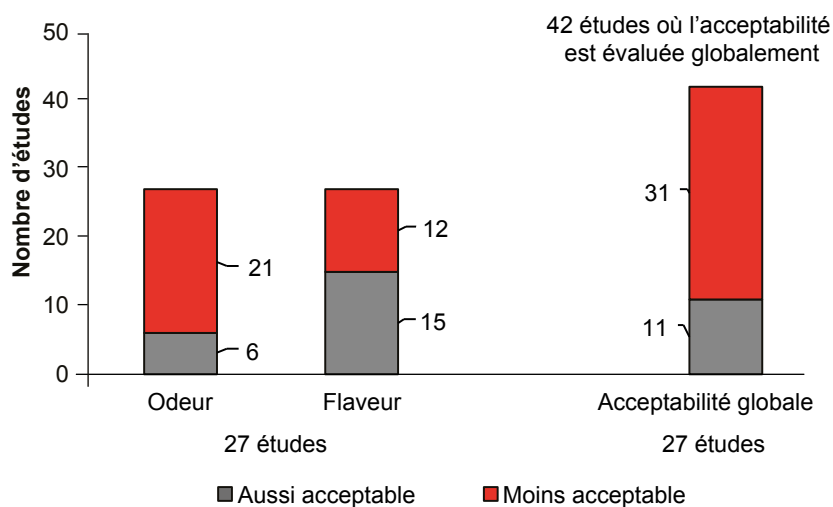


Figure 5. Nombre d'études où l'odeur et la flaveur de viandes fraîches de porcs mâles entiers sont évaluées par les consommateurs comme aussi acceptables ou moins acceptables que celles de viandes fraîches de mâles castrés ou de femelles (adapté de la revue bibliographique de Font-i-Furnols, 2012).



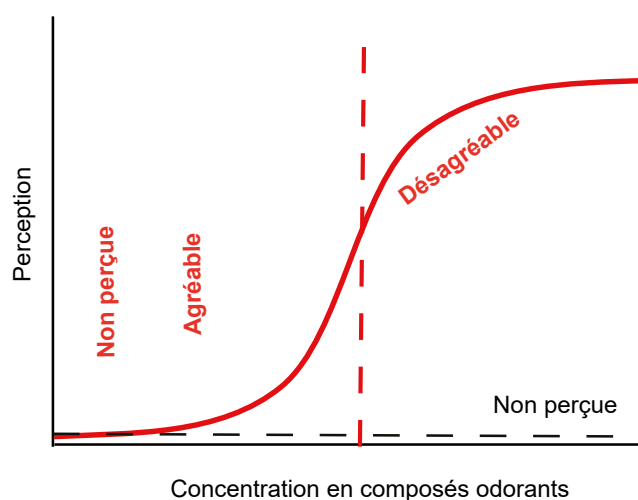
grande majorité des consommateurs perçoivent l'odeur de scatol (Meier-Dinkel *et al.*, 2013), un pourcentage important est anosmique (ne peut pas percevoir l'odeur) à l'androsténone (Font-i-Furnols, 2012). Le caractère hédonique (agréable ou désagréable) de l'odeur varie par ailleurs selon les consommateurs, et une minorité de ceux qui perçoivent l'odeur d'androsténone la ressentent comme agréable (Bonneau *et al.*, 2012).

On peut donc distinguer des produits à faible niveau de risque d'odeurs sexuelles (peu gras, consommés froids, contenant des ingrédients masquant tels la fumée, jambon par exemple) des produits à risques élevés (riches en gras, cuits à la maison et consommés chauds, absence d'ingrédients masquant, lardons par exemple). De nombreux produits rentrent dans des catégories intermédiaires, tels que les viandes fraîches (rôti, côtelettes) qui sont plus ou moins à risque selon la quantité de gras sous-cutané laissée sur le produit (Bonneau et Chevillon, 2012).

Pour optimiser la commercialisation des viandes de porcs mâles entiers, la détermination des seuils de perception des odeurs par les consommateurs est cruciale. Selon le modèle classique, de forme sigmoïdale, l'androsténone et le scatol ne sont pas perçus aux très faibles concentrations, le sont avec une

perception agréable aux concentrations approchant le point d'inflexion de la sigmoïde puis avec une odeur désagréable au-delà (figure 6). Comme le point d'inflexion se situe à des concentrations de composés odorants très différentes selon les personnes, une même teneur en molécule odorante peut être non perçue, perçue comme agréable ou perçue comme désagréable selon l'individu considéré. Il n'existe donc pas de seuil absolu de teneurs en androsténone ou en scatol en deçà duquel il n'y aurait aucun risque d'odeurs sexuelles désagréables et au-delà duquel le risque serait de 100 %.

Figure 6. Réponse olfactive aux concentrations croissantes de composés impliqués dans le risque d'odeurs sexuelles des personnes anosmiques (noir pointillé) ou non anosmiques (courbe rouge).



Malgré ces difficultés, les données de la littérature (Lundström *et al.*, 2009) permettent d'établir que l'acceptabilité des produits frais chute fortement au-delà de 0,2-0,25 µg de scatol par gramme de tissu gras frais. Le modèle de réponse des consommateurs aux concentrations d'androsténone est beaucoup plus difficile à établir du fait de l'existence d'une fraction importante de consommateurs anosmiques. La littérature évoque des concentrations entre 0,5 et 2,0 µg/g de tissu gras frais comme valeurs de référence. Afin de préciser la réponse des consommateurs aux concentrations croissantes d'androsténone, le modèle de réponse peut être établi à partir des consommateurs qui sont sensibles à l'androsténone et la perçoivent comme désagréable puis de moduler en fonction de leur proportion dans la population complète.

Afin de tenir compte de la possibilité d'interaction entre les deux composés, un modèle a été ébauché pour un produit très à risque d'odeurs sexuelles (*i.e.* la viande hachée à 20 % de gras) dans le cadre du projet européen CAMPIG (Aluwé *et al.*, 2018). Ce modèle doit être consolidé pour les teneurs faibles en composés malodorants et pour les teneurs élevées en androsténone. Dans l'idéal, il faudrait établir un modèle différent pour chaque type de produits carnés qui devrait être ajusté pour les autres produits en tenant compte de leur teneur en gras, la présence

d'ingrédients masquant et la température de service.

L'établissement de modèles fiables et internationalement reconnus de la réponse des consommateurs aux concentrations d'androsténone et de scatol faciliterait grandement la tâche des abatteurs et transformateurs pour utiliser de façon optimale les viandes de porcs mâles entiers selon leur niveau de risque d'odeurs.

■ 3.2. Détection des odeurs sexuelles sur les chaînes d'abattage

La détection des odeurs sexuelles sur la chaîne d'abattage permet d'orienter les carcasses vers différents types d'utilisation selon qu'elles sont atteintes ou non de défauts d'odeurs sexuelles. Il serait intéressant de disposer de méthodes rapides, éventuellement semi-quantitatives, de mesure de la concentration des composés odorants pour que les utilisateurs décident, en fonction des procédés de transformation qu'ils mettent en œuvre et de leur marché, de l'utilisation qu'ils feront de chaque type de carcasse.

Les méthodes actuellement utilisées sont toutes basées sur le nez humain. Un ou deux opérateurs sélectionnés pour leurs aptitudes à détecter ces odeurs teste individuellement les carcasses de porcs mâles entiers après chauffage du gras dorsal (Mathur *et al.*, 2012). Cette méthode est actuellement utilisée à grande échelle aux Pays-Bas, en Allemagne, en Belgique et en France. Elle est simple à mettre en œuvre, la réponse est instantanée, modulable (selon le nombre d'opérateurs) aux cadences d'abattage et peu onéreuse. Son inconvénient majeur est lié à la fiabilité des opérateurs, dont l'appréciation est peu répétable et soumise au risque de saturation et désensibilisation temporaire de l'épithélium olfactif après exposition à une odeur prononcée. De plus, la pertinence de cette méthode n'est pas démontrée car ses résultats n'ont jamais été comparés avec l'acceptabilité des produits par les consommateurs.

La mise au point de méthodes instrumentales rapides pour détecter les

odeurs sexuelles sur la ligne d'abattage constituerait donc un progrès majeur, attendu par la filière. De nombreux travaux ont été consacrés à la mise au point de telles techniques, sans succès jusqu'à présent, mais des annonces récentes amènent à penser qu'elles pourraient être disponibles dans un avenir proche. Un brevet déposé récemment en Angleterre, mettant en œuvre une mesure du scatol et de l'androsténone dans les tissus gras, revendique une efficacité compatible avec une utilisation industrielle (Hart *et al.*, 2016). Aucun élément objectif n'est cependant disponible à l'heure actuelle pour évaluer ses performances et le coût de sa mise en œuvre. Un brevet vient d'être déposé par des danois (Lund *et al.*, 2018). Cette méthode quantitative permet de quantifier les concentrations en androsténone, scatol et indole du gras dorsal par spectroscopie de masse après extraction des composés odorants avec une cadence de 360 échantillons à l'heure.

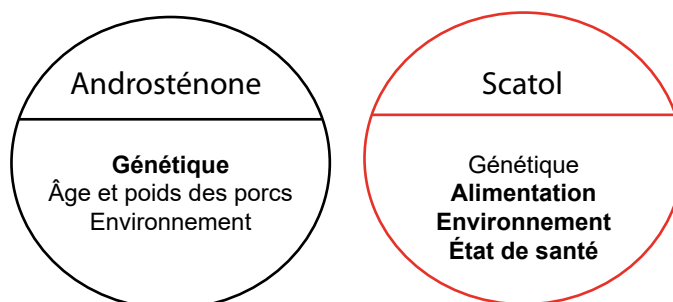
Conclusion

La concentration en composés odorants du tissu gras chez le porc mâle non castré résulte de l'équilibre entre *i)* la synthèse par les testicules (androsténone) ou par le microbiote intestinal (scatol), *ii)* l'excrétion sans catabolisme dans les fèces (scatol), le liquide séminal ou la salive (androsténone), *iii)* l'excrétion urinaire après catabolisme hépatique (androsténone et scatol), et *iv)* la réabsorption par la peau et les poumons (scatol). Elle est donc sous la dépendance de nombreux facteurs qui peuvent concerner chacun des éléments de cet équilibre.

Pour l'androsténone, le levier d'action le plus prometteur consiste à réduire la synthèse par sélection génétique (figure 7). Compte tenu du risque concomitant de dégradation du potentiel de reproduction de l'ensemble des animaux, la prudence serait de sélectionner des animaux avec une puberté légèrement retardée mais un potentiel de reproduction à l'âge adulte inaltéré. Pour le scatol, les principaux leviers d'action concernent la synthèse, l'excrétion fécale et la réabsorption de cette molécule, et relèvent essentiellement de la conduite d'élevage : l'alimentation pour réduire la synthèse et stimuler l'excrétion fécale, la santé pour éviter les troubles digestifs, la propreté et l'environnement microclimatique dans les cases d'engraissement pour limiter la réabsorption (figure 7). Même si elle a peu d'impact sur les odeurs sexuelles, la limitation des conflits sociaux par le maintien de la stabilité des groupes, associée à un bon accès à l'eau, à l'aliment et aux matériaux d'enrichissement permet d'améliorer le bien-être des animaux et d'éviter des lésions corporelles.

Même si la teneur en composés odorants est réduite fortement, il est peu vraisemblable que les niveaux soient indétectables dans toutes les carcasses. Il est donc nécessaire de définir une stratégie d'utilisation des carcasses de porcs mâles entiers plus ou moins odorantes adaptée au marché ciblé, après caractérisation de leur niveau de risque de rejet par les consommateurs. Un préalable à cela est la mise au point de méthodes instrumentales rapides et fiables pour détecter les odeurs. Sur ce point, des avancées technologiques sont attendues dans un proche avenir.

Figure 7. Liste des principaux leviers d'action mobilisable par la filière porcine pour réduire la teneur en composés odorants du tissu gras des porcs. Les leviers les plus importants sont indiqués en caractères gras.



Références

- Agergaard N., Laue A., 1998. Absorption of skatole to portal vein blood and liver turnover in entire male pigs using an in vivo animal model. In: Skatole and boar taint. DMRI (Ed). DMRI, Roskilde, DK, 77-95.
- Aluwé M., Millet S., Nijs G., Tuytens F.A.M., Verheyden K., De Brabander H.F., De Brabander D.L., Van Oeckel M.J., 2009. Absence of an effect of dietary fibre or clinoptilolite on boar taint in entire male pigs fed practical diets. *Meat Sci.*, 82, 346-352.
- Aluwé M., Aaslyng M., Backus G., Bonneau M., Chevillon P., Haugen J.E., Meier-Dinkel L., Moerlein D., Angels Oliver M., Snoek H.M., Tuytens F.A.M., Font-i-Furnols M., 2018. Consumer acceptance of minced meat patties from boars in four European countries. *Meat Sci.*, 137, 235-243.
- Andersson H., Wallgren M., Rydhmer L., Lundstrom K., Andersson K., Forsberg M., 1998. Photoperiodic effects on pubertal maturation of spermatogenesis, pituitary responsiveness to exogenous GnRH, and expression of boar taint in crossbred boars. *Anim. Reprod. Sci.*, 54, 121-137.
- Andersson H.K., Andersson K., Zamaratskaia G., Rydhmer L., Chen G., Lundstrom K., 2005. Effect of single-sex or mixed rearing and live weight on performance, technological meat quality and sexual maturity in entire male and female pigs fed raw potato starch. *Acta Agric. Scand. A. Anim. Sci.*, 55, 80-90.
- Anonymous, 2010. « European Declaration on alternatives to surgical castration of pigs » on the invitation of the European Commission and the Belgium presidency.
- Baes C., Mattei S., Luther H., Ampuero S., Sidler X., Bee G., Spring P., Hofer A., 2013. A performance test for boar taint compounds in live boars. *Animal*, 7, 714-720.
- Bailey M.T., Dowd S.E., Galley J.D., Hufnagle A.R., Allen R.G., Lyte M., 2011. Exposure to a social stressor alters the structure of the intestinal microbiota: Implications for stressor-induced immunomodulation. *Brain Behav. Immun.*, 25, 397-407.
- Birger M., Swartz M., Cohen D., Alesh Y., Grishpan C., Kotelr M., 2003. Aggression: the testosterone-serotonin link. *Israel Med. Assoc. J.*, 5, 653-658.
- Bonneau M., Desmoulin B., 1980. Backfat androstenone content in entire male pigs of the Large White breed – Variations according to social conditions during rearing. *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 1429-1437.
- Bonneau M., Terqui M., 1983. A note on the metabolism of 5-alpha-androst-16-en-3-one in the young boar in vivo. *Reprod. Nutr. Dev.*, 23, 899-905.
- Bonneau M., Chevillon P., 2012. Acceptability of entire male pork with various levels of androstenone and skatole by consumers according to their sensitivity to androstenone. *Meat Sci.*, 90, 330-337.
- Bonneau M., Meusydessolle N., Leglise P.C., Claus R., 1982. Relationships between fat and plasma androstenone and plasma testosterone in fatty and lean young boars following castration. *Acta Endocrinol.*, 101, 129-133.
- Bonneau M., Carrié-Lemoine J., Prunier A., Garnier D.H., Terqui M., 1987. Age-related changes in plasma LH and testosterone concentration profiles and fat 5-alpha androstenone content in the young boar. *Anim. Reprod. Sci.*, 15, 241-258.
- Bonneau M., Chevillon P., Nassy G., 2012. Une approche des seuils de teneurs en androstenone et en scatole déterminant l'acceptabilité des viandes de porcs mâles entiers par les consommateurs. *Journ. Rech. Porcine*, 44, 37-42.
- Booth W.D., 1984. Sexual dimorphism involving steroidal pheromones and their binding-protein in the submaxillary salivary gland of the Gottingen miniature pig. *J. Endocrinol.*, 100, 195-202.
- Borrisser-Pairo F., Rasmussen M.K., Ekstrand B., Zamaratskaia G., 2015. Gender-related differences in the formation of skatole metabolites by specific CYP450 in porcine hepatic S9 fractions. *Animal*, 9, 635-642.
- Bouman A., Heineman M.J., Faas M.M., 2005. Sex hormones and the immune response in humans. *Human Reprod. Update*, 11, 411-423.
- Bray T.M., Carlson J.R., 1980. Tissue and subcellular distribution and excretion of 3-methylindole-C-14 in rabbits after intra-tracheal infusion. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 58, 1399-1405.
- Brunius C., Vidanarachchi J.K., Tomankova J., Lundström K., Andersson K., Zamaratskaia G., 2016. Skatole metabolites in urine as a biological marker of pigs with enhanced hepatic metabolism. *Animal*, 10, 1734-1740.
- Cheng P.Y., Morgan E.T., 2001. Hepatic cytochrome P450 regulation in disease states. *Curr. Drug Metab.*, 2, 165-183.
- Claus R., Schopper D., Wagner H.G., 1983. Seasonal effect on steroids in blood plasma and seminal plasma of boars. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 19, 725-729.
- Claus R., Dehnhard M., Herzog A., Bernalbarragan H., Gimenez T., 1993. Parallel measurements of indole and skatole (3-methylindole) in feces and blood-plasma of pigs by HPLC. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 115-126.
- Courboulay V., Hémonic A., Prunier A., 2017. Évaluation des différentes méthodes de prise en charge de la douleur lors de la castration. *Journ. Rech. Porcine*, 50, sous presse.
- Courboulay V., Leroy C., Poissonnet A., Chevillon P., Quiniou N., Loiseau R.R., Lhommeau T., Rocher P., 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. *Journ. Rech. Porcine*, 46, 255-260.
- de Campos C.F., Lopes M.S., e Silva F.F., Veroneze R., Knol E.F., Lopes P.S., Guimaraes S.E., 2015. Genomic selection for boar taint compounds and carcass traits in a commercial pig population. *Livest. Sci.*, 174, 10-17.
- de Kock H.L., Heinze P.H., Potgieter C.M., Dijksterhuis G.B., Minnaar A., 2001. Temporal aspects related to the perception of skatole and androstenone, the major boar odour compounds. *Meat Sci.*, 57, 61-70.
- Desmoulin B., Bonneau M., Conseil G., Chalier R., Peiniau P., Gransart P., Leyris J.M., Dechanet J.C., 1979. Production de viandes de Porcs mâles entiers ou castrés : efficacité alimentaire et composition corporelle chez les races hypermusclées. *Ann. Zoot.*, 28, 35-51.
- Devincenzi T., Prunier A., Meteau K., Nabinger C., Prache S., 2014. Influence of fresh alfalfa supplementation on fat skatole and indole concentration and chop odour and flavour in lambs grazing a cocksfoot pasture. *Meat Sci.*, 98, 607-614.
- Diemer T., Hales D.B., Weidner W., 2003. Immune-endocrine interactions and Leydig cell function: the role of cytokines. *Andrologia*, 35, 55-63.
- Fabrega E., Gispert M., Tibau J., Hortos M., Oliver M.A., Font i Furnols M., 2011. Effect of housing system, slaughter weight and slaughter strategy on carcass and meat quality, sex organ development and androstenone and skatole levels in Duroc finished entire male pigs. *Meat Sci.*, 89, 434-439.
- Font-i-Furnols M., 2012. Consumer studies on sensory acceptability of boar taint: A review. *Meat Sci.*, 92, 319-329.
- Friis C., 1993. Distribution, metabolic fate and elimination of skatole in the pig. In: Measurement and prevention of boar taint in entire male pigs. Bonneau M. (Ed). INRA Éditions, Versailles, F-78026, 113-115.
- Giersing M., Lundstrom K., Andersson A., 2000. Social effects and boar taint: Significance for production of slaughter boars (*Sus scrofa*). *J. Anim. Sci.*, 78, 296-305.
- Große-Brinkhaus C., Storck L.C., Frieden L., Neuhooff C., Schellander K., Looft C., Tholen E., 2015. Genome-wide association analyses for boar taint components and testicular traits revealed regions having pleiotropic effects. *BMC Genet.*, 16:36.
- Guatteo R., Levionnois O., Fournier D., Guémené D., Latouche K., Leterrier C., Mormède P., Prunier A., Servière J., Terlouw C., Le Neindre P., 2012. Minimising pain in farm animals: the 3S approach – 'Suppress, Substitute, Soothe'. *Animal*, 6, 1261-1274.
- Haberland A.M., Luther H., Hofer A., Tholen E., Simianer H., Lind B., Baes C., 2014. Efficiency of different selection strategies against boar taint in pigs. *Animal*, 8, 11-19.
- Han X.F., Gu L.J., Xia C.Y., Feng J., Cao X.H., Du X.G., Zeng X.Y., Song T.Z., 2015. Effect of immunization against GnRH on hypothalamic and testicular function in rams. *Theriogenology*, 83, 642-649.
- Hansen L.L., Larsen A.E., Jensen B.B., Hansenmoller J., Bartongade P., 1994. Influence of stocking rate and

- feces deposition in the pen at different temperatures on skatole concentration (boar taint) in subcutaneous fat. *Anim. Prod.*, 59, 99-110.
- Hansen L.L., Stolzenbach S., Jensen J.A., Henckel P., Hansen-Møller J., Syriopoulos K., Byrne D.V., 2008. Effect of feeding fermentable fibre-rich feedstuffs on meat quality with emphasis on chemical and sensory boar taint in entire male and female pigs. *Meat Sci.*, 80, 1165-1173.
- Hart J., Crew A., McGuire N., Doran O., 2016. Sensor and method for detecting androstenone or skatole in boar taint. Brevet EP 2966441 A1, <https://google.com/patents/EP2966441A1?cl=en&hl=fr>.
- Hidalgo A.M., Bastiaansen J.W., Harlizius B., Knol E.F., Lopes M.S., de Koning D.J., Groenen M.A., 2014. Asian low-androstenone haplotype on pig chromosome 6 does not unfavorably affect production and reproduction traits. *Animal Genet.*, 45, 874-877.
- 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.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.H., Canh T.T., Spoolder H.A.M., Kemp B., Verstegen M.W.A., 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 91, 1-16.
- Kjeldsen N., 1993. Practical experience with production and slaughter of entire male pigs. In: *Measurement and Prevention of Boar Taint in Entire Male Pigs*. Bonneau M. (Ed), 137-144.
- Lanthier F., Lou Y., Terner M.A., Squires E.J., 2006. Characterizing developmental changes in plasma and tissue skatole concentrations in the prepubescent intact male pig. *J. Anim. Sci.*, 84, 1699-1708.
- Le Floc'h N., Knudsen C., Gidenne T., Montagne L., Merlot E., Zemb O., 2014. Impact of feed restriction on health, digestion and faecal microbiota of growing pigs housed in good or poor hygiene conditions. *Animal*, 8, 1632-1642.
- Lindberg J.E., 2014. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 5:15.
- Lukić B., Pong-Wong R., Rowe S.J., Koning D.J., Velander I., Haley C.S., Archibald A.L., Woolliams J.A., 2015. Efficiency of genomic prediction for boar taint reduction in Danish Landrace pigs. *Anim. Genet.*, 46, 607-616.
- Lund B., Meinert L., Borggard C., 2018. Simultaneous detection of off-note or boar taint related compounds in animal tissue. Brevet US 2018/0045701 A1, <https://patents.google.com/patent/US20180045701A1/en?q=indole&q=skatole&q=androstenone&before=publication:20181231&after=publication:20180101>.
- Lundström K., Matthews K.R., Haugen J.-E., 2009. Pig meat quality from entire males. *Animal*, 3, 1497-1507.
- Maksymchuk O., Chashchyn M., 2012. The impact of psychogenic stressors on oxidative stress markers and patterns of CYP2E1 expression in mice liver. *Pathophysiology*, 19, 215-219.
- Mathur P.K., ten Napel J., Bloemhof S., Heres L., Knol E.F., Mulder H.A., 2012. A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Sci.*, 91, 414-422.
- Mathur P.K., ten Napel J., Crump R.E., Mulder H.A., Knol E.F., 2013. Genetic relationship between boar taint compounds, human nose scores, and reproduction traits in pigs. *J. Anim. Sci.*, 91, 4080-4089.
- McGlone J.J., Morrow J.L., 1988. Reduction of pig agonistic behavior by androstenone. *J. Anim. Sci.*, 66, 880-884.
- McGlone J.J., Curtis S.E., Banks E.M., 1981. Aggression influencing pheromones in swine. *J. Anim. Sci.*, 53, 130.
- McGlone J.J., Stansbury W.F., Tribble L.F., 1986. Aeorized-5-alpha-androst-16-en-3-one reduces agonistic behavior and temporarily improved performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 63, 679-684.
- Meese G.B., Ewbank R., 1973. The establishment and nature of the dominance hierarchy in the domesticated pig. *Anim. Behav.*, 21, 326-334.
- Meier-Dinkel L., Trautmann J., Frieden L., Tholen E., Knorr C., Sharifi A., Bücking M., Wicke M., Mörlein D., 2013. Consumer perception of boar meat as affected by labelling information, malodorous compounds and sensitivity to androstenone. *Meat Sci.*, 93, 248-256.
- Meinert L., Lund B., Bejerholm C., Aaslyng M.D., 2017. Distribution of skatole and androstenone in the pig carcass correlated to sensory characteristics. *Meat Sci.*, 127, 51-56.
- Mercat M.J., Prunier A., Muller N., Hassenfratz C., Larzul C., 2015. Relation entre la production spermatique et le risque d'odeur de mâle entier des descendants de race pure ou croisés. *Journ. Rech. Porcine*, 47, 241-246.
- Mörlein D., Tholen E., 2015. Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from entire male pigs with extremely divergent levels of boar taint compounds – An exploratory study. *Meat Sci.*, 99, 1-7.
- Moss B.W., Hawe S.M., Walker N., 1993. Sensory thresholds for skatole and indole. In: *Measurement and prevention of boar taint in entire male pigs*. Bonneau M. (Ed), 63-68.
- Nielsen S.D., Bauhaus Y., Zamaratskaia G., Junqueira M.A., Blaabjerg K., Petrat-Melin B., Young J.F., Rasmussen M.K., 2017. Constitutive expression and activity of cytochrome P450 in conventional pigs. *Res. Vet. Sci.*, 111, 75-80.
- Oskam I.C., Lervik S., Tajet H., Dahl E., Ropstad E., Andresen O., 2010. Differences in testosterone, androstenone, and skatole levels in plasma and fat between pubertal purebred Duroc and Landrace boars in response to human chorionic gonadotrophin stimulation. *Theriogenology*, 74, 1088-1098.
- Parois S., Larzul C., Prunier A., 2017a. Associations between the dominance status and sexual development, skin lesions or feeding behaviour of intact male pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 187, 15-22.
- Parois S., Zemb O., Prunier A., 2017b. Influence des conditions de logement sur la production et le stockage du scatol et de l'indole chez le porc mâle entier. *Journ. Rech. Porcine*, 49, 163-168.
- Parois S.P., Prunier A., Mercat M.J., Merlot E., Larzul C., 2015. Genetic relationships between measures of sexual development, boar taint, health, and aggressiveness in pigs. *J. Anim. Sci.*, 93, 3749-3758.
- Parois S.P., Faouën A., Le Floc'h N., A.P., 2016. Influence of the inflammatory status of entire male pigs on their pubertal development and fat androstenone. *Animal*, 11, 1071-1077.
- Patterson R.L.S., Lightfoot A.L., 1984. Effect of sex grouping during growth on 5-alpha androstenone development in boars at 3 commercial slaughter weights. *Meat Sci.*, 10, 253-263.
- Pauly C., Spring P., O'Doherty J.V., Kragten S.A., Bee G., 2009. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal*, 3, 1057-1066.
- Pauly C., Luginbühl 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.
- Prunier A., Roy H., 2015. Influence du mode de logement et d'alimentation sur la teneur en composés odorants de la bardière de porcs mâles entiers. *Journ. Rech. Porcine*, 47, 51-52.
- Prunier A., Bonneau M., 2006. Y a-t-il des alternatives à la castration chirurgicale des porcelets ? *INRA Prod. Anim.*, 19, 347-356.
- Prunier A., Brillouët A., Merlot E., Meunier-Salaün M.C., Tallet C., 2013. Influence of housing and season on pubertal development, boar taint compounds and skin lesions of male pigs. *Animal*, 7, 2035-2043.
- 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. Rech. Porcine*, 47, 69-74.
- 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.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., 2014. Regulation of porcine hepatic cytochrome P450 – Implication for boar taint. *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, 11, 106-112.
- Robic A., Larzul C., Bonneau M., 2008. Genetic and metabolic aspects of androstenone and skatole depo-

- sition in pig adipose tissue: A review. *Genet. Selec. Evol.*, 40, 129-143.
- Robic A., Faraut T., Prunier A., 2014. Pathways and genes involved in steroid hormone metabolism in male pigs: A review and update. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 140, 44-55.
- Robic A., Feve K., Riquet J., Prunier A., 2016. Transcript levels of genes implicated in steroidogenesis in the testes and fat tissue in relation to androstenone accumulation in fat of pubertal pigs. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 57, 1-9.
- Rydmer L., Hansson M., Lundström K., Brunius C., Andersson K., 2013. Welfare of entire male pigs is improved by socialising piglets and keeping intact groups until slaughter. *Animal*, 7, 1532-1541.
- Sellier P., Bonneau M., 1988. Genetic relationships between fat androstenone level in males and development of male and female genital tract in pigs. *J. Anim. Breed. Genet.*, 105, 11-20.
- Skrlap M., Batorek N., Bonneau M., Fazarinc G., Segula B., Candek-Potokar M., 2012. Elevated fat skatole levels in immunocastrated, surgically castrated and entire male pigs with acute dysentery. *Vet. J.*, 194, 417-419.
- Thomsen R., Edwards S.A., Jensen B.B., Rousing T., Sorensen J.T., 2015a. Effect of faecal soiling on skatole and androstenone occurrence in organic entire male pigs. *Animal*, 9, 1587-1596.
- Thomsen R., Edwards S.A., Jensen B.B., Rousing T., Sorensen J.T., 2015b. Weight and season affects androstenone and skatole occurrence in entire male pigs in organic pig production. *Animal*, 9, 1577-1586.
- Tomaszewska-Zaremba D., Herman A.P., Haziak K., 2016. How does bacterial endotoxin influence gonadoliberin/gonadotropins secretion and action? *J. Anim. Feed Sci.*, 25, 283-291.
- Van Oeckel M.J., Warnants N., De Paepe M., Casteels M., Boucqué C.V., 1998. Effect of fibre-rich diets on the backfat skatole content of entire male pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 173-180.
- Van Wagenberg C.P.A., Snoek H.M., Van der Fels J.B., Van der Peet-Schwering C.M.C., Vermeer H.M., Heres L., 2013. Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal*, 7, 1841-1848.
- Van Borell E., Dobson H., Prunier A., 2007. Stress, behaviour and reproductive performance in female cattle and pigs. *Horm. Behav.*, 52, 130-138.
- Wagner A., Claus R., 2008. Aromatase and 11 beta-hydroxysteroid dehydrogenase 2 localisation in the testes of pigs from birth to puberty linked to changes of hormone pattern and testicular morphology. *Reprod. Fertil. Dev.*, 20, 505-512.
- Walstra P., Claudi-Magnussen C., Chevillon P., Von Seth G., Diestre A., Matthews K.R., Homer D.B., Bonneau M., 1999. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: levels of androstenone and skatole by country and season. *Livest. Prod. Sci.*, 62, 15-28.
- Wauters J., Vercruyse V., Aluwé M., Verplanken K., Vanhaecke L., 2016. Boar taint compound levels in back fat versus meat products: Do they correlate? *Food Chem.*, 206, 30-36.
- Weiler U., Claus R., Dehnhard M., Hofacker S., 1996. Influence of the photoperiod and a light reverse program on metabolically active hormones and food intake in domestic pigs compared with a wild boar. *Can. J. Anim. Sci.*, 76, 531-539.
- Wesoly R., Weiler U., 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animals*, 2, 221-242.
- Wesoly R., Jungbluth I., Stefanski V., Weiler U., 2015. Pre-slaughter conditions influence skatole and androstenone in adipose tissue of boars. *Meat Sci.*, 99, 60-67.
- Wesoly R., Stefanski V., Weiler U., 2016. Influence of sampling procedure, sampling location and skin contamination on skatole and indole concentrations in adipose tissue of pigs. *Meat Sci.*, 111, 85-91.
- Willeke H., Claus R., Müller E., Pirschner F., Karg H., 1987. Selection for high and low level of 5 α -androstenone in boars. I Direct and correlated response of endocrinological traits. *J. Anim. Breed. Genet.*, 104, 64-73.
- Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, 3, 1508-1521.
- Zamaratskaia G., Babol J., Andersson H., Lundstrom K., 2004. Plasma skatole and androstenone levels in entire male pigs and relationship between boar taint compounds, sex steroids and thyroxine at various ages. *Livest. Prod. Sci.*, 87, 91-98.
- Zamaratskaia G., Babol J., Andersson H.K., Andersson K., Lundstrom K., 2005. Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 93, 235-243.
- Zamaratskaia G., Dahl E., Madej A., Squires E.J., Andresen O., 2008. Studies on 5 alpha-androst-16-en-3-one binding to porcine serum, plasma and testicular cytosolic fraction and to human serum. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 111, 24-28.
- Zhou Z.J., Zheng W.J., Shang W.W., Du H.L., Li G.L., Yao W., 2015. How host gender affects the bacterial community in pig feces and its correlation to skatole production. *Ann. Microbiol.*, 65, 2379-2386.

Résumé

La présence d'odeurs indésirables dans la viande de porcs mâles entiers est principalement liée à l'accumulation d'androstenone et de scatole. L'androstenone est synthétisée par les testicules et le scatole par les bactéries du colon à partir du tryptophane. Leur teneur dans le tissu adipeux résulte du bilan entre leur synthèse, leur élimination et leur réabsorption. Le principal levier d'action pour réduire la teneur en androstenone est la sélection génétique. Pour le scatole, les principaux leviers d'action concernent la conduite d'élevage : propreté des cases, gestion de l'environnement microclimatique et conduite alimentaire, notamment. La mixité des groupes et l'instabilité sociale ont peu d'impact sur les teneurs en composés odorants, mais sont importantes à contrôler pour réduire les risques de bagarres et de lésion. Même en réduisant fortement la teneur en composés odorants, il ne sera pas possible d'obtenir des niveaux indétectables sur toutes les carcasses. Une stratégie d'utilisation des carcasses odorantes de porcs mâles entiers doit être définie. Elle implique de comprendre les facteurs de rejet des viandes odorantes par les consommateurs. La perception d'odeurs sexuelles dépend de facteurs liés à l'animal, au type de produit, au mode de préparation/consommation et au consommateur lui-même. De plus, les deux molécules odorantes semblent interagir. La prise en compte des différents cas de figure peut être envisagée par une approche de modélisation, avec en préalable la mise en œuvre d'une détection des odeurs sur la chaîne d'abattage. Or actuellement, seule la détection par le nez humain est opérationnelle au niveau des chaînes d'abattage et des méthodes instrumentales restent à développer.

Abstract

Boar taint in the meat of entire male pigs: the problems and the potential solutions

Boar taint in pork comes mainly from the presence of two molecules: androstenone and skatole. Androstenone is produced by the testes and skatole is synthesized from tryptophan by bacteria in the colon. Their content in fat tissues results from the balance between synthesis, elimination and reabsorption. The main way to decrease the androstenone concentration is genetic selection. Regarding skatole, the main ways involve husbandry,

cleanliness of pens, management of microclimatic conditions and feeding strategy. Gender mixing and social instability have little influence on boar taint but it is important to control them to decrease the risk of fighting and lesions. Even if it is possible to drastically decrease the boar taint level, it will not be possible to reach undetectable levels in every single carcass. It is necessary to define an entire male pig carcass-use strategy. It involves understanding the factors leading to consumers' rejection of tainted pork. The perception of sexual odors depends on factors related to the animal, the type of pork product, the way of cooking/consumption and the consumer oneself. Moreover, the two odorant molecules seem to interact. A modelling approach is necessary to consider the different specific cases, which requires methods to detect the odors on-line. Currently, only the detection by the human nose is operational in slaughterhouses and instrumental methods still have to be developed.

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.

