



HAL
open science

Adiposité et génétique chez le porc : état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits

Sandrine Schwob, Bénédicte Lebret, Isabelle Louveau

► To cite this version:

Sandrine Schwob, Bénédicte Lebret, Isabelle Louveau. Adiposité et génétique chez le porc : état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits. *INRAE Productions Animales*, 2020, 33 (1), pp.17-29. 10.20870/productions-animales.2020.33.1.3112 . hal-02627655

HAL Id: hal-02627655

<https://hal.inrae.fr/hal-02627655>

Submitted on 26 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Adiposité et génétique chez le porc : état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits

Sandrine SCHWOB (1), Bénédicte LEBRET (2), Isabelle LOUVEAU (2)
 (1) IFIP – Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France
 (2) PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, 35590 Saint Gilles, France

Courriel : sandrine.schwob@ifip.asso.fr

Résumé

L'adiposité des carcasses des porcs abattus en France s'est réduite en moyenne de 45% entre 1977 et 2016. La production d'animaux de plus en plus maigres a été initiée dans les années 1950-1960 avec la mise en place des grilles de classement commercial des carcasses et de paiement différencié en fonction de leur teneur en tissus maigres, au détriment des tissus gras. Cette évolution a conduit à une standardisation de la production, entraînant des difficultés pour répondre à la demande qualitative de certains segments de marché. Toutefois, le gras connaît actuellement un regain d'intérêt au sein de la filière porcine française. Les tissus gras présentent en effet de nombreux atouts, tant pour l'aptitude à la transformation en produits de charcuterie et salaison que pour les qualités sensorielles et nutritionnelles des produits. Cette synthèse fait le point sur les évolutions de l'amélioration génétique du porc en France en lien avec l'adiposité et la qualité des produits. Après un rappel des caractéristiques des tissus gras et leur intérêt pour les qualités des viandes et produits du porc, les facteurs de variation de l'adiposité et les caractères de quantité de gras pris en compte dans les programmes d'amélioration génétique sont présentés. Un état des lieux de la variabilité génétique de l'adiposité qui demeure au sein des populations porcines françaises (races sélectionnées et races locales) est dressé. Ce bilan permettra de définir les futures stratégies de sélection, afin de mieux répondre aux diverses attentes des industriels et des consommateurs.

Abstract

Genetics and adiposity in pigs: state of the art and new challenges for meat product quality

Carcass adiposity of pigs slaughtered in France has decreased by 45% on average between 1977 and 2016. The production of increasingly lean animals has been initiated in the 1950-1960's by setting up commercial grading scales for carcasses and differentiated payment according to their lean content, to the detriment of fatty tissues. This evolution led to a standardization of production, leading to difficulties in meeting the quality demand of certain market segments. However, a renewed interest for fat has occurred recently within the French pork industry. Indeed, fatty tissues have many advantages, both for ability for processing into cured products and delicatessen, as for sensory and nutritional qualities of products. This review provides an update on pig genetics' improvement in France in relation to adiposity and product quality. After a reminder of the characteristics of fat tissues and their importance for the quality of meat

42 and pork products, the factors influencing adiposity and the traits related to fat quantity taken
 43 into account in breeding programs are presented. An inventory of the genetic variability of
 44 fatness that remains within French pig populations (selected and local breeds) is drawn up. This
 45 will allow defining future selection strategies, to better meet the various expectations of pork
 46 industry and consumers.

47 **Chapeau**

48
 49 Les tissus adipeux du porc présentent de nombreux atouts, tant pour la transformation en
 50 charcuteries et salaisons que pour les qualités sensorielles et nutritionnelles des viandes et
 51 produits. Un état des lieux de la variabilité génétique de l'adiposité chez le porc en France en
 52 lien avec la qualité des produits est nécessaire pour définir les futures stratégies de sélection et
 53 ainsi mieux répondre aux diverses attentes des industriels et des consommateurs.¹

54 **Introduction**

55
 56 Le porc constitue la seconde viande la plus consommée à l'échelle mondiale juste derrière la
 57 volaille, et la viande la plus consommée en Asie et en Europe, ainsi qu'en France avec 33,3 kg
 58 équivalent carcasse/habitant en 2018, soit 38,3% de la consommation de viande (IFIP, 2019).
 59 En France, le porc est utilisé majoritairement sous forme de produits transformés, la viande
 60 fraîche représentant un quart de la consommation (IFIP, 2019). Les principales catégories de
 61 produits sont : les saucisses et saucissons (32%, dont 1/3 de saucisson sec), le jambon et les
 62 viandes cuites (28%), les viandes salées, saumurées, séchées et fumées (15%), les pâtés et
 63 rillettes (10%) et les produits traiteur (16%) (IFIP, 2019). Ces produits sont associés à une
 64 diversité de recettes, marques ou « signatures » collectives ou privées, et de productions sous
 65 signes officiels de qualité et d'origine (Label Rouge, AOP/AOC, IGP, production biologique)
 66 (Dourmad *et al.*, 2018).

67 Même si le volume total reste stable compte tenu de l'évolution de la population, le niveau de
 68 consommation individuelle de viande, dont la viande de porc, diminue en France depuis 2000.
 69 La diminution de consommation de porc touche davantage la viande fraîche que les produits de
 70 charcuterie (FranceAgriMer, 2018). Toutefois, il est important de noter que les productions de
 71 porc et produits sous signes officiels de qualité augmentent, même si elles ne représentent
 72 qu'une faible part de la production nationale (Label Rouge : 4,1%, porcs biologiques : 0,7% ;
 73 IFIP, 2019). Pour ces différents produits, les attentes qualitatives varient selon les acteurs de la
 74 filière : producteurs, abatteurs, transformateurs, distributeurs, consommateurs.

75 La sélection porcine est soucieuse de répondre à ces multiples attentes. Ainsi, depuis le début
 76 des années 1980, des paramètres de qualité technologique de la viande (pH, couleur, rétention
 77 d'eau) sont pris en compte dans les objectifs de sélection des populations porcines françaises
 78 pour éviter la dégradation de la qualité de viande liée à la réduction d'adiposité des animaux
 79 (Bidanel *et al.*, 2018). De plus, deux gènes identifiés comme responsables de défauts majeurs
 80 de la qualité technologique de la viande (gènes Halothane et RN), qui affectent aussi la qualité
 81 sensorielle, sont pris en compte dans les schémas de sélection.

82 Dans cette synthèse, nous avons choisi de mettre l'accent sur les atouts des tissus gras et de
 83 faire le point sur les évolutions de l'amélioration génétique du porc en France en lien avec
 84 l'adiposité et la qualité des produits. Après un rappel des caractéristiques des tissus gras et leur
 85 intérêt pour les qualités des viandes et produits transformés de porc, les facteurs de variation de
 86 l'adiposité et les caractères de quantité de gras pris en compte dans les programmes

¹ Cet article a fait l'objet d'une présentation aux 51^{èmes} Journées de la Recherche Porcine (Schwob *et al.*, 2019).

87 d'amélioration génétique (méthodes de mesure, paramètres génétiques) sont présentés. Un état
 88 des lieux de la variabilité génétique qui demeure au sein des populations porcines françaises
 89 (races sélectionnées et races locales) en termes de quantité, de répartition et de composition des
 90 tissus adipeux est dressé. Ce bilan est nécessaire pour définir les futures stratégies de sélection,
 91 afin de mieux répondre aux évolutions des attentes des acteurs de la filière et des
 92 consommateurs.

93 **1. Localisation, caractéristiques, rôles et développement des tissus** 94 **adipeux chez le porc**

95 **1.1. Localisation anatomique et caractéristiques cellulaires et moléculaires** 96

97 Au sein de l'organisme, il existe plusieurs sites de dépôts adipeux de tailles très variables. Chez
 98 le porc, les dépôts les plus importants quantitativement sont sous-cutanés, avec la bardière
 99 comme principal dépôt, et intermusculaires, les autres dépôts adipeux (péritréal ou panne,
 100 intramusculaire) ne représentant qu'une fraction faible de la masse grasse corporelle (Henry,
 101 1977). Chez un animal de 115 kg de poids vif (stade commercial d'abattage), les dépôts adipeux
 102 sous-cutanés et intermusculaires représentent respectivement 74% et 26% du tissu adipeux total
 103 de la carcasse (Monziols *et al.*, 2005).

104 Du point de vue structural, le tissu adipeux est essentiellement constitué d'adipocytes, cellules
 105 spécialisées dans le stockage des lipides (Louveau *et al.*, 2016). Ces cellules sphériques, dont
 106 le diamètre peut atteindre plus de 100 µm, se caractérisent par la présence d'une unique vacuole
 107 lipidique occupant jusqu'à 95% du volume total de la cellule. Elles sont enfermées dans un
 108 treillis de fibres conjonctives qui supportent également les vaisseaux sanguins et lymphatiques
 109 et les terminaisons nerveuses. En plus des adipocytes, le tissu adipeux contient des cellules
 110 souches adultes, des préadipocytes, des cellules endothéliales, des fibroblastes et des cellules
 111 immunitaires. Contrairement à de nombreux mammifères où coexistent ou se succèdent au
 112 cours de la croissance deux types d'adipocytes : blancs et bruns, le porc se caractérise par la
 113 présence exclusive d'adipocytes blancs dans ses tissus adipeux (Trayhurn *et al.*, 1989).

114 Du point de vue chimique, les tissus adipeux sous-cutanés du porc contiennent en moyenne 69
 115 à 77% de lipides et 14 à 22% d'eau, les tissus adipeux internes (panne) étant plus riches en
 116 lipides (Wood *et al.*, 2003 ; Gondret *et al.*, 2014). Les lipides du muscle sont essentiellement
 117 des triglycérides qui constituent les lipides de réserve (0,5 à 5%), des phospholipides qui sont
 118 des lipides de structure présents dans les membranes cellulaires (0,5 à 1%) et du cholestérol
 119 (0,05 à 0,1%) (Lebret et Picard, 2015). Les triglycérides sont stockés pour l'essentiel dans la
 120 vacuole lipidique des adipocytes qui se développent le long des faisceaux de fibres et, pour une
 121 part mineure (5-20%), dans le cytoplasme des fibres musculaires sous forme de gouttelettes
 122 lipidiques. La teneur en phospholipides varie assez peu alors que la teneur en triglycérides est
 123 très variable et dépend fortement de la taille et du nombre d'adipocytes intramusculaires (Listrat
 124 *et al.*, 2015).

125 Les lipides tissulaires sont constitués d'acides gras (AG) répartis en trois classes : saturés (AGS)
 126 représentant en moyenne 38% (muscle) à 40% (bardière) des AG et dont les principaux sont le
 127 C16:0 (palmitique) et le C18:0 (stéarique) ; mono-insaturés (AGMI) qui représentent environ
 128 45% des AG (muscle et bardière) et comprennent essentiellement le C18:1 (oléique) et
 129 polyinsaturés (AGPI) qui représentent 15 à 20% des AG (Mourot, 2010). Au sein des AGPI, on
 130 distingue les AGPI n-6 ou oméga 6, majoritaires, incluant essentiellement le C18:2 (linoléique
 131 ou LA) et les AGPI n-3 ou oméga 3, qui incluent le C18:3 (linoléique ou ALA), le C20:5
 132 (eicosapentaénoïque ou EPA) et le C22:6 (docosohexaénoïque ou DHA). Parmi ces AG, les

133 C18:2 et C18:3 sont indispensables car non synthétisés par l'animal. Leurs teneurs ainsi que
 134 celles de leurs dérivés EPA et DHA dépendent donc directement des apports alimentaires.

135 1.2. Rôles du tissu adipeux dans l'organisme

136
 137 Les premiers rôles attribués au tissu adipeux étaient ceux de soutien des organes et d'isolateur
 138 thermique. Le tissu adipeux est aussi reconnu pour son rôle essentiel dans le stockage de
 139 l'énergie. Il est en effet capable de stocker de grandes quantités d'AG sous forme de
 140 triglycérides dans les adipocytes, permettant ainsi d'assurer le maintien de l'homéostasie
 141 énergétique. Cette capacité de stockage est le résultat d'un équilibre entre le prélèvement des
 142 AG exogènes, la synthèse *de novo* des AG ou lipogenèse, leur estérification en triglycérides,
 143 l'hydrolyse des triglycérides et la ré-estérification des produits de la lipolyse. Chez le porc, le
 144 tissu adipeux constitue le site majeur de la lipogenèse (Henry, 1977).

145 En plus de ses différents rôles, le tissu adipeux exerce une fonction sécrétoire. Depuis la
 146 découverte de la leptine en 1994, de nombreux produits sécrétés par les cellules du tissu adipeux
 147 ont été identifiés (Komolka *et al.*, 2014). Les produits de nature peptidiques sont regroupés sous
 148 le terme d'adipokines. Ces produits, dont la liste continue à être enrichie, sont impliqués dans
 149 différentes fonctions biologiques comme la prise alimentaire, la croissance, l'inflammation ou
 150 l'immunité. Par cette capacité sécrétoire, le tissu adipeux peut interagir avec son environnement
 151 proche mais aussi avec l'ensemble de l'organisme.

152 1.3. Mise en place et développement des tissus adipeux lors des différentes 153 phases de croissance du porc

154
 155 La chronologie d'apparition des dépôts adipeux varie selon leur localisation anatomique. Les
 156 premiers groupes d'adipocytes apparaissent chez le porc durant la période fœtale. Ils sont
 157 observés au niveau sous-cutané entre 50 et 75 jours de gestation (qui dure environ 115 jours) et
 158 se développent dans les régions péricardique, épидидymaire et périrénale à environ 70 jours de
 159 gestation, alors que les premiers adipocytes intramusculaires ne se développent qu'au cours du
 160 premier mois de vie post-natale (Bonnet *et al.*, 2015). Le développement des tissus adipeux au
 161 cours de l'embryogénèse résulte de l'engagement de cellules souches embryonnaires vers des
 162 voies de différenciation adipocytaire, puis d'une augmentation du nombre (hyperplasie) et du
 163 volume (hypertrophie) des cellules constitutives de ces tissus lors des phases de croissance post-
 164 embryonnaires (Bonnet *et al.*, 2015).

165 L'accrétion de la masse grasse se produit quasiment exclusivement après la naissance chez le
 166 porc et peut se poursuivre tout au long de la vie. Elle passe ainsi de 1-2% à la naissance (Canario
 167 *et al.*, 2007) à environ 15% à 20 kg et 25% à 90 kg de poids vif chez des porcs mâles de race
 168 Large White (Karège, 1991). La croissance du tissu adipeux résulte essentiellement de
 169 l'hypertrophie des adipocytes, l'hyperplasie étant considérée comme limitée dans l'accrétion
 170 adipeuse (Gardan *et al.*, 2006 ; Bonnet *et al.*, 2015).

171 2. Adiposité et intérêt pour les qualités des produits

172
 173 La notion de qualité de viande (maigre et gras) de porc est complexe. Outre les dimensions
 174 intrinsèques au produit viande (qualités sanitaire, sensorielle, nutritionnelle, technologique),
 175 elle inclut des dimensions extrinsèques relatives aux conditions de production des animaux et
 176 leur perception par les citoyens (Lebret et Picard, 2015 ; Lebret *et al.*, 2015), qui ne seront pas
 177 traitées dans cette synthèse. Nous nous limiterons ici aux composantes de qualité des viandes
 178 directement influencées par l'adiposité des animaux : sensorielle, nutritionnelle et
 179 technologique.

180 2.1. Les différentes utilisations des tissus adipeux dans les produits de porc

181

182 Chez le porc, la grande majorité des tissus adipeux constitutifs de la carcasse est utilisée comme
 183 matière première pour les technologies charcutières et le surplus sert à la production de
 184 saindoux (IFIP, 2016). Ils apportent aux viandes et aux charcuteries leur goût et leur texture et
 185 participent pleinement à l'élaboration des produits. Toutefois, selon leur origine anatomique,
 186 les différents tissus adipeux n'ont pas tous le même intérêt en termes de qualité des produits.

187 Les tissus sous-cutanés, les plus importants en masse, sont visibles sur la carcasse ou les pièces
 188 de découpe. Ils peuvent donc être facilement isolés et retirés, totalement ou partiellement, avant
 189 distribution ou transformation. Ils sont utilisés pour la production de lard, barde pour rôti ou
 190 galantine, charcuteries sèches ou cuites (saucissons, saucisses, pâtés, rillettes...). En revanche,
 191 hormis le jambon cuit élaboré le plus souvent à partir de pièces ou muscles de jambon
 192 dégraissés, les tissus adipeux intermusculaires restent dans les morceaux commercialisés et font
 193 partie intégrante des produits proposés aux consommateurs (jambon sec, poitrine...), comme le
 194 gras intramusculaire. Ils jouent donc un rôle majeur dans l'acceptabilité visuelle des produits
 195 (rôtis, côtelettes, jambons secs, poitrine fumée, coppa...) et leurs caractéristiques
 196 nutritionnelles. Le gras périrénel est, quant à lui, très majoritairement utilisé pour la production
 197 de saindoux, commercialisé tel quel ou utilisé comme ingrédient de produits de charcuteries-
 198 salaisons (IFIP, 2016).

199

200 2.2. La qualité sensorielle : le défi d'un gras invisible

201

202 Les propriétés sensorielles d'un aliment sont les caractéristiques que le consommateur perçoit
 203 par ses sens. Pour la viande, il s'agit de l'aspect (couleur, présence d'exsudat, quantité de gras
 204 externe, intermusculaire et intramusculaire ou persillé), de la texture (tendreté, jutosité) et de la
 205 flaveur (odeur, goût). Il est bien établi que ces paramètres déterminent l'appréciation de la
 206 viande de porc et influencent l'acte d'achat ou de ré-achat par les consommateurs, même si les
 207 facteurs marketing (emballage, prix, disponibilité) ou psychologiques (valeurs, aspects socio-
 208 culturels) interviennent aussi dans les comportements d'achat (Dransfield *et al.*, 2005 ; Font-i-
 209 Furnols et Guerrero, 2014).

210 Les qualités sensorielles de la viande dépendent d'interactions complexes entre i) les
 211 caractéristiques tissulaires à l'abattage : diamètre et typologie des fibres musculaires, teneur en
 212 glycogène, teneur et nature des lipides intramusculaires (LIM), importance et répartition de la
 213 matrice extracellulaire, ii) le métabolisme musculaire *peri et post-mortem* : vitesse et amplitude
 214 de chute du pH, température, durée et conditions de maturation de la viande (protéolyse et
 215 lipolyse, oxydation des lipides), et iii) les conditions de préparation et de cuisson des viandes
 216 ou les procédés de transformation et d'élaboration des produits carnés (Ngapo et Gariépy,
 217 2008 ; Lebret *et al.*, 2015 ; Listrat *et al.*, 2015 ; Warner et Dunshea, 2018).

218 Les caractéristiques sensorielles des viandes peuvent être appréciées par des jurys entraînés qui
 219 évaluent, dans des conditions définies, l'intensité de différents caractères descriptifs d'aspect,
 220 de texture et de flaveur, ou des consommateurs lors de tests hédoniques visant à mesurer le
 221 plaisir éprouvé lors de la dégustation d'un produit (aspect, texture, goût). L'analyse d'une
 222 vingtaine de publications basées sur un jury entraîné montre que l'association entre teneur en
 223 LIM et qualité sensorielle du porc (longe) est positive dans la majorité des études (Lebret, 2009)
 224 mais varie selon la teneur en LIM considérée (une teneur minimale de 2,5% étant considérée
 225 favorable pour la qualité sensorielle), le niveau des autres indicateurs majeurs de qualité de
 226 viande (pH), le mode et la température de cuisson de la viande, etc... (Listrat *et al.*, 2015 ;
 227 Warner et Dunshea, 2018).

228 Mais qu'en est-il de l'influence de la teneur en LIM sur l'appréciation des viandes par les
 229 consommateurs ? Avant consommation, les préférences des consommateurs (appréciation
 230 globale, intention de consommation ou d'achat) se portent majoritairement vers les viandes
 231 (longes) contenant le moins de LIM, alors que les préférences s'inversent souvent après
 232 consommation, les viandes les plus persillées étant jugées plus juteuses, tendres et goûteuses
 233 (Fernandez *et al.*, 1999 ; Font-i-Furnols et Guerrero, 2014). Ces études confirment l'optimum
 234 de 2,5% à 3,5% de LIM pour favoriser l'acceptabilité globale des viandes par les
 235 consommateurs. Toutefois, cette association est à nuancer en fonction de leurs habitudes et
 236 cultures alimentaires (Dransfield *et al.*, 2005) mais également de leur âge. Ainsi, l'augmentation
 237 de la teneur en LIM améliore l'acceptabilité globale du jambon sec chez les consommateurs de
 238 plus de 25 ans, mais a l'effet inverse chez les plus jeunes (Ventanas *et al.*, 2007). L'influence
 239 des LIM sur la qualité perçue dépend aussi du produit considéré : si l'appréciation hédonique
 240 du jambon sec s'accroît avec la teneur en LIM (Ventanas *et al.*, 2007), l'inverse est observé
 241 pour le jambon cuit (Fernandez *et al.*, 2000). Enfin, contrairement aux LIM, l'importance du
 242 gras de couverture a presque systématiquement un effet négatif sur l'appréciation des viandes
 243 ou jambons secs (Dransfield *et al.*, 2005 ; Ventanas *et al.*, 2007).

244 2.3. La qualité nutritionnelle : la recherche d'un gras sain

245
 246 La qualité nutritionnelle de la viande correspond à sa capacité à satisfaire les besoins
 247 nutritionnels de l'homme : apports en protéines (dont acides aminés indispensables), lipides,
 248 vitamines (dont A, E, B1) et minéraux (fer, zinc, sélénium) (Lebret et Picard, 2015). Il est
 249 désormais recommandé d'augmenter les apports énergétiques sous forme de lipides qui doivent
 250 constituer idéalement 35 à 40% de l'énergie ingérée (ANSES 2016) ainsi que les apports en
 251 acides gras oméga 3 (AGPI n-3) avec les recommandations de 1% des apports énergétiques
 252 sous forme ALA (C18:3), 250 mg/jour de EPA (C20:5) et de DHA (C22:6), et un rapport LA
 253 (C18:2)/ALA inférieur à 5 (ANSES, 2011).

254 Concernant la teneur totale en lipides, la viande de porc s'avère maigre lorsque le gras visible
 255 est écarté : 3 à 4% de lipides dans le rôti cuit, environ 15% pour une côte grillée. En revanche,
 256 la teneur en gras des produits transformés est très variable : moins de 4% dans le jambon cuit
 257 supérieur, 12% dans le jambon sec, 20% dans les chipolatas crues, environ 30% pour le
 258 saucisson sec et 35 à 40% pour les rillettes pur porc (Ciquel, 2017).

259 En termes de composition en AG, l'acide oléique (C18:1) est majoritaire dans les muscles et
 260 tissus adipeux du porc (35 à 40%). La proportion d'AGPI n-3 est généralement faible
 261 relativement aux n-6 (0,8 à 1,5% contre 12 à 18% des AG totaux), conduisant à un rapport n-
 262 6/n-3 d'environ 15 (Mourot, 2010).

263 Un autre phénomène important influençant ces qualités est la peroxydation lipidique, auxquels
 264 sont particulièrement sensibles les AGPI. Il s'agit de réactions radicalaires conduisant à la
 265 formation de plusieurs produits terminaux dont des composés volatils. Lorsque la peroxydation
 266 est faible, les composés formés ont un effet bénéfique sur la saveur de la viande et des produits
 267 transformés. Toutefois, une peroxydation élevée conduit à la production de composés toxiques
 268 qui altèrent la qualité nutritionnelle, mais aussi la couleur et parfois la saveur (Gandemer,
 269 1999 ; IFIP, 2018). Il est donc primordial de maîtriser les phénomènes d'oxydation dans les
 270 viandes pour contrôler les qualités sensorielles et nutritionnelles. La nature et les proportions
 271 des composés formés dépendent de plusieurs facteurs : nature des AG, teneur en fer, présence
 272 d'oxygène, pH, etc... Dans les produits transformés, les traitements mécaniques (hachage,
 273 broyage) ou thermiques, l'apport de sel, et la durée de conservation, favorisent la peroxydation
 274 (IFIP, 2018). La lipo-peroxydation des viandes et produits peut être limitée par la présence,
 275 dans les tissus gras et maigres, d'antioxydants apportés via l'alimentation des animaux :

276 vitamine E, extraits végétaux riches en polyphénols, sélénium, etc... dont certains agissent en
 277 synergie (Falowo *et al.*, 2014).

278 **2.4. La qualité technologique : à chaque produit son gras**

279
 280 La qualité technologique des tissus adipeux correspond à leur aptitude à la transformation et à
 281 la conservation, c'est à dire leur consistance et leur cohésion (tissus adipeux anatomiquement
 282 séparables : sous-cutanés, internes et intermusculaires), et leur sensibilité à l'oxydation
 283 (concerne tous les tissus adipeux y compris intramusculaires).

284 La fermeté est fonction de la composition chimique : teneurs en lipides et en eau, importance
 285 de l'armature collagénique de soutien et composition en AG. Une faible teneur en lipides et
 286 corrélativement une teneur élevée en eau entraînent un manque de consistance du tissu adipeux,
 287 alors qu'une assise protéique importante assure une certaine fermeté à température ambiante
 288 (Lebret et Mourot, 1998). La nature des AG joue un grand rôle dans la consistance des tissus
 289 adipeux, le point de fusion des AG étant d'autant plus bas qu'ils sont insaturés (< 0°C pour les
 290 AGPI). Plusieurs études ont montré le rôle prépondérant de la proportion d'AGS (surtout C16:0
 291 et C18:0) par rapport aux AGM ou AGPI sur la fermeté des tissus adipeux (Lebret et Mourot,
 292 1998 ; Wood *et al.*, 2003 ; Hugo et Roodt, 2007). La durée de conservation des tissus adipeux
 293 est limitée par le développement des réactions de peroxydation lipidique, favorisées par des
 294 teneurs en eau et AGI élevées associées à l'absence d'agents antioxydants (cf ci-dessus), ces
 295 réactions pouvant aussi se produire à l'état congelé.

296 Les caractéristiques physiques (fermeté, couleur) et biochimiques (sensibilité à la peroxydation)
 297 des tissus adipeux sont essentielles pour la fabrication des produits transformés (Hugo et Roodt,
 298 2007). Dans les jambons cuits (avec couenne) et secs, un tissu gras peu oxydable et de couleur
 299 blanche est recherché ; pour le jambon sec, une épaisseur minimale de gras permet d'éviter un
 300 séchage trop rapide et trop important qui altérerait la texture du produit (IFIP, 2014). Pour la
 301 fabrication de saucisson sec, un gras de couleur blanche et à point de fusion élevé, peu fondant
 302 et peu sensible au rancissement est recherché pour optimiser la transformation, ainsi que la
 303 flaveur et la texture du produit. De même, des gras fermes, donc riches en AGS, sont nécessaires
 304 pour la production de saucisses à pâte fine et de rillettes, des gras riches en AGPI à bas point
 305 de fusion altérant la liaison du gras au maigre et l'homogénéisation du mélange (IFIP, 2014).

306 Ainsi, les qualités technologiques des tissus adipeux du porc impliquent une proportion d'AGS
 307 et une teneur en lipides élevées (faible teneur en eau). Des exigences relatives à l'alimentation
 308 (< 1,9% d'acide linoléique dans la ration pour les animaux de plus de 12 semaines) et la qualité
 309 des gras (« gras de bardière blanc et ferme ») figurent dans l'arrêté fixant les conditions de
 310 production en Label Rouge « porc » (Bulletin officiel n°31, 2017) ainsi que d'autres
 311 productions sous signes officiels de qualité. Ces propriétés sont aussi favorables aux qualités
 312 organoleptiques (limitation de l'oxydation) mais vont à l'encontre de la qualité nutritionnelle.
 313 Il semble donc que la gestion de ces antagonismes consisterait à orienter les tissus gras vers
 314 différentes utilisations : produits frais (barde de rôtis, côtelettes...) ou élaboration de
 315 charcuteries crues ou cuites incorporant des tissus gras sous forme entière ou hachée, selon
 316 leurs caractéristiques physiques et biochimiques.

317 **3. Facteurs de variation des dépôts adipeux sous-cutanés et** 318 **intramusculaires**

319
 320 Les caractéristiques quantitatives et qualitatives des dépôts adipeux sous-cutanés et
 321 intramusculaires ainsi que la nature des AG constitutifs des triglycérides sont influencés par le
 322 type génétique, le sexe, le poids à l'abattage, mais également par les conditions d'élevage avec

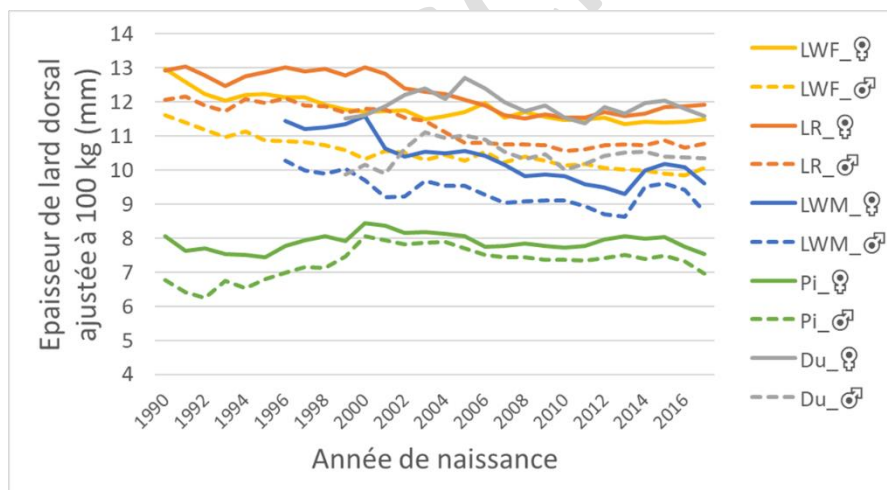
323 un effet majeur de l'alimentation (Lebret *et al.*, 2015). Ainsi, l'alimentation apportée aux
324 animaux constitue un levier majeur pour augmenter les teneurs des viandes en AG jugés bons
325 pour la santé humaine (Wood *et al.*, 2003 ; Mourot, 2010, Lebret *et al.*, 2015).
326 Dans ce paragraphe, l'accent sera mis sur la variation des dépôts adipeux selon le type
327 génétique, le type sexuel et la localisation anatomique. Deux caractères quantitatifs des dépôts
328 adipeux sont retenus principalement, l'épaisseur de lard dorsal (ELD), un indicateur de la
329 quantité de gras sous-cutané qui joue un rôle important pour la transformation, et la teneur en
330 LIM du muscle *Longissimus* qui joue un rôle majeur pour la qualité sensorielle des produits.

331 3.1. Variation selon le type génétique

332
333 La sélection réalisée depuis le début des années 1970 dans les populations porcines françaises,
334 orientée vers la production d'animaux de plus en plus maigres, a conduit à la réduction de l'ELD
335 de près de 3 écart-types phénotypiques (ETP), soit -6,3% d'ETP par an en moyenne dans les
336 populations de races pures (Bidanel *et al.*, 2018). Ce constat s'observe également à l'étage de
337 la production sur les porcs charcutiers, comme en témoignent les résultats des tests des
338 terminaux : -10 mm d'épaisseur de lard entre 1977 et 1997, soit -40% en 20 ans (Monin *et al.*,
339 1998).

340 Depuis la fin des années 1990, la diminution de l'ELD s'est ralentie dans toutes les populations
341 porcines françaises sélectionnées, par comparaison aux deux décades précédentes, en raison
342 d'une moindre pression de sélection sur ce caractère ayant déjà atteint des niveaux très bas.
343 Sans surprise, la lignée Piétrain (Pi) présente le moins de gras de couverture : entre 7 et 7,5 mm
344 d'ELD ajustée à 100 kg selon le sexe en 2017 (Figure 1). Le Duroc (Du) s'apparente plutôt à
345 une lignée femelle, telles que le Large White (LWF) et le Landrace Français (LR), avec une
346 ELD moyenne ajustée à 100 kg comprise entre 10,5 et 11,5 mm. La lignée Large White mâle
347 (LWM) présente une ELD intermédiaire comprise entre 9,5 et 10,5 mm selon le sexe. Même si
348 les animaux de race pure ont atteint des niveaux d'ELD très bas sous l'effet de la sélection, il
349 existe toujours une variabilité élevée entre types génétiques sur ce caractère.

350



351

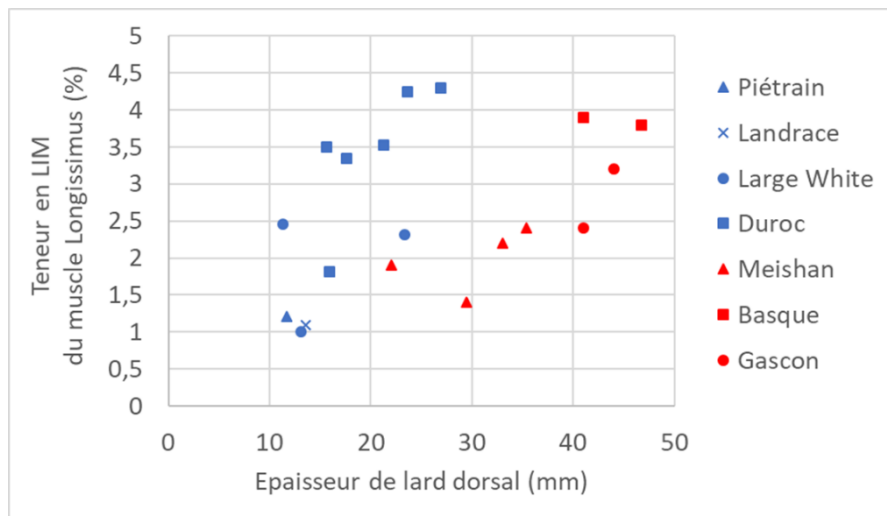
352 Figure 1. Evolution de l'épaisseur de lard dorsal ajustée à 100 kg, mesurée par ultrasons sur les
353 candidats à la sélection femelles (♀) et mâles entiers (♂) contrôlés dans les élevages de
354 sélection (base nationale génétique porcine, 2018).

355 LWF : Large White lignée femelle ; LR : Landrace Français ; LWM : Large White lignée mâle ; Pi :
356 Piétrain ; Du : Duroc.

357

358 Le lien entre l'ELD et la teneur en LIM a fait l'objet de multiples études, aussi bien sur des
 359 animaux de races pures que sur des animaux issus de croisements, mais une présentation
 360 synthétique de leurs résultats n'est pas facile à établir, les conditions expérimentales n'étant pas
 361 toujours similaires (différences de conduite alimentaire, de sexe, d'âge et de poids à la mesure,
 362 de site et de méthode de mesure, etc...). Dix études présentant à la fois des valeurs moyennes
 363 d'ELD et de teneur en LIM du muscle *Longissimus* mesurées sur des animaux de différentes
 364 races pures contrastées en termes d'adiposité ont été retenues (Figure 2). Les quatre principales
 365 races utilisées en France (Large White, Landrace, Piétrain et Duroc) sont représentées, ainsi
 366 que la race Meishan, utilisée dans les croisements sino-européens, et deux races locales
 367 françaises : Gascon et Basque. Concernant les races sélectionnées, des références récentes ont
 368 été privilégiées afin de limiter le biais lié à l'évolution phénotypique des caractères sous l'effet
 369 de la sélection.

370



371

372 Figure 2. Valeurs moyennes de sept races pures pour l'épaisseur de lard et la teneur en LIM du
 373 muscle *Longissimus*.

374 *Données issues de White et al. (1995) ; Čandek-Potokar et al. (1998) ; Labroue et al. (2000) ;*
 375 *Newcom et al. (2005) ; Plastow et al. (2005) ; Renaudeau et al. (2005) ; Lebret et al. (2014) ; Ros-*
 376 *Freixedes et al. (2014) ; Suzuki et al. (2009) ; Lebret et al. (2019).*

377

378 Parmi les indicateurs d'adiposité, l'ELD semble être un meilleur indicateur que la teneur en
 379 LIM pour distinguer les races locales, qui ne font pas l'objet d'un programme de sélection, des
 380 races sélectionnées. Cette observation reflète le fait que les races conventionnelles européennes
 381 (Large White, Landrace et Piétrain) sont sélectionnées depuis de longues années sur le critère
 382 d'ELD, alors que l'intérêt de sélectionner sur la teneur en LIM est plus récent.

383 Les races conventionnelles européennes présentent une adiposité générale faible, aussi bien en
 384 termes de gras de couverture que de LIM. Alors que les porcs Duroc ont une ELD limitée et
 385 une teneur en LIM qui varie selon les études (c'est-à-dire selon les lignées considérées), les
 386 porcs Meishan ont une teneur en LIM modérée et une ELD élevée. Quant aux races locales
 387 françaises, elles se caractérisent par une adiposité globale élevée (ELD et teneur en LIM), même
 388 si l'on observe une variabilité de teneur en LIM entre races locales (Figure 2).

389 Ces études illustrent la grande variabilité de la teneur en LIM qui varie de 1% à plus de 4%
 390 selon les races. Cette teneur peut même atteindre 10% en moyenne pour le porc de race Ibérique
 391 (Pugliese et Sirtori, 2012). Ces résultats confirment la plus grande richesse en LIM de la race
 392 Duroc comparée aux autres races sélectionnées. Chez ces dernières, les teneurs en LIM sont
 393 adaptées pour répondre au marché de la viande fraîche et à la production de jambon cuit.

394 Toutefois, le seuil de 2,5% de LIM considéré comme minimal pour produire des viandes de
 395 qualité sensorielle satisfaisante n'est pas atteint.

396 Chez les porcs « charcutiers », animaux croisés destinés à la production de viande, l'adiposité
 397 dépend des lignées parentales. Dans les lignées sino-européennes, plus il y a de gènes Meishan
 398 dans le croisement, plus la teneur en LIM et l'ELD sont élevées (Jiang *et al.*, 2012). Par ailleurs,
 399 les comparaisons entre porcs croisés issus de pères Duroc ou de pères Large White ou Piétrain
 400 indiquent que la teneur en LIM du muscle *Longissimus* est plus élevée de 0,55 à 0,64 point (%)
 401 chez les animaux croisés Duroc (Alonso *et al.*, 2009).

402 3.2. Variation selon le type sexuel

403 Dans les populations collectives françaises, on observe une variabilité intra type génétique, liée
 404 au sexe, sur le dépôt de gras sous-cutané (Figure 1) : quel que soit le type génétique, les femelles
 405 sont plus grasses que les mâles entiers. Cette différence, bien établie dans la littérature, est aussi
 406 associée à une différence de composition du tissu adipeux, qui contient plus d'eau et de
 407 protéines et moins de lipides chez les mâles entiers comparés aux femelles (Lebret et Mourot,
 408 1998). A l'inverse, les tissus adipeux des mâles castrés contiennent plus de lipides et moins
 409 d'eau que ceux des mâles entiers et des femelles, en raison de l'augmentation de l'adiposité
 410 consécutive à la castration. Les porcs immunocastrés, solution alternative à la castration
 411 chirurgicale des porcelets mâles, présentent une adiposité intermédiaire entre celle des mâles
 412 entiers et castrés (Batorek *et al.*, 2012). Le type sexuel influence l'activité lipogénique des tissus
 413 adipeux, qui varie dans le même sens que l'adiposité des animaux : en conséquence, à poids vif
 414 équivalent, le degré d'insaturation des lipides est plus élevé chez les mâles entiers que chez les
 415 femelles et les mâles castrés (Lebret et Mourot, 1998).

417 Les différences de teneurs en LIM entre types sexuels sont parfois plus ténues que celles
 418 observées sur l'adiposité de la carcasse. Toutefois, plusieurs études ou méta-analyses montrent
 419 que les mâles castrés présentent une teneur en LIM supérieure à celle des mâles entiers, les
 420 femelles présentant une teneur intermédiaire (Trefan *et al.*, 2013 ; Font-i-Furnols *et al.*, 2018).

421 3.3. Variation selon la localisation anatomique

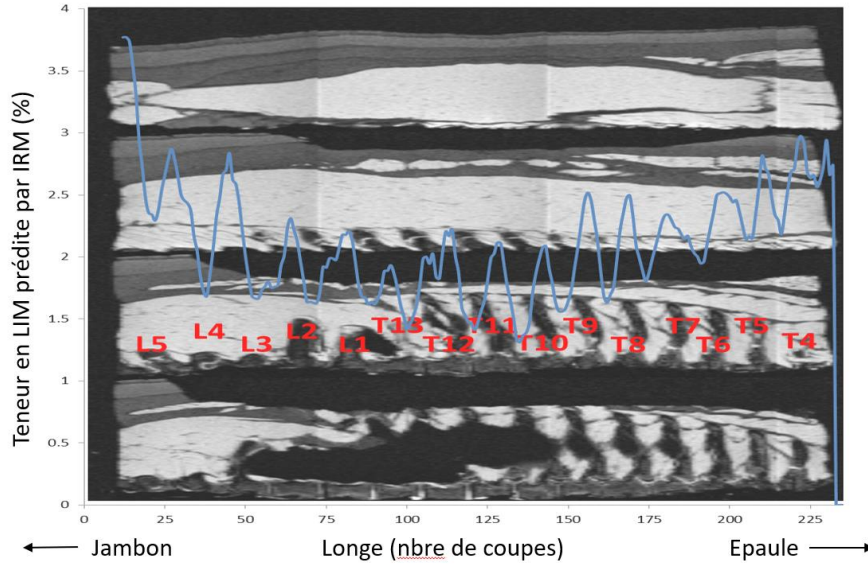
422 Les caractéristiques des différents dépôts adipeux, notamment leur teneur en lipides et leur
 423 composition en acides gras, varient selon leur localisation anatomique (bardière, panne). De
 424 façon générale, les AG insaturés sont localisés préférentiellement dans le tissu adipeux sous-
 425 cutané, et les AGS d'origine endogène dans les tissus adipeux internes (Lebret et Mourot,
 426 1998). Des différences d'ELD sont observées le long de la carcasse, selon la zone anatomique :
 427 des profils d'ELD réalisés par tomographie RX montrent que l'ELD décroît de l'épaule au
 428 jambon, les zones de transitions anatomiques de l'épaule à la longe puis de la longe au jambon
 429 étant marquées par des diminutions nettes d'ELD (Mercat *et al.*, 2016).

431 Les muscles de la carcasse présentent également des différences de teneur en LIM : la longe est
 432 moins grasse que le jambon, dont les muscles présentent des niveaux de LIM différents
 433 (Maignel *et al.*, 2013 ; Font-i-Furnols *et al.*, 2018). Par ailleurs, la teneur en LIM peut varier au
 434 sein d'un même muscle selon la position anatomique, comme dans le cas du muscle
 435 *Longissimus* (Faucitano *et al.*, 2004 ; Schwob *et al.*, 2018). L'analyse par imagerie par
 436 résonance magnétique (IRM) de l'intégralité de la longe montre une modulation côte/inter-côte
 437 très nette de la teneur en LIM avec, dans les cas extrêmes, jusqu'à 1 point (%) d'écart suivant
 438 que la coupe est centrée sur la côte (valeur minimale) ou entre deux côtes (Figure 3). La teneur
 439 en LIM est toutefois assez stable le long du muscle *Longissimus*, excepté aux extrémités qui
 440 sont plus grasses (Faucitano *et al.*, 2004 ; Schwob *et al.*, 2018).

441 La corrélation entre la teneur moyenne en LIM du muscle *Longissimus* et celle prédite à chaque
 442 position (IRM) de la longe est élevée (R^2 entre 0,76 et 0,88), les corrélations les plus élevées se

443 situant au voisinage de la 13^{ème} côte. Un échantillon prélevé à ce niveau est donc représentatif
 444 de la teneur moyenne en LIM de la longe. Toutefois, cette étude montre qu'il est possible de
 445 choisir un site de prélèvement plus proche de l'extrémité crâniale du *Longissimus*, pour limiter
 446 la dépréciation de la longe tout en maintenant une bonne représentativité de la teneur moyenne
 447 en lipides (Schwob *et al.*, 2018).

448



449

450 Figure 3. Evolution de la teneur en LIM le long de la longe mesurée par IRM (moyenne sur 5
 451 coupes, épaisseur 12,5 mm) sur une longe non désossée (cf. images de fond).

452 T4 à T13 : vertèbres thoraciques (extrémité antérieure), L1 à L5 : vertèbres lombaires (extrémité
 453 postérieure).

454 4. Du phénotypage à la sélection des caractères d'adiposité chez le porc

455

456 Optimiser l'adiposité par la sélection suppose de pouvoir objectiver l'évaluation des caractères
 457 relatifs aux dépôts adipeux sur animal vivant ou sur carcasse à partir de mesures fiables, peu
 458 coûteuses, précoces, non invasives et réalisables à grande échelle. Pour cela, il est nécessaire
 459 de disposer de méthodes rapides, standardisées et automatisées d'indicateurs prédictifs ou de
 460 caractères d'adiposité (cf. encadré).

461

462 Encadré : présentation des principales technologies d'imagerie disponibles pour quantifier deux
 463 caractères de dépôts adipeux sur animal vivant ou sur carcasse : l'épaisseur de lard dorsal (ELD)
 464 et la teneur en lipides intramusculaires (LIM).

	In vivo			Carcasses	
	Ultrasons (US)	Imagerie par résonance magnétique (IRM)	Absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA)	Tomographie à rayons X (RX)	Appareils de classement
ELD	X	X	X	X	X
LIM	X	X	-	-	-

465

466 Sources des photos : Nucléus, IRSTEA, Agroscope, IFIP, Uniporc Ouest, Frontmatec.

467

468 **Ultrasons (US) :**

469 L'utilisation des US repose sur la propagation d'ondes sonores de haute fréquence (ultrasons),
 470 qui sont réfléchies par la matière et reviennent à leur point de départ en produisant un écho.
 471 L'image obtenue est une coupe sur laquelle les tissus sont identifiables en niveaux de gris. Les
 472 épaisseurs de lard dorsal et de muscle des candidats à la sélection sont mesurées par US sur
 473 trois ou six sites anatomiques (au niveau du rein, du dos et de l'épaule) à 4 cm de part et d'autre
 474 de la colonne vertébrale. Le niveau de gras intramusculaire de la longe est également mesuré
 475 par US entre les 10^{ème} et 11^{ème} côtes. Le choix de la sonde, qui émet et réceptionne les US,
 476 dépend du type de mesure (profondeur et degré de précision).

477 **Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) :**

478 L'IRM est basée sur le phénomène physique de résonance magnétique des noyaux atomiques,
 479 qui nécessite un puissant champ magnétique produit par un aimant et des ondes radio pour
 480 exciter les atomes. L'IRM fournit des images 2D puis 3D de l'intérieur du corps (organes et
 481 tissus mous) d'une grande précision. Cette technologie peut être pratiquée *in vivo* ou *post-*
 482 *mortem*, sur l'ensemble de l'animal ou une région d'intérêt ciblée.

483 **Absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA) :**

484 La DXA (dual-energy X-ray absorptiometry) est basée sur le phénomène d'absorption des
 485 rayons X par la matière. Plus la densité d'un tissu est élevée, plus il absorbera les rayons X émis
 486 (deux niveaux d'énergie). Ainsi, la DXA fournit des images 2D de l'ensemble du corps ou
 487 d'une région d'intérêt ciblée, en fonction de la densité des tissus. La technologie DXA peut être
 488 utilisée *in vivo* ou *post-mortem* pour réaliser des analyses précises et complètes de la
 489 composition corporelle, notamment la densité osseuse et la répartition gras/maigre.

490 **Tomographie à rayons X (RX) :**

491 Comme la DXA, la technologie RX est basée sur l'absorption différentielle des rayons X en
 492 fonction de la densité de matière. Le tomographe émet des rayons X sur 360° du corps de
 493 l'animal, ce qui permet de reconstituer des images 2D ou 3D des structures anatomiques de
 494 l'ensemble de l'animal ou d'une région d'intérêt ciblée. La technologie RX peut être utilisée *in*
 495 *vivo* ou *post-mortem*.

496 **Appareils de classement :**

497 Le classement des carcasses de porcs s'effectue à l'aide d'appareils qui utilisent, entre autres,
 498 des technologies d'imagerie : les ultrasons et la visionique. La technologie US est utilisée en
 499 France depuis les années 1990 pour prédire le taux de maigre des carcasses. Certains appareils
 500 semi-automatiques sont équipés d'une sonde US qui mesure les épaisseurs de gras et de muscle
 501 en un point précis de la carcasse, tels que l'Ultrafom 300 (société danoise Frontmatec) et
 502 l'Ultra-Meater (société allemande CSB). L'Autofom (société Frontmatec), premier appareil
 503 automatique de classement autorisé en France depuis 2007, s'appuie sur la technologie US pour
 504 recomposer la carcasse en 3D afin de prédire le poids, les épaisseurs de muscle et de gras et le
 505 Taux de Muscle des Pièces (TMP) à la cadence de la chaîne d'abattage. Par ailleurs, en 2013,
 506 Uniporc Ouest a choisi d'équiper les grands abattoirs de sa zone d'un appareil de vision,
 507 l'Image-Meater (société CSB). Il s'agit d'une caméra vidéo couplée à un analyseur d'image qui
 508 détermine les épaisseurs de gras et de muscle de la demi-carcasse à la fente (jonction rein-
 509 jambon), et les convertit en estimation du TMP pour le classement des carcasses.

510 **4.1. Les nouvelles technologies au service du phénotypage des dépôts**
 511 **adipeux**

512

513 Les technologies d'imagerie désormais disponibles permettent d'étudier la composition
 514 corporelle et la distribution anatomique des tissus sur des porcs *in vivo*. Les avantages et

515 inconvénients des principales technologies non-invasives ont été comparés (Carabus *et al.*,
 516 2016) : ultrasons (US), absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA), tomographie à rayons
 517 X (RX) et IRM. Toutes ces méthodes sont utilisées pour analyser la composition interne de
 518 l'animal. Elles fournissent des images 2D (US, DXA) ou 3D (RX, IRM) prises sur différents
 519 sites anatomiques ou tissus (cf. encadré). Les technologies RX et IRM présentent la meilleure
 520 résolution d'image, suivies de la DXA et des US. Toutefois, la précision des images et les
 521 prédictions obtenues dépendent de plusieurs paramètres : calibration de l'appareil, données
 522 sources utilisées pour la prédiction (épaisseur, surface, volume, densité...), équations de
 523 prédiction (qui peuvent dépendre du type génétique, du sexe, du poids...), paramètre prédit
 524 (poids de carcasse ou des pièces, poids des tissus, volume des tissus, teneur en gras ou maigre,
 525 teneur en LIM...). La technologie RX est adaptée pour prédire l'évolution au cours de la
 526 croissance de la composition de la carcasse et des pièces (Carabus *et al.*, 2016), mais n'est pas
 527 applicable pour prédire la teneur en LIM *in vivo*, car la qualité d'image est trop faible et l'erreur
 528 de prédiction trop élevée (Font-i-Furnols *et al.*, 2018).

529 Les technologies d'imagerie sont également testées chez le porc pour prédire en phase *post-*
 530 *mortem* la teneur en LIM d'échantillons de muscle *Longissimus* à des cadences élevées. Ainsi,
 531 l'IRM offre l'opportunité de prédire la teneur en LIM d'environ 400 à 500 échantillons de longe
 532 par jour, avec une bonne précision (Davenel *et al.*, 2012). La spectroscopie proche infrarouge
 533 (SPIR) est également une méthode prometteuse pour la filière viande. Son utilisation pour
 534 prédire la teneur en LIM est maintenant bien établie et applicable en conditions industrielles
 535 (Andueza *et al.*, 2015). D'autres travaux ont aussi montré l'intérêt de mesures par SPIR sur la
 536 chaîne d'abattage pour prédire la teneur en acides gras, notamment en oméga-3, dans les tissus
 537 adipeux de porc (Andueza *et al.*, 2015 ; Kucha *et al.*, 2018).

538 4.2. Déterminisme génétique des caractères d'adiposité chez le porc

539
 540 La variabilité génétique additive, c'est-à-dire la part de la variabilité phénotypique du caractère
 541 qui dépend des gènes, donc sur laquelle la sélection peut jouer, est forte pour les caractères
 542 d'adiposité. Ainsi, l'ELD présente une héritabilité élevée ($\geq 0,44$) lorsqu'elle est mesurée *in*
 543 *vivo* aux ultrasons (Tableau 1), ce qui explique que ce critère est relativement facile à faire
 544 évoluer par la sélection. Alors que les caractères de qualité de la viande sont modérément
 545 héritables (entre 0,10 et 0,30), la teneur en LIM est une exception avec une héritabilité proche
 546 de 0,50 en moyenne. Ainsi, ELD et LIM sont tous deux fortement héritables, ce qui en font des
 547 caractères adaptés à des méthodes de sélection classiques.

548 Tableau 1. Héritabilités (h^2) et corrélations génétiques (r_g) estimées pour l'épaisseur de lard
 549 (ELD) et la teneur en lipides intramusculaires (LIM) dans différentes études.

Références	Type génétique	h^2 ELD	h^2 LIM	r_g ELD-LIM
Hermesch <i>et al.</i> (2000a ; 2000b)	Large White et Landrace	0,62 ± 0,05	0,35 ± 0,06	0,27 ± 0,16
Newcom <i>et al.</i> (2005)	Duroc	0,44 ± 0,11	0,69 ± 0,12	0,27 ± 0,18
Suzuki <i>et al.</i> (2009)	Duroc	0,72 ± 0,03	0,51 ± 0,03	0,19 ± 0,05
Maignel <i>et al.</i> (2009)	Duroc	0,49 ± 0,04	0,69 ± 0,07	0,13 ± 0,11
Ros-Freixedes <i>et al.</i> (2014)	Duroc	0,48	0,64	0,40
Miar <i>et al.</i> (2014)	Duroc x (Large White x Landrace)	0,45 ± 0,07	0,26 ± 0,06	0,34 ± 0,04

551
 552 La corrélation génétique entre ELD et LIM, qui induit la réponse indirecte à la sélection, est
 553 modérée, puisqu'elle varie entre +0,13 et +0,40 (Tableau 1). En conséquence, la sélection pour
 554 augmenter la teneur en LIM, correspondant souvent à l'objectif recherché dans la longe, induira
 555 une légère augmentation de l'ELD. Ainsi, il existe un antagonisme modéré entre la qualité de

556 la carcasse (teneur en maigre) et les indicateurs de qualité de viande dont les LIM (Ciobanu *et*
 557 *al.*, 2011). Toutefois, d'un point de vue phénotypique, il est possible de diminuer la teneur en
 558 gras de la carcasse en limitant la diminution de la teneur en LIM par une sélection sous
 559 contrainte (Ros-Freixedes *et al.*, 2013).

560 Une partie de la variabilité génétique de l'ELD et de la teneur en LIM est expliquée par certains
 561 gènes qui ont des effets plus ou moins forts sur ces caractères. Ainsi, plusieurs gènes dont le
 562 polymorphisme est associé à une variation de l'adiposité sont connus pour leur effet sur l'ELD,
 563 tels que HAL, IGF2 et MC4R (Ciobanu *et al.*, 2011 ; Mercat *et al.*, 2012), ou sur la teneur en
 564 LIM, tel que H-FABP (Gerbens *et al.*, 1999). Par ailleurs, depuis le début des années 2000, de
 565 nombreuses études ont permis d'identifier des locus à effets quantitatifs (QTL) qui expliquent
 566 une part limitée de la variabilité génétique des caractères. En effet, plus de 3 000 QTL liés à
 567 des critères d'adiposité (ELD (n=408), de teneur en gras de la carcasse ou des pièces, de teneur
 568 en LIM (n=652), persillé, etc...), et presque le double de QTL impactant la composition en AG
 569 (teneur en AGS (n=800), AGM (n=729), acide stéarique (n=796) ou acide oléique (n=762))
 570 sont référencés dans la base de données PigQTLdb (Hu *et al.*, 2005 ;
 571 <https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/SS/index>). Des QTL liés aux critères
 572 d'adiposité avec un niveau de significativité élevé ont été identifiés sur l'ensemble des
 573 chromosomes porcins. Plusieurs exemples sont détaillés dans la littérature (Ciobanu *et al.*,
 574 2011).

575

576 4.3. Utilisation à des fins de sélection

577

578 Les axes d'amélioration génétique sont définis par les entreprises de sélection pour produire
 579 des animaux adaptés aux besoins des marchés, qui diffèrent selon les pays. En France, la grille
 580 de paiement des carcasses s'appuie sur le poids de la carcasse et le taux de muscle des pièces ;
 581 près de 75% (volume) de la viande de porc y est transformée par l'industrie de l'aval en une
 582 multitude de produits, parmi lesquels le jambon cuit et les viandes cuites représentent 27% des
 583 charcuteries de porc (d'après IFIP, 2019). Cette spécificité du marché français pousse les
 584 sélectionneurs à réduire au maximum l'adiposité des carcasses, aussi bien en termes de gras
 585 sous-cutané qu'intramusculaire, pour produire des porcs charcutiers avec un faible rapport
 586 gras/maigre et un niveau de persillé limité. Cependant, les attentes à l'échelle de la filière sont
 587 nombreuses et parfois contradictoires, y compris sur la quantité et la qualité du gras (par
 588 exemple, l'intérêt d'une teneur en LIM plus ou moins élevée selon que l'on considère la
 589 production de viande fraîche ou la fabrication de jambon cuit ou sec).

590 Les liens génétiques existant entre les différents caractères d'intérêt doivent être pris en
 591 considération pour définir les objectifs de sélection. Les schémas de sélection privilégient les
 592 caractères mesurables *in vivo* car ils peuvent être enregistrés sur l'ensemble des candidats à la
 593 sélection (et non seulement sur les collatéraux), par des méthodes non invasives. En outre, la
 594 collecte des données est simplifiée comparée aux mesures réalisées en abattoir qui nécessitent
 595 la traçabilité individuelle de chaque carcasse ou pièce.

596 Ainsi, dans les schémas de sélection porcins présents sur le marché français, l'amélioration
 597 génétique des tissus adipeux repose principalement sur la mesure de deux caractères clés
 598 (Tableau 2) : l'ELD, mesurée exclusivement *in vivo* par ultrasons, et la teneur en LIM du muscle
 599 *Longissimus*, estimée par différentes méthodes soit sur animal vivant, soit sur carcasse, comme
 600 décrit précédemment. Même si certains indicateurs d'adiposité sont également enregistrés dans
 601 les lignées femelles pour l'estimation de la valeur génétique des reproducteurs, l'effort de
 602 sélection sur l'ELD et la teneur en LIM est plus important dans les lignées mâles.

603 Tableau 2. Synthèse des indicateurs d'adiposité mesurés en sélection dans les lignées mâles des
 604 différents schémas génétiques porcins présents sur le marché français.
 605

Schéma génétique (type génétique)	Epaisseur de lard dorsal	Teneur en lipides intramusculaires	Autres indicateurs d'adiposité
LGPC (Pi NN, nn)	Ultrasons*		
LGPC (Du)		Ultrasons*	
Hypor (Pi NN, Du)		Ultrasons*, SPIR, persillé (visuel NPPC), analyse chimique	Teneur en gras de la carcasse
Topigs Norsvin (Du)		SPIR	Composition en acides gras (SPIR)
DanBred (Du)			Teneur en gras de la carcasse
PIC (Du)		Ultrasons*, persillé	Profil d'acides gras, tendreté
Genesus (Du)		Ultrasons*, persillé (visuel NPPC), analyse chimique	Epaisseur de gras de la carcasse, couleur du gras de la longe
Choice (Pi NN, Du)			Teneur en gras de la carcasse* (tomographe RX)

606 *Mesures réalisées *in vivo*. Données issues des sites internet www.axiom-genetics.com, www.nucleus-sa.com,
 607 www.hypor.com, www.danbred.com, www.topignorsvin.com, gb.pic.com,
 608 www.genesus.com, choice-genetics.com et complétées par les responsables génétiques des schémas
 609 Axiom, Nucléus, Hypor, DanBred, PIC, Genesus et Choice.

610
 611 Dès les années 1950, la sélection sur l'ELD a été grandement facilitée par la mise au point de
 612 méthodes par ultrasons, non invasives, permettant de mesurer avec précision l'ELD sur l'animal
 613 vivant (Monin *et al.*, 1998). Plus récemment, des outils reposant sur la même technologie ont
 614 été développés pour estimer la teneur en LIM sur le porc vivant (Newcom *et al.*, 2002 ; Maignel
 615 *et al.*, 2009). Ceci constitue une alternative intéressante au dosage des LIM dans la viande par
 616 une méthode chimique onéreuse, induisant une dépréciation de la carcasse et inenvisageable à
 617 grande échelle, ainsi qu'à la notation visuelle du persillé qui présente de multiples contraintes
 618 (note subjective, peu discriminante lorsque la teneur moyenne est inférieure à 2%, traçabilité à
 619 l'abattoir, etc...). D'autres technologies d'imagerie, décrites ci-dessus, permettent d'analyser
 620 la composition interne de l'animal (RX, DXA, IRM), mais présentent certaines contraintes à
 621 leur utilisation à des fins de sélection : mise à jeun des porcs et administration d'anesthésiants
 622 ou sédatifs avant la prise de mesures, appareils non portables et coûteux, acquisition des images
 623 par un opérateur expérimenté.

624 Par ailleurs, l'épaisseur de lard est mesurée à l'abattoir sur carcasses pour leur classement, au
 625 niveau dorsal avec le capteur gras-maigre ou, plus récemment, à la fente (jonction rein-jambon)
 626 avec l'Image-Meater (Daumas, 2008, cf. encadré). Des outils de traçabilité individuelle des
 627 carcasses en abattoir (puces RFID), en cours de déploiement, devraient permettre
 628 prochainement de faciliter la collecte des mesures réalisées en routine, sur un plus grand nombre
 629 d'animaux. Ces évolutions offriront de nouvelles perspectives pour les programmes de
 630 sélection en termes de composition de la carcasse.

631 Enfin, des outils génomiques sont actuellement disponibles pour identifier de nouvelles régions
 632 du génome qui ont un effet important sur les caractères d'intérêt, via des analyses d'association
 633 pangénomiques, afin d'inclure cette information dans les programmes de sélection et ainsi,
 634 gagner en précision d'estimation de la valeur génétique des reproducteurs et candidats à la
 635 sélection. La sélection génomique est très utile notamment pour les caractères polygéniques,
 636 coûteux à mesurer et nécessitant l'abattage des animaux, tels que les indicateurs de qualité de
 637 la viande ou de la carcasse, et de composition des tissus adipeux (Samorè et Fontanesi, 2016).

638 Conclusion

639

640 Les programmes de sélection porcine ont eu pendant longtemps comme objectif prioritaire la
 641 réduction de l'adiposité des carcasses. Les gains génétiques les plus spectaculaires ont été
 642 effectivement observés pour ce caractère, qui a l'avantage d'être fortement héritable, de
 643 s'exprimer dans les deux sexes et d'être mesurable *in vivo* avec une très bonne précision.
 644 Cependant, l'intérêt du gras pour la filière est évident si l'on considère les qualités sensorielles,
 645 nutritionnelles et technologiques des viandes et produits du porc. En production
 646 conventionnelle, la grille de paiement des carcasses, basée sur le poids et la teneur en maigre
 647 ne valorise pas ces dimensions de qualité. Au contraire, la corrélation génétique positive, bien
 648 que modérée, entre l'ELD et la teneur en LIM tendrait à avoir l'effet inverse concernant la
 649 qualité sensorielle des viandes. De même, la qualité technologique des gras s'altère avec la
 650 réduction d'adiposité des animaux. La rationalisation de la production porcine opérée depuis la
 651 fin des années 60 par des progrès conjoints en sélection génétique, nutrition animale et conduite
 652 d'élevage a permis de répondre à la demande croissante pour une viande de qualité sanitaire
 653 satisfaisante, maigre et peu chère. Toutefois, ceci a conduit à une standardisation de la
 654 production et une altération de la qualité des tissus gras (plus riches en lipides et en AG
 655 insaturés) et maigres (pHu inférieur, pertes en eau accrues, l'effet souvent mentionné sur la
 656 réduction de la teneur en LIM étant moins clair) (Lebret, 2004). L'évolution récente du marché
 657 des produits carnés dont le porc, marquée par une réduction globale de la consommation
 658 individuelle mais une augmentation des productions sous signes officiels de qualité ou des
 659 marques revendiquant une amélioration qualitative intrinsèque relativement aux produits
 660 standards, montre les attentes des consommateurs envers ce type de diversification et illustre
 661 l'opportunité de créer ainsi de la valeur dans la filière. Le « gras » y trouve toute sa place !

662 Références

663

- 664 Alonso V., del Mar Campo M., Espagnol S., Roncales P., Beltran J.A., 2009. Effect of
 665 crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Sci.*,
 666 81, 209-217.
- 667 Andueza D., Mourot B.P., Aït-Kaddour A., Prache S., Mourot J., 2015. Utilisation de la
 668 spectroscopie dans le proche infrarouge et de la spectroscopie de fluorescence pour estimer
 669 la qualité et la traçabilité de la viande. *INRA Prod. Anim.*, 28, 197-208.
- 670 ANSES, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. 327 p.
- 671 ANSES, 2016. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles.
 672 196 p.
- 673 Batorek N., Čandek-Potokar M., Bonneau M., van Milgen J., 2012. Meta-analysis of the
 674 effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint
 675 compounds in pigs. *Animal*, 6, 1330–1338.
- 676 Bidanel J.P., Silalahi P., Tribout T., Canario L., Ducos A., Garreau H., Gilbert H., Larzul C.,
 677 Milan D., Riquet J., Schwob S., Mercat M.J., Hassenfratz C., Bouquet A., Bazin C.,
 678 Bidanel J., 2018. Cinquante années d'amélioration génétique du porc en France : bilan et
 679 perspectives. *Journées Rech. Porcine*, 50, 61-74.
- 680 Bonnet M., Louveau I., Cassar Malek I., Lefaucheur L., Rescan P.-Y., 2015. Comprendre le
 681 développement des muscles et des tissus adipeux : un préalable pour maîtriser les qualités
 682 des carcasses et des produits des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 28,137-149.
- 683 Canario L., Père M.C., Tribout T., Thomas F., David C., Gogué J., Herpin P., Bidanel J.P., Le
 684 Dividich J., 2007. Estimation of genetic trends from 1977 to 1998 of body composition and
 685 physiological state of Large White pigs at birth. *Animal* 1, 1409-1413.

- 686 Čandek-Potokar M., Žlender B., Bonneau M., 1998. Effects of breed and slaughter weight on
 687 longissimus muscle biochemical traits and sensory quality in pigs. *Ann. Zootech.*, 47, 3-16.
- 688 Carabus A., Gispert M., Font-i-Furnols M., 2016. Imaging technologies to study the
 689 composition of live pigs: A review. *Spanish J. Agric. Res.*, 14, e06R01.
- 690 Ciobanu D.C., Lonergan S.M., Huff-Lonergan E.J., 2011. Genetics of meat quality and
 691 carcass traits, In: *The Genetics of the Pigs*, 2nd Edition. Rothschild M.F., Ruvinsky A.
 692 (Eds CAB Int.), p. 355–389
- 693 Ciqual, 2017. Table de composition nutritionnelle des aliments. <https://ciqual.anses.fr/> accédé
 694 le 20/05/2019.
- 695 Dumas G., 2008. La visionique désormais autorisée en France pour le classement des
 696 carcasses : avec le CSB Image-Meater. *TechniPorc*, 31, 29-30.
- 697 Davenel A., Bazin C., Quellec S., Challos S., Gispert M., Mercat M.J., Muller N., 2012.
 698 Dosage haut débit des lipides intramusculaires de la viande de porc par imagerie par
 699 résonance magnétique. *Journées Rech. Porcine*, 44, 53-54.
- 700 Dourmad J.Y., Salaün Y., Lebret B., Riquet J., 2018. Diversité des productions porcines en
 701 France. *Innovations Agronomiques*, 68, 151-170.
- 702 Dransfield E., Ngapo T.M., Nielsen N.A., Bredahl L., Sjöden P.O., Magnusson M., Campo
 703 M.M., Nute G.R., 2005. Consumer choice and suggested price for pork as influenced by its
 704 appearance, taste and information concerning country of origin and organic pig production.
 705 *Meat Sci.*, 69, 61-70.
- 706 Falowo A.B., Fayemi P.O., Muchenje V., 2014. Natural antioxidants against lipid-protein
 707 oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*,
 708 64, 171-181.
- 709 Faucitano L., Rivest J., Daigle J.P., Lévesque J., Gariépy C., 2004. Distribution of
 710 intramuscular fat content and marbling within the longissimus muscle of pigs. *Can. J.*
 711 *Anim. Sci.*, 84, 57-61.
- 712 Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., 1999. Influence of intramuscular
 713 fat content on the quality of pig meat -2. Consumer acceptability of m. longissimus
 714 lumborum. *Meat Sci.*, 53, 67-72.
- 715 Fernandez X., Mourot J., Lebret B., Gilbert S., Monin G., 2000. Influence of intramuscular fat
 716 content on lipid composition sensory qualities and consumer acceptability of cured cooked
 717 ham. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 705-710.
- 718 Font-i-Furnols M., Guerrero L., 2014. Consumer preference, behavior and perception about
 719 meat and meat products: An overview. *Meat Sci.*, 98, 361-371.
- 720 Font-i-Furnols M., Brun A., Gispert M., 2019. Intramuscular fat content in different muscles,
 721 locations, weights and genotype-sexes and its prediction in live pigs with computed.
 722 *Animal*, 13, 666-674.
- 723 FranceAgriMer, 2018. Fiche Elevage Filière Porc. www.franceagrimer.fr
- 724 Gandemer G., 1999. Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, Maillard reaction and
 725 flavor. *Sciences des Aliments*, 19, 439-458.
- 726 Gardan D., Gondret F., Louveau I., 2006. Lipid metabolism and secretory function of porcine
 727 intramuscular adipocytes compared with subcutaneous and perirenal adipocytes. *Am. J.*
 728 *Physiol. Endocrinol Metab.*, 291, E372-E380.
- 729 Gerbens F., Van Erp A.J.M., Harders F.L., Verburg F.J., Meuwissen T.H.E., Veerkamp J.H.,
 730 Te Pas M.F.W., 1999. Effect of genetic variants of the heart fatty acid-binding protein gene
 731 on intramuscular fat and performance traits in pigs. *J. Anim. Sci.*, 77, 846-852.
- 732 Gondret F., Louveau I., Mourot J., Duclos M.J., Lagarrigue S., Gilbert H., van Milgen J.,
 733 2014. Dietary energy sources affect the partition of body lipids and the hierarchy of energy
 734 metabolic pathways in growing pigs differing in feed efficiency. *J. Anim. Sci.*, 92, 4865-
 735 4877.

- 736 Henry Y., 1977. Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le
 737 porc : influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage. *Ann. Biol. Anim.*
 738 *Bioch. Biophys.*, 17, 923–952.
- 739 Hermesch S., Luxford B.G., Graser H.U., 2000a. Genetic parameters for lean meat yield, meat
 740 quality, reproduction and feed efficiency traits for Australian pigs : 1. Description of traits
 741 and heritability estimates. *Livest. Prod. Sci.*, 65, 239-248.
- 742 Hermesch S., Luxford B.G., Graser H.U., 2000b. Genetic parameters for lean meat yield,
 743 meat quality, reproduction and feed efficiency traits for Australian pigs : 2. Genetic
 744 relationships between production, carcass and meat quality traits. *Livest. Prod. Sci.*, 65,
 745 249-259.
- 746 Hu Z.L., Dracheva S., Jang W., Maglott D., Bastiaansen J., Rothschild M.F., Reecy J.M.,
 747 2005. A QTL resource and comparison tool for pigs: PigQTLDB. *Mamm. Genome*, 15,
 748 792-800. <https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/SS/index>, accédé le 02/07/2019
- 749 Hugo A., Roodt E., 2007. Significance of porcine fat quality in meat technology: a review.
 750 *Food Rev. Int.*, 23, 175-198.
- 751 IFIP, 2014. Mémento viandes et charcuteries, version 1. Ed IFIP-Institut du porc, Paris.
- 752 IFIP, 2016. Code des Usages de la Charcuterie, de la Salaison et des Conserves de Viandes,
 753 Edition 2016. Ed IFIP-Institut du Porc, Paris, 512 p.
- 754 IFIP, 2018. Mémento viandes et charcuteries, Cahier Oxydation et qualité des viandes et
 755 produits carnés. Ed IFIP-Institut du porc, Paris.
- 756 IFIP, 2019. Le porc par les chiffres, édition 2019-2020. La filière porcine en France, dans
 757 l'UE et le monde. Ed IFIP-Institut du Porc, Paris, 39 p.
- 758 Jiang Y.Z., Zhu L., Tang G.Q., Li M.Z., Jiang A.A., Cen W.M., Xing S.H., Chen J.N., Wen
 759 A.X., He T., Wang Q., Zhu G.X., Xie M., Li X.W., 2012. Carcass and meat quality traits
 760 of four commercial pig crossbreeds in China. *Genet. Mol. Res.*, 11, 4447-4455.
- 761 Karège C, 1991. Influence of age and sex on energy utilization and body composition of
 762 growing pig. PhD Thesis, University of Montpellier II, France.
- 763 Komolka K., Albrecht E., Wimmers K., Michal J.J., Maak S., 2014. Molecular
 764 heterogeneities of adipose depots - potential effects on adipose-muscle cross-talk in
 765 humans, mice and farm animals. *J. Genom.*, 2, 31-44.
- 766 Kucha C.T., Liu K., Ngadi M.O., 2018. Non-Destructive Spectroscopic Techniques and
 767 Multivariate Analysis for Assessment of Fat Quality in Pork and Pork Products: A Review.
 768 *Sensors*, 18, 377. 23 p. doi:10.3390/s18020377.
- 769 Labroue F., Goumy S., Gruand J., Mourot J., Neelz V., Legault C., 2000. Comparaison au
 770 Large White de quatre races locales porcines françaises pour les performances de
 771 croissance, de carcasse et de qualité de la viande. *Journées Rech. Porcine*, 32, 403-411.
- 772 Lebret B., 2004. Conséquences de la rationalisation de la production porcine sur les qualités
 773 des viandes. *INRA Prod. Anim.*, 17, 79-91.
- 774 Lebret B., 2009. Stratégies nutritionnelles visant à moduler la croissance et la composition des
 775 dépôts tissulaires chez le porc : conséquences sur la qualité de la viande. Thèse de
 776 Doctorat, Agrocampus Ouest, 115p.
- 777 Lebret B., Mourot J., 1998. Caractéristiques et qualité des tissus adipeux chez le porc.
 778 Facteurs de variation non génétiques. *INRA Prod. Anim.*, 11, 131-143.
- 779 Lebret B., Picard B., 2015. Les principales composantes de la qualité des carcasses et des
 780 viandes dans les différentes espèces animales. *INRA Prod. Anim.*, 28, 93-98.
- 781 Lebret B., Dourmad J.Y., Mourot J., Pollet P. Y. Gondret F., 2014. Production performance,
 782 carcass composition, and adipose tissue traits of heavy pigs: Influence of breed and
 783 production system. *J. Anim. Sci.*, 92, 3543–3556.

- 784 Lebret B., Prache S., Berri C., Lefèvre F., Bauchart D., Picard B., Corraze G., Médale F.,
 785 Faure J., Alami-Durante H., 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques
 786 des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 28, 151-168.
- 787 Lebret B., Lenoir H., Daré S., Fonseca A., Mercat M.J., 2019. Qualité des produits de porcs
 788 gascons élevés en système d'élevage extensif de la filière Noir de Bigorre : effets de la
 789 saison et des ressources alimentaires. *Journées Rech. Porcine*, 51, 217-222.
- 790 Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Bugeon J., 2015.
 791 Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou
 792 chairs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 125-136.
- 793 Louveau I., Perruchot M.-H., Bonnet M., Gondret F., 2016. Pre- and postnatal adipose tissue
 794 development in farm animals: from stem cells to adipocyte physiology. *Animal*, 10, 1839-
 795 1847.
- 796 Maignel L., Daigle J.P., Sullivan B., 2009. Utilisation de la technologie ultrasons pour la
 797 prédiction in vivo du pourcentage de gras intramusculaire de la longe et perspectives
 798 d'utilisation en amélioration génétique porcine. *Journées Rech. Porcine*, 41, 13-18.
- 799 Maignel L., Daigle J.P., Fortier M.P., Wyss S., Sullivan B., 2013. Prédiction de la teneur en
 800 gras intramusculaire dans le jambon de porcs vivants par la technologie aux ultrasons et
 801 relation avec le gras intramusculaire dans la longe. *Journées Rech. Porcine*, 45, 247-248.
- 802 Mercat M.J., Fève K., Muller N., Schwob S., Le Roy P., Bidanel J.P., Larzul C., Riquet J.,
 803 2012. Estimation, dans un dispositif familial issu des populations porcines françaises en
 804 sélection, de l'effet quantitatif de mutations dans des gènes majeurs et des gènes candidats.
 805 *Journées Rech. Porcine*, 44,1-6.
- 806 Mercat M.J., Monziols M., Cordonnier S., Gault E., Le Roy P., Larzul C., 2016. Effet du type
 807 génétique et du génotype halothane sur l'épaisseur de lard mesurée par tomographie RX
 808 tout au long de la carcasse. *Journées Rech. Porcine*, 48, 273-278.
- 809 Miar Y., Plastow G., Bruce H., Moore S., Manafiazar G., Kemp R., Charagu P., Huisman A.,
 810 Van Haandel B., Zhang C., McKay R., Wang Z., 2014. Genetic and phenotypic
 811 correlations between performance traits with meat quality and carcass characteristics in
 812 commercial crossbred pigs. *Plos One*, 9(10), 12p.
- 813 Monin G., Sellier P., Bonneau M., 1998. Trente ans d'évolution de la notion de qualité de la
 814 carcasse et de la viande de porc. *Journées Rech. Porcin*, 30,13-27.
- 815 Monziols M., Bonneau M., Davenel A., Kouba M., 2005. Tissue distribution in pig carcasses
 816 exhibiting large differences in their degree of leanness, with special emphasis on
 817 intermuscular fat. *Livest. Prod. Sci.*, 97, 267-274.
- 818 Mourot J., 2010. Que peut-on attendre des pratiques d'élevage pour la viande de porcs et
 819 autres monogastriques ? *OCL*, 17, 37-42.
- 820 Newcom D.W., Bass T.J., Lampe J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live
 821 swine using real-time ultrasound. *J. Anim. Sci.*, 80, 3046-3052.
- 822 Newcom D.W., Bass T.J., Schwab C.R., Stalder K.J., 2005. Genetic and phenotypic
 823 relationships between individual subcutaneous backfat layers and percentage of
 824 longissimus intramuscular fat in Duroc swine. *J. Anim. Sci.*, 83, 316-323.
- 825 Ngapo T.M., Gariépy C., 2008. Factors affecting the eating quality of pork. *Crit. Rev. Food*
 826 *Sci. Nutr.*, 48, 599-633.
- 827 Plastow G.S., Carrión D., Gil M., García-Regueiro J.A., Font-i-Furnols M., Gispert M., Oliver
 828 M.A., Velarde A., Guàrdia M.D., Hortós M., Rius M.A., Sárraga C., Díaz I., Valero A.,
 829 Sosnicki A., Klont R., Dornan S., Wilkinson J.M., Evans G., Sargent C., Davey G.,
 830 Connolly D., Houeix B., Maltin C.M., Hayes H.E., Anandavijayan V., Foury A., Geverink
 831 N., Cairns M., Tilley R.E., Mormède P., Blott S.C., 2005. Quality pork genes and meat
 832 production. *Meat Sci.*, 70, 409-421.

- 833 Pugliese C., Sirtori F., 2012. Quality of meat and meat products produced from southern
834 European pig breeds. *Meat Sci.*, 90, 511-518.
- 835 Renaudeau D., Hilaire M., Mourot J., 2005. A comparison of carcass and meat quality
836 characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 150 days of age. *Anim. Res.*,
837 54, 43–54.
- 838 Ros-Freixedes R., Reixach J., Bosch L., Tor M., Estany J., 2013. Response to selection for
839 decreased backfat thickness at restrained intramuscular fat content in Duroc pigs. *J. Anim.*
840 *Sci.*, 91, 3514-3521.
- 841 Ros-Freixedes R., Reixach J., Bosch L., Tor M., Estany J., 2014. Genetic correlations of
842 intramuscular fat content and fatty acid composition among muscles and with
843 subcutaneous fat in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.*, 92, 5417–5425.
- 844 Samorè A.B., Fontanesi L., 2016. Genomic selection in pigs: state of the art and perspectives,
845 *Italian Journal of Animal Science*, 15:2, 211-232, DOI: 10.1080/1828051X.2016.1172034
- 846 Schwob S., Vautier A., Lebret B., Blanchet B., Mercat M.J., Faure J., Castellano R., Quellec
847 S., Challos S., Davenel A., 2018. Développement de nouveaux outils haut débit pour
848 l'évaluation précoce de la qualité de la viande de porc (QualiPorc). *Innovations*
849 *Agronomiques*, 63, 407-419.
- 850 Schwob S., Lebret B., Louveau I., 2019. Adiposité et amélioration génétique chez le porc :
851 état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits. *Journées Rech. Porcine*, 51,
852 327-338.
- 853 Suzuki K., Inomata K., Katoh K., Kadowaki H., Shibata T., 2009. Genetic correlations among
854 carcass cross-sectional fat area ratios, production traits, intramuscular fat, and serum leptin
855 concentration in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.*, 87, 2209-2215.
- 856 Trayhurn P., Temple N.J., Van Aerde J., 1989. Evidence from immunoblotting studies on
857 uncoupling protein that brown adipose tissue is not present in the domestic pig. *Can. J.*
858 *Physiol. Pharmacol.*, 67, 1480-1485.
- 859 Trefan L., Doeschl-Wilson A., Rooke J.A., Terlouw C., Bünger L., 2013. Meta-analysis of
860 effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork quality. *J. Anim.*
861 *Sci.*, 91, 1480–1492.
- 862 Ventanas S., Ruiz J., Garcia C., Ventanas J., 2007. Preference and juiciness of Iberian dry-
863 cured loin as affected by intramuscular fat content, crossbreeding and rearing system. *Meat*
864 *Sci.*, 77, 324-330.
- 865 Warner R. D., Dunshea F.R., 2018. Producing consistent quality meat from the modern pig.
866 Mathew A. (ed.), *Achieving sustainable production of pig meat Volume 1: Safety, quality*
867 *and sustainability*, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK. 38 p.
- 868 White B.R., Lan Y.H., McKeith F.K., Novakofski J., Wheeler M.B., McLaren D.G., 1995.
869 Growth and body composition of Meishan and Yorkshire barrows and gilts. *J. Anim. Sci.*,
870 73, 738-749.
- 871 Wood J.D., Richardson R.I., Nute G.R., Fisher A.V., Campo M.M., Kasapidou E., Sheard
872 P.R., Enser M., 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.*, 66, 21-32.