

Stratégies génétiques et alimentaires pour améliorer les qualités sensorielles et nutritionnelles des viandes chez le porc

Sihem LHUISSET (1), Isabelle LOUVEAU (1), Etienne LABUSSIÈRE (1), Anne CONNAN (2), Bénédicte LEBRET (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Guyader gastronomie, 35 Avenue de l'hippodrome, 22200 Saint-Agathon, France

Benedicte.Lebret@inrae.fr

Avec la collaboration de Mathieu GUILLEVIC et Axel MINETTO (Valorex, 35210 Combourtille), Emmanuel BORDAIS (Bleu Blanc Cœur, 35210 Combourtille), Justine FAURE (1), Sophie DARE (1) et le personnel de INRAE UE3P (35590 Saint-Gilles)

Stratégies génétiques et alimentaires pour améliorer les qualités sensorielles et nutritionnelles des viandes chez le porc

Dans l'objectif de proposer des pratiques d'élevage visant l'amélioration des qualités intrinsèques (sensorielles, nutritionnelles) et extrinsèques des viandes de porc (relocalisation des ressources alimentaires), nous avons évalué les effets de facteurs génétiques et nutritionnels sur les performances de croissance et les qualités des carcasses et des viandes. Un total de 60 porcs femelles de deux types génétiques différents [LW × LD] × Piétrain NN (P, non porteur de l'allèle n du gène RYR1 (halothane)) ou [LW × LD] × Duroc (D) ont été soumis à deux régimes alimentaires. Les porcs ont été répartis en 4 lots expérimentaux (n=15/lot) à 30 kg de poids vif (PV). Les lots PT et DT ont reçu un régime témoin (T) à base de tourteau d'oléagineux et les lots PR et DR un régime Roc+ (R) incluant de la féverole extrudée comme principale source protéique et de la graine de lin extrudée source d'acides gras (AG) n-3. Les animaux étaient élevés en loge individuelle et alimentés à volonté de 30 à 115 kg PV, les apports nutritionnels (LysD/EN) étant ajustés chaque semaine aux besoins moyens des animaux. La vitesse de croissance, l'efficacité alimentaire et le PV à l'abattage sont supérieurs pour les porcs P vs D (P < 0,001) et R vs T (P < 0,05) dans une moindre mesure. Les porcs D présentent une moindre teneur en muscle des carcasses et une viande (longe) moins exsudative, de pH ultime et teneur en lipides supérieurs, et jugée plus persillée, tendre et juteuse par un panel d'experts (P < 0,05) comparés aux porcs P. Le régime alimentaire n'influence pas les paramètres sensoriels mais améliore la valeur nutritionnelle de la viande en réduisant fortement les rapports d'AG n-6/n-3 et saturés/n-3 (P < 0,001). L'association du croisement D et du régime R permet d'améliorer les propriétés sensorielles et nutritionnelles de la viande tout en contribuant à relocaliser la production des ressources alimentaires.

Genetic and dietary strategies to improve the sensory and nutritional qualities of pork

To develop pig production practices that aim to improve the intrinsic (sensory, nutritional) and extrinsic qualities of pork (relocation of feed resources), we evaluated effects of genetic and nutritional factors on growth performance and on carcass and pork quality. A total of 60 female pigs from two different genotypes [LW × LD] × Piétrain NN (P, non-carrier of the n allele of the RYR1 (halothane) gene) or [LW × LD] × Duroc (D) were submitted to two different feeding regimens. Pigs were divided into 4 experimental groups (n=15/group) at 30 kg body weight (BW). The PT and DT groups received a control diet (T) including oilseed meal, while the PR and DR groups received a "Roc+" (R) diet including extruded faba bean as major protein source and extruded linseed as source of n-3 fatty acids (FA). The animals were raised in individual pens and fed *ad libitum* from 30-115 kg BW, with nutritional intake (LysD/NE) being adjusted weekly to the average requirements of animals. The growth rate, feed efficiency and slaughter BW were higher for D vs P (P < 0.001) and, to a lesser extent, R vs T (P < 0.05) pigs. D pigs exhibited lower carcass lean meat content, lower drip loss, higher ultimate pH and higher lipid content in their meat (loin), which was judged to be more marbled, tender and juicier by trained panelists (P < 0.05) than that from P pigs. The diet did not influence the sensory traits but improved the nutritional value of pork by markedly reducing the n-6/n-3 and saturated/n-3 FA ratios (P < 0.001). The combination of D genotype and R diet improves the sensory and nutritional properties of meat while contributing to the relocation of the production of feed resources.

INTRODUCTION

Le porc constitue la première viande consommée en France comme en Europe. Malgré une consommation individuelle moyenne qui diminue depuis 2000, celle de produits sous signe officiel de qualité ou marque collective privée valorisant des qualités intrinsèques (sensorielle, nutritionnelle...) ou extrinsèques (liées au mode de production), augmente en part et en volume (IFIP, 2019 ; Lebret, 2020). Mieux répondre à la diversité des demandes des consommateurs en termes de façons de produire comme de produits, à travers une nouvelle segmentation du marché du porc, constitue une des priorités du plan de la filière porcine (Inaporc, 2018). Au niveau européen, dans le cadre du pacte vert pour l'Europe, la Commission soutient une stratégie « De la ferme à la table » pour un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement, qui inclut l'objectif de réduire la dépendance à certaines matières premières pour l'alimentation animale en favorisant les protéines végétales cultivées dans l'union (CE, 2020). Dans ce contexte, proposer des stratégies d'élevage permettant d'améliorer à la fois les qualités intrinsèques et extrinsèques des produits du porc est d'une grande importance pour les différents maillons de la filière et les consommateurs. La présente étude réalisée dans le cadre du projet multipartenarial Roc+ s'inscrit dans cet objectif. Elle vise à évaluer l'effet de leviers génétiques et alimentaires pour améliorer les propriétés sensorielles et nutritionnelles des viandes de porc, tout en valorisant des ressources protéiques métropolitaines pour s'affranchir de l'importation de matières premières.

Les effets des facteurs génétiques et d'élevage, en particulier la conduite alimentaire, sur les qualités intrinsèques des viandes sont relativement bien établis, mais les interactions entre ces facteurs sont moins documentées (Lebret, 2020). En terme génétique, la race Duroc est favorable aux propriétés sensorielles et technologiques (viande plus tendre, moins exsudative) relativement aux autres races sélectionnées utilisées en production, tout en offrant des performances de croissance satisfaisantes, tant en race pure (Plastow *et al.*, 2005 ; Gispert *et al.*, 2007) qu'en croisement (Edwards *et al.*, 2003 ; Morales *et al.*, 2013). Au niveau alimentaire, le niveau d'adéquation des apports en protéines et énergie aux besoins des animaux détermine la croissance et la composition corporelle et la nature des lipides influence fortement le profil lipidique tissulaire et la valeur nutritionnelle des produits (Wood *et al.*, 2008 ; Mourot et Lebret, 2009). Notre objectif était de jouer sur ces deux leviers pour améliorer conjointement différentes dimensions de qualité. Cette étude évalue les effets du type génétique de verrat terminal (porcs croisés Duroc vs Piétrain NN) et de la conduite alimentaire (ration incluant de la féverole comme source protéique et des graines de lin extrudées, sources d'acides gras n-3 vs ration 'témoin' à base de tourteau de soja) ainsi que les interactions entre ces deux facteurs sur les performances de croissance, la composition corporelle, les qualités technologiques et sensorielles et la valeur nutritionnelle de la viande.

1. MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été menée à l'unité INRAE UE3P 35590 Saint-Gilles (Unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs. doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12). Le protocole de l'expérience a été approuvé par le Comité Rennais d'Éthique en matière d'Expérimentation Animale.

1.1. Animaux

L'expérimentation a porté sur 60 porcs femelles issus de truies Large White x Landrace génétiquement équivalentes (troupeau INRAE UE3P) et de verrats Piétrain NN (P, neuf portées de trois verrats Nucléus sélectionnés sur la croissance, l'efficacité alimentaire, la composition corporelle et la qualité technologique de la viande) ou de verrats Duroc (D, sept portées de trois verrats Duroc Genesis d'origine canadienne, sélectionnés sur la croissance, le niveau d'ingestion et le gras intramusculaire). Les porcs expérimentaux ont été sélectionnés sur la base de la portée, du poids vif (PV) en fin de post-sevrage (moyenne et écart type équilibrés entre lots) et répartis en 4 lots (n=15/lot): deux lots par génotype, recevant un aliment « témoin » (T) ou « Roc+ » (R). Ils ont été élevés en loges individuelles pendant la période de croissance-finition ($33,67 \pm 2,04$ kg PV jusqu'à l'abattage à 115 kg PV environ).

1.2. Aliments et conduite alimentaire

Les porcs des lots PT et DT ont reçu un régime témoin incluant des tourteaux d'oléagineux (soja, colza et tournesol décortiqué) comme source protéique. Les porcs des lots PR et DR ont reçu un régime incluant de la féverole extrudée d'origine métropolitaine comme source protéique et de la graine de lin (Valorex, France) comme source d'acides gras n-3 en accord avec le cahier des charges Bleu Blanc Coeur (BBC), ainsi que des antioxydants d'origine végétale. Dans chaque lot, les apports nutritionnels, lysine digestible (LysD)/énergie nette (EN), ont été ajustés chaque semaine aux besoins des porcs, déterminés à partir de résultats antérieurs (Furbeyre *et al.*, 2020) et calculés selon le PV moyen de chaque lot. Dans chaque lot DT, DR, PT et PR, la ration distribuée aux animaux a été reconstituée chaque semaine à partir de deux formules « Témoin haut » et « Témoin bas » à teneur respectivement élevée et basse en protéines et Lys pour les lots DT et PT, et de la même façon à partir de formules « Roc + haut » et « Roc + bas » pour les lots DR et PR (Tableau 1). Le rapport LysD/EN a ainsi varié progressivement de 1 à 0,70 dans les lots DT et DR, et de 0,95 à 0,68 dans les lots PT et PR. Les porcs ont été nourris *ad libitum* et avaient un accès permanent à l'eau. Durant toute la période expérimentale, ils ont été pesés individuellement toutes les deux semaines ; les quantités d'aliments distribuées et les refus ont été enregistrés individuellement chaque semaine. La vitesse de croissance (GMQ), la consommation et l'efficacité alimentaires ont été calculées par porc.

1.3. Abattage des animaux

Les porcs ont été abattus en trois séries incluant chacune le même nombre d'animaux de chaque lot. Les porcs ont été mis à jeun 24 h avant l'abattage, pesés, transportés et mis en attente à l'abattoir (une case commune par lot), puis abattus (un de chaque lot alternativement) par exsanguination après étourdissement par électroanesthésie à bas voltage.

1.4. Mesures de la qualité de la carcasse et de la viande

Après abattage, la carcasse chaude a été pesée. À l'aide du Fat-O-Meter ou capteur de gras et de maigre (CGM, Syleps, France), des mesures linéaires de gras (G2) et de muscle (M2) ont été réalisées afin de déterminer le taux de muscle des pièces (TMP). Après une réfrigération des carcasses pendant 24 h à 4°C (jour 1, J1), les poids de carcasse froide et des pièces issues de la découpe hollandaise normalisée de la demi-carcasse droite ont été enregistrés. Le pH ultime (pHu) de la viande a été mesuré

dans le muscle *Longissimus lumborum* (LL, 1^{ère}-2^{èmes} dernières côtes) et le jambon : muscles *Semimembranosus* (SM) et *Gluteus superficialis* (GS), avec un pH-mètre HI98163, Hanna Instruments. Une tranche du muscle LL (10^è vertèbre dorsale, 1,5 cm d'épaisseur) a été prélevée et exposée à la lumière pendant 15 min à 4°C avant détermination des paramètres de couleur L*, a*, b*, C*, h° (chromamètre Minolta CR-400) en trois points représentatifs de la tranche. La couleur du muscle GS a également été déterminée après découpe et exposition à la lumière blanche à +4°C du jambon droit. La perte en eau du LL a été déterminée sur une seconde tranche prélevée à J1 (100 ± 10 g) et suspendue en sachet individuel à +4°C jusqu'à J4.

Tableau 1 – Composition et valeurs nutritionnelles des formules expérimentales

	Témoïn haut	Témoïn bas	Roc+ haut	Roc+ bas
Matières premières, %				
Blé tendre	22,13	20,98	17,41	21,03
Maïs	22,13	20,98	17,41	21,03
Orge	22,13	20,98	17,41	21,03
Son de blé tendre	4,00	19,92	3,22	18,63
Pulpe de betterave déshydratée	2,00	9,96	1,61	9,32
Tourteau de soja 48	14,28	0,94	4,75	
Tourteau de colza	3,10			
Tourteau de tournesol décortiqué	3,10			
Graine de lin + fèveole extrudée			3,52	3,52
Fèveole E1 ¹			29,28	
Mélasses de canne	2,00	2,00	2,00	2,00
Huile de colza				0,50
Huile de tournesol	1,81	1,50		
L-Lysine HCL	0,43	0,28	0,23	0,27
Oligo-éléments-vitamines	0,50	0,50	0,50	0,50
Antioxydants (Sevefarm®)			0,20	0,20
Composition chimique				
Matière sèche (%)	88,06	88,34	89,21	88,67
Matière azotée totale, % MS	19,03	13,64	20,00	13,76
Energie brute, MJ/Kg MS	18,61	18,28	18,41	18,07
Matières grasses, % MS	4,34	4,38	3,68	4,18
Cellulose brute, %MS	4,40	4,39	4,81	5,04
Amidon, %MS	46,26	47,33	47,88	47,01
Matières minérales	4,84	4,75	5,03	5,00
Lysine digestible, g/kg MS ²	9,66	5,15	9,71	5,18
Energie nette, MJ/kg MS ²	9,67	9,21	9,71	9,35
C 18 : 3 n-3 (ALA) ³	0,09	0,10	0,62	0,57

¹90% fèveole extrudée + 10% graines de soja (support pour l'extrusion);

²valeurs calculées (Furbeyre et al., 2020) ; ³ALA : acide alpha-linolénique

1.5. Prélèvements et analyses biochimiques et sensorielles

A J1, une section transversale complète de LL (1^{ère}-2^{ème} dernières cotes) a été prélevée, parée, broyée, mise sous vide puis stockée à -20°C pour déterminer la teneur en lipides intramusculaires (LIM), par extraction chloroforme/méthanol et la composition en AG par chromatographie en phase gazeuse (de Tonnac et al., 2016). Des échantillons de LL (carré de côtes, environ 1kg) ont été prélevés, conditionnés sous vide à +4°C et expédiés vers le laboratoire d'analyses sensorielles IDELE (14310, Villers-Bocage). La dégustation des produits a été réalisée après 8 jours de maturation à +4°C par un jury de 13 experts viande, qualifiés et entraînés (ISO 8586-2). Ils ont évalué l'aspect de la viande crue (note de 0 : absence à 10 : très élevé), ainsi que l'odeur, la flaveur, la tendreté et la jutosité après

cuisson (250°C, 70°C à cœur). Une autre fraction de rôti (200 g) a été cuite au four (250°C, 70°C à cœur), refroidie et découpée en 10 sections parallèles au sens des fibres musculaires pour mesurer la force de cisaillement (texturomètre INSTRON, cellule Warner-Bratzler). Les moyennes des notes sensorielles et de la force de cisaillement ont été calculées pour chaque animal.

1.6. Analyse statistique

Pour toutes les analyses, l'unité statistique considérée était l'animal. La normalité des données (Shapiro-Wilk, P ≥ 0,05) a été vérifiée sur les résidus d'une analyse de variance (ANOVA, proc GLM, SAS v9.4, Inst. Inc. Cary, NC) incluant les effets du génotype (G) et du régime (R). En cas de non normalité, une transformation log des données a été réalisée et la normalité des résidus vérifiée. Les données ont ensuite été soumises à une analyse de variance en incluant les effets G, R et leur interaction GxR dans le modèle. Le poids de carcasse chaude a été inclus en covariable pour les données de composition de carcasse. Les moyennes des moindres carrés (lsmeans) ont été calculées et comparées (pdiff) en cas d'interaction significative. Pour les données dont les résidus n'ont pu être normalisés, un test non paramétrique (proc NPAR1WAY, test de Kruskal-Wallis) a été effectué et les médianes calculées par lot. Les corrélations entre indicateurs de qualité ont été calculées (proc CORR Pearson).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances de croissance

Le type génétique influence les performances de croissance (Tableau 2). Les porcs D ont une consommation alimentaire moyenne supérieure mais une moindre efficacité alimentaire, conduisant à une vitesse de croissance et un poids à l'abattage inférieurs, comparés aux porcs P. A l'inverse, d'autres études rapportent une croissance plus rapide de porcs croisés D vs P NN associée à une consommation alimentaire plus élevée, sans différence d'efficacité alimentaire (Morales et al., 2013 ; Kowalski et al., 2020). Le rendement carcasse est inférieur chez les porcs D, contribuant à un poids de carcasse chaude réduit, comparé aux porcs P. A poids de carcasse équivalent, les porcs D ont une épaisseur de muscle inférieure et tendent à présenter une épaisseur de gras supérieure, conduisant à un TMP moins élevé par rapport aux porcs P. Les porcs D ont des proportions de longe et jambon inférieures, et des proportions de poitrine et bardière supérieures par rapport aux porcs P. Ces résultats sont en accord avec la littérature sur la comparaison de porcs croisés Piétrain NN vs Duroc (Edwards et al., 2003 ; Morales et al., 2013 ; Kowalski et al., 2020) comme de races pures D vs P (Plastow et al., 2005 ; Gispert et al., 2007). Le régime influence les performances de croissance, toutefois l'effet est moins marqué que celui du génotype. La consommation moyenne, le GMQ, l'efficacité alimentaire et le PV final des animaux ayant consommé le régime R sont plus élevés que ceux des lots T, en particulier chez les porcs D. Ce résultat concorde avec ceux de Sun et al. (2020) montrant une augmentation du GMQ et de la consommation moyenne avec la réduction du rapport n-6/n-3 du régime. A l'exception du pourcentage de longe légèrement plus élevé chez les porcs R vs T, le régime n'a pas influencé la composition de la carcasse, en accord avec Kouba et al. (2003) qui ont montré que l'ajout d'huile de lin dans l'aliment de porcs Duroc n'influencait pas les caractéristiques de la carcasse. Guillevic et al. (2009) n'observent pas non plus d'effet de l'incorporation de graines de lin extrudées dans l'alimentation sur la composition des carcasses de porcs croisés Piétrain.

Tableau 2 – Performances de croissance et caractéristiques des carcasses en fonction du génotype et du régime alimentaire

	Lots				ETR ¹	Signification ²
	DR	DT	PR	PT		
Nombre d'animaux	15	15	15	15		
Performances de croissance					2,08	
Poids vif initial, kg	33,8	33,4	33,8	33,4		
Poids vif à l'abattage, kg ³	119,7	108,4	121,7	118,7		G***, R***
Vitesse moyenne de croissance, g/j ³	1008	952	1045	1023		G***, R**
Consommation alimentaire, g/j ³	2876	2744	2742	2717		G*, R*
Efficacité alimentaire	0,34	0,33	0,38	0,37	0,016	G***, R*
Caractéristiques des carcasses						
Poids de carcasse chaude, kg ³	89,6	82,0	97,0	93,4		G***, R**
Rendement carcasse, %	76,6	75,7	79,2	78,3	1,4	G***, R ^t
Épaisseur de gras (G2), mm ⁴	14,1	14,3	12,7	13,4	1,79	G ^t
Épaisseur de muscle M2, mm ⁴	57,6	59,3	62,3	63,3	4,56	G***
TMP, % ⁴	60,2	60,3	62,0	61,5	1,33	G***
Proportion des pièces de découpe, % ½ carcasse droite⁴						
Jambon	25,1	25,5	26,0	25,9	0,70	G**
Longe	28,0	27,6	29,5	28,5	0,99	G***, R*
Epaule	23,8	24,0	23,7	24,2	0,72	
Poitrine	13,3	13,3	12,4	12,6	0,74	G**
Bardière	6,6	6,5	5,7	5,9	0,71	G**

¹Ecart-type résiduel. ²Effets du génotype (G), du régime (R) et leur interaction (GxR), *** : P < 0,001, ** : P < 0,01, * : P < 0,05, t : P < 0,10 ; si non mentionné, P ≥ 0,10. ³Test non paramétrique. ⁴Poids de carcasse chaude inclus en covariable dans l'ANOVA, indication des Ismeans.

2.2. Indicateurs de la qualité de la viande

Le génotype influence les indicateurs de qualité de viande (Tableau 3). Le muscle LL des porcs D présente un pHu plus élevé (tendance similaire dans le GS), moins de pertes en eau et des indices de couleur a* et b* inférieurs, réduisant l'intensité (C*) sans modifier la teinte (h°) ; la luminance est équivalente entre génotypes. Les différences de couleur entre génotypes

sont plus marquées dans le GS avec une viande moins claire et plus rouge pour les porcs D comparés aux porcs P. Ces résultats sont en accord avec Edwards *et al.* (2003), Morales *et al.* (2013) et Kowalski *et al.* (2020) qui ont comparé la qualité de viande de porcs croisés Duroc vs Piétrain NN. Le régime n'influence pas le pHu, la perte en eau ou la couleur du LL. L'effet sur la couleur est plus marqué dans le GS avec un indice b* inférieur conduisant à une teinte plus rouge de la viande des porcs DR relativement aux porcs DT, PR et PT (interaction GxR).

Tableau 3 – Indicateurs de qualité de la longe (muscle *Longissimus* (LL)) et du jambon (muscles *Semimembranosus* (SM), et *Gluteus superficialis* (GS)) en fonction du génotype et du régime alimentaire

	Lots				ETR ¹	Signification ²
	DR	DT	PR	PT		
Longe (LL)						
pHu	5,95	5,89	5,80	5,84	0,18	G*
Perte en eau 1-4j, %	3,14	3,57	4,59	4,62	1,62	G**
Couleur : L* (luminance)	48,56	50,59	51,21	50,48	3,44	
a* (indice rouge)	6,12	6,66	6,97	7,19	1,13	G*
b* (indice jaune)	4,46	4,99	5,65	5,47	1,30	G**
C* (saturation)	7,62	8,37	9,01	9,07	1,57	G**
h° (angle de teinte, rouge -> jaune)	35,49	36,54	38,44	37,09	4,96	
Jambon						
pHu SM ³	5,95	5,82	5,82	5,88	1,04	
pHu GS	5,98	5,87	5,78	5,86	0,20	G ^t , GxR ^t
Couleur GS L*	42,66	45,25	47,59	47,47	3,15	G***
a*	9,46	9,66	10,25	10,77	1,30	G**
b*	5,32	6,33	7,09	7,40	1,30	G***, R*
C*	10,88	11,57	12,48	13,10	1,67	G***
h°	28,97 ^a	32,92 ^b	34,82 ^b	34,23 ^b	3,83	G***, R ^t , GxR*

¹Ecart-type résiduel. ²Effets du génotype (G), du régime (R) et leur interaction (GxR), *** : P < 0,001, ** : P < 0,01, * : P < 0,05, t : P < 0,10 ; si non mentionné, P ≥ 0,10. a, b : différences entre lots (P < 0,05). ³ANOVA sur log, indication de l'antilog des Ismeans.

2.3. Teneur en LIM et composition en AG

La teneur en LIM du LL est supérieure chez les porcs D (Tableau 4), conformément à ce qui était attendu et aux données de la littérature comparant des porcs D vs P NN en croisement (Morales *et al.*, 2013 ; Kowalski *et al.*, 2020) ou en race pure (Plastow *et al.*, 2005 ; Kim *et al.*, 2020). Ces travaux ont rapporté des valeurs de LIM du LL de porcs de race D proches de nos

résultats, alors que d'autres études indiquent des teneurs de 3 à 4 % dans ce muscle. Ces différences illustrent la diversité bien établie de ce caractère entre lignées Duroc (Schwob *et al.*, 2020). Le régime R diminue la teneur en LIM du LL, cet effet tendant à être plus accentué chez les Duroc, les DT présentant la teneur la plus élevée avec 2,06 %. Les porcs D présentent des quantités plus élevées d'AG saturés (AGS), mono-insaturés (AGMI) et poly-insaturés (AGPI ; n-6 et n-3) dans une moindre

mesure, conduisant à un rapport AGPI/AGS inférieur pour les porcs D vs P (0,37 vs 0,52, $P < 0,001$), en accord avec Alonso *et al.* (2009). Ceci résulterait d'une synthèse de lipides (AGS et AGMI) plus élevée chez les porcs D, liée en partie à leur consommation alimentaire supérieure. On observe également des quantités plus élevées d'acide oléique (C18 :1), linoléique (C18 :2 n-6) et linoléique (C18 :3 n-3) chez les porcs D.

L'ingestion du régime R entraîne une réduction des teneurs en AGS, AGM et AGPI chez les deux génotypes, en accord avec les teneurs en LIM réduites dans les lots R relativement aux T. La réduction de la teneur en AGMI, plus marquée chez les porcs D (interaction GxR, $P = 0,09$) peut s'expliquer par l'inhibition de l'activité de l'enzyme Δ -9 désaturase, responsable de la synthèse du C18 :1 n-9, AG majoritaire chez le porc, suite à l'enrichissement du régime R en ALA, comme montré par Kouba *et al.* (2003). Le régime R influence la teneur en AGPI et surtout modifie leur profil avec une teneur nettement accrue en AGPI n-3 en particulier chez les porcs D. Parmi ces AG n-3, l'ALA est en quantité 2,5 fois supérieure chez les porcs R vs T, dans les deux génotypes. A l'inverse les teneurs en AGPI n-6 (en particulier LA) sont réduites chez les porcs DR vs DT, l'écart

étant moins marqué chez les PR vs PT, conduisant à une réduction d'un facteur 3 à 4 du rapport n-6/n-3 avec la distribution du régime Roc+. Ces résultats confirment nos hypothèses et sont en accord avec la littérature (Wood *et al.*, 2008 ; Mourot et Lebret, 2009). Les quantités d'acide écosapentaénoïque (EPA) sont également plus élevées dans le LL des porcs R ; les quantités d'EPA dans les régimes étant nulles (données non montrées), cela démontre que l'EPA provient d'une conversion de l'ALA par une succession de désaturations (par les Δ 5 et Δ 6 désaturases) et d'élongation (Sprecher *et al.*, 1995). L'absence d'effet du régime R sur les quantités de DHA est probablement due à la capacité limitée du porc à convertir l'EPA en DHA (Mourot et Lebret, 2009). Ces différences de profil lipidique associées au régime se traduisent par un rapport LA/ALA réduit d'un facteur 3 chez les porcs DR et PR relativement aux DT et PT, et très proche des recommandations de l'ANSES (2011) (LA/ALA ≤ 5). La proportion d'ALA (lorsque exprimée en pourcentage des AG du muscle, soit 1,7 % chez les DR et 1,8 % chez les PR) et les rapports n-6/n-3 et AGS/n-3 sont conformes aux critères du cahier des charges BBC (valeurs cibles $\geq 1,8\%$; ≤ 4 et ≤ 12 , respectivement) pour les deux génotypes.

Tableau 4 – Teneurs en lipides et composition en AG du muscle LL en fonction du génotype et du régime alimentaire

	Lots				ETR ¹	Signification ²
	DR	DT	PR	PT		
Lipides, %	1,69	2,06	1,33	1,42	0,31	G***, R**, GxR ^t
Acides gras (AG), mg/100 g de tissu						
Saturés (AGS)	514	647	337	371	129	G***, R*
Monoinsaturés (AGMI)	597	785	399	446	158	G***, R**, GxR ^t
C18 :1	549	723	365	409	145	G***, R**, GxR ^t
Polyinsaturés (AGPI)	215	251	202	213	32,8	G**, R**
n-6	166 ^a	227 ^c	162 ^a	192 ^b	28,1	G*, R***, GxR*
C18 :2 n-6 (LA)	133 ^a	180 ^b	128 ^a	144 ^a	22,7	G**, R***, GxR*
n-3	45,1 ^c	17,5 ^a	36,7 ^b	16,6 ^a	6,5	G**, R***, GxR*
C18 :3 n-3 (ALA) ³	21,0	8,83	16,2	6,63	1,26	G***, R***
C20 :5 n-3 (EPA) ⁴	6,51	0,82	6,16	1,64		R***
C22 :6 n-3 (DHA)	1,24	0,82	0,69	0,52	1,59	
n-6/n-3 ³	3,71 ^a	13,1 ^d	4,42 ^b	11,7 ^c	1,16	R***, GxR***
AGS/n-3 ^{3,5}	11,0 ^b	37,1 ^d	9,0 ^a	22,1 ^c	1,28	G***, R***, GxR*
LA/ALA ³	6,2	20,1	7,9	21,5	3,12	G, ** R***, GxR ^t

¹Ecart-type résiduel. ²Effets du génotype (G), du régime (R) et de leur interaction (GxR), *** : $P < 0,001$, ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, t : $P < 0,10$; si non mentionné, $P \geq 0,10$. a, b, c, d : différences entre lots ($P < 0,05$). ³ANOVA sur log, indication de l'antilog des lsmeans, ⁴Test non paramétrique ⁵Cahier des charges BBC.

2.4. Propriétés sensorielles

Le génotype influence le profil sensoriel de la longe (Tableau 5). Le persillé est plus important et plus homogène pour les porcs D en accord avec leur teneur supérieure en LIM, alors que l'appréciation de couleur rouge est équivalente entre les porcs D et P, conformément à l'absence de différence de teinte (h°) mesurée par colorimétrie. La viande des porcs D est plus tendre et plus juteuse, alors que celle des porcs P présente une saveur plus intense. Aucune différence n'est observée entre génotypes sur l'odeur de la viande. Les mesures mécaniques de texture confirment les différences sensorielles avec une moindre force de cisaillement pour la viande des porcs D. Le pHu et la teneur en LIM supérieures des porcs D contribuent à expliquer ces différences (corrélations pHu-tendreté $r = 0,29$, pHu-jutosité $r = 0,35$, LIM-tendreté $r = 0,36$, LIM-jutosité $r = 0,31$; $P \leq 0,05$), en accord avec la littérature sur le rôle de ces indicateurs dans la détermination des propriétés sensorielles (Listrat *et al.*, 2015). La supériorité sensorielle de la viande de porcs croisés ou de race pure D vs P est souvent rapportée, mais n'est pas systématique (Lebret, 2020). Ainsi Kowalski *et al.* (2020) n'ont

noté aucune différence de qualité sensorielle évaluée par un jury d'experts entre des viandes de porcs croisés D vs P NN, seulement une préférence des consommateurs pour la viande des porcs D. On peut supposer que la maturation de la viande pendant 8 jours dans notre étude a contribué à mettre en évidence des différences sensorielles. La saveur supérieure de la viande des porcs croisés P peut s'expliquer en partie par leur proportion plus élevée d'AGPI (relativement aux AGS), qui confèrent une saveur plus marquée à la viande (Listrat *et al.*, 2015). Le régime alimentaire R vs T n'influence pas le profil sensoriel de la viande, hormis une tendance ($P = 0,09$) à une quantité plus élevée de persillé dans la viande des porcs DR vs DT qui va à l'encontre des différences de LIM entre ces deux lots. En accord avec nos résultats, Guillevic *et al.* (2009) n'ont pas observé de différence d'appréciation globale par des consommateurs de saucisses issues de porcs ayant reçu un régime enrichi en graine de lin vs témoin. L'augmentation des AGPI dans le LL des porcs R n'est pas associée à une modification (altération) de la saveur de la longe, toutefois ce risque peut concerner d'autres produits transformés et sera évalué par des mesures de peroxydation lipidique.

Tableau 5 – Profil sensoriel de la longe (note de 0 : absence à 10 : élevé) en fonction du génotype et du régime alimentaire

	Lots				ETR ¹	Signification ²
	DR	DT	PR	PT		
Viande crue : Couleur rouge	5,90	5,31	5,74	5,87	0,87	
Quantité du persillé	3,87	3,29	2,61	2,72	0,75	G***, GxR ^t
Homogénéité du persillé	4,42	3,99	3,41	3,42	0,72	G***
Viande cuite : Odeur	5,54	5,66	5,73	5,62	0,29	
Flaveur	5,55	5,69	5,74	5,75	0,24	G*
Tendreté	6,20	6,12	5,41	5,27	0,84	G***
Jutosité	5,39	5,62	5,25	5,22	0,39	G**
Force de cisaillement (N/cm ²) ³	38,7	39,9	42,4	46,3	1,21	G*

¹Ecart-type résiduel. ²Effets du génotype (G), du régime (R) et de leur interaction (GxR), *** : P < 0,001, ** : P < 0,01, * : P < 0,05, t : P < 0,10 ; si non mentionné, P ≥ 0,10. ³ANOVA sur log, indication de l'antilog des lsmeans

CONCLUSION

Les porcs croisés Duroc ont produit une viande de qualités sensorielle et technologique supérieures, tout en ayant des performances de croissance et une composition de la carcasse moins bonnes, comparées aux porcs P, mais qui restent satisfaisantes. La distribution du régime R a amélioré légèrement les performances mais n'a pas influencé la composition corporelle ni la qualité technologique et sensorielle de la viande. Le régime R a permis d'améliorer le profil lipidique et la valeur nutritionnelle de la viande des deux génotypes en augmentant la teneur en AG n-3 et conduisant à un rapport n-6/n-3 proche de 5, répondant aux recommandations de l'ANSES. Ainsi, la production de porcs croisés Duroc alimentés avec un régime à base de féverole et

enrichi en graines de lin extrudées constitue une stratégie favorable pour améliorer les propriétés sensorielles et nutritionnelles des viandes de porc, tout en répondant aux enjeux de relocalisation des ressources protéiques pour réduire la dépendance aux pays tiers de l'alimentation animale. Une évaluation des coûts économiques, de l'impact environnemental et de la perception des produits transformés par les consommateurs complètera l'étude, dans une perspective d'évaluation de la qualité globale des produits.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été conduite dans le cadre du projet Roc+. Les auteurs remercient la Région Bretagne et Rennes Métropole pour leur soutien financier, le pôle de compétitivité Valorial, et l'entreprise Valorex pour la fourniture des matières premières.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anses, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras: 323 p.
- Alonso V., del Mar Campo M., Espanol S., Roncales P., Beltran J.A., 2009. Effect of crossbreeding and tender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Sci.*, 81, 209-217.
- Commission Européenne, 2020. Communication : une stratégie "De la ferme à la table" pour un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement. 24 p.
- Edwards D.B., Bates R.O., Osburn W.N., 2003. Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *J. Anim. Sci.*, 81, 1895-1899.
- Furbeyre H., Guillevic M., Chesneau G., Labussière E., 2020. Effets du dépelliculage et de l'extrusion sur la valeur nutritionnelle de la graine de féverole chez le porc en croissance. *Journées de la Recherche Porcine*, 52, 87-92.
- Gispert M., Font I Furnols M., Gil M., Velarde A., Diestre A., Carrión D., Sosnicki, Plastow G.S., 2007. Relationships between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Sci.*, 77, 397-404.
- Guillevic M., Kouba M., Mourou J., 2009. Effect of a linseed diet on lipid composition, lipid peroxidation and consumer evaluation of French fresh and cooked pork meats. *Meat Sci.*, 81, 612-618.
- IFIP, 2019. Le porc par les chiffres, édition 2019-2020. La filière porcine en France, dans l'UE et le monde, Ed IFIP-Institut du Porc, Paris, 36 p.
- INAPORC, 2018. Plan de la filière porcine française : INAPORC, 40 p.
- Kim J.A., Cho E.S., Jeong Y.D., Choi Y.H., Kim J.S., Jang A., Hong J. K., Sa S. J., 2020 The effects of breed and gender on meat quality of Duroc, Pietrain, and their crossbred. *J. Anim. Sci. Technol.*, 62, 409-419.
- Kouba M., Enser M., Whittington F. M., Nute G. R., Wood J.D., 2003. Effect of a high linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, 81, 1967-1979.
- Kowalski E., Vossen E., Millet S., Ampe B., Callens B., Van Royen G., De Smet S., Aluwe M., 2020. Performance and carcass, loin and ham quality in crossbreds from three terminal sire lines. *Meat Sci.*, 167, 108-158.
- Lebreton B. 2020. Variabilité des produits animaux selon les conditions d'élevage et de transformation – Viande et produits transformés de porc. (pp 273-325). In : Prache S. et Santé-Lhoutellier V. (pilotes scientifiques) et al., 2020. La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation, rapport de l'expertise scientifique collective, INRAE (France), 1023 pages.
- Listrat A., Lebreton B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Bugeon J., 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 125-136.
- Morales J. I., Serrano M. P., Cámara L., Berrocoso J.D, López J.P., Mateos G.G., 2013. Growth performance and carcass quality of immunocastrated and surgically castrated pigs from crossbreds from Duroc and Pietrain sires. *J. Anim. Sci.*, 91, 3955-3964.
- Mourou J., Lebreton B., 2009. Modulation de la qualité de la viande de porc par l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 22, 33-40.
- Plastow G.S., Carrión D et al., 2005. Quality pork genes and meat production. *Meat Sci.*, 70, 409-421.
- Schwob S., Lebreton B., Louveau I. 2020. Adiposité et génétique chez le porc : état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits. *INRAE Prod. Anim.*, 33, 17-30.
- Sun H.Y., Yun H.M., Kim I.H., 2020. Effects of dietary n-6/n-3 polyunsaturated fatty acids ratio on growth performance, apparent digestibility, blood lipid profiles, fecal microbiota, and meat quality in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 68, 1193-1200.
- Wood J.D., Enser M., et al., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.*, 78, 343-358.