

## Composition de la carcasse, qualité de la viande et exploitation du Piétrain stress négatif

YOUSSAO A.K.I.<sup>1</sup>, VERLEYEN V.<sup>1</sup>, MICHAUX C.<sup>1</sup>, CLINQUART A.<sup>2</sup>, LEROY P.L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Département des productions animales, 20 Boulevard de Colonster, B43, 4000 Liège, Belgique

<sup>2</sup> Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Département des denrées alimentaires, 20 Boulevard de Colonster, B43 bis, 4000 Liège, Belgique

Correspondance : Youssao Issaka

Tél : 00 32 (0) 4/366.41.50 Fax : 00 32 (0) 4/366.41.22 E-Mail : pascal.leroy@ulg.ac.be

**RESUME :** Le Piétrain Stress négatif (résistant à l'halothane) a été développé par l'introgression de l'allèle C au locus Hal du Large White dans le génome Piétrain. La création de ce nouveau type biologique a été obtenue en deux étapes : i) la détermination de la structure génétique du Piétrain par l'analyse d'une F2 issue du croisement Large White X Piétrain et ii) la reconstitution du génome Piétrain autour du gène C du locus Hal par Back cross successifs. Les caractéristiques de la carcasse et le classement commercial des différents génotypes étudiés ont d'abord été décrits. La contribution du gène majeur IGF2 à la conformation du Piétrain a également été discutée. Les qualités nutritionnelles, technologiques et organoleptiques de la viande du Piétrain stress résistant ont été ensuite abordées. Enfin, un inventaire de l'exploitation de la résistance à l'halothane et du gène IGF2 chez le Piétrain a été réalisé.

### INTRODUCTION

La commune de Piétrain, située à quelques kilomètres de Jodoigne dans la province du Brabant (Belgique) a donné son nom à une race de porc qui y a pris naissance après la première guerre mondiale. De 1920 à 1950, cette race porcine n'a guère pris d'extension, parce que les exigences du consommateur étaient moins nettes et moins élevées, la qualité ne se payait pas et la valeur économique n'était pas tellement prise en considération. Vers les années 50, une grande crise sur le marché de porc a eu comme conséquence une différence plus prononcée des prix suivant la qualité et une plus forte demande du porc maigre. Ce n'est qu'à partir de ce moment que le porc de Piétrain a commencé à attirer l'attention des différents partenaires de la filière porcine.

Le porc Piétrain est principalement caractérisé par une robe blanche portant des taches noires, plus ou moins nombreuses, réparties sur tout le

corps, une viande pauvre en graisse, une carcasse dont le rendement à l'abattage est le plus élevé de toutes les races connues (83%), un éclatement musculaire au niveau des épaules, un dos développé (carré, 27%) et des jambons exceptionnels (27%) (Camerlynck et Brankaer, 1958; Camerlynck, 1960). A côté de ces points forts, il est aussi caractérisé par la fixation du gène de sensibilité au stress dont le résultat est l'apparition de syndrome du stress (PSS: *Porcine Stress Syndrome*), l'hyperthermie maligne (MHS: *Malignant Hyperthermia Syndrome*) et une viande dite PSE (*Pale, soft and exudative*) (Topel *et al.*, 1968; Sybesma et Eikelenboom, 1969; Eikelenboom et Minkema, 1974; Eikelenboom *et al.*, 1978). Ces syndromes sont liés au locus Hal de sensibilité à l'halothane, portant les allèles N (normal) et n (sensible) (Ollivier *et al.*, 1975). L'hypertrophie musculaire quant à elle est partiellement liée à ce même locus Hal. L'anomalie responsable de la sensibilité au stress et à l'halothane

a été localisée au niveau d'un canal à ion Ca<sup>2+</sup>, appelé récepteur à la ryano-dine. L'analyse de la séquence du cDNA de ce récepteur chez les porcs Piétrain sensibles et Large White résistants a montré que la mutation de l'allèle N en n consiste en la substitution d'une cytidine (C) par une thymidine (T) en position 1843 (Fuji *et al.*, 1991). A la suite de cette découverte, l'utilisation d'un test moléculaire a permis de distinguer avec précision les individus de génotype Nn (CT) et NN (CC), « non sensibles » à l'halothane, de ceux sensibles, de génotype nn (TT) et d'estimer ainsi le rôle exact joué par les allèles C et T sur les performances des animaux (Fuji *et al.*, 1991).

Le Piétrain stress négatif (résistant à l'halothane) a été développé à la station expérimentale de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège par l'introgression de l'allèle C du Large White dans le génome Piétrain (Hanset *et al.*, 1995a, 1995b, 1995c; Leroy *et al.*, 1999; Leroy et Verleyen, 2000). La création de ce

nouveau type biologique a été obtenue en plusieurs étapes (tableau I). Après avoir développé l'évolution des caractéristiques de la carcasse au cours de ces différentes étapes, la qualité de la viande et l'exploitation du Piétrain stress négatif seront abordées.

## LA STRUCTURE GENETIQUE DU PIÉTRAIN

De 1983 à 1989, la structure génétique du Piétrain a été étudiée (Hanset

*et al.*, 1989 ; Hanset *et al.*, 1995a). Le croisement entre Piétrain (TT) et Large White (CC) donne, en F2, des génotypes de sensibilité à l'halothane CT, CC et TT. Les caractéristiques de la composition de la carcasse des porcs de la F2 sont données par génotype et par sexe dans le tableau II. L'effet du locus Hal est significatif pour tous les caractères envisagés bien que sa contribution à la variation diffère fortement d'un caractère à l'autre. En passant du génotype CC au TT, on observe une réduction de la longueur de la carcasse, de l'épaisseur du lard dorsal, du pourcentage de

morceaux gras, ainsi qu'une augmentation du rendement à l'abattage, de la proportion de morceaux maigres, des notes de conformation et des indices de compacité. Les mêmes tendances ont été observées par Leach et collaborateurs (1996), Larzul et collaborateurs (1997) et Aubry et collaborateurs (2000). Le phénotype des porcs CT occupe une position intermédiaire, entre les phénotypes homozygotes, en général plus proche des porcs CC que des TT. L'allèle T est associé à une meilleure carcasse et une meilleure conformation, tandis que l'allèle C confère la résistance au

Tableau I: Chronologie de la création du Piétrain stress négatif

Objectif	Période	Type de croisement	Résultat du croisement	Test génomique	Génotype au locus Hal			Source bibliographique
					CC	CT	TT	
Structure génétique du Piétrain	1983 à 1989	LW x PIE	F1	Test	-	+	-	Hanset <i>et al.</i> , 1989 ; Hanset <i>et al.</i> , 1995b ; Hanset <i>et al.</i> , 1995a
		F1 x F1	F2	Halothane	+*	+*	+	
Reconstitution du génome Piétrain avec maintien de l'hétérozygotie au locus Hal	1989 à 1995	F1 x PIE	BC1	Test	-	+	+	Hanset <i>et al.</i> , 1995c ; Hanset <i>et al.</i> , 1995a
		BC1 x PIE	BC2	Halothane et	-	+	+	
		BC2 x PIE	BC3	Test de la	-	+	+	
		BC3 x PIE	BC4	Ryanodine	-	+	+	
Reconstitution du génome Piétrain (suite)	1995 à 1999	BC4 x PIE	BC5	Test de la	-	+	+	Leroy <i>et al.</i> , 1999 ; Leroy et Verleyen, 2000 ; Youssao <i>et al.</i> , 2002a ; 2002b
		BC5 x PIE	BC6	Ryanodine	-	+	+	
		BC6 x PIE	BC7		-	+	+	
Création du Piétrain stress négatif homozygote et poursuite de la reconstitution du génome Piétrain	1999 à 2002	BC7 x BC7	BC7	Test de la	+	+	+	Leroy <i>et al.</i> , 1999 ; Leroy et Verleyen, 2000 ; Youssao <i>et al.</i> , 2002a ; Youssao <i>et al.</i> , 2002b
		BC7 x PIE	BC8	Ryanodine	-	+	+	

+ : Génotype observé ; - : Absence du génotype ; \* : L'épreuve du gaz anesthésique halothane ne faisait pas la différence entre les génotype CC et CT ; LW : Large White ; PIE : Piétrain.

Tableau II: Moyenne moindres carrés et erreur standard (ES) des caractéristiques de la composition de la carcasse des porcs issus de la F2 du croisement Large White - Piétrain en fonction du génotype de sensibilité à l'halothane (Hanset *et al.*, 1995a).

Caractéristiques de la carcasse	Génotype de sensibilité à l'halothane					
	Homozygote CC		Hétérozygote CT		Homozygote TT	
	Moyenne	ES	Moyenne	ES	Moyenne	ES
Gain moyen quotidien (kg/j)	0,706	0,005	0,731	0,004	0,718	0,005
Longueur (cm)	80,93	0,12	80,48	0,09	79,03	0,13
Épaisseur du lard au cou (cm)	3,75	0,03	3,73	0,02	3,59	0,03
Épaisseur du lard (1re vertèbre lombaire) (cm)	2,59	0,03	2,59	0,02	2,51	0,03
Épaisseur du lard dorsal à la croupe (cm)	1,70	0,02	1,66	0,02	1,42	0,03
Épaisseur moyenne du lard dorsal (cm)	2,68	0,02	2,66	0,02	2,51	0,02
Rendement à l'abattage (%)	80,15	0,10	80,12	0,07	81,03	0,10
Carré (%)	24,08	0,07	24,38	0,05	25,05	0,08
Jambon (%)	22,78	0,06	23,12	0,05	23,72	0,06
Epaule (%)	16,31	0,04	16,45	0,03	16,77	0,04
Morceau maigre (%)	63,17	0,13	63,95	0,10	65,54	0,14
Bardière (%)	4,47	0,12	5,05	0,09	6,40	0,13
Paroi ventrale (%)	4,84	0,10	5,47	0,08	6,71	0,11
Morceaux gras (%)	30,04	0,13	29,27	0,10	27,85	0,13
Conformation au s evrage (0 à 10)	4,47	0,12	5,08	0,09	6,40	0,13

stress et une meilleure qualité de la viande. Les trois génotypes de la F2 ont été comparés entre eux et avec les races pures Large White et Piétrain (Hanset *et al.*, 1995a) : pour le gain quotidien moyen (figure 1), la longueur de la carcasse (figure 2), le pourcentage de morceaux maigres (figure 3) et le pH du carré mesuré 1 heure après l'abattage (figure 4). Il ressort de cette comparaison que l'homozygote TT diffère du Piétrain classique par la composition de la carcasse et la qualité de la viande. Cette observation suggère l'existence d'autres gènes dont les effets sont aussi importants que celui du locus Hal et qui ont été mis en évidence ultérieurement (Nezer *et al.*, 1999).

### INTROGRESSION DE L'ALLELE C DANS LE GENOME PIETRAIN ET ORIGINE DU PIETRAIN STRESS NEGATIF

Le génome du Piétrain a été reconstitué de 1989 à 1995, au départ des F1 nés du croisement Piétrain X Large White, tout en conservant l'allèle C de résistance au stress (Hanset *et al.*, 1995b). Des backcross (BC) successifs ont été réalisés avec le Piétrain classique en vue de récupérer la totalité des « autres gènes » présents. A chaque génération, les femelles hétérozygotes CT ont été croisées avec des verrats Piétrain. Le niveau de reconstitution du génome Piétrain passant successivement par les stades 3/4 (BC1), 7/8 (BC2), 15/16 (BC3) et 31/32 (BC4). Les caractéristiques de la carcasse par numéro de backcross, génotype et sexe sont données au

tableau III. De cette étude, il apparaît que le numéro de BC est sans influence sur le gain journalier, en revanche, il a un effet très significatif sur tous les critères en relation avec la composition de la carcasse et la conformation à l'exception de l'épaisseur du lard dorsal au niveau de la 1<sup>re</sup> vertèbre lombaire et du rendement à l'abattage. Une variation très significative ( $p < 0,001$ ) s'observe entre les génotypes du locus Hal, les génotypes TT étant plus lourds que les génotypes CT et CC, et les CT possédant un rendement de carcasse supérieur à celui des génotypes CC (Hanset *et al.*, 1995c).

Quel que soit le génotype au locus Hal, la progression des BC se traduit par des carcasses progressivement plus courtes, plus charnues, moins grasses et plus compactes. Ceci résulte de la récupération progressive

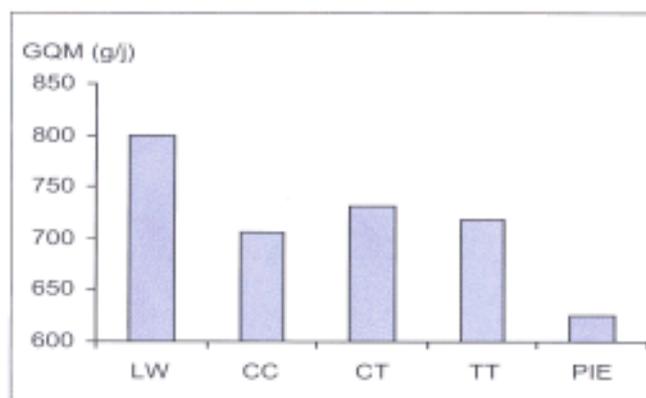


Figure 1 : Gain moyen quotidien (GQM) des trois génotypes de la 2<sup>e</sup> génération et des races Large White (LW) et Piétrain (PIE) (d'après Hanset *et al.*, 1995a)

CC : Homozygote stress négatif ; CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

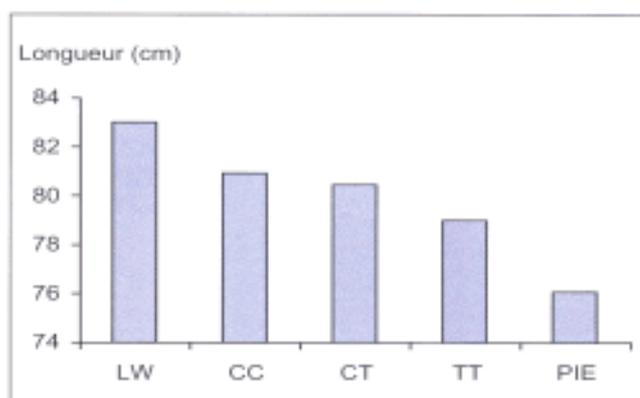


Figure 2 : Longueur de la carcasse des trois génotypes de la 2<sup>e</sup> génération et des races Large White (LW) et Piétrain (PIE) (d'après Hanset *et al.*, 1995a).

CC : Homozygote stress négatif ; CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

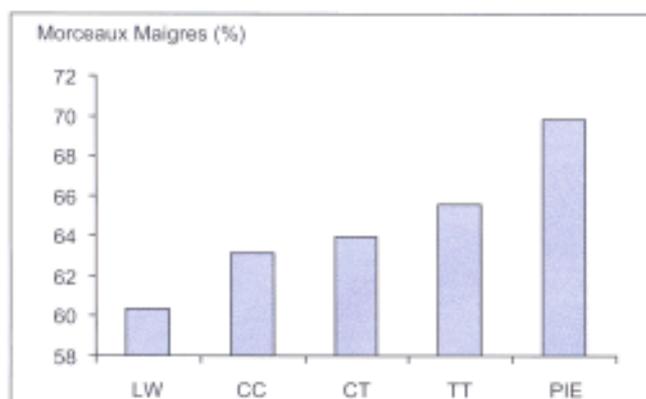


Figure 3 : Pourcentage de morceaux maigres des trois génotypes de la F2 et des races Large White (LW) et Piétrain (PIE) (d'après Hanset *et al.*, 1995a).

F2 : 2<sup>e</sup> génération ; CC : Homozygote stress négatif ; CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

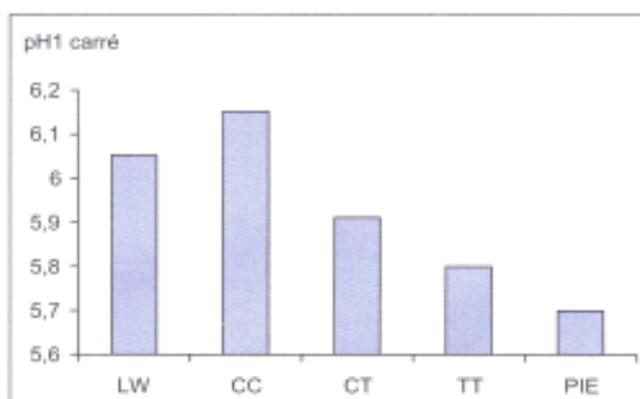


Figure 4 : Mesure du pH du carré (*Longissimus dorsi*) des trois génotypes de la F2 et des races Large White (LW) et Piétrain (PIE) (d'après Hanset *et al.*, 1995a).

pH 1 : pH mesuré 1 heure après l'abattage ; F2 : 2<sup>e</sup> génération ; CC : Homozygote stress négatif ; CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

Tableau III: Moyenne moindres carrés et erreur standard des caractéristiques de la composition de la carcasse de porcs en fonction du backcross et du génotype de sensibilité à l'halothane (Hanset *et al.*, 1995b).

Caractéristiques de la carcasse	Backcross 1		Backcross 2		Backcross 3		Sexe	
	CT	TT	CT	TT	CT	TT	Castrat	Femelle
Gain moyen quotidien (kg/j)	0,66 ± 0,015	0,65 ± 0,015	0,65 ± 0,01	0,64 ± 0,01	0,68 ± 0,016	0,66 ± 0,015	0,68 ± 0,006	0,63 ± 0,006
Longueur (cm)	80,6 ± 0,2	79,0 ± 0,2	79,9 ± 0,1	77,8 ± 0,1	79,1 ± 0,2	75 ± 0,2	78,5 ± 0,1	79,5 ± 0,1
Épaisseur du lard au cou (cm)	3,1 ± 0,1	2,9 ± 0,1	2,9 ± 0,0	2,8 ± 0,0	2,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,1 ± 0,0	2,7 ± 0,0
Épaisseur du lard (1ère vertèbre lombaire) (cm)	2,5 ± 0,5	2,4 ± 0,1	2,45 ± 0,0	2,4 ± 0,0	2,4 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,6 ± 0,0	2,2 ± 0,0
Épaisseur du lard dorsal à la croupe (cm)	1,8 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,0	1,6 ± 0,0	1,5 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,8 ± 0,0	1,4 ± 0,0
Épaisseur moyenne du lard dorsal (cm)	2,5 ± 0,0	2,4 ± 0,0	2,4 ± 0,0	2,7 ± 0,0	2,2 ± 0,0	2,1 ± 0,0	2,5 ± 0,0	2,1 ± 0,0
Rendement à l'abattage (%)	80,7 ± 0,2	81,3 ± 0,2	80,7 ± 0,1	81,2 ± 0,1	80,6 ± 0,2	81,2 ± 0,12	81,1 ± 0,1	80,9 ± 0,1
Carré (%)	25,1 ± 0,2	25,8 ± 0,2	25,6 ± 0,1	26,4 ± 0,1	26,0 ± 0,2	26,8 ± 0,1	25,2 ± 0,1	26,7 ± 0,1
Jambon (%)	24,1 ± 0,1	24,8 ± 0,1	24,4 ± 0,1	25,2 ± 0,1	24,8 ± 0,1	25,6 ± 0,1	24,4 ± 0,0	25,2 ± 0,1
Épaule (%)	16,5 ± 0,01	16,7 ± 0,1	16,4 ± 0,1	16,7 ± 0,1	16,6 ± 0,1	16,9 ± 0,1	16,6 ± 0,0	16,7 ± 0,0
Morceau maigre (%)	65,6 ± 0,2	67,4 ± 0,2	66,4 ± 0,2	68,3 ± 0,2	67,4 ± 0,2	69,2 ± 0,2	66,1 ± 0,1	68,6 ± 0,1
Bardière (%)	6,4 ± 0,1	5,9 ± 0,1	6,2 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,2 ± 0,1	3,5 ± 0,0	5,2 ± 0,0
Paroi ventrale (%)	15,8 ± 0,1	15,3 ± 0,1	15,3 ± 0,1	14,7 ± 0,1	15,1 ± 0,1	14,4 ± 0,1	15,5 ± 0,0	14,7 ± 0,0
Morceaux gras (%)	27,7 ± 0,3	26,1 ± 0,3	26,9 ± 0,2	25,2 ± 0,2	25,8 ± 0,2	24,4 ± 0,3	27,4 ± 0,1	24,7 ± 0,1
Conformation au sevrage (0 à 10)	6,6 ± 0,1	7,4 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7,5 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,3 ± 0,1
Conformation finale (0 à 10)	6,5 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7,9 ± 0,1	7,7 ± 0,1	8,3 ± 0,1	7,4 ± 0,0	7,5 ± 0,0
Indice de compacité 1	1,06 ± 0,0	1,08 ± 0,04	1,06 ± 0,02	1,1 ± 0,02	1,07 ± 0,04	1,01 ± 0,04	1,09 ± 0,01	1,07 ± 0,01
Indice de compacité 2	0,67 ± 0,04	0,71 ± 0,04	0,68 ± 0,02	0,73 ± 0,02	0,70 ± 0,03	0,74 ± 0,03	0,69 ± 0,01	0,71 ± 0,01

CC : Homozygote stress négatif ; CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif

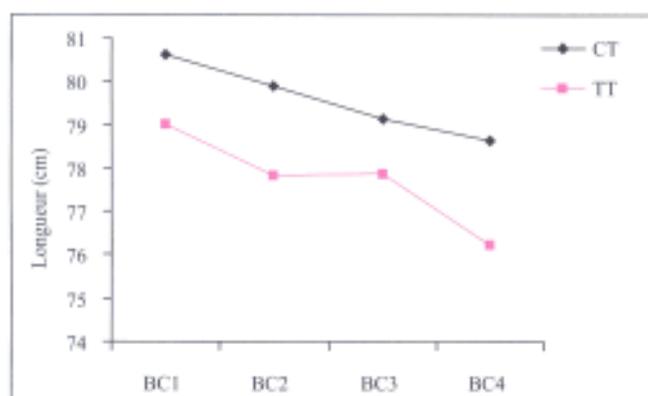


Figure 5 : Longueur de la carcasse en fonction du génotype et du backcross (d'après Hanset *et al.*, 1995a, 1995b et 1995c).

BC: le backcross

CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

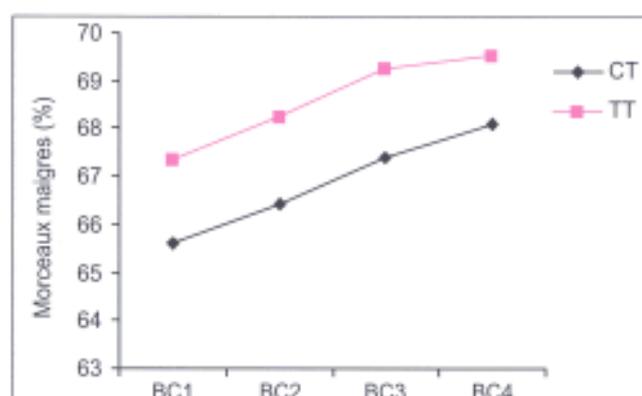


Figure 6 : Pourcentage de morceaux maigres en fonction du génotype et du backcross (d'après Hanset *et al.*, 1995a, 1995b et 1995c).

BC: le backcross

CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

de ces autres gènes Piétrain dont il a été question plus haut, les génotypes au locus Hal étant constants. Par les BC successifs, on récupère ces gènes, présents chez le Piétrain, qui sont responsables de la différence entre les Piétrains purs et les F2 de génotype TT (Hanset *et al.*, 1995b). L'évolution de la longueur de la carcasse, du pourcentage de morceaux maigres et

du classement commercial de BC1 à BC4 est illustrée dans les figures 5, 6 et 7. A partir du BC4, le génome Piétrain a été pratiquement reconstitué et ce porc a reçu le nom de Piétrain stress négatif. Il a été reconnu officiellement par la Fédération Nationale des Eleveurs de Piétrain en Belgique le 19 septembre 1994. A l'heure actuelle, le stade BC8 est

atteint. Depuis 1999, des croisements entre Piétrain stress négatif hétérozygotes CT issus du BC7 ont donné trois génotypes: le Piétrain homozygote stress négatif (CC), le Piétrain hétérozygote stress négatif (CT) et le Piétrain homozygote stress positif (TT) (Leroy *et al.*, 1999). En passant du génotype CT au génotype TT, une réduction de l'épaisseur du lard dorsal

Tableau IV: Influence du génotype au locus Hal sur le pourcentage de viande maigre

Références bibliographiques	Effectif	Croisement	Test de sensibilité à l'halothane	Méthode d'estimation	Génotype CC (%)	Génotype CT (%)	Génotype TT (%)	Femelle (%)	Castrat (%)
Hanset <i>et al.</i> , 1995a	1500	LW x P (F2)	Test halothane	Dissection	63,17 ± 0,13a	63,95 ± 0,10b	65,54 ± 0,14c	65,40 ± 0,10a	63,04 ± 0,10b
Hanset <i>et al.</i> , 1995b	1890	BC1	Test halothane	Dissection	-	65,60 ± 0,25a	67,35 ± 0,25b	68,64 ± 0,08a	66,12 ± 0,08b
		BC2	Test halothane	Dissection	-	66,46 ± 0,17a	68,26 ± 0,16b		
		BC3	Test halothane	Dissection	-	67,38 ± 0,25a	69,25 ± 0,24b		
Hanset <i>et al.</i> , 1995c	273	BC4	Test halothane	Dissection	-	* 69,52 ± 0,3a **66,78 ± 0,3a	* 70,77 ± 0,25b **68,27 ± 0,2b	70,73 ± 0,20a	67,88 ± 0,20b
Youssao <i>et al.</i> , 2002a	335	BC5 à BC7	Test de Ryanodine	Capteur gras-maigre	63,69 ± 0,58a	64,24 ± 0,31a	66,68 ± 0,42b	66,51 ± 0,34a	63,23 ± 0,36b
Youssao <i>et al.</i> , 2002b	307	BC5 à BC7	Test de Ryanodine	Capteur gras-maigre	62,32 ± 0,45a	65,21 ± 0,23 b	67,02 ± 0,26c	65,64 ± 0,21a	64,05 ± 0,21b

a, b et c : les moyennes intra-source de variation suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ;

\* Femelle ; \*\* Castrat ;

\*\*\* Effectif comprenant 52 % de CT et 58 % de CC ;

P : Piétrain, LW : Large White ; BC1 : le backcross.

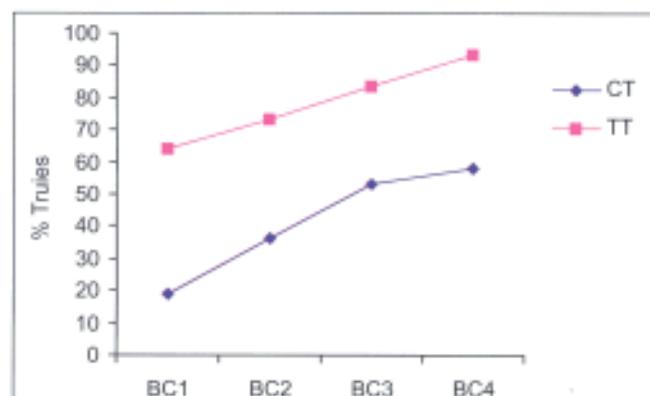


Figure 7 : Pourcentage de truies classées en AA ou plus en fonction du génotype et du backcross (d'après Hanset *et al.*, 1995a, 1995b et 1995c).

BC1 : le backcross

CT : Hétérozygote stress négatif ; TT : Homozygote stress positif.

et une augmentation de l'épaisseur et de la surface du muscle *longissimus dorsi* ont été observées de BC1 à BC4 (Hanset *et al.*, 1995c) et de BC4 à BC7 (Leroy *et al.*, 1999 ; Leroy *et al.*, 2001). Les porcs de génotype CT présentent des moyennes intermédiaires à celles des CC et des TT. Le pourcentage de morceaux maigres augmente avec la progression des backcross, les homozygotes (TT) étant plus maigres que les CT (Hanset *et al.*, 1995a). Les études récentes réalisées de BC5 à BC7 ont montré que le

la différence entre les génotypes CC, CT et TT est indépendante du niveau de reconstitution du génome Piétrain (Hanset *et al.*, 1995b ; Youssao *et al.*, 2002a). Le pourcentage de viande maigre du Piétrain stress négatif obtenu de BC5 à BC7 est inférieur à ceux obtenus de BC1 à BC4 (tableau III). Cette différence est probablement liée à la méthode d'estimation. De BC5 à BC7, le pourcentage de viande maigre a été estimé par le Capteur gras-maigre, alors qu'elle l'a été par dissection de BC1 à BC4.

numéro de BC n'a pas eu d'influence sur le pourcentage de viande maigre (Leroy *et al.*, 1999 ; Youssao *et al.*, 2002a). L'interaction entre le BC et le génotype au locus Hal est non significative pour le pourcentage de morceaux maigres, ce qui explique que

#### INFLUENCE DU GENE IGF2 SUR LA CONFORMATION DU PIETRAIN

Le gène IGF2 influence le rendement en viande du Piétrain et explique 25 % de la différence entre Piétrain et Large White pour les principales caractéristiques de conformation et de composition de la carcasse (plus de musculature et moins de gras) (Nezer *et al.*, 1999). Ce gène est soumis à l'empreinte parentale ; en effet, il ne s'exprime que lorsqu'il est hérité du père. L'allèle favorisant l'hypertrophie musculaire étant supposé être présent à une très haute fréquence au sein de la race Piétrain, l'utilisation d'un vertrat Piétrain en croisement industriel serait donc plus favorable que le croisement réciproque. En ce qui concerne la différence entre les races Piétrain et Large White, Hanset et collaborateurs (1995a) ont montré que pour le pH mesuré une heure après l'abattage au niveau du carré, le locus Hal explique pratiquement toute la différence entre les deux races. Pour le pourcentage de viande

Tableau V: Classification européenne des carcasses selon la teneur estimée en viande maigre (d'après l'arrêté royal du 29 avril 1999 et l'arrêté ministériel du 3 mai 1999 relatifs au classement des carcasses de porcs en Belgique).

Conformation		Etat d'engraissement	
Proportion de viande	Classe	Classe	Chiffre
Plus de 60 %	S	Très faible	1 - 6
55 à 59 %	E	Faible	6 - 9
50 à 55 %	U	Moyen	9 - 12
45 à 49 %	R	Fort	> 12
40 à 44 %	O	Très fort	
Moins de 40 %	P	-	

Tableau VI: Caractéristiques de la qualité de la viande du Piétrain au stade BC5 à BC8 (données personnelles non publiées) (n = 80)

		Génotype CC		Génotype CT		Génotype TT	
		Moyenne	E.S.	Moyenne	E.S.	Moyenne	E.S.
pH	45 mn	5,49	0,23	5,81	0,12	5,90	0,16
	J1	5,41	0,04	5,43	0,02	5,46	0,03
Couleur *	L* J1 (%)	51,74	0,74	51,86	0,46	52,79	0,71
	a* J1	7,65	0,51	7,89	0,32	8,59	0,49
	b* J1	15,47	0,39	15,93	0,24	16,69	0,36
Perte de jus par écoulement (%)		4,28	0,54	4,53	0,29	5,19	0,45
Perte de jus à la cuisson (%)		28,98	0,70	27,63	0,37	29,38	0,58
Force maximale de cisaillement (N)		<b>34,69a</b>	2,37	<b>39,49ab</b>	1,27	<b>43,66b</b>	1,97
Gras intramusculaire (%)		1,53a	0,12	1,23b	0,08	1,07b	0,12
Humidité (%)		74,05	0,22	73,34	0,14	73,90	0,21

J1 : premier jour ;

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% ;

E.S. : Erreur standard ;

\* : Selon les normes du Comité International d'Éclairage : luminosité (L\*), la teinte jaune (b\*) et la teinte rouge (a\*).

dans la carcasse, le locus Hal et le locus IGF2 expliquent chacun environ 25 % de cette différence et donc environ 50 % au total. Les 50 % restant sont dus à l'action d'autres gènes encore non identifiés. La découverte de l'effet positif du gène IGF2 sur l'hypertrophie musculaire permet également de rejeter l'équation HM (hyperthermie maligne) = HM (hypertrophie musculaire). Lorsque le test génétique sera disponible, les éleveurs pourront obtenir un produit de bonne conformation en sélectionnant contre le locus Hal et pour le locus IGF2.

### CLASSEMENT COMMERCIAL DU PIÉTRAIN STRESS NÉGATIF

Le classement commercial se base sur la valeur de la qualité de la carcasse ; un système de lettre était utilisé en Belgique. La valeur moyenne observée chez les Piétrain stress négatif était de 101 points (A1); celle des Piétrain classiques était de 124 points (Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1998). Chez les Piétrain au stade 31/32 de Piétrain, 93,75 % des carcasses des truies TT et 58,54 % des carcasses des truies CT sont classés de AA à EE (Hanset *et al.*, 1995c). Quant aux castrats, cette proportion est de 65,15 et 7,69 %, respectivement

pour les TT et les CT. Chez le Piétrain pur, 88,19 % des truies et 44,96 % des castrats sont classés de AA à EE (Hanset *et al.*, 1995c).

Actuellement, le système de classification fait de plus en plus appel à l'échelle européenne et se base sur la teneur en viande maigre obtenue par le Capteur gras-maigre (CGM), le PG-200 (*Grivada Choimometer*), le FOM (*Fat-O-Meater*) ou le HGP (*Hennessy Grading Probe*), suivant la grille SEUROP (tableau V). A la station expérimentale de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège, 85 % des descendants des verrats Piétrain stress négatifs (CT) provenant des backcross 5, 6 et 7 sont

Tableau VII: Qualité de la viande du Piétrain classique et du Piétrain stress négatif au stade 63/64 Piétrain (d'après ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1998)

Paramètres	Piétrain classique		Piétrain stress négatif		
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	
pH	Carré 45 mn	5,63	0,30	6,11	0,27
	Jambon 45 mn	5,97	0,43	6,33	0,24
	Carré 24 heure	5,43	0,07	5,48	0,07
Perte d'eau cuisson (%)	35,9	2,20	32,5	4,04	
Jutosité (%)	30,0	1,10	29,5	1,60	
Tendreté (N)	68,0	11,10	60,6	20,60	
Protéines (%)	23,1	0,60	23,2	0,70	
Matière grasse (%)	1,5	0,50	1,7	0,50	
Degré d'oxygénation R630 - R580 (nm) *	17,0	4,44	14,3	1,58	
Couleur **	L (%)	49,5	3,11	48,1	1,41
	a	10,2	0,77	10,7	1,17
	b	10,7	0,56	10,2	0,44
Collagène (%)	0,5	0,03	0,4	0,05	

\* Différence de réflectance entre deux longueurs d'onde, 630 nm et 580 nm.

\*\* Espace couleur Hunter Lab dans lequel L indique la clarté (mesure de la pâleur de la viande) tandis que a et b sont des coordonnées de la chromaticité.

classés en S et E, correspondant à une proportion de viande de plus de 58,5% (Leroy *et al.*, 1999).

## QUALITE DE LA VIANDE

### Qualité nutritionnelle de la viande

Parmi les paramètres de qualité nutritionnelle de la viande, les plus importants sont : la teneur en gras intramusculaire, la teneur en protéine et la teneur en eau. Le gène responsable de la teneur en gras intramusculaire est différent de celui du lard dorsal (Janss *et al.*, 1997) ; par conséquent, on pourrait augmenter la teneur en gras intramusculaire et donc améliorer le goût sans augmenter le dépôt de graisse dorsale. Le génotype au locus Hal influence significativement la teneur en gras intramusculaire ; les CC sont plus gras que les TT et les CT ont présenté une teneur intermédiaire (tableau VI). Le taux de protéine et la teneur en eau sont donnés aux tableaux VI et VII ; ils ne sont apparemment pas influencés par le génotype au locus Hal (Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1998).

### Caractéristiques technologiques de la viande

Les caractéristiques technologiques caractérisent l'aptitude de la viande à la conservation et à la transformation (Monin, 1991). Cette aptitude dépend du pH et du pouvoir de rétention en eau.

#### Effet du pH intramusculaire

Le pH post mortem diminue plus rapidement chez le Piétrain classique que chez le Piétrain stress négatif au stade 63/64 piétrain (Tableau VII). Une heure après l'abattage, le pH du carré est en moyenne de 6,28 puis, chute à 5,72 à 24 heures chez le Piétrain stress négatif de BC5 à BC7 (Leroy *et al.*, 1999). Ce pH proche de 5,8 à 24 heures après l'abattage répond aux attentes du secteur de transformation et de la distribution de la viande porcine. De même, une réflectance (FOP, fibre optic probe) située entre 25 et 50  $\mu$  (Hanset *et al.*, 1995c) correspond à une viande qui satisfait aux normes de qualité, n'étant ni PSE (pâle, molle, humide, FOP > 50  $\mu$ ), ni DFD (foncée, ferme, sèche, FOP < 25  $\mu$ ). Le pH et la valeur du FOP évoluent en sens inverse et sont influencés par les génotypes de la sensibilité à l'halothane (CC, CT et TT).

### Capacité de rétention en eau

La capacité de rétention en eau est estimée par le pourcentage de jus perdu par écoulement (*drip loss*) et le pourcentage de perte de jus à la cuisson (*cooking loss*) ; le pourcentage de jus exprimable n'a pas été pris en compte. Selon le tableau V, la perte de jus à l'écoulement a été en moyenne de 4,28, 4,53 et 5,19%, respectivement chez les homozygotes CC, hétérozygotes CT et les homozygotes TT obtenus chez le Piétrain obtenu de BC5 à BC8 et de l'intercross entre BC7. Quant à la perte de jus à la cuisson, elle a été de 28,0 ; 27,6 et 29,4 %, respectivement chez les homozygotes CC, hétérozygotes CT et les homozygotes TT obtenus de BC5 à BC8. Dans une étude réalisée par le Ministère belge des classes moyennes et de l'agriculture (1998), la perte de jus observée à la cuisson a été moins importante chez le Piétrain stress négatif au stade BC4 (32,5%) par rapport à celle du Piétrain classique (35,9%), cette différence n'étant cependant pas significative (tableau VII). Le génotype de sensibilité à l'halothane n'a pas eu d'effet sur la jutosité. Toutefois, une tendance selon laquelle le Piétrain stress négatif a un meilleur pouvoir de rétention

de l'eau par rapport au Piétrain classique ne peut être exclue (tableau V).

### Potentiel glycolytique

Le potentiel glycolytique (PG) se réfère à la quantité de composés glucidiques susceptibles de se transformer en acide lactique lors de la glycolyse *post mortem* du muscle, cette quantité étant exprimée en  $\mu\text{mol}$  d'équivalent acide lactique par gramme de tissu musculaire frais (Monin et Sellier, 1985) :

$$\text{PG} = 2 \text{ ([glycogène] + [glucose] + [glucose-6-phosphate]) + [acide lactique]}$$

Chez le Piétrain, les comparaisons entre sujets sensibles et non sensibles à l'halothane ont montré l'absence d'effet du phénotype de sensibilité à l'halothane sur le PG, quel que soit le muscle considéré (Larzul *et al.*, 1998). Suite au développement des méthodes de typage moléculaire pour le gène de sensibilité à l'halothane, des comparaisons ont été réalisées plus récemment entre les trois génotypes (CC, CT, TT) et ont confirmé qu'il n'y a pas d'effet notable de l'allèle T sur le PG du muscle *longissimus dorsi* (Larzul *et al.*, 1997). Le PG est influencé par le gène RN (Larzul *et al.*, 1998).

Si l'allèle T n'a pas d'effet sur le PG, par contre les variations du PG au moment de l'abattage sont susceptibles d'influencer les effets du gène HAL sur les caractères de qualité de la viande. A titre d'illustration, une diminution très importante du PG (obtenue expérimentalement par une injection d'adrénaline quelques heures avant l'abattage) entraîne l'apparition d'une viande à pH ultime très élevé, de type DFD (*dark, firm, dry*), aussi bien chez des porcs Piétrain sensibles à l'halothane que chez des porcs Large White (Larzul *et al.*, 1998). Bien que l'allèle T n'ait pas d'influence sur le PG, les concentrations en lactate et en glycogène sont significativement influencées par le génotype de sensibilité à l'halothane (Larzul *et al.*, 1998). Selon ces auteurs, les concentrations en lactate sont de 67, 76 et 94  $\mu\text{mol}$ , respectivement chez les CC, CT et TT. Quant à la concentration en glycogène, elle est de 36, 27,8 et 18,1  $\mu\text{mol}$ , respectivement pour les CC, CT et TT.

### Caractéristiques organoleptiques de la viande

Les caractéristiques organoleptiques de la viande sont celles perçues par le consommateur : il s'agit de la tendreté, la couleur, la jutosité et la saveur.

La tendreté mesure la facilité avec laquelle une viande se laisse couper et s'évalue sur la base de la force maximale de cisaillement. Le génotype de sensibilité à l'halothane influence significativement ( $p < 0,05$ ) la force de cisaillement de la viande du Piétrain (Larzul *et al.*, 1997). Le Piétrain stress négatif au stade BC5 est plus tendre que le Piétrain stress positif (tableau VII). La force de cisaillement a été de 34,7, 39,5 et 43,7 N, respectivement chez les homozygotes CC, hétérozygotes CT et les homozygotes TT obtenus du BC5 au BC8 (tableau VI).

La couleur est définie par la teinte (rouge, jaune), la luminosité (claire ou foncée) et la saturation (vive ou terne) suivant les normes du Comité International d'Éclairage (CIE  $L^*a^*b^*$ ). Chez le Piétrain, la luminosité  $L^*$  et la teinte jaune  $b^*$  sont influencées par le génotype de sensibilité à l'halothane ( $p < 0,01$ ) avec des valeurs plus importantes chez les TT (De Smet *et al.*, 1996 ; Larzul *et al.*, 1997). La même tendance a été observée chez les Piétrain stress négatifs au stade BC5 à BC8 par comparaison avec le Piétrain stress positif (tableau VI). Aucune différence significative n'a été observée pour la teinte rouge  $a^*$  (De Smet *et al.*, 1996 ; Larzul *et al.*, 1997 ; Youssao, données personnelles non publiées).

La jutosité de la viande cuite dépend à la fois de sa teneur en eau et de l'effet stimulant de la graisse sur la saliva-

tion. La jutosité peut donc être indirectement estimée en évaluant la teneur en graisse de la viande et sa capacité de rétention en eau. Sachant que le pourcentage de gras intramusculaire est influencé par le génotype au locus Hal (De Smet *et al.*, 1992 ; Larzul *et al.*, 1997), et du fait qu'aucun effet significatif n'est observé sur la perte de jus par écoulement et à la cuisson, il est possible de déduire que la viande du Piétrain stress négatif est plus juteuse que celle du Piétrain stress positif.

### EXPLOITATION DES GENES MAJEURS CHEZ LE PORC EN BELGIQUE

Le développement du Piétrain CT puis du Piétrain CC par l'Université de Liège, Detry société anonyme, le Centre Interprofessionnel pour l'Amélioration et la Promotion animale (CIAP) et les éleveurs de Piétrain (ARPP) a débouché sur son utilisation sur des truies du circuit commercial. Des résultats exceptionnels ont été obtenus, notamment des pourcentages de viande estimés de l'ordre de 59 % ce qui n'est que 0,5 % en dessous de ceux qui sont observés en race pure (Piétrain TT) (Leroy *et al.*, 1999). Le pourcentage des produits terminaux en classes S et E est de 85 % (figure 8), indiquant bien que l'élimination de l'allèle défavorable au locus Hal n'affecte pas le rendement de la carcasse.

Les résultats de la recherche et des expériences antérieures ont permis de mieux valoriser les gènes majeurs en Belgique. Les cahiers des charges des filières porcs « fermier » et certaines chartes de qualité recommandent

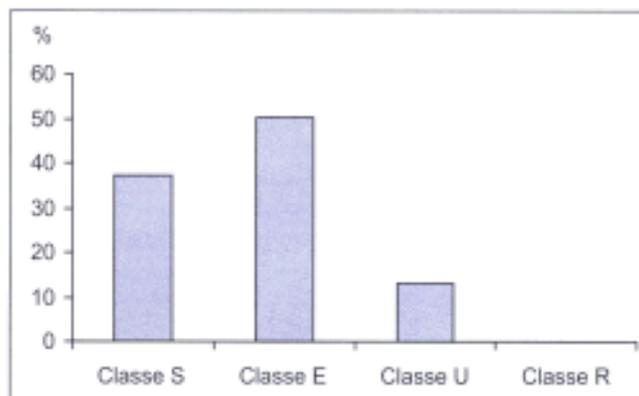


Figure 8 : Utilisation du Piétrain stress négatif sur des truies commerciales. Pourcentage des produits terminaux en classes S, E, U et R (Leroy *et al.*, 1999).

l'utilisation des porcs stress négatifs. Il en est de même pour certaines chartes de qualité où les élevages impliqués sont invités à utiliser des verrats stress négatifs (Leroy *et al.*, 1999). Le Piétrain stress négatif répond à la demande des consommateurs et des industriels par la qualité de sa viande et l'absence d'utilisation de tranquillisant lors du transport. Ainsi, il peut être transporté d'un continent à l'autre, sous tous les climats et dans tous les types d'élevage. Les verrats Piétrain CT et CC présentent un réel intérêt et sont également testés en régions chaudes notamment au Vietnam et bientôt en Chine et en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso).

L'ensemble des découvertes récentes a conduit l'Université de Liège et la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux à suggérer de dynamiser le secteur de l'élevage de Piétrain en Wallonie. Ainsi, le porc Piétrain stress négatif, produit de préférence sur paille, sans farine animale et sans antibiotique, portera dorénavant le nom de « porc fleuri »; il est déjà commercialisé dans quatre supermarchés de la région liégeoise sous le label « Vert Bocage » (Leroy *et al.*, 1999 ; Leroy *et al.*, 2001).

## CONCLUSION

Le Piétrain stress négatif, notamment l'hétérozygote CT, est un nouveau type biologique qui doit tout son intérêt au fait qu'il exploite l'effet favorable d'un exemplaire de l'allèle T sur la conformation et la composition de la carcasse et l'effet bénéfique d'un exemplaire de l'allèle C sur la résistance au stress et la qualité de la viande (acidité, couleur, consistance, tendreté et saveur). Avec la progression des back-cross, quel que soit le génotype de résistance à l'halothane, la composition de la carcasse du Piétrain stress négatif (CC et CT) est presque identique à celle du Piétrain classique avec pour avantage, une amélioration de la qualité de la carcasse. Le développement du Piétrain CT puis du Piétrain CC a donc permis de mieux valoriser le Piétrain stress négatif.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J.-L. Hornick, S. Vandenput, F. Farnir, J. Détilleux et le Commissariat Général aux Relations Internationales de la Communauté Wallonie - Bruxelles pour leur contribution.

## SUMMARY

### Carcass composition, meat quality and exploitation of negative stress Pietrain.

Negative stress Pietrain (halothane resistant) was developed by introgression of the C allele at Hal locus of Large White into the Pietrain genome. The creation of this new biological type was obtained in two steps: i) the determination of the genetic structure of Pietrain by the analysis of the F2 of a Pietrain X Large White cross and ii) the reconstitution of the Pietrain genome around the gene C of the locus Hal by successive backcrosses. The carcass characteristics and the commercial classification by halothane genotype were first described. The contribution of major gene IGF2 on Pietrain conformation was also discussed. Nutritional, technological and organoleptic qualities of stress negative Pietrain meat was then approached. Lastly, an inventory of the exploitation of halothane resistance and major gene IGF2 in Pietrain were carried out.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBRY A., LIGONESCHE B., GUEBLEZ R., GAUBRE D. Comparaison des porcs charcutiers NN et Nn pour les performances de croissance, carcasse et qualité de viande, et l'aptitude à produire du jambon cuit. 32<sup>e</sup> Journées de la Recherche Porcine, 2000, 361-367.
- CAMERLYNCK R. Les qualités d'engraissement et d'abatage des porcs Piétrain. In: La race porcine belge Piétrain. Colloque sur la race porcine belge Piétrain, Bruxelles, 21-22 mars 1960, 39-57.
- CAMERLYNCK R., BRANKAER R. Le porc Piétrain. *Rev. Agric.*, 1958, **11**, 379-399 et 575-602.
- DE SMET S.M., PAUWELS H., DE BIE S., DEMEYER D.I., CALLEWIER J., EECKHOUT W. Effect of halothane genotype, breed, feed withdrawal, and lairage on pork quality of Belgian harvest pigs. *J. Anim. Sci.*, 1996, **74**, 1854-1863.
- DE SMET S., PAUWELS H., EECKHOUT W., DEMEYER D.I., VERVAEKE I., DE BIE S., VAN DE VOORDE G., CASTEELS M. Relationships between halothane sensitivity, carcass quality and meat quality in Belgian slaughter Pigs. In: Puolanne E., Demeyer D.I., Ruusunen M., Ellis S. (Eds.). Pork quality, genetic and metabolic factors. CAB International : Wallingford, 1992, 259-270.
- EIKELENBOOM G., MINKEMA D. Prediction of pale, soft, exsudative muscle with a non lethal test for the halothane induced porcine malignant hyperthermia syndrome. *Tijdschr. Diergeneeskd.*, 1974, **99**, 421-426.
- EIKELENBOOM G., MINKEMA D., VAN ELDIK P., SYBESMA W. Production characteristics of Dutch Landrace and Dutch Yorkshire pigs as related to their susceptibility for the halothane-induced malignant hyperthermia syndrome. *Livest. Prod. Sci.*, 1978, **5**, 277-284.
- FUJII J., OTSU K., ZORZATO F., DE LEON S., KHANNA V.K., WEILER J.E., O'BRIEN P.J., MAC LENNAN D.H. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 1991, **253**, 448-451.
- HANSET R., SCALAIS S., GROBET L. Du Piétrain classique au Piétrain résistant à l'halothane ou Piétrain Réhal. *Ann. Méd. Vét.*, 1995a, **139**, 23-35.
- HANSET R., DASNOIS C., SCALAIS S., MICHAUX C., GROBET L. Génotype au locus de sensibilité à

- l'Halothane et caractères de croissance et de carcasse dans une F2 Piétrain x Large White. *Genet. Sel. Evol.*, 1995b, **27**, 63-76.
- HANSET R., DASNOIS C., SCALAIS S., MICHAUX C., GROBET L. Effet de l'introgession dans le génome Piétrain de l'allèle normal au locus de sensibilité à l'halothane. *Genet. Sel. Evol.*, 1995c, **27**, 77-88.
- HANSET R., DASNOIS C., MICHAUX C., LEROY P. Looking for individual genes of muscular hypertrophy in the pig : preliminary analysis of a F2 of the Pietrain X Large White cross. In : Proceedings of the joint session of the European Association for Animal Production commissions on pig production, animal genetics and animal nutrition, Dublin, Ireland, 27 August 1989. 1989, 131-138.
- JANSS L.L.G., VAN ARENDONK J.A.M., BRASCAMP E.W. Bayesian Statistical Analyses for presence of single genes affecting meat quality traits in a crossed pig population. *Genetics*, 1997, **145**, 395-408.
- LARZUL C., LE ROY P., GUEBLEZ R., TALMANT A., GOGUE J., SELLIER P., MONIN G. Effect of halothane genotype (NN, Nn, nn) on growth, carcass and meat quality traits of pigs slaughtered at 95 kg or 125 kg live weight. *J. Anim. Breed. Genet.*, 1997, **114**, 309-320.
- LARZUL C., LE ROY P., SELLIER P., JACQUET B., GOGUE J., TALMANT A., VERNIN P., MONIN G. Variabilité génétique du potentiel glycolytique du muscle chez le porc. *Prod. Anim.*, 1998, **11**, 183-197.
- LEACH L. M., ELLIS M., SUTTON D. S., MCKEITH F. K., WILSON E. R. The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. *J. Anim. Sci.*, 1996, **74**, 934-943.
- LEROY P. L., VERLEYEN V., DETRY J-P. Le porc Piétrain résistant au stress (ReHal) dans la filière porcine. In : Centre de recherches agronomiques de l'Etat, Gembloux (Ed.), Quatrième carrefour des productions animales, les démarches de la qualité en production animale : pourquoi ? pour qui ? Centre de recherche agronomique de l'Etat : Gembloux (Belgium), 27 janvier 1999, 1999, 39-40.
- LEROY P.L., VERLEYEN V. Performances of the Piétrain ReHal, the new stress negative Piétrain line. In : Wenk C., Fernandez A., Dupuis M., Quality of meat and fat in pigs affected by genetics and nutrition, Proceedings of the joint session of the European Association for Animal Production commissions on pig production, animal genetics and animal nutrition, Zürich, Switzerland, 25 August 1999, 2000, 161-164.
- LEROY P.L., BEDUIN J-M., VERLEYEN V., LEBAILLY P., BERTI F. Les attentes des consommateurs, des nouveaux critères de sélection porcine. In : Centre de recherches agronomiques de l'Etat, Gembloux (Ed.), Sixième carrefour des productions animales et santé humaine. Centre de recherche agronomique de l'Etat : Gembloux (Belgium), 24 janvier 2001, 2001, 74-83.
- MINISTERE DES CLASSES MOYENNES ET DE L'AGRICULTURE. ADMINISTRATION RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT. Piétrain Réhal. Ministère des classes moyennes et de l'Agriculture : Bruxelles, 1998, 31 p.
- MONIN G., SELLIER P. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post mortem* period: the case of the Hampshire breed. *Meat Sci.*, 1985, **13**, 49-63.
- MONIN G. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *Prod. Anim.*, 1991, **4**, 151-160.
- NEZER C., MOREAU L., BROUWERS B., COPPIETERS W., DETILLEUX J., HANSET R., KARIM L., KVASZ A., LEROY P., GEORGES M. An imprinted QTL with major effect on muscle mass and fat deposition maps to the IGF2 locus in pigs. *Nat. Genet.*, 1999, **21**, 155-156.
- OLLIVIER L., SELLIER P., MONIN G. Déterminisme génétique du syndrome d'hyperthermie maligne chez le porc Piétrain. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 1975, **7**, 159-166.
- SYBESMA M., EIKELEMBOOM G. Malignant Hyperthermia Syndrome in pigs. *Neth. J. Vet. Sci.*, 1969, **2**, 155-160.
- TOPEL D.G., BICKNELL E.J., PRESTON K.S., CHRISTIAN L.L., MATSUSHIMA C.Y. Porcine stress syndrome. *Med. Vet. Pract.*, 1968, **49**, 40.
- YOUSAO A.K.I., VERLEYEN V., LEROY P.L. Prediction of carcass lean content by real-time ultrasound in Pietrain and negative-stress Pietrain. *Anim. Sci.*, 2002a, **75**, 25-32.
- YOUSAO A.K.I., VERLEYEN V., LEROY P.L. A comparison of the Fat Lean Meter (CGM) and the ultrasonic device Pie Medical 200 and Piglog 105 for estimation of the lean meat proportion in Pietrain and negative-stress Pietrain carcasses. *Livest. Prod. Sci.*, 2002b, **78**, 107-114.