

Modes d'élevage alternatifs des porcs :

(1) Effets sur les performances de croissance, les qualités des carcasses et des viandes et l'aptitude à la transformation en jambons cuits et secs

Patrick CHEVILLON (1), Antoine VAUTIER (1), Anne-Sophie GUILLARD (2), Edwige GILBERT (2), Bénédicte LEBRET (3),
Claudia TERLOUW (4), Aline FOURY (5), Pierre MORMÈDE (5)

(1) Institut Technique du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex

(2) CTSCCV, 7 avenue Général de Gaulle, 94704 Maisons Alfort

(3) INRA-Unité Mixte de Recherche sur le veau et le porc - Agrocampus Rennes, 35590 St Gilles

(4) INRA-Station de Recherches sur la Viande, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

(5) INRA-Université de Bordeaux 2, UMR Neurogénétique et Stress, 33077 Bordeaux

Avec la collaboration de Yannick Houix (1), Jacques Boulard (1), Michel Bouyssière (1), Jean-Yves Flého (1)
et du personnel de la Station Expérimentale ITP de Villefranche de Rouergue,
de la Station Expérimentale porcine des Trinottières (CDA 49) et de la Station Nationale Porcine de Romillé.

Modes d'élevages alternatifs des porcs. Effets sur les performances de croissance, les qualités des carcasses et des viandes et l'aptitude à la transformation en jambons cuits et secs

L'objectif de l'étude était de comparer trois modes alternatifs d'engraissement (plein air - 150 m²/porc, sur paille - 1,3 m²/porc, cabane avec accès à une courette extérieure - 1,3 m²/porc) par rapport à un témoin en claustration sur caillebotis (0,65 m²/porc), en saisons d'été et d'hiver, sur les performances de croissance, les qualités des carcasses et des viandes, la composition chimique des muscles et l'aptitude à la transformation en jambons cuits et secs.

En été, les performances de croissance (vitesse de croissance, indice de consommation) sont similaires. En hiver, la vitesse de croissance des animaux plein air et courette est réduite, et l'indice de consommation augmenté dans les trois systèmes alternatifs. La composition des carcasses n'est pas significativement modifiée par le mode d'élevage. Dans nos conditions expérimentales, les jambons issus de porcs plein air, surtout l'hiver, présentent des pHu inférieurs et des taux de sucres supérieurs par rapport aux témoins. Ceci s'explique en partie par un moindre taux de mélange des porcs alternatifs lors de l'attente à l'abattoir, qui a modifié le comportement des animaux, comme le montre leur moindre nombre de griffures sur carcasses. Les rendements de transformation en jambon cuit sont inférieurs aux témoins, pour les trois modes alternatifs. Par contre, le mode d'élevage n'influence pas les pertes au séchage en fabrication de jambon sec. Les analyses sensorielles montrent une couleur plus homogène et moins de persillé pour les jambons secs issus de porcs plein air, alors que les porcs sur paille produisent des jambons plus persillés, plus huileux et de texture moins ferme, en relation avec les variations de composition chimique des muscles observées entre modes d'élevage.

Influence of alternative pig rearing systems on growth performance, carcass traits, meat quality and technological and eating quality of cooked and dry-cured hams

The aim of this study was to evaluate three alternative rearing systems for fattening pigs (outdoor with 150 m²/pig, straw litter with 1.3 m²/pig, hut and free access to a courtyard with 1.3 m²/pig) compared to a "conventional" system (fully slatted floor, 0.65 m²/pig considered as control) in summer and winter. We measured growth performance, carcass traits, meat quality, muscle composition and the technological and eating qualities of cooked and dry cured hams.

In the summer, growth performance (growth rate) and feed conversion ratio (FCR) were similar. In the winter, the growth rate of pigs reared outdoors and in courtyards was lower, and the FCR was increased in the three alternative systems. Carcass composition (lean meat content) was not modified by the rearing system.

The outdoor system led to a significantly lower ultimate pH in the ham, in particular during the winter, and higher levels of sugars in muscles, during both seasons. This may be partly explained by the fact that the outdoor pigs were mixed less during lairage at the slaughterhouse. Their behaviour may have been modified since we observed fewer scratches on the skin. The technological cooking yield of cooked ham was lower for the three alternative systems compared with controls. The processing yield of dry-cured hams was not influenced by the rearing system. Sensory evaluation showed that dry ham slices from outdoor pigs were redder and more homogeneous in colour with less marbling, whereas hams from pigs reared on straw bedding showed higher marbling, a more oily surface and a firmer texture than controls which was linked to the chemical composition of the muscles.

INTRODUCTION

Les modes d'élevage de porc pourraient tendre à se diversifier du fait du développement de productions sous cahiers des charges (porc Label Rouge, fermier "élevé en plein air", biologique, certifié...), de contraintes environnementales (élevage sur litière en substitution au caillebotis) et d'éventuelles réglementations relatives au bien-être animal (augmentation de la surface disponible par porc).

Les modes d'élevage alternatifs offrent un espace disponible par animal supérieur à celui de l'élevage conventionnel sur caillebotis. L'activité physique, le rapport de l'animal à son environnement, la confrontation à des conditions climatiques plus contrastées peuvent induire des modifications de comportement (dont le comportement alimentaire), de métabolisme, qui peuvent influencer les performances de croissance, la composition corporelle et musculaire, ainsi que la réactivité des animaux lors de la période pré-abattage qui conditionne en partie la qualité technologique des viandes. L'espace supérieur dans certains modes d'élevage alternatifs permettrait également d'augmenter la taille des groupes d'animaux et par conséquent de réduire le degré de mélange des porcs avant l'abattage, cause de combats entre animaux et qui explique une grande part de la variabilité de la qualité des viandes (TERLOUW et al, 2005).

L'objectif de cette étude est d'évaluer les conséquences de trois modes alternatifs d'engraissement (plein air, sur paille, cabane avec accès à une courette extérieure, associés à différentes tailles de groupes d'élevage) en comparaison à un témoin (en bâtiment sur caillebotis) sur les performances de croissance, la composition des carcasses, les critères de qualité de viande, la composition chimique des muscles, l'aptitude à la transformation en jambons cuits et secs et la qualité sensorielle des jambons secs. Ces résultats sont présentés dans cet article.

Des analyses visant à étudier l'effet du mode d'élevage sur le métabolisme musculaire et des indicateurs physiologiques de l'activité physique et/ou du stress pré-abattage (composés plasmatiques, hormones sanguines et urinaires) ont également été réalisées. Les résultats sont présentés dans un second article (FOURY et al, 2005).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

Des comparaisons deux à deux entre un mode d'élevage alternatif (en plein air, sur paille en bâtiment, ou en cabane avec accès à une courette extérieure) et le mode d'engraissement conventionnel sur caillebotis ont été réalisées, dans trois stations expérimentales disposant chacune d'un des trois modes d'élevage alternatif et du témoin sur caillebotis, pendant l'été 2003 et l'hiver 2004 selon le schéma expérimental décrit dans le tableau 1. Pour chaque mode d'élevage, les animaux étaient répartis en 1 (plein air), 2 (paille) ou 4 (caillebotis et courettes) sous-groupes pendant la phase d'élevage, et étaient regroupés à l'abattoir dans une case d'attente par mode d'élevage. Les animaux étaient abattus

aux abattoirs de La Guerche de Bretagne (porcs de Romillé et des Trinottières, 80 km de distance) et de ceux de Villefranche à l'abattoir de Rodez (60 km de distance).

1.2. Mesures effectuées

Au stade de l'élevage, les porcelets issus d'une même bande de maternité ont été pesés puis répartis en deux lots (caillebotis et alternatif) afin d'équilibrer le poids et le sex-ratio. L'aliment croissance-finition et le mode d'alimentation étaient identiques. Les porcs ont été pesés vers 70 kg et lors de la sortie des cases d'engraissement vers le local d'embarquement. Le typage halothane a été réalisé sur les animaux issus de verrats LW x P (FUJII et al, 1991). La quantité d'aliment distribuée et les refus ont été pesés. La température ambiante était enregistrée toutes les 15 minutes, dans chaque système.

A l'abattoir, le pH1 du muscle Demimembraneux (DM) a été mesuré en fin de chaîne d'abattage (entre 25 et 40 minutes après la saignée, selon l'abattoir). Le poids de carcasse, les épaisseurs de gras (G1, G2) et de muscle (M2) ainsi que la TVM ont été relevés.

Après 24 heures de ressuage, lors de la découpe des carcasses, le pH ultime des muscles Longissimus dorsi (LD) et DM et la couleur ($L^* a^* b^*$) du muscle fessier moyen (FM) ont été déterminés. Les griffures de plus de 3 cm de longueur ont été comptabilisées par demi-carcasse. Des échantillons de muscle Longissimus ont été prélevés sur 20 carcasses (choisies aléatoirement) par mode d'élevage, afin d'évaluer l'exsudat, la résistance au cisaillement (Warner-Bratzler), la couleur et la teneur en pigments hémiques.

Cinquante jambons par mode d'élevage ont été prélevés puis conditionnés pour transformation en jambon cuit supérieur tranché (Salaisons Fleury Michon, Pouzauges, 85). Un tri sur le pH ultime a été effectué pour satisfaire au mieux le cahier des charges du salaisonier ($pH_u > 5,60$). Lorsque l'on ne disposait pas de 50 jambons respectant ce critère, des jambons dont le pH_u était le plus proche de cette borne étaient retenus. Les rendements de cuisson et les pertes au tranchage des jambons cuits ont été établis pour chaque lot. Sur 20 jambons (choisis aléatoirement) par mode d'élevage, un échantillon de muscle DM a été prélevé au désossage, en vue de déterminer les teneurs en lipides, humidité, protéines, collagène, sucres solubles totaux, pigments et protéines salino-solubles permettant d'estimer le degré de dénaturation de la myosine (VADA-KOVACS, 1996). D'autre part, par mode d'élevage, 10 jambons parmi les plus lourds et les plus gras (en préservant le sex-ratio) ont été transformés en jambon sec (Salaison La Maison du jambon, Madrange, Albi, 82). Les rendements de fabrication et pertes au tranchage ont été calculés. Seuls les résultats concernant les jambons issus des lots plein air et paille et de leurs témoins sur caillebotis produits en été 2003 sont disponibles actuellement. Les caractéristiques sensorielles des jambons secs ont été évaluées au laboratoire d'analyse sensorielle du CTSCCV, par un jury composé de 14 experts, sélectionnés et entraînés selon les spécifications des normes NF ISO 8586-1 et 2. La composition chimique des jambons secs (teneur en lipides, humidité, protéines, azote non pro-

Tableau 1 - Schéma expérimental

Station expérimentale	Station Nationale Porcine de Romillé (Ille et Vilaine)		Station des Trinottières (Maine et Loire)		Station ITP de Villefranche de Rouergue (Aveyron)		
	Plein air (1 lot de 10 porcs)	Caillebotis (4 lots de 25 porcs)	Paille (2 lots de 25 porcs)	Caillebotis (4 lots de 10 porcs)	Cabane avec courette (4 lots de 10 porcs)	Caillebotis (4 lots de 10 porcs)	
Comparaisons deux à deux (nombre de lots en engraissement)							
Surface par animal (m ²)	150	0,65	1,3	0,65	1,3	0,65	
Effectif abattu	Eté 2003	37	39	44	37	33	34
	Hiver 2004	39	39	50	39	30	36
Age à l'abattage (j)	Eté 2003	161	161	163	163	173	173
	Hiver 2004	159	159	165	165	163	163
Type génétique ⁽¹⁾	des truies des verrats	LW x LR LW x P	LW x LR LW x P	LW x LR LW x P	LW x LR LW x P	LW x LR P 76	LW x LR P 76
Système d'alimentation	sec à volonté	sec à volonté	sec à volonté	sec à volonté	sec à volonté	sec à volonté	sec à volonté
Mise à jeun avant abattage	22 à 23 h	22 à 23 h	22 à 23 h	22 à 23 h	22 à 23 h	22 à 23 h	22 à 23 h

⁽¹⁾ LW = Large White, LR = Landrace, P = Piétrain, P76 = verrat Pen Ar Lan

téique (NPN), sucres solubles totaux et chlorures) a également été déterminée.

1.3. Traitement statistique

Les données ont été analysées avec le logiciel SAS. La procédure PROC MIXED a été utilisée pour les mesures répétées des pesées d'animaux vivants. Les données de composition de carcasse ont été analysées par analyse de variance (GLM) suivie d'une comparaison de moyenne par le test de Tukey (LSMEANS), en corrigeant les données pour l'effet du poids de carcasse (mis en covariable). Les données de qualité de viande ont été analysées par analyse de variance suivie du test de Tukey. Le pH1, l'exsudat, la luminance (L*) et la résistance au cisaillement ont été traités selon un modèle incluant l'effet du génotype au locus halothane (NN ou Nn).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances de croissance et qualité des carcasses selon le mode d'élevage et la saison

L'analyse des performances de croissance (tableau 2) montre que pour les séries d'été, les performances de croissance sont assez semblables entre porcs élevés sur caillebotis ou système alternatif. On observe toutefois une vitesse moyenne de croissance supérieure pour les animaux plein air (+ 50 g/j) non significative liée à une forte croissance en phase de finition. Les porcs plein air ou sur courette accusent un retard de croissance lors de la pesée intermédiaire, qui peut s'expliquer par une adaptation plus longue à leur environnement (système d'alimentation, d'abreuvement, coups de soleil, déplacements plus importants, variations de températures et luminosité au cours de la journée). Les porcs sur paille semblent s'adapter plus rapidement à leurs nouvelles conditions au regard des pesées intermédiaires. En été, les indices de consommation sont équivalents entre les groupes, quel que soit le mode d'élevage.

Pour les séries d'hiver, les performances de croissance des porcs en système alternatif se détériorent plus ou moins fortement selon les systèmes. Les porcs élevés en plein air et sur courette présentent une vitesse de croissance inférieure significative de près de 100 g/jour par rapport aux témoins sur caillebotis, alors que les porcs sur paille ont une croissance supérieure à celle des porcs sur caillebotis (+ 41 g/j, non significatif). L'efficacité alimentaire se détériore fortement avec des écarts d'indice de consommation de +0,13 (courette), +0,25 (plein air) à +0,43 (paille) kg d'aliment/kg de gain de poids, suite à l'augmentation de la consommation alimentaire avec la diminution de la température ambiante (LE DIVIDICH et al, 1998). En systèmes alternatifs, les variations nyctémérales de la température ambiante influencent le comportement alimentaire des animaux. En période estivale, les porcs s'alimentent surtout pendant les heures les plus fraîches (le soir, la nuit ou le matin). Inversement en hiver, les porcs s'alimentent plutôt en fin de matinée. Les indices de consommations relevés dans l'élevage sur paille sont élevés (une dérive des automates de pesée n'est pas à exclure). Un rationnement et/ou un sexage des animaux sur paille pourraient contribuer à limiter l'écart d'indice de consommation (nos observations étant réalisées en alimentation à volonté).

Comme dans notre étude, les données de la littérature montrent des résultats variés concernant l'effet du mode d'élevage sur les performances de croissance. GENTRY et al (2002) ne rapportent pas d'influence significative de l'élevage plein air sur la vitesse de croissance en conditions climatiques tempérées (printemps-été), alors que ENFALT et al (1997) et BEE et al (2004) notent une moindre vitesse de croissance des porcs élevés en plein air l'hiver, en particulier en conditions climatiques sévères (ENFALT et al, 1997).

Nous n'observons pas de différences significatives de composition de la carcasse (épaisseurs de lard et muscle, teneur en viande maigre) entre modes d'élevage (tableau 2). Toutefois, si la TVM des carcasses des porcs plein air est

équivalente à celle des porcs élevés sur caillebotis en été, elle tend à être supérieure en hiver ($P=0,10$). La littérature rapporte des résultats contradictoires à ce sujet : certaines études montrent une augmentation (GENTRY et al, 2002, LEBRET et al, 2004), d'autres une réduction (ENFALT et al, 1997 ; BEE et al, 2004) de l'adiposité corporelle des porcs élevés en plein air ou avec un accès extérieur, en relation avec les conditions climatiques auxquelles sont soumis les animaux.

Les rendements en carcasse sont significativement plus faibles pour les porcs élevés en plein air (été) et sur paille (hiver), mais plus élevés pour les porcs sur paille l'été. La consommation d'herbe et de paille, variable selon la saison, peut augmenter l'encombrement intestinal et le poids des viscères. L'aspect des carcasses à l'abattoir est significativement différent entre les porcs élevés en plein air et sur caillebotis, et dans une moindre mesure sur paille et courette : le nombre de griffures liées aux bagarres et chevauchements

Tableau 2 - Performances de croissance, qualité des carcasses et températures d'élevage selon les modes d'élevage et la saison

Comparaison plein air – caillebotis (station nationale porcine de Romillé)								
Série	Série d'été 2003		Série d'hiver 2004		Sign. (Proc MIXED) *			
Mode d'élevage	Plein air	Caillebotis	Plein air	Caillebotis	Série (S)	Mode (M)	S*M	
Poids des porcs à la mise en lot, kg	37,8 ^a	38,5 ^a	30,3 ^b	31,1 ^b	0,0001	0,0001	0,0003	
Poids intermédiaire en élevage, kg	76,3 ^a	84,7 ^b	72,2 ^c	82,7 ^b				
Poids moyen final vif, kg	118,1 ^a	114,4 ^a	105,8 ^b	116,2 ^a				
					Sign. (Proc GLM)			
					ETR	Série (S)	Mode (M)	S*M
Poids de la carcasse, kg	90,3 ^{ac}	89,6 ^a	80,8 ^b	89,4 ^a	6,7	0,0001	0,004	0,0002
Vitesse de croissance, g/j	875 ^a	825 ^a	830 ^a	935 ^b	87	0,01	0,04	0,0001
Indice de consommation, kg/kg	2,73	2,78	3,05	2,8	-	-	-	-
TVM	60,9 ^b	61,3 ^b	60,8 ^{ab}	59,0 ^a	2,5	0,01	NS	0,02
Épaisseur de lard G1, mm	15,4 ^a	15,7 ^a	16,4 ^b	18,7 ^b	3,1	0,001	0,05	0,09
Épaisseur de lard G2, mm	15,4 ^a	15,0 ^a	16,2 ^{ab}	17,8 ^b	3,4	0,006	NS	NS
Épaisseur de muscle M2, mm	56,7	58,3	58,8	55,8	4,9	NS	NS	0,02
Rendement en carcasse, % **	76,2	77,5	76,7	76,8	2,1	NS	NS	0,007
Nb de griffures de + 3 cm	5,2 ^a	12,8 ^b	5,8 ^a	22,6 ^c	12,4	0,01	0,0001	0,02
Température ambiante, °C								
moyenne	14,4	23,6	7,2	23,3				
minimum	-1,4	21,1	-2,5	21,9	-	-	-	-
maximum	44,6	30,9	28,9	25,3				
écart type ()	(7)	(1,6)	(3,7)	(0,5)				
Comparaison paille – caillebotis (station des Trinottières)								
Série	Série d'été 2003		Série d'hiver 2004		Sign. (Proc MIXED) *			
Mode d'élevage	Paille	Caillebotis	Paille	Caillebotis	Série (S)	Mode (M)	S*M	
Poids des porcs à la mise en lot, kg	25,8 ^{ab}	24,8 ^a	25,5 ^{ab}	25,9 ^b	0,0001	NS	NS	
Poids intermédiaire en élevage, kg	72,3 ^b	68,1 ^a	73,3 ^b	71,0 ^{ab}				
Poids moyen final vif, kg	99,9 ^a	102,7 ^a	113,5 ^b	110,1 ^b				
					Sign. (Proc GLM)			
					ETR	Série (S)	Mode (M)	S*M
Poids de la carcasse, kg	80,1 ^a	81,9 ^a	86,4 ^b	84,5 ^b	7,1	0,0002	NS	NS
Vitesse de croissance, g/j	778 ^a	820 ^{ab}	803 ^{ab}	762 ^b	76	NS	NS	0,002
Indice de consommation, kg/kg	2,73	2,78	3,60	3,17	-	-	-	-
TVM	60,1 ^a	60,2 ^a	58,6 ^b	59,4 ^b	2,1	0,002	NS	NS
Épaisseur de lard G1, mm	17,0 ^a	17,0 ^a	19,2 ^b	18,2 ^b	2,9	0,001	NS	NS
Épaisseur de lard G2, mm	16,0 ^a	16,0 ^a	17,7 ^b	16,8 ^{ab}	2,7	0,008	NS	NS
Épaisseur de muscle M2, mm	55,3	55,7	54,0	56,0	4,9	NS	NS	NS
Rendement en carcasse, % **	78,4 ^c	77,1 ^b	75,7 ^a	76,7 ^b	1,6	0,0001	NS	0,0001
Nb de griffures de + 3 cm	9,6 ^a	17,9 ^b	12,1 ^a	9,4 ^a	9,6	0,06	0,07	0,0005
Température ambiante, °C								
moyenne	21,5	25,8	11,2	24,1				
minimum	3,5	21,9	1,8	14,3	-	-	-	-
maximum	37,2	35,6	19,6	25,9				
écart type ()	(5,3)	(1,6)	(4,4)	(0,8)				

Tableau 2 (suite) - Performances de croissance, qualité des carcasses et températures d'élevage selon les modes d'élevage et la saison

Comparaison Courette extérieure – Caillebotis (station de Villefranche de Rouergue)								
Série	Série d'été 2003		Série d'hiver 2004		Sign. (Proc MIXED)*			
Mode d'élevage	Courette	Caillebotis	Courette	Caillebotis	Série (S)	Mode (M)	S*M	
Poids des porcs à la mise en lot, kg	29,7 ^{a***}	29,7 ^a	28,1 ^b	28,2 ^b	0,0001	0,0001	NS	
Poids intermédiaire en élevage, kg	62,0 ^a	68,2 ^b	67,9 ^b	70,0 ^b				
Poids moyen final vif, kg	100,7 ^a	103,0 ^{ab}	105,6 ^b	112,7 ^c				
					Sign. (Proc GLM)			
					ETR	Série (S)	Mode (M)	S*M
Poids de la carcasse, kg	79,5 ^a	82,4 ^a	81,9 ^a	88,9 ^b	6,8	0,0002	0,0001	0,09
Vitesse de croissance, g/j	740 ^a	762 ^a	776 ^a	880 ^b	84	0,0001	0,0001	0,005
Indice de consommation, kg/kg	2,59	2,59	2,71	2,58	-	-	-	-
TVM	60,3	61,3	61,6	61,2	2,3	NS	NS	0,07
Épaisseur de lard G1, mm	16,5	14,8	15,7	16,3	3,1	NS	NS	0,03
Épaisseur de lard G2, mm	14,7	13,4	13,8	14,3	2,9	NS	NS	0,07
Épaisseur de muscle M2, mm	53,1 ^a	53,1 ^a	55,8 ^b	56,3 ^{ab}	4,1	0,0002	NS	NS
Rendement en carcasse, % **	79,2 ^{bc}	80,0 ^c	77,8 ^a	78,3 ^{ab}	1,3	0,0001	0,007	NS
Nb de griffures de + 3 cm	17,6 ^a	15,6 ^{ab}	9,4 ^b	19,0 ^a	13,6	NS	NS	0,01
Température ambiante, °C								
moyenne	22,7	28	6,1	22,7				
minimum	8,4	23,2	-7,2	15,8	-	-	-	-
maximum	42,4	40	20,6	24,9				
écart type ()	(7)	(3,7)	(5)	(0,7)				

* Sign. : valeur de P ; NS : P > 0,10

ETR : écart-type résiduel, () écart-type

** rapport poids froid/poids vif

*** 2 moyennes affectées d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de risque d'erreur de 5 %

est en moyenne sur les deux saisons, trois fois moins important pour les animaux plein air comparativement à leurs témoins sur caillebotis. Les porcs sur paille et courette présentent moins de griffures que leurs congénères sur caillebotis ; cependant les écarts sont moindres que dans la comparaison plein air - caillebotis. Ceci peut s'expliquer par le fait que les porcs plein air et sur paille sont élevés en groupes importants, et pas (plein air) ou peu (paille) mélangés pendant la phase d'attente à l'abattoir, contrairement aux porcs élevés sur courette et caillebotis.

2.2. Critères de qualité de la viande et composition chimique des muscles

La vitesse de chute du pH, reflet du stress pré-abattage et appréciée par le pH1, n'est pas statistiquement différente entre les modes de production alternatif et conventionnel (tableau 3), en accord avec VAUTIER et al (2003) et LEBRET et al (2004).

On observe des différences hautement significatives sur le pH ultime du DM selon le mode d'élevage dans nos conditions expérimentales. Le système bâtiment conduit systématiquement à un pHu moyen plus élevé avec un effet très marqué en hiver comparativement au plein air (-0,27) et à la paille (-0,21). En été, les écarts entre porcs plein air et témoins sont significatifs (-0,18 unité), alors que les valeurs moyennes ne sont pas statistiquement différentes entre porcs sur paille ou courette et leurs témoins respectifs. Les diffé-

rences de pHu des longues selon le mode d'élevage suivent les mêmes tendances, avec toutefois des écarts plus réduits, voire nuls dans certains cas (élevage sur paille, été et hiver).

Un effet similaire, mais moindre, du mode d'élevage alternatif sur le pH ultime des viandes a déjà été observé : -0,08 (LEBRET et al, 2004) à -0,12 (VAUTIER et al, 2003) unités pH sur le muscle Semimembraneux de porcs élevés sur paille avec accès extérieur et plein air, respectivement, comparativement au caillebotis. Sur le muscle Longissimus, des écarts (jusqu'à - 0,08 unité pH) ont été rapportés (ENFALT et al, 1997 ; LAMBOOIJ et al, 2004 ; TERLOUW et al, 2004) alors que d'autres études ne montrent aucun effet significatif (GENTRY et al, 2002 ; BEE et al, 2004 ; LEBRET et al, 2004).

Le pH ultime de la viande dépend des réserves musculaires en glycogène à l'abattage. Ainsi, une partie de l'écart de pHu observé ici entre porcs alternatifs et conventionnels peut s'expliquer par le taux de mélange plus élevé des porcs conventionnels pendant la phase d'attente à l'abattoir (surtout pour le témoin dans la comparaison plein air - caillebotis). Les combats plus fréquents (comme le montre le nombre de griffures sur carcasses plus élevé) augmentent l'activité physique et/ou le stress de ces animaux et conduisent à une plus grande consommation de glycogène musculaire avant l'abattage et, in fine, un pH ultime des viandes plus élevé (FOURY et al, 2005). Outre l'effet du taux de mélange, une moindre agressivité des porcs issus d'élevages alternatifs a

contribué à la moindre dépense énergétique du muscle, comme observé dans d'autres études (TERLOUW et al, 2004 ; BARTON-GADE, 2004).

On constate des différences significatives d'exsudat du muscle LD uniquement chez les porcs plein air d'hiver, en accord avec le pHu inférieur.

La luminance (L*) des jambons des porcs plein air et courette produits en hiver est significativement augmentée (viande

plus claire), en accord avec les écarts de pHu rapportés, alors que la luminance de la longe n'est pas significativement influencée par le mode d'élevage. Les porcs produits en plein air (et sur paille l'hiver, dans une moindre mesure) présentent des jambons et des longes de couleur rouge (a*) et jaune (b*) plus intense, en accord avec LEBRET et al (2004).

La force de cisaillement de la longe après cuisson est significativement augmentée pour les porcs sur paille d'hiver, alors que les écarts ne sont pas significatifs dans les autres com-

Tableau 3 - Qualité de la viande et composition chimique selon le mode d'élevage et la saison (muscles de la longe (LD) ou du jambon (DM))

Comparaison plein air – caillebotis (station nationale porcine de Romillé)									
Série (S)	série d'été 2003		série d'hiver 2004		ETR	Sign. (Proc GLM)*			
Mode d'élevage (M)	plein air	caillebotis	plein air	caillebotis		Série (S)	Mode (M)	S * M	
pH1 du jambon (DM)	6,25	6,34	6,28	6,30	0,17	NS	NS	NS	
pH24 du jambon (DM)	5,60 ^{***}	5,78 ^b	5,58 ^a	5,85 ^b	0,19	NS	0,0001	NS	
pH24 de la longe (LD)	5,59 ^a	5,73 ^b	5,54 ^a	5,79 ^b	0,20	NS	0,0001	NS	
% d'exsudat de la longe	4,67 ^{bc}	3,74 ^{abc}	5,03 ^c	3,20 ^a	1,5	NS	0,002	NS	
Couleur jambon (FM)	L*	49,3 ^a	48,8 ^a	48,3 ^a	43,6 ^b	3,1	0,0001	0,0001	0,0006
	a*	11,9 ^a	9,6 ^b	9,5 ^{cb}	7,6 ^d	1,7	0,0001	0,0001	NS
	b*	8,8 ^a	7,2 ^b	3,9 ^c	2,6 ^d	1,2	0,0001	0,0001	NS
Couleur longe (LD) à J1	L*	50,1	50,5	-	-	3,0	-	NS	-
	a*	6,0 ^a	3,7 ^b	-	-	1,3	-	0,001	-
	b*	7,3 ^a	5,1 ^b	-	-	1,5	-	0,0001	-
Force cisaillement longe cuite, N	-	-	40,7	34,8	10,7	-	NS	-	
Lipides DM, %	3,27	3,18	2,70	3,17	0,83	NS	NS	NS	
Humidité DM, %	72,9 ^a	73,7 ^b	74,1 ^b	73,8 ^b	0,70	0,001	NS	0,002	
Protéines DM, %	22,6 ^a	21,9 ^b	22,1 ^b	22,0 ^b	0,60	NS	0,004	0,04	
Collagène DM, %	0,63	0,69	0,64	0,69	0,11	NS	0,04	NS	
Sucres solubles totaux DM, %	0,32 ^a	0,23 ^b	0,37 ^a	0,32 ^a	0,08	0,0002	0,0004	NS	
Teneur pigment LD, mg/100g	1,50 ^a	1,63 ^a	2,23 ^b	2,00 ^b	0,32	0,0001	NS	0,01	
Teneur pigment DM, mg/100g	1,84 ^{ab}	1,63 ^a	2,28 ^c	2,09 ^{bc}	0,40	0,0001	0,03	NS	
Protéines salino solubles, %	45,6	51,3	43,7	52,1	7,1	NS	0,0005	NS	
Comparaison paille - caillebotis (station des Trinottières)									
Série	Série d'été 2003		série d'hiver 2004		ETR	Sign. (Proc GLM)*			
Mode d'élevage	Paille	caillebotis	paille	caillebotis		Série (S)	Mode (M)	S * M	
pH1 du jambon (DM)	6,41 ^a	6,43 ^a	6,29 ^{cb}	6,35 ^{ab}	0,20	0,001	NS	NS	
pH24 du jambon (DM)	5,65 ^a	5,70 ^a	5,69 ^a	5,90 ^b	0,18	0,0001	0,0001	0,005	
pH24 de la longe (LD)		5,61	5,61	5,65	5,66	0,13	0,09	NS	
NS									
% d'exsudat de la longe	3,45 ^a	3,59 ^{ac}	5,73 ^b	4,80 ^{bc}	1,6	0,0001	NS	NS	
Couleur jambon (FM)	L*	47,9 ^{ab}	48,7 ^a	47,6 ^{ab}	46,1 ^b	3,8	0,02	NS	0,07
	a*	7,2 ^b	6,6 ^{ab}	7,7 ^b	6,4 ^a	1,2	NS	0,0001	0,10
	b*	3,3 ^a	3,3 ^a	3,2 ^a	2,4 ^b	0,9	0,004	0,01	0,01
Couleur longe (LD) à J1	L*	52,3 ^{ab}	51,6 ^{ab}	50,0 ^b	52,7 ^a	3,3	NS	NS	0,03
	a*	4,0	3,3 ^{ab}	4,1 ^a	3,1 ^b	1,0	NS	0,0002	NS
	b*	3,9	4,6	4,2	4,5	1,1	NS	0,04	NS
Force cisaillement longe cuite, N	-	-	40,9 ^a	33,2 ^b	9,8	-	0,03	-	
Lipides DM, %	3,34 ^{ab}	2,84 ^b	4,13 ^a	3,31 ^{ab}	1,16	0,02	0,02	NS	
Humidité DM, %	73,5 ^a	74,1 ^a	72,1 ^b	73,5 ^a	1,0	0,0001	0,0001	NS	
Protéines DM, %	21,9	21,8	22,2	22,0	0,6	NS	NS	NS	
Collagène DM, %	0,78	0,80	0,82	0,83	0,13	NS	NS	NS	
Sucres solubles totaux DM, %	0,28 ^a	0,25 ^a	0,34 ^b	0,28 ^{ab}	0,08	0,02	0,01	NS	
Teneur pigment LD, mg/100g	1,26 ^a	1,26 ^a	2,24 ^c	1,82 ^b	0,29	0,0001	0,002	0,002	
Teneur pigment DM, mg/100g	1,86 ^b	1,40 ^a	2,60 ^d	2,30 ^c	0,33	0,0001	0,0001	NS	
Protéines salino solubles, %	53,2	46,6	47,0	46,0	6,2	NS	NS	NS	

Tableau 3 (suite) - Qualité de la viande et composition chimique selon le mode d'élevage et la saison (muscles de la longe (LD) ou du jambon (DM))

Comparaison courette - caillebotis (station de Villefranche de Rouergue)									
Série (S)	série d'été 2003		série d'hiver 2004		ETR	Sign. (Proc GLM)*			
Mode d'élevage (M)	courette	caillebotis	courette	caillebotis		Série (S)	Mode (M)	S * M	
pH1 du jambon (DM)	6,30 ^a	6,36 ^a	6,30 ^a	6,22 ^b	0,18	0,03	NS	0,03	
pH24 du jambon (DM)	5,63	5,68	5,63	5,69	0,18	NS	NS	NS	
pH24 de la longe (LD)	-	-	5,55 ^a	5,68 ^b	0,22	-	0,02	-	
% d'exsudat de la longe	3,41 ^a	2,53 ^a	4,97 ^b	4,73 ^b	1,5	0,0001	NS	NS	
Couleur jambon (FM)	L*	49,2 ^a	47,0 ^{ab}	49,0 ^a	45,1 ^b	4,0	NS	0,0001	NS
	a*	7,1 ^a	7,2 ^a	6,3 ^b	7,3 ^a	1,6	NS	0,06	0,10
	b*	3,0 ^a	2,7 ^{ab}	2,7 ^{ab}	2,2 ^b	1,1	0,05	0,05	NS
Couleur longe (LD) à J1	L*	50,6 ^a	48,9 ^{ab}	52,3 ^{ab}	49,8 ^a	3,4	0,09	0,01	NS
	a*	4,1 ^{ab}	4,1 ^{ab}	3,6 ^b	4,7 ^a	1,0	NS	0,03	0,03
	b*	3,9 ^{ab}	3,3 ^b	4,2 ^a	4,2 ^a	1,0	0,01	NS	NS
Force cisaillement longe cuite, N	-	-	42,7	42,9	9,4	-	NS	-	
Lipides DM, %	2,78	2,37	2,74	2,77	0,93	NS	NS	NS	
Humidité DM, %	74,1 ^{ab}	74,8 ^a	74,0 ^{ab}	73,7 ^{ab}	1,0	0,01	NS	0,04	
Protéines DM, %	21,9 ^a	21,6 ^a	22,3 ^b	22,6 ^b	0,5	0,0001	NS	0,02	
Collagène DM, %	0,99 ^a	1,01 ^a	0,74 ^b	0,80 ^b	0,11	0,0001	NS	NS	
Sucres solubles totaux DM, %	0,36 ^a	0,25 ^b	0,36 ^a	0,30 ^{ab}	0,10	NS	0,001	NS	
Teneur pigment LD, mg/100 g	0,77 ^a	0,72 ^a	1,72 ^b	2,08 ^c	0,19	0,0001	0,0007	0,0001	
Teneur pigment DM, mg/100 g	0,77 ^a	1,10 ^a	1,57 ^b	2,35 ^c	0,51	0,0001	0,0001	0,07	
Protéines salino solubles, %	54,4	59,2	-	-	8,1	NS	NS	NS	

* Sign. : valeur de P ; NS : P>0,10 ;

ETR : écart-type résiduel.

** : 2 moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au risque d'erreur de 5 %

paraisons. La teneur en lipides du DM n'est pas significativement influencée par le mode d'élevage, malgré des écarts moyens parfois élevés entre groupes. L'absence d'effet sur ce critère peut être lié au fait que le mode d'élevage n'influence pas l'adiposité corporelle dans notre étude. Dans ce muscle, la teneur en protéines est accrue et la teneur en eau réduite pour les porcs plein air d'été, alors que ces critères ne sont pas modifiés dans les autres comparaisons. Le mode d'élevage alternatif n'influence pas la teneur en collagène du DM, mais accroît la teneur en sucres solubles totaux, en particulier pour les porcs plein air et courette (été). La teneur en sucres solubles étant positivement corrélée avec le potentiel glycolytique ($r=0,49$; $p<0,0001$) et négativement avec le pHu du DM ($r=-0,49$; $p<0,0001$), cet effet s'explique sans doute par les variations de potentiel glycolytique observées dans ce muscle à l'abattage, et dans le degré de dégradation post-mortem du glycogène (FOURY et al, 2005). L'augmentation significative pour les porcs sur paille en hiver des teneurs en pigments des muscles LD et DM peut s'expliquer par une activité physique supérieure des animaux, qui modifie le métabolisme musculaire (FOURY et al, 2005), et/ou l'ingestion d'herbe et de paille. A l'inverse les porcs sur courette présentent significativement moins de pigments en hiver. Les résultats concernant les protéines salino-solubles montrent que quelle que soit la saison étudiée, la dénaturation des myosines est plus importante pour les porcs plein air comparativement au caillebotis, en particulier en saison d'hiver en liaison avec les pH plus bas (BOUTTEN, 2002). En système paille, une différence est observée uniquement pour la série d'été avec une dénaturation supérieure pour l'élevage témoin sur caillebotis.

2.3. Aptitude à la transformation en jambon cuit

Le rendement technologique de ce type de transformation est fortement influencé par le niveau moyen du pH ultime (ALVISET et al, 1995 ; MINVIELLE et al, 2002). Conformément aux pHu inférieurs mesurés chez les animaux élevés en systèmes alternatifs, on observe quelle que soit la saison, des rendements technologiques inférieurs dans ces groupes, comparativement aux porcs produits sur caillebotis (tableau 4). Les rendements technologiques sont les plus fortement diminués dans le cas d'une production plein air d'hiver (- 5,9 %). L'élevage sur paille, intermédiaire par rapport aux systèmes plein air et courette en terme d'écart de pHu par rapport au caillebotis, conduit aux plus faibles pertes de rendement technologique.

L'analyse des pertes au tranchage (pourcentage de tranches déchirées, avec trous, pommades et persillées) pour les séries d'été met systématiquement en évidence moins de pertes pour les systèmes de production alternatifs. A ce jour, les pertes au tranchage s'expliquent essentiellement par des pHu bas et des viandes déstructurées (BOUFFAUD et al, 2002 ; MINVIELLE et al, 2002). La notation de déstructuration des viandes n'a pas été réalisée sur la bande d'été. En hiver, nous n'avons pas relevé de viandes déstructurées lors du désossage, quel que soit le système d'élevage. Les résultats de tranchage sont cependant à examiner avec précaution car nous ne disposons que d'une répétition par saison et le tranchage des lots en pains de jambons de 20 kg nous prive des variations individuelles de qualité des jambons. De plus, il suffit de quelques muscles atteints par le défaut

Tableau 4 - Effet du mode d'élevage sur l'aptitude des jambons à la transformation en jambons cuits

Résultats de la transformation en jambons cuits et tranchage		
	été 2003	hiver 2004
Différences de rendement technologique en jambon cuit (en point %)		
- entre le mode plein air et caillebotis	- 1,75	- 5,85
- entre le mode paille et caillebotis	- 0,89	- 1,72
- entre le mode courette et caillebotis	- 2,97	- 2,96
Pertes totales au tranchage liées à la qualité de la matière 1 ^{ère} (% de tranche avec trous, déchirées, pommades et persillées)		
plein air / caillebotis	2,62 / 8,9	2,52 / 0,64
paille / caillebotis	4,83 / 10,33	1,24 / 2,05
courette / caillebotis	1,22 / 2,41	7,09 / 3,45
Différences de rendement globale de transformation		
- entre le mode plein air et caillebotis	+ 0,95	- 2,98
- entre le mode paille et caillebotis	+ 4,83	- 1,75
- entre le mode courette et caillebotis	+ 1,64	- 2,51

déstructuré et répartis dans l'ensemble du pain tranché pour produire des tranches défectueuses. A ce stade des connaissances, nous ne pouvons pas conclure formellement quant à l'effet de l'élevage alternatif sur une réduction des pertes au tranchage, constatée en été uniquement.

2.4. Aptitude à la transformation en jambons secs et qualité sensorielle des jambons

A matière première équivalente en terme de poids des jambons à la mise au sel et épaisseur de lard, nous n'observons pas de différences significatives sur les pertes cumulées en fin de séchage ou au tranchage (tableau 5).

Pour les jambons issus des animaux élevés en plein air, l'évaluation sensorielle met en évidence des différences significatives pour quatre descripteurs. Leur couleur rouge est plus homogène; ils sont moins persillés; la surface des tranches est jugée plus huileuse et l'arôme de viande séchée est moins prononcé. Ces résultats concordent avec l'analyse de composition qui montre que ces jambons sont plus humides et moins gras. La surface plus huileuse est vraisemblablement liée aux effets de la température d'élevage sur la composition en acides gras de la viande (augmentation du degré d'insaturation des lipides avec la réduction de température ambiante, LEBRET et al, 2002).

Pour les jambons issus des animaux élevés sur paille, l'évaluation sensorielle met en évidence des différences significatives pour cinq descripteurs. La surface des tranches est jugée plus huileuse et leur texture plus ferme. Le persillé et la sensation de gras en bouche sont jugés plus intenses, et l'odeur de chips moins prononcée. Ces observations sont à relier aux teneurs supérieures en lipides et inférieures en chlorures (tendance). Le plus faible taux de protéines de ces jambons est difficile à interpréter.

CONCLUSION

Dans nos conditions expérimentales, comparativement au système d'élevage conventionnel en bâtiment, les performances de croissance et d'indice de consommation des

porcs élevés en systèmes alternatifs plein air, paille et courette sont similaires, voire meilleures en été dans le cas du système plein air (GMQ). En hiver, le système paille conserve de très bonnes performances de croissance, contrairement aux systèmes plein air et courette, où les animaux sont plus exposés aux aléas climatiques. D'un point de vue économique les indices de consommation sont fortement augmentés, par ordre d'importance décroissante pour les systèmes paille, plein air et courette.

La composition de la carcasse varie peu avec le mode d'élevage, cependant on note une tendance envers des animaux plus maigres en plein air et plus gras sur paille, en saison d'hiver. L'augmentation des tailles de groupe en élevage alternatif offre la possibilité d'éviter le mélange des animaux avant abattage. Par conséquent, les carcasses des porcs plein air présentent très peu de griffures sur couenne. Les plus importantes différences en terme de qualité de viande concernent le pH ultime et le taux de sucres solubles des muscles du jambon. Les porcs plein air produisent des jambons à plus bas pHu et taux de sucres solubles supérieurs comparativement aux témoins, surtout en saison d'hiver. On observe le même effet, bien que moins marqué, pour les animaux produits sur paille, alors qu'il n'y a pas de différences significatives pour les porcs élevés sur courette, comparativement au caillebotis. L'effet du mode d'élevage sur le pHu est moins marqué sur la longe que sur le jambon. Ces résultats peuvent s'expliquer par une moindre activité physique (combats) avant l'abattage et une teneur de base en glycogène musculaire supérieure chez les porcs élevés en systèmes alternatifs.

Les rendements de transformation en jambon cuit sont inférieurs en système alternatif comparativement au témoin, alors que l'élevage alternatif n'influence pas les pertes au séchage ou au tranchage des jambons secs. L'analyse sensorielle met en évidence une couleur plus rouge et plus homogène et un aspect moins persillé pour les jambons secs issus d'animaux élevés en plein air, alors que les jambons secs issus du système paille sont jugés plus persillés, plus huileux et de texture moins ferme. Ainsi, ce mode de transformation permet de bien valoriser les viandes issues d'animaux élevés en systèmes alternatifs.

Tableau 5 - Effet du mode d'élevage sur l'aptitude des jambons à la transformation en jambons secs

Mode d'élevage	Plein air	Caillebotis	ETR	sign. ^a	Paille	Caillebotis	ETR	sign. ^a
Effectif (en nombre de jambons)	10	10	-	-	10	10	-	-
Poids mise au sel (kg)	10,57	10,47	0,34	NS	9,51	9,55	0,53	NS
Épaisseur de lard (en mm)	12,00	12,80	3,59	NS	12,9	15,3	4,38	NS
Pertes cumulées à 8 mois (%)	28,69	29,61	0,95	NS	30,63	30,54	1,08	NS
Pertes au tranchage (%)	7,43	7,13	-	-	8,70	8,33	-	-
Effectif (nombre de jambons dégustés)	6	6			6	6		
Aspect de la tranche dégustée								
- intensité de la couleur	4,2	4,2	0,87	NS	4,4	4,3	0,90	NS
- homogénéité de la couleur	5,2	4,7	1,24	0,008	4,8	4,9	1,49	NS
- parage	3,8	4,4	2,34	NS	5,8	5,5	1,92	NS
- persillage	2,6	4,1	1,43	0,0001	3,2	2,6	1,68	0,03
- surface huileuse	3,4	2,7	0,95	0,0001	3,2	2,5	1,02	0,0001
Texture								
- facilité pour la coupe au couteau	3,5	3,2	1,94	NS	4,3	4,5	1,87	NS
- élasticité	2,5	2,8	1,36	NS	3,3	3,4	1,69	NS
- croquant	1,9	1,9	1,21	NS	2,6	3,0	1,65	NS
- juteux	1,9	2,1	0,93	NS	2,1	1,9	1,05	0,09
- fermeté	3,0	3,0	0,92	NS	3,3	4,0	1,45	0,004
- sensation grasse	3,5	3,3	0,92	NS	3,4	3,0	0,98	0,03
Odeur								
- fruitée	2,9	2,9	1,42	NS	2,9	2,7	1,55	NS
- d'emmental	3,3	3,0	1,69	NS	3,2	2,8	1,85	NS
- de chips	2,2	2,7	1,87	0,09	2,3	3,3	2,00	0,0002
Saveur								
- salée	5,6	5,6	0,71	NS	5,7	5,9	0,87	NS
Arôme								
- de gras	3,6	3,6	0,90	NS	3,4	3,5	0,79	NS
- de porc	4,9	5,0	0,53	NS	5,1	5,1	0,60	NS
- de viande séchée	3,8	4,3	1,20	0,01	4,4	4,6	1,39	NS
- fruité	3,0	2,8	1,05	NS	2,8	2,5	1,17	0,09
- métallique, sang, viande fraîche	2,6	2,5	1,49	NS	2,2	2,2	1,36	NS
Effectif (nombre de jambons analysés)	6	6			6	6		
Composition (%)								
- Humidité	57,8	54,6	1,66	0,005	56,6	55,0	1,02	NS (0,12)
- Lipides	7,5	10,3	1,69	0,02	8,6	7,4	1,31	NS (0,11)
- HPD	62,5	60,9	2,52	NS	62,0	59,6	1,95	0,04
- Protides	27,2	27,3	2,10	NS	26,5	28,6	1,92	0,04
- NPN (azote non protéique)	12,0	12,7	1,70	NS	9,6	9,9	1,71	NS
- Sucres solubles	0,27	0,30	0,02	NS	0,34	0,32	0,04	NS
- Chlorures	6,5	6,9	0,54	NS	7,0	7,7	0,72	0,09

^a sign. Valeur de P ; NS : P > 0,10

ETR : écart-type résiduel.

HPD : humidité produit dégraissé

Les notes obtenues pour chaque descripteur correspondent à la moyenne des notes de 14 dégustateurs experts.

Les descripteurs saveur sucrée, arôme de saucisson sec, arôme de camembert, arôme piquant, arôme mûré, arôme de vieux et arôme de viande des grisons ont été retirés de l'analyse car les moyennes des notes obtenues par élevage étaient inférieures ou égales à 1,1.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'abattoir Gatine Viandes et les sociétés Fleury Michon et Madrange. Cette étude a été réalisée

dans le cadre de l'appel d'offres ACTA financé par le BCRD géré par le Ministère de l'Agriculture.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALVISET G., BRAUD J., VIDAL E., 1995. Bull. Liaison CTSCCV, 5 (1), 10-24.
- BEE G., GUEX G., HERZOG W., 2004. J. Anim. Sci., 82, 1206-1218.
- BARTON-GADE P. 2004. Proc. EU Workshop "Sustainable Pork Production : Welfare, Quality, Nutrition and Consumer Attitudes", Copenhagen, Danemark, 17-18/06. Pp 102-112.
- BOUFFAUD M., DESAUTES-SAWADOGO C., TRIBOUT T., BOULARD J., LAGANT H., COUDURIER B., SELLIER P., 2002. Journées Rech. Porcine, 34, 1-6.
- BOUTTEN B., 2002. Bulletin de Liaison du CTSCCV, 12 (3), 15-21
- ENFÄLT A.C., LUNDSTRÖM K., HANSSON I., LUNDEHEIM N., NYSTRÖM P.E., 1997. Meat Science, 45, 1-15.
- FOURY A., LEBRET B., CHEVILLON P., VAUTIER A., GUILLARD A.S., MORMEDE P., 2005. Journées Rech. Porcine, 37, 91-98.
- FUJII J., OTSU, K., ZORZATO F., DE LEON S., KHANNA V.K., WEILER J.E., O'BRIEN P.J., MACLENNAN D.H., 1991. Science, 253, 448-451.
- GENTRY J.G., McGLONE J.J., MILLER M.F., BLANTON Jr J.R., 2002. J. Anim. Sci., 80, 1707-1715.
- LAMBOOIJ E., HULSEEGE B., KLONT R.E., WINKELMAN-GOEDHART H.A., REIMERT H.G.M., KRANEN R.W., 2004. Meat Science, 66, 855-862.
- LE DIVIDICH J., NOBLET J., HERPIN P., VAN MILGEN J., QUINIQUIN N., 1998. In : J. Wiseman, M.A. Varley, J.P. Chadwicks (Eds), Progress in Pig Science, Nottingham University Press, Nottingham, UK. Pp 229-263.
- LEBRET B., MASSABIE P., GRANIER R., JUIN H., MOUROT J., CHEVILLON P., 2002. Meat Science, 62, 447-455.
- LEBRET B., COUVREUR S., MEUNIER SALAUN M.C., GUINGAND N., ROBIN P., HASSOUNA M., CARIOLET R., DOURMAD J.Y., 2004. Journées Rech. Porcine, 36, 53-62.
- MINVIELLE B., BOUTTEN B., ALVISET G., DESCHODT G., GOUREAU L., BOULARD J., LE STRAT P., HOUIX Y., 2002. Journées Rech. Porcine, 34, 7-13.
- TERLOUW E.M.C., ASTRUC T., MONIN G., 2004. Proc. EU Workshop "Sustainable Pork Production : Welfare, Quality, Nutrition and Consumer Attitudes", Copenhagen, Danemark, 17-18/06. Pp 113-125.
- TERLOUW E.M.C., PORCHER J., FERNANDEZ X., 2005. Journal of Animal Science, sous presse.
- VADA-KOVACS M., 1996. Meat Science, 42, 49-66
- VAUTIER A., BATAILLE G., BOUYSSIERE M., MINVIELLE B., CHEVILLON P., 2003. Techni-Porc, 26 (3), 25-28.