



Réactivité des porcs au stress à l'abattage

Prédominance de l'allèle de sensibilité à l'halothane

La réactivité physiologique au stress est plus influencée par l'absence ou la présence d'un seul allèle n, que par la race, Large White ou Piétrain, utilisées. Toutefois, ces différences physiologiques ont peu de répercussion sur les pH ultimes des viandes, qui sont surtout influencées par les conditions d'abattage.

L'effet du stress à l'abattage sur les qualités des viandes dépend seulement indirectement des conditions d'abattage; il dépend directement des réactions des animaux à ces conditions (Fig. 1). L'animal évalue la situation, et, en fonction de cette évaluation, répond par des adaptations comportementales, physiologiques et métaboliques, qui se confortent mutuellement. L'état mental associé à cette évaluation détermine quel est le degré d'aversion éprouvé par l'animal (« stress »). A l'heure actuelle, cet état peut seulement être apprécié indirectement, par les réponses citées ci-dessus. Ces réponses sont associées au métabolisme musculaire. Une accélération du métabolisme musculaire avant ou pendant l'abattage peut nuire aux qualités des viandes. La façon dont l'animal évalue la situation dépend de son patrimoine génétique et de son vécu. La façon dont cette évaluation se traduit en réponses comportementales, physiologiques et métaboliques et, par conséquent, en termes de qualité de la viande, dépend également de ces deux facteurs.

Science et technique

TERLOUW C.¹, LUDRIKS A.¹, SCHOUTEN W.², VAESSEN S.², FERNÁNDEZ X.¹, ANDANSON S.³, PÈRE M.C.⁴

¹ SRV; INRA de Theix, 63122 ST-GENÈS-CHAMPANELLE

² Agricultural University, WAGENINGEN, PAYS-BAS

³ URH; INRA de Theix, 63122 ST-GENÈS-CHAMPANELLE

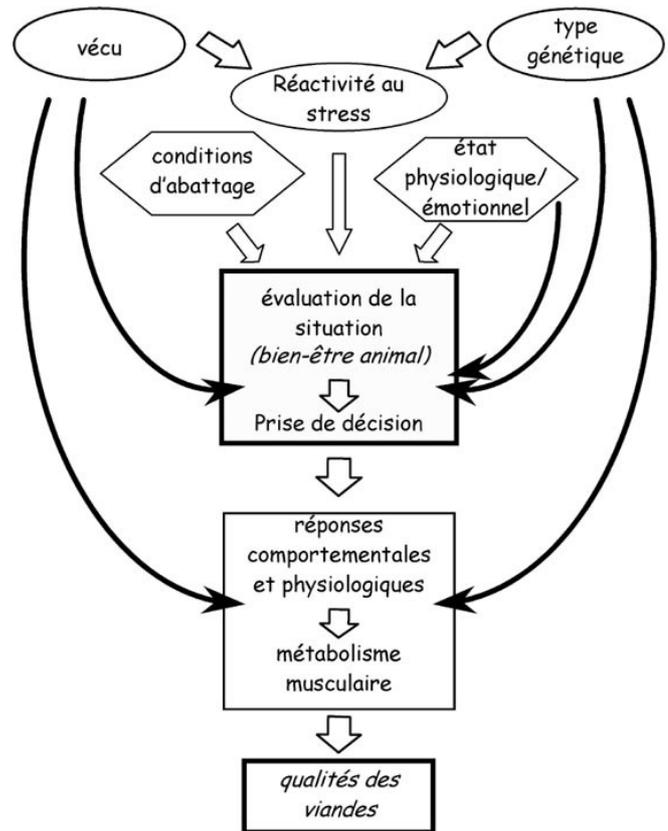
⁴ UMR INRA-ENSAR: Veau et porc Saint-Gilles 35590 L'HERMITAGE

Figure 1 : PATRIMOINE GÉNÉTIQUE ET VÉCU INFLUENCENT LA RÉSISTANCE AU STRESS

- 1) La réactivité au stress de l'animal dépend :
 - a) de ses caractéristiques génétiques
 - b) des conditions d'élevage
- 2) la nature et l'intensité des réactions à l'abattage dépendent :
 - a) des conditions d'abattage
 - b) de la réactivité de l'animal au stress
 - c) de l'état ponctuel physiologique et émotionnel de l'animal
 - d) du vécu et du patrimoine génétique de l'animal
- 3) Le stress provoque chez les animaux des réponses comportementales et physiologiques.

L'effet de ces réponses sur le métabolisme dépend :

 - a) de l'ampleur de ces réponses
 - b) de la génétique
 - c) des conditions d'élevage



Représentation schématique des liens entre la réactivité au stress, le stress à l'abattage et les qualités des viandes.

Plus précisément, parmi les changements physiologiques liés à la réponse au stress, les mieux connus sont l'augmentation du cortisol et des catécholamines (adrénaline et noradrénaline). La sécrétion des catécholamines est contrôlée par le système nerveux sympathique.

L'augmentation des taux sanguins des catécholamines est généralement associée à une accélération cardiaque, car la fréquence cardiaque est influencée à la fois par ces hormones et par une branche du système nerveux sympathique. L'ensemble de ces changements, associé à l'effort physique, augmente l'activité métabolique des cellules musculaires et provoque la mobilisation de leurs réserves glycolytiques. Ces événements cellulaires modifient la cinétique de la chute du pH post-mortem du muscle : une dégradation importante des réserves glycolytiques dans la période précédant l'abattage aboutit à des pH ultimes plus

élevés. Une accélération du métabolisme au moment de l'abattage donne lieu à une accélération de la chute du pH. La cinétique de la chute du pH influence différents aspects de la viande, tels que sa couleur, son pouvoir de rétention d'eau, sa tendreté et sa jutosité (Monin, 1988).

Cet article rapporte l'effet du stress à l'abattage sur les qualités des viandes en fonction de certaines caractéristiques génétiques du porc : la race et l'absence ou la présence de l'allèle "sensibilité à l'halothane". Dans une étude antérieure, nous avons observé que les muscles des porcs Duroc sont moins sensibles aux conditions de stress à l'abattage que ceux des Large White, et ce malgré le fait que les Duroc sont plus réactifs à certaines situations de stress (Terlouw et al., 1997). Par ailleurs, plusieurs études ont montré que l'effet des conditions d'abattage sur les qualités des viandes est

influencé par le fait que les porcs soient ou non "sensibles à l'halothane" (Monin et al., 1981 ; Barton-Gade, 1984 ; Murray and Jones, 1994).

Chez les porcs sensibles à l'halothane (un anesthésique volatil d'usage courant), l'inhalation de ce produit ou un état de stress peuvent provoquer le "syndrome d'hyperthermie maligne", qui se caractérise par d'intenses contractures musculaires donnant une rigidité généralisée de la musculature, une élévation rapide de la température et une acidose métabolique des tissus, pouvant aboutir à la mort. La sensibilité à l'halothane est contrôlée génétiquement par un gène possédant deux allèles : l'allèle dominant normal appelé "N" et l'allèle responsable de la sensibilité à l'halothane, récessif, appelé "n". Chez les porteurs homozygotes récessifs (nn) les mouvements du calcium intracellulaire sont modifiés (Cheah et Cheah, 1981). Chez ces

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux et élevage

L'expérience a été conduite sur 32 Piétrain mâles castrés (origine: Université de Liège, Belgique) dont 16 homozygotes normaux (NN) et 16 hétérozygotes pour le gène de sensibilité à l'halothane (Nn), et 16 Large White mâles castrés (NN) (origine: INRA, UMRVP, St. Gilles, Rennes, France). Les animaux ont été élevés dans des loges individuelles (1,5 x 1,5 m), permettant des contacts visuel, auditif et olfactif, sur une litière de paille. Les animaux avaient accès à volonté à de l'eau (sucette) et à de l'aliment concentré.

Afin de déterminer les caractéristiques physiologiques des animaux au repos, leur urine matinale a été collectée à 21 et à 25 semaines d'âge, pour déterminer la teneur en catécholamines selon la méthode de Hay et Mormède (1997). Afin de mesurer la réactivité au stress, des mesures comportementales et physiologiques ont été obtenues pour chaque individu dans différentes situations d'aversion présumée (voir ci-dessous). Deux jours avant le test Isolement dans un champ clos, un cathéter a été implanté dans la veine jugulaire sous anesthésie générale (pentobarbital). Le cathéter était protégé par un bandage autour du cou et permettait d'effectuer des prises de sang sans déranger l'animal. Il a été enlevé immédiatement après le Test à l'ACTH.

Tests de réactivité au stress

Tous les animaux ont été soumis à chacun des tests de réactivité suivants:

Isolement dans un champ clos. Le test « d'isolement » a eu lieu quand les porcs avaient environ 20 semaines. Pour le test, chaque animal était introduit individuellement dans une cage non familière où il restait seul pendant 10 min. Des prises de sang ont été réalisées à l'aide du cathéter.

Test à l'ACTH. Le test a eu lieu le lendemain du test précédent. L'ACTH stimule la sécrétion du cortisol par les glandes surrénales. L'augmentation du cortisol en réponse à une injection d'ACTH permet d'estimer la réactivité physiologique des surrénales. Chaque animal a reçu dans la veine jugulaire 3 µg d'ACTH par kg de poids vif dans du sérum physiologique. Des prises de sang ont été effectuées comme décrit ci-dessus afin de mesurer la réponse cortisolémique.

Contention. Le test a eu lieu un mois après les tests précédents. Le porc était introduit dans une cage de 0,95 m x 2,60 m où il restait seul. Quatre minutes après l'introduction de l'animal, 2 expérimentateurs entraient dans la cage et contenaient l'animal entre une des barrières de la cage et une plaque de bois, pendant une minute. Après la contention, l'animal restait seul dans la cage pendant encore 5 min. Pendant toute la durée du test, les postures et les reniflements (sol, barrières) ont été enregistrés par vidéo. Pendant la contention, le nombre et la durée des séquences de résistance ont été déterminés. La fréquence cardiaque était enregistrée à l'aide d'un cardiofréquencemètre (4 x 4,5 x 1 cm) attaché sur une sangle (Polar, Monitor, Anglet, France).

Objet non familier dans l'auge. Le test a eu lieu une semaine après le test précédent. Un objet non familier (voiture jaune 16 x 10 x 8 cm, télécommandée), était placé dans l'auge de la loge d'élevage par l'expérimentateur. A chaque contact, la voiture était mise en marche pendant 30 secondes. Le nombre de contacts avec l'objet était enregistré sur 5 min.

Objet non familier dans un champ clos non familier. Le test a eu lieu une semaine après le test précédent. Chaque animal était introduit individuellement dans une cage non familière de 3,20 m x 2,40 m. Trois minutes après l'introduction, l'expérimentateur à l'aide d'une corde depuis une pièce adjacente, faisait tomber un cône de circulation orange du plafond sur le sol, le relevant ensuite à 5 cm du sol. Le test durait 10 minutes au total. La fréquence cardiaque, les postures et le nombre de contacts avec l'objet étaient enregistrés (voir ci-dessus).

Abattage

Procédure générale. Les abattages ont eu lieu sur le site expérimental à un poids de 99 ± 2 kg. Chaque jour d'abattage, 6 porcs ont été abattus, selon un plan expérimental équilibré pour le type génétique, les conditions d'abattage et le poids vif. Cinq jours avant l'abattage, un échantillon du *Longissimus Lumborum* (LL) a été obtenu par biopsie pour déterminer la concentration du glycogène, du G-6-P, du glucose et du lactate. Le potentiel glycolytique (PG) était calculé selon la formule: PG (équivalent lactate en $\mu\text{mol/g}$) = 2 (glycogène + glucose + G-6-P) + lactate (Monin et Sellier, 1985). A l'abattoir, une deuxième biopsie du LL a été obtenue immédiatement avant l'électronarcose (300 V) pour les mêmes analyses. Après la saignée, un échantillon d'urine a été prélevé dans la vessie. A différents moments après la saignée, le pH (Ingold, Mettler, Toledo), la température et la couleur (la luminosité, L*, et les indices de rouge et de jaune, a* et b*) ont été mesurés (chromamètre Minolta CR-300) sur les muscles LL, *Semispinalis capitis* (SC), *Semimembranosus* (SM) et *Adductor Femoris* (AF) (tableau 1). Afin d'évaluer la capacité de rétention d'eau du LL, une tranche de 200 g a été coupée 24 h après l'abattage et placée en barquette filmée à une température de 4 °C. La quantité d'exsudat perdu en 24 h a été déterminée.

Traitement de pré-abattage « stress »

Vingt-quatre porcs (9 Piétrain Nn, 8 Piétrain NN, 7 Large White) ont été abattus à la suite du protocole « stress ». La veille de chaque jour d'abattage, à 16h30, trois porcs expérimentaux ont été mélangés avec 3 porcs avec lesquels ils n'étaient pas familiers, non expérimentaux, dans une cage de 3,80 x 2,60 m. Le lendemain à 6h30, les 6 porcs ont été introduits dans une bétailière (1,9 x 3,0 m) pour être transportés pendant 2,5 h (itinéraire fixe de 126 km: 15 min d'autoroute, 2h15 de routes nationales et départementales). Ensuite, la bétailière retournait sur le site où des cardiofréquencemètres étaient fixés sur chacun des 3 porcs expérimentaux. Les porcs étaient ensuite transportés pendant 15 min et amenés à l'abattoir. A l'abattoir, le premier animal était déchargé et soumis à une contention d'une minute, avant d'être introduit dans le piège et d'être abattu comme décrit ci-dessus. Après le déchargement du premier animal, la bétailière a continué à rouler à une vitesse lente (40 km/h) pendant 20 min avant d'amener le deuxième porc. La même procédure a été utilisée pour le troisième porc, déchargé vers 10h45, après quoi la bétailière retournait pour chercher le premier porc du groupe « abattage avec stress minimal ».

Traitement de pré-abattage « stress minimal »

Vingt-et-un porcs (7 Piétrain Nn, 7 Piétrain NN, 7 Large White) ont été abattus selon une méthode qui avait pour objectif de réduire le stress au maximum. Les animaux restaient dans leur loge jusqu'au chargement pour l'abattoir. Le jour de l'abattage, à 10 h, des cardiofréquencemètres étaient fixés sur les animaux. Vers 11 h, le premier animal était chargé et transporté directement à l'abattoir (3 min) en présence d'une personne familière. A l'arrivée, l'animal était déchargé avec précaution et introduit directement dans le piège afin d'être abattu comme décrit ci-dessus. Cette procédure était répétée à l'identique pour chaque animal.

Les analyses statistiques ont fait appel aux techniques de l'analyses de variance (effets type génétique, conditions d'abattage et temps) avec ou sans covariable (effets poids d'abattage, état physiologique et métabolique sur les qualités des viandes).

Tableau 1: DES CONTRÔLES SUR QUATRE MUSCLES

Temps après saignée	Mesure	LL	SC	SM	AF
1 min	pH	*			
1 min	température	*			
40 min	pH	*	*	*	
40 min	température	*	*	*	
24 h	pH (= pHu)	*	*	*	*
24 h	Couleur (L*, a*, b*)	*	*	*	*
24 h	Pouvoir de rétention d'eau	*			

Mesures obtenues après la saignée (* : mesure obtenue)

mêmes animaux, assez souvent, les réactions de stress avant l'abattage provoquent l'élévation de la température et la chute précoce du pH entraînant la formation de viandes pâles, molles et exsudatives (dites PSE). Chez les hétérozygotes, l'effet du stress sur les qualités des viandes varie selon le caractère considéré. On connaît peu l'effet de la présence d'un seul allèle n sur le comportement et la physiologie des porcs.

Les porcs Piétrain sont généralement sensibles à l'halothane, mais la sélection génétique a permis la création de lignées indemnes de l'allèle récessif. Nous avons comparé les qualités des viandes de trois types génétiques de porcs, comprenant deux races : Large White (normal NN) et Piétrain, et parmi les Piétrain, deux génotypes : homozygote normal NN et hétérozygote Nn pour le gène de sensibilité à l'halothane. Les porcs ont été abattus dans différentes conditions de stress. La réactivité comportementale et physiologique des porcs à des situations de stress a été étudiée au cours de l'élevage.

L'étude avait pour but de répondre à plusieurs questions.

Si l'on s'affranchit de l'effet "sensibilité à l'halothane", subsiste-t-il un effet "race" sur les qualités des viandes (comparaison entre Large White NN et Piétrain NN) ?

Quel est le degré de récessivité de l'allèle n en matière de qualités des viandes (comparaison entre Piétrain NN et Piétrain Nn) ?

Des différences de qualités des viandes s'expliquent-elles par des différences de réactivité au stress (comparaisons de la réactivité comportementale et physiologique au stress des trois types génétiques) ?

PEU DE DIFFÉRENCES COMPORTEMENTALES ENTRE TYPES GÉNÉTIQUES

Les mesures comportementales sont utiles à la fois dans les domaines du bien-être et de la productivité. Ces données nous renseignent sur un éventuel état de stress de l'animal et sur son niveau d'activité et de réactivité. En effet, un

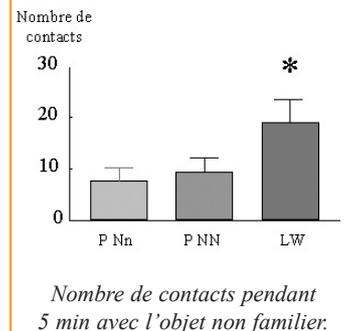
animal qui est actif ou réactif aura une dépense énergétique plus importante. Si cette activation survient pendant la période avant l'abattage, elle peut avoir des conséquences pour les qualités des viandes.

Il y avait peu de différences comportementales entre les types génétiques. Dans le test de contention, avant et après la contention, les Large White changeaient moins souvent de posture ($p < 0,05$). Durant la contention, les porcs résistaient physiquement entre 1 et 14 fois. Alors que la durée totale de résistance ne différait pas entre les types génétiques, le nombre de séquences de résistance était plus bas pour les Large White ($p < 0,05$). Dans le test de l'objet non familier dans l'auge, les Large White ont manipulé l'objet plus souvent que les Piétrain ($p < 0,05$; Fig. 2).

Les petites différences comportementales observées durant le test de contention montrent que les Large White changent moins facilement de posture et de comportement. Elles pourraient donc être liées à une conformation physique différente. L'absence de différences comportementales durant l'isolement, et durant l'exposition à l'objet non familier dans un environnement non familier, suggère que les Large White et les Piétrain appréhendent ces situations de la même manière. Seul le niveau élevé de la manipulation de l'objet suggère que, dans la situation de la loge d'élevage, les Large White sont beaucoup plus confiants ou curieux vis-à-vis d'un objet non familier. Le comportement semble donc plus influencé par la race, Piétrain ou Large White, que par la présence ou non de l'allèle n (Dantzer et Mormède, 1978).

Pendant le mélange avant l'abattage, les porcs ont subi en moyenne 83 actes agressifs. De ces actes, 12 ont été initiés par eux-mêmes, les 71 autres étant initiés par les porcs expérimentaux. Les porcs expérimentaux étaient donc relativement peu agressifs. Les Large White tendaient à initier plus d'actes agressifs ($p = 0,09$). Cette tendance était liée à la présence de 3 Large White expérimentaux relativement agressifs. Nous avons besoin de données sur plus d'animaux pour pouvoir confirmer ou

Figure 2: LES LARGE WHITE VONT PLUS FACILEMENT TOUCHER UN OBJET INCONNU



infirmer une éventuelle tendance agressive de la race Large White.

MÉTABOLISME ACCÉLÉRÉ POUR LES PIÉTRAINS HÉTÉROZYGOTES

Les effets du type génétique et du test d'isolement sur la physiologie sont présentés dans Tableau 2. La créatine kinase est un enzyme libéré dans le sang à la suite de micro-lésions du muscle : ses taux sont généralement liés à l'activité musculaire. Les taux plus élevés des Piétrain Nn reflètent une plus forte incidence de micro-lésions musculaires chez ces animaux. On observe cet effet déjà avant le test, donc quand les porcs Piétrain Nn sont au repos dans leur loge d'élevage.

Le cortisol a un effet hyperglycémiant, et, par ce biais, influence le métabolisme. De plus, la cortisolémie peut donner des informations sur l'état de stress de l'animal. Le cortisol est sécrété par les surrénales sous l'influence de l'hormone ACTH, libérée par l'hypophyse. L'isolement influence la cortisolémie de manière similaire pour les trois types génétiques. Le rapport entre les concentrations sanguines de l'ACTH et du cortisol montre qu'au repos les surrénales des Large White avaient une moindre sensibilité à l'ACTH que celles des Piétrain NN ($p < 0,10$) et Nn ($p < 0,05$). Le test à l'ACTH confirme ces tendances (Fig. 3). Mormède et Dantzer (1978) ont obtenu des différences comparables entre des Piétrain (sensibles et non sensibles à l'halothane) d'une part, et des Large White (non sensibles à l'halothane) d'autre part. Cependant, la sensibilité des surré-

Tableau 2 : DES MICROLÉSIONS MUSCULAIRES PLUS FRÉQUENTES CHEZ LES PIÉTRAINS HÉTÉROZYGOTES

Constituants sanguins	Effet du type génétique	Effet du test	Interaction entre type génétique et test
Créatine kinase 2147 ± 462 U/l	P Nn > P NN, LW (p=0,05)	-	-
Cortisol 54,3 ± 5,9 ng/ml	-	E5 > E-30, E-5, E30 (p<0,01)	-
ACTH 21,8 ± 4,3 ng/ml	-	E5 > E-30, E-5, E30 (p<0,0001)	-
Insuline 22,9 ± 2,68 µU/ml	LW > P Nn (p=0,005) ; LW > P NN (p<0,10)	E-30, E-5 > E5 (p<0,05)	-
Noradrénaline 1417 ± 100 ng/ml	-	E5 > E-5, E30 (p<0,05)	-
Adrénaline 472,6 ± 36,4 ng/ml	P NN > LW (p<0,10)	-	-
Lactate 1496 ± 133 µmol/l	-	-	E5 : P Nn > P NN (<0,10) ; E5 : P Nn > LW (p<0,01)
Acides gras libres 103,8 ± 23,4 µmol/l	-	E5 > E-30, E-5 (p<0,001)	E5 : P Nn > P NN, LW (p<0,05)
Glucose 1098 ± 20 mg/l	-	E-30 > E5 (p=0,05)	-

E-30, E-5, E5, E30 : échantillons obtenus à 30 et 5 minutes avant, et à 5 et 30 minutes après le test de l'isolement, respectivement.
P : Piétrain, LW : Large White.

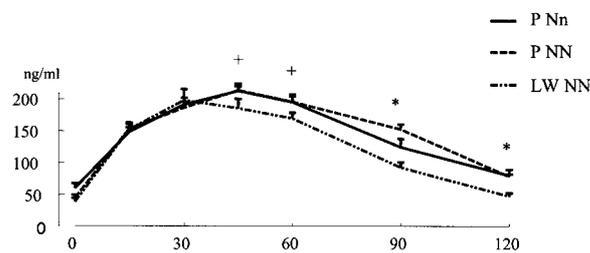
Effets séparés et interactifs du type génétique et du test d'isolement sur différents paramètres sanguins. Moyennes ± écartype de la moyenne dans la première colonne. Niveaux de signification entre parenthèses dans les autres colonnes.

nales à l'ACTH varie selon l'état de stress et selon le type génétique : après le test d'isolement, ce sont les surrénales des Piétrain Nn (p<0,05) qui sont significativement moins sensibles à l'ACTH, par rapport aux autres porcs.

L'insuline est une hormone qui favorise le captage du glucose sanguin par les tissus et qui inhibe la lipolyse. Wood et al (1977) ont montré des taux d'insuline plus bas chez des Piétrain nn que chez d'autres races porcines. Cette différence s'explique probablement en partie par un effet racial, car notre étude montre des taux d'insuline plus bas chez les Piétrain NN et Nn que chez les Large White.

Les concentrations de catécholamines (adrénaline et noradrénaline) augmentent généralement en réponse à des facteurs de stress. Ces hormones stimulent le catabolisme glycolytique du muscle et peuvent ainsi modifier les qualités des viandes (voir introduction). Elles sont excrétées dans l'urine. Par conséquent, les analyses des urines matinales permettent d'apprécier les niveaux sécrétés pendant la période précédant le prélèvement. Les dosages urinaires montrent que les Piétrain NN tendaient à avoir des taux d'adrénaline (p<0,05) et de noradrénaline (p<0,08) plus élevés

Figure 3 : LES SURRÉNALES DES LARGE WHITE MOINS SENSIBLES A L'ACTH



Taux (moyennes et erreur standard de la moyenne) de cortisol avant (à 0 min) et après injection de 3 µg/kg de poids vif d'ACTH, pour les 3 types génétiques. Injection à 1 min. Les LW ont des taux de cortisol plus bas en réponse à l'injection ; + : p<0,10 ; * : p<0,05.

que les Large White (voir aussi adrénaline, Tableau 2). Les Piétrain Nn avaient des taux intermédiaires. L'abattage provoque une augmentation d'adrénaline urinaire chez les trois types génétiques, mais cette augmentation était significativement plus importante chez les Piétrain Nn abattus dans les conditions "stress" (Fig. 4). En conclusion, au repos et pendant des stress modérés, les Piétrains NN avaient tendance à avoir une activité sympathique un peu plus élevée que les Large White et les Piétrain Nn avaient une plus forte réactivité du système sympathique à des stress sévères. Certains chercheurs ont suggéré que le taux élevé de viande maigre

du Piétrain nn est en partie lié à l'effet plus important des catécholamines sur le métabolisme lipidique (Hall et al., 1977 ; Wood et al., 1977 ; Gregory, 1981 ; Gregory et Lister, 1981). Ces chercheurs ont comparé des Piétrain nn à des races indemnes de l'allèle n. Le présent travail suggère que, en fonction du niveau de stress, la sécrétion de la noradrénaline et de l'adrénaline était influencée par l'allèle n ou par la race.

Le glucose et les acides gras libres sont des substrats énergétiques et le lactate est un métabolite de la dégradation du glucose et du glycogène. L'allèle n n'est pas totale-

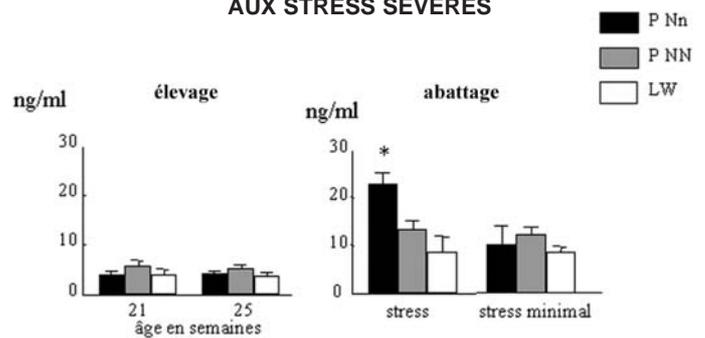
ment récessif pour ses effets sur le métabolisme, car les Piétrain Nn et les Piétrain NN différaient dans leurs taux d'acides gras libres et de lactate. L'augmentation du lactate plasmatique induite par l'isolement chez les Piétrain Nn est liée à leur anomalie métabolique : leur métabolisme accéléré libère plus de pyruvate que le cycle de Krebs ne peut en absorber. Du lactate est donc libéré dans le sang. Des études antérieures ont également trouvé des taux de lactate plus élevés après un stress chez des porcs nn comparés à des porcs NN (Weiss et al., 1974).

L'élévation plus importante des niveaux d'acides gras chez les Piétrain Nn peut être liée à certaines caractéristiques physiologiques : des taux élevés d'acides gras ont été observés dans d'autres études chez des porcs nn, et attribués à une plus forte sensibilité aux effets lipolytiques de la noradrénaline et à moindre sensibilité aux effets antilipolytiques de l'insuline chez ces porcs (Hall et al., 1977; Wood et al., 1977).

Tout comme la sécrétion des catécholamines, la fréquence cardiaque est influencée par le système sympathique (voir introduction). Pendant le test de contention, la fréquence cardiaque augmentait significativement pour tous les animaux. Elle retrouvait ses valeurs initiales à 30 min après la fin du test. Pendant la minute de contention effective, les Piétrain NN avaient une fréquence plus basse que les Large White ($p < 0,03$). Les Piétrain Nn avaient des fréquences intermédiaires (Fig. 5). Ainsi, chez les porcs non sensibles à l'halothane, la race a influencé la réactivité cardiaque à la contention.

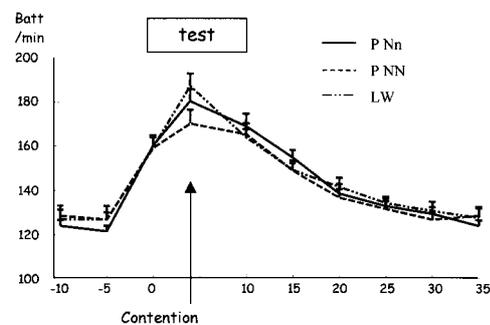
Nous n'avons pas retrouvé l'effet de la race sur la fréquence cardiaque pendant la période avant l'abattage : les conditions d'abattage ont influencé les fréquences cardiaques pour les trois types génétiques de manière similaire (Fig. 6). Après 1 h 50 de transport, les porcs du groupe "stress" avaient une fréquence cardiaque plus élevée que les porcs du groupe "stress minimal" qui étaient encore dans leur loge d'élevage (période 1). Pendant cette période, le transport a augmenté la fréquence cardiaque de 37 % par rapport à la loge, et peut-

Figure 4 : LES HÉTÉROZYGOTES RÉAGISSENT PLUS FACE AUX STRESS SÉVÈRES



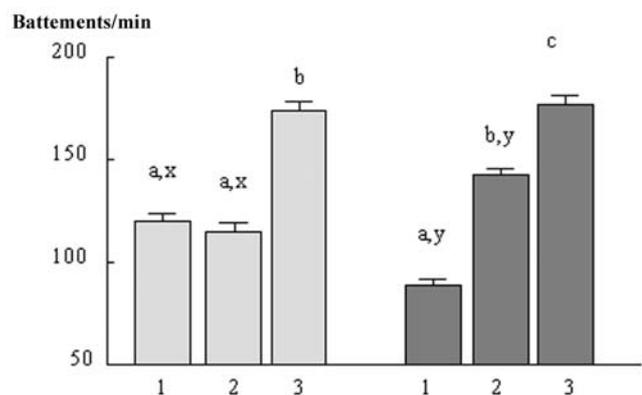
Teneurs urinaires en adrénaline à 21 et à 25 semaines d'âge et immédiatement après l'abattage (environ 26 semaines d'âge) dans des différentes conditions expérimentales.

Figure 5 : LA RACE INFLUENCE L'ACTIVITÉ CARDIAQUE EN CONTENTION



Fréquences cardiaques (moyenne et erreur standard de la moyenne) avant, pendant et après le test d'isolement et de contention pour les 3 types génétiques.

Figure 6 : PAS D'EFFET RACE SUR LA FRÉQUENCE CARDIAQUE AVANT ABATTAGE



Fréquence cardiaque avant abattage pour des porcs du groupe "stress" (gauche, gris clair) et du groupe "stress minimal" (droite, gris foncé).

Période 1 : de 40 à 10 min avant l'abattage (les porcs "stress" étant en transport, les porcs "stress minimal" étant dans leur loge); période 2 : de 10 à 3 minutes avant l'abattage (les porcs "stress" étant en transport, les porcs "stress minimal" étant chargés et transportés); Période 3 : de 3 minutes avant l'abattage jusqu'à l'étourdissement (les porcs "stress" : déchargement, contention et introduction dans le piège; les porcs "stress minimal" : déchargement et introduction dans le piège).

a, b, c : effet "temps" à l'intérieur de chaque groupe ("stress" versus "stress minimal")
x, y : effet "conditions d'abattage" à l'intérieur de chaque période (1, 2 et 3)
des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes.

être d'autant les dépenses énergétiques. Le chargement et le transport des porcs du groupe "stress minimal", 10 minutes avant l'abattage, a provoqué une forte élévation de la fréquence cardiaque (période 2). Le transport de 2 h 30 n'a pas influencé la réactivité cardiaque au déchargement et à l'introduction dans le piège (période 3): les deux groupes avaient des fréquences cardiaques élevées de manière similaire. Chez les porcs du groupe "stress" la contention (immédiatement avant le piège) provoquait une augmentation de la fréquence cardiaque qui pouvait atteindre 174 battements /min. Les éventuels liens entre la fréquence cardiaque et les qualités des viandes sont discutés ci-dessous.

UN MÉTABOLISME PLUS RAPIDE DES PIÉTRAINS HÉTÉROZYGOTES

Effets du type génétique. La vitesse de croissance était influencée par la race ($p < 0,001$). Pendant leur engraissement d'environ 90 jours, le gain moyen quotidien était de $0,92 \pm 0,04$, de $0,75 \pm 0,02$ et de $0,73 \pm 0,02$ kg, pour les Large White, les Piétrain Nn et les Piétrain NN, respectivement. Par conséquent, à l'abattage, les Large White étaient plus lourds que les Piétrain Nn (107 vs 100 kg; $p < 0,01$), eux-mêmes plus lourds que les Piétrain NN (91 kg; $p < 0,01$). La différence de poids entre les deux groupes de Piétrain s'explique par une différence de poids à l'entrée en élevage (35,7 et 27,4 kg pour les Piétrain Nn et NN, respectivement). Les poids des carcasses étaient de 84, 83 et 72 kg,

pour les Large White, les Piétrain Nn et les Piétrain NN, respectivement. Les rendements de carcasse n'étaient pas significativement différents entre les trois groupes (81 % en moyenne).

Pour les Piétrain Nn, les valeurs de teneur en lactate du LL dans les biopsies, en élevage, avant l'étourdissement et dans les échantillons à 0 min et 40 min après la saignée (tableau 3) étaient plus élevées, et les valeurs de pH du LL à 0 et à 40 min, et du SC à 40 min étaient plus basses (tableau 4). La production plus élevée de lactate, associée à un pH plus bas, s'explique de nouveau par le métabolisme accéléré des Piétrain Nn. De même, la chute de température du LL plus rapide des Piétrain NN (tableau 4) traduit probablement leur métabolisme plus lent et donc une production de chaleur réduite, par rapport aux Piétrain Nn. La chute de température réduite des Large White par rapport aux Piétrain NN peut s'expliquer par leur couverture de gras plus importante - toutefois, cette hypothèse reste à confirmer par des données sur l'épaisseur du gras. A 24 h (tableau 4), les composantes chromatiques rouges du SM et du AF étaient moins élevées pour les Large White. Des analyses prenant en compte le pH ultime en covariance, montrent qu'à 24 h, l'AF des Large White était plus clair que celui des deux groupes de Piétrain ($p < 0,01$). Ces différences de couleur traduisent une caractéristique raciale peut-être liée à une concentration plus basse du pigment dans ce muscle des Large White.

LES CONDITIONS D'ABATTAGE INFLUENT PLUS LA QUALITÉ DE LA VIANDE QUE LA RACE

Indépendamment du type génétique, les porcs du groupe « stress » avaient des taux de glycogène et des potentiels glycolytiques du LL à 0 et 40 min, et du SM et SC à 40 min moins élevés que l'autre groupe ($p < 0,05$; tableau 3), et des valeurs de pH des muscles SC, SM et AF plus élevées ($p < 0,01$). Ces différences traduisent une plus forte dépense énergétique de ces animaux, qui se répercute sur le pH ultime, quel que soit le type génétique. La température du SM des porcs du groupe "stress minimal" était plus élevée (tableau 4), probablement à cause de l'effort fourni lors du chargement et du déchargement peu de temps avant.

L'absence d'interactions montre que les conditions d'abattage ont influencé les qualités des viandes des trois types génétiques de manière similaire. Il faut néanmoins noter que les conditions "stress" de la présente étude présentaient un niveau de stress beaucoup moins important que les conditions d'abattage commercial habituelles. Vu les effets génétiques trouvés dans des études antérieures (par exemple, Monin et al., 1981; Garcia-Macias et al., 1996), il est possible que les différents types génétiques auraient donné des viandes de qualités différentes s'ils avaient été abattus dans des conditions commerciales.

LE STRESS JUSTE AVANT ABATTAGE INFLUENCE LE PH DES VIANDES

Des analyses de corrélations permettent de détecter des liaisons entre différentes mesures. Des études ultérieures seront nécessaires pour déterminer s'il s'agit d'un lien de cause à effet.

Nous constatons qu'un certain nombre de corrélations existe uniquement pour le groupe "stress", et cela pour les trois types génétiques confondus. La réponse cardiaque à la contention était corrélée négativement avec le pH du muscle LL (Fig. 7) immédiatement après l'abattage. Cette corrélation s'explique en partie par des différences dans les teneurs en lactate immé-

Figure 7: LE STRESS AVANT ÉTOURDISSEMENT ACCÉLÈRE LE MÉTABOLISME MUSCULAIRE

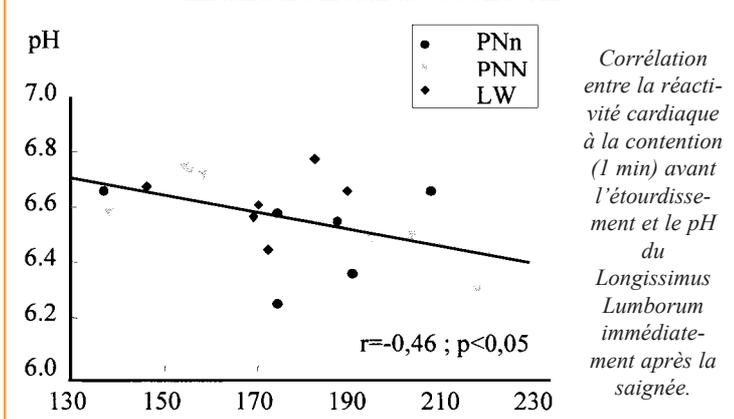


Tableau 3: LES PORCS STRESSÉS DÉPENSENT PLUS D'ÉNERGIE, QUELQUE SOIT LEUR RACE

	Type génétique						Modalité d'abattage				Niveau de signification	
	P Nn		P NN		LW		Stress max		Stress min		Type génétique	Mode d'abattage
	moyenne	se	moyenne	se	moyenne	se	moyenne	se	moyenne	se		
Lactate												
Biopsie élevage	7,7a	0,8	6,0a,b	1,0	4,3 b	1,2	6,2	0,8	5,9	1,0	*	
Biopsie piège	8,9a	0,7	6,4b	0,6	4,4c	0,6	6,7	0,5	6,4	0,9	***	
LL1	31,5a	1,9	25,0 b	2,9	21,8 b	1,7	27,3	2,1	25,2	1,9	***	
LL40	44,1a	2,8	25,2 b	2,9	28,1 b	2,6	33,1	2,6	32,5	3,2	***	
SM40	29,4	3,7	25,7	3,0	27,3	2,8	28,2	2,4	26,7	2,9		
SC40	27,0	1,4	23,1	2,2	26,6	1,9	24,5	1,4	26,7	1,6		
Glycogène												
Biopsie élevage	69,5	4,8	80,3	2,1	80,7	5,4	74,4	3,4	79,1	3,9		
Biopsie piège	51,4	4,9	59,8	4,8	58,6	5,8	54,8	3,1	58,7	5,3		
LL1	43,4	3,2	56,0	3,6	55,2	6,4	45,3	3,0	58,0	4,2		*
LL40	37,1 a	2,8	51,5 b	4,0	51,0 b	5,3	40,3	3,0	53,1	3,7	*	*
SM40	41,6	3,2	48,8	3,5	51,7	4,4	42,5	3,	52,5	2,8		*
SC40	11,0	1,5	13,9	2,3	15,5	3,1	9,9	1,5	17,4	2,1		**
PG												
Biopsie élevage	146,7	9,6	166,7	4,8	165,6	11,0	155,0	6,7	164,0	8,0		
Biopsie piège	111,7	10,1	126,0	9,8	121,6	11,9	116,3	6,3	123,8	11,0		
LL1	118,3	7,2	136,9	7,3	132,2	12,6	117,9	6,2	141,2	8,1		*
LL40	118,4	6,5	128,2	7,6	130,2	9,9	113,6	5,5	138,7	6,5		*
SM40	112,6	6,2	123,3	5,7	130,7	8,4	113,2	5,6	131,6	5,0		*
SC40	49,0	3,3	50,8	5,2	57,5	6,5	44,2	3,0	61,5	4,4		***

Niveau de signification de l'effet du type génétique ou du mode d'abattage : * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$
 abc : sur une même ligne, les moyennes n'ayant pas de lettre commune sont significativement différentes au seuil $p < 0,05$

Teneurs en lactate et en glycogène et les PG en élevage et à l'abattage pour différents muscles et pour les différents groupes expérimentaux

Tableau 4: LES CONDITIONS D'ABATTAGE ONT UN IMPACT ESSENTIEL

	Type génétique						Modalité d'abattage				Niveau de signification	
	P Nn		P NN		LW		Stress max		Stress min		Type génétique	Mode d'abattage
	moyenne	se	moyenne	se	moyenne	se	moyenne	Se	moyenne	se		+
T LL1	39,3	0,2	39,2	0,1	39,5	0,1	39,2	0,1	39,5	0,1		
T LL40	38,8a	0,3	37,6b	0,4	38,8a	0,2	38,6	0,3	38,2	0,3	**	
T SM40	39,1	0,2	38,5	0,3	38,6	0,3	38,5	0,2	39,0	0,2		*
T SC40	37,3	0,4	36,7	0,5	37,6	0,2	37,2	0,3	37,2	0,4		
pH LL1	6,50 a	0,04	6,61 b	0,03	6,63 b	0,03	6,59	0,03	6,56	0,03	*	
pH LL40	6,33 a	0,05	6,60 b	0,05	6,53 b	0,04	6,48	0,04	6,48	0,05	***	
pH SM40	6,53	0,04	6,61	0,05	6,60	0,05	6,57	0,04	6,59	0,04		
pH SC40	6,43 a	0,03	6,52 b	0,03	6,44a	0,03	6,50	0,03	6,42	0,02	*	**
PHu LL	5,50	0,03	5,54	0,04	5,53	0,03	5,55	0,03	5,49	0,02		
PHu SC	5,89	0,05	5,97	0,06	5,88	0,06	6,05	0,04	5,76	0,03		***
PHu SM	5,59	0,03	5,52	0,02	5,56	0,02	5,60	0,02	5,51	0,01		**
PHu AF	5,63	0,04	5,63	0,04	5,75	0,06	5,74	0,04	5,57	0,03		**
Perte d'eau (g) (LL)2,10	0,22		1,68	0,22	1,79	0,19	1,73	0,17	2,02	0,18	+	
SML	47,8	1,2	46,8	1,0	50,4	1,1	48,6	0,8	47,9	1,2		
SMa	8,60a	0,49	8,35 a	0,37	6,59b	0,49	7,43	0,31	8,41	0,49	**	+
S Mb	3,69	0,22	3,64	0,23	4,06	0,40	3,52	0,16	4,11	0,29		+
AFL	40,5 a	0,7	42,4a,b	0,9	44,7b	1,3	40,9	0,8	44,3	0,7	*	**
AFa	13,56 a	0,43	13,55 a	0,45	11,83b	0,56	12,61	0,36	13,48	0,47	**	
AFb	4,38	0,30	4,46	0,22	4,43	0,42	3,96	0,21	4,95	0,26		*

Niveau de signification de l'effet du type génétique ou du mode d'abattage : + : $p < 0,10$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$
 abc : sur une même ligne, les moyennes n'ayant pas de lettre commune sont significativement différentes au seuil $p < 0,05$

Mesures de température, de pH et de couleur après l'abattage pour plusieurs muscles pour les différents groupes expérimentaux.

diatement avant et après l'abattage, qui tendaient à être positivement corrélées avec la réaction cardiaque à la contention ($p=0,11$ et $p=0,09$, respectivement). Il est probable que la réponse cardiaque reflète l'activité du système sympathique et/ou l'activité physique, et par conséquent le niveau du catabolisme glycolytique musculaire. Ces résultats suggèrent qu'un stress de courte durée (1 min) immédiatement avant l'étourdissement, peut provoquer une accélération du métabolisme musculaire qui se répercute sur la vitesse du métabolisme post-mortem.

Le nombre d'actes agressifs avant l'abattage était positivement corrélé avec les taux urinaires d'adrénaline ($p=0,03$) et de noradrénaline ($p=0,01$) mesurés après l'abattage. Les teneurs en glycogène du LL à 1 et à 40 min après l'abattage étaient corrélées positivement avec les teneurs en glycogène immédiatement avant l'abattage ($p<0,001$). Les teneurs en glycogène du LL immédiatement avant l'étourdissement et à 1 et à 40 min après l'abattage étaient corrélées négativement avec le nombre d'actes agressifs pendant le mélange ($p=0,03$; $p=0,04$ et $p=0,007$, respectivement) et avec les taux urinaires de noradrénaline post-abattage ($p=0,09$; $p=0,06$ et $p=0,02$, respectivement). Il semblerait donc que les taux de glycogène à 1 et à 40 min après l'abattage dépendent certes des réserves glucidiques avant l'étourdissement, mais qu'ils soient également influencés par les interactions agressives. L'augmentation de la noradrénaline peut être une réponse à la réduction des réserves glucidiques éventuellement associée à une hypoglycémie sanguine comme on a observé chez l'homme (McLeod et al., 1984 ; MacLaren et al., 1999). Le nombre d'actes agressifs était également fortement corrélé avec le pH ultime du LL ($p=0,02$). Ces résultats montrent que les agressions subies pendant les mélanges peuvent influencer de manière importante le pH ultime de certains muscles, probablement à travers leurs effets sur les réserves glycolytiques.

Enfin, certaines caractéristiques des viandes étaient corrélées avec le comportement observé dans les tests de réactivité au stress. Ainsi,

la fréquence de contact avec l'objet non familier dans le champ clos non familier était corrélée positivement avec le pH ultime de l'*Adductor femoris*, pour les Piétrain Nn et pour les Large White, les deux modes d'abattage confondus (Fig. 8). Ces résultats suggèrent que les animaux touchant plus souvent l'objet étaient plus réactifs aux événements précédents l'abattage, conduisant à une consommation plus importante des réserves glucidiques du muscle de la cuisse et, par conséquent, à une diminution du pH moins importante post-mortem. A ce stade, il est difficile de dire si cette réactivité plus prononcée à l'objet et aux événements de l'abattage reflète plutôt un état de peur plus important ou une motivation d'exploration et d'activité physique plus forte.

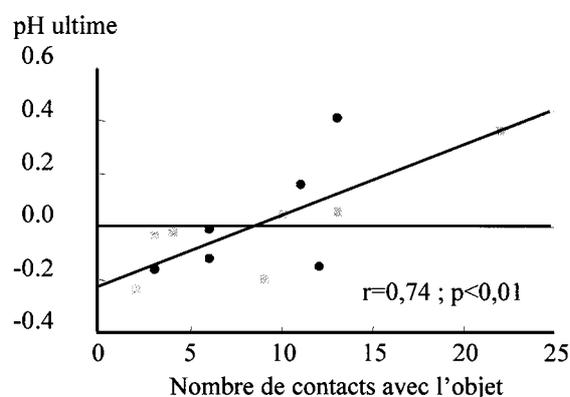
CONCLUSIONS : LES CONDITIONS D'ABATTAGE COMME PREMIER FACTEUR D'INFLUENCE SUR LE pH ULTIME

Nos résultats montrent peu de différences comportementales entre les trois types génétiques. Au repos, certains aspects de la physiologie sont influencés par la race (insuline, sensibilité à l'ACTH), l'allèle n (créatine kinase) ou par ces deux facteurs (catécholamines). D'autres effets de l'allèle n se révèlent après l'exposition au stress : production importante d'acides gras libres et de lactate, et relative insensibilité à

l'ACTH après le test de l'isolement chez les Piétrain Nn. Le chargement, le transport, le déchargement et l'introduction dans le piège provoquent des élévations de la fréquence cardiaque et de la sécrétion adrénérique chez les trois types génétiques, mais chez les Piétrain Nn du groupe "stress", cette sécrétion est exacerbée.

Les conditions d'abattage "stress" réduisent les teneurs en glycogène et augmentent les pH ultimes ; plus l'animal a subi d'actes agressifs, plus le pH ultime est élevé. La sécrétion de la noradrénaline augmente en fonction du nombre d'actes agressifs subis, probablement en réponse à la déplétion glucidique. Quelles que soient les conditions d'abattage, après la saignée, les Piétrain Nn ont des teneurs musculaires en lactate plus importantes que les autres types génétiques, associées à des pH initiaux plus bas. Toutefois, les pH ultimes ne sont pas influencés par le type génétique. Les Large White donnent des viandes un peu plus claires, ce qui peut traduire un taux de pigment moindre. Un stress court, immédiatement avant l'abattage peut influencer la cinétique du pH : la réactivité cardiaque à une minute de contention immédiatement avant l'abattage est corrélée avec le pH initial du LL. Certains comportements observés pendant les tests de réactivité au stress réalisés au cours de l'élevage étaient corrélés avec des caractéristiques des viandes.

Figure 8 : UN LIEN RÉEL ENTRE COMPORTEMENT DE L'ANIMAL ET CARACTÉRISTIQUES DES VIANDES



Corrélation entre le nombre de contacts avec l'objet non familier (voir texte) et le pH ultime de l'*Adductor femoris* chez les Large White. Les résiduels du pH ultime ont été utilisés afin de corriger l'effet des conditions d'abattage. Cercles et carrés : abattage "stress" et "stress minimal", respectivement.

REMERCIEMENTS.

La rédaction de cet article a bénéficié des commentaires de G. Monin. Les auteurs remercient T. Astruc, P. Blinet, S. Blinet, J.-F. Chazeix, G. Monin, V. Santé et P. Vernin, (INRA-Theix) pour leur contribution à l'étude.

Ils remercient M. Hay pour les dosages des catécholamines urinaires et E. Debras pour son aide dans les dosages de l'insuline.

Ce travail a été cofinancé par l'OFIVAL et par la FIC.

B I B L I O G R A P H I E

BARTON-GADE P. 1984. Influence of halothane genotype on meat quality in pigs subjected to various pre-slaughter treatments. European Meeting of Meat Research Workers, p 2.

CHEAH, K. S., CHEAH, A. M. 1981. Mitochondrial calcium transport and calcium-activated phospholipase in porcine malignant hyperthermia. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 634, 70-84.

DANTZER, R. AND MORMÈDE, P. 1978. Behavioural and pituitary-adrenal characteristics of pigs differing by their susceptibility to the malignant hyperthermia syndrome induced by halothane anesthesia. 1. Behavioural measures. *Ann. Rech. Vet.* 9, 559-567.

GARCIA-MACIAS J. A., GISPERT M., OLIVER M. A., DIESTRE A., ALONSO P., MUNOZ-LUNA A., SIGGENS K., CUTHBERT-HEAVENS D. 1996. The effects of cross, slaughter weight and halothane genotype on leanness and meat and fat quality in pig carcasses. *Animal Science*, 63, 487-496.

GREGORY N.G. 1981. Neurological control of muscle metabolism and growth in stress sensitive pigs. Dans: Porcine stress and meat quality. Causes and possible solutions to the problems. Proceedings of the Symposium held at Refnes Gods. Eds. T. Frøstein and Eric Slinde. Press: Agricultural Food Research Society, pp11-20.

GREGORY N. G., LISTER D. 1981. Autonomic responsiveness in stress-sensitive and stress-resistant pigs. *J. Vet. Pharmacol. Therap.* 4, 67-75.

HALL G. M., LUCKE J. N., LISTER D. 1977. Porcine malignant hyperthermia V: Fatal hyperthermia in the pietrain pig, associated with the infusion of a-adrenergic agonists. *Br. J. Anaesth.* 49, 855-863.

HAY, M. AND MORMÈDE, P. Determination of catecholamines and methoxycatecholamines excretion in pig and rat urine by ion-exchange liquid chromatography with electrochemical detection. *Journal of Chromatography B.* 1997; 703:15-23.

MACLAREN D.P., REILLY T., CAMPBELL I.T., HOPKIN C. 1999. Hormonal and metabolic responses to maintained hyperglycemia during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87, 124-131.

MCLEOD A.A., BROWN J.E., KITCHELL B.B., SEDOR F.A., KUHN C., SHAND D.G., WILLIAMS R.S. 1984. Hemodynamic and metabolic responses to exercise after adrenoceptor blockade in humans. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental & Exercise Physiology*, 56, 716-22.

MONIN, G. 1988. Stress d'abattage et qualités de la viande. *Recueil De Medecine Veterinaire*, 164, 835-842.

MONIN, G. SELLIER P. 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle fall in the immediate post-mortem period: The case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13, 49-63.

MONIN, G. SELLIER P. OLLIVIER R. GOUTEFONGEA R.

GIRARD J. P. 1980. Carcass characteristics and meat quality of halothane negative and halothane positive Piétrain pigs. *Meat Science*, 5, 413-423.

MORMÈDE, P. AND DANTZER, R. 1978. Behavioural and pituitary-adrenal characteristics of pigs differing by their susceptibility to the malignant hyperthermia syndrome induced by halothane anesthesia. 2. Pituitary-adrenal function. *Ann. Rech. Vet.* 9, 569-576.

MURRAY A. C., JONES S. D. M. 1994. The effect of mixing, feed restriction and genotype with respect to stress susceptibility on pork carcass and meat quality. *Canadian Journal of Animal Science*, 74, 587-594.

TERLOUW C., RYBARCZYK P., FERNANDEZ X., BLINET P., TALMANT A. 1997. Comparaison de la réactivité au stress des porcs de races Large White et Duroc. *Journées Recherches Porcine En France*, 29, 383-390.

WEISS G.M., TOPEL D.G., SIERS D.G., EWAN R. C. 1974. Influence of adrenergic blockage upon some endocrine and metabolic parameters in a stress-susceptible and a fat strain of swine. *Journal of Animal Science*, 38, 591-597.

WOOD J.D., GREGORY N.G., HALL G.M., LISTER D. 1977. Fat mobilization in Pietrain and Large White pigs. *British Journal of Nutrition*, 37, 167-186.