



Après la saignée, le métabolisme musculaire est profondément modifié à cause de l'arrêt de la circulation sanguine. Le muscle se trouvant en anoxie, la synthèse de l'ATP repose désormais sur la dégradation de la phosphocréatine et surtout sur la glycogénolyse anaérobie (pour revue: Monin, 1988). À mesure que le taux d'ATP diminue et que le glycogène est dégradé, des protons et des molécules de lactate sont formés, entraînant une diminution du pH du muscle qui après plusieurs heures se stabilise à une valeur appelée le pH ultime. Le stress psychologique renforce les réponses comportementales et augmente la libération d'hormones, dont l'adrénaline, qui facilite la dégradation du glycogène (Fernandez et al., 1994; Febbraio et al., 1998).

La vitesse de la chute du pH dépend de la vitesse de dégradation de l'ATP, qui est fortement influencée par les niveaux d'activité musculaire et de stress psychologique juste avant la mort. L'amplitude de la diminution du pH dépend des réserves musculaires, essentiellement du glycogène, au moment de la mort. Celles-ci dépendent de la durée du jeûne et du niveau des efforts physiques et du stress émotionnel pendant les heures qui précèdent l'abattage, notamment pendant le transport et l'attente en abattoir. Une diminution du pH trop rapide entraîne la dénaturation des protéines musculaires qui conduit à une viande pâle, flasque et exsudative. Une diminution insuffisante (pH ultime élevé) résulte en la production de viandes de couleur sombre qui ont une plus grande sensibilité aux développements microbiens (Bendall, 1973; Monin, 1988; Hambrecht et al., 2005).

*Parties I et II publiées dans VPC, Vol. 25, n°3 et 4.

Anesthésie gazeuse des porcs

Expertise d'un abattoir équipé du système BACK LOADER d'anesthésie en groupe au CO₂*

En France, plusieurs abattoirs de porcs se sont équipés du système d'étourdissement gazeux. Cette étude montre que la diminution du pH était lente, résultant en une relative absence de viandes exsudatives et indiquant un niveau de stress avant l'abattage bas. Il s'agit donc d'une amélioration. Les pH ultimes étaient dans les plages normales et en adéquation avec les potentiels glycolytiques.

TERLOUW C.¹, ASTRUC T.¹, DEISS V.¹, FERREIRA C.¹,
CHEVILLON P.², VAUTIER A.²

¹ Biochimie et Protéines du muscle, Qualités des produits animaux, Inra de Theix,
63122 ST-GENÈS-CHAMPANELLE

² Ifip, 35651 LE RHEU

Science et technique

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Abattoir, animaux et mesures

Les porcs provenaient tous d'éleveurs répondant à un même cahier des charges de certification (même génétique, même recommandation de mise à jeun...) et avaient été stockés dans des loges d'attente de l'abattoir de 15 porcs à la densité de 0,5 porc/m² pendant 3 h. La durée moyenne de mise à jeun était de 24 h. L'acheminement vers le poste d'étourdissement s'est fait en groupes de 15 porcs, dans des couloirs de 1,40 m de large. L'abattoir était équipé du système BACK LOADER, avec 6 nacelles pouvant réceptionner 7 à 8 porcs paramétré pour une concentration de CO₂ de 90 %.

Les porcs sont exposés au CO₂ durant 150 s et sont saignés 120 à 150 s après la sortie des nacelles. À la concentration de 85 à 90 % de CO₂ aucun porc ne présente de réflexes de retour à la conscience au moment de la saignée (absence de mouvement réflexe, de vocalisation, de réflexes cornéens).

En fin de la chaîne d'abattage (30 min *post-mortem*) 1 porc sur 5 a été sélectionné pour l'étude. Les mesures et les échantillonnages des muscles (pH, température, glycogène) ont été effectués sur 60 porcs. Les prélèvements d'urine, de sang et de foie provenaient d'un sous-échantillon de ceux-ci (tableau 1). Les prélèvements de sang ont eu lieu à la saignée, ceux d'urine et de foie au moment de l'éviscération (15 min *post-mortem*) après la saignée. Le pH, la température, les teneurs en glycogène et en lactate ont été évalués 30 min et 24 h *post-mortem* (tableau 1). Ainsi, 30 min après la saignée, 3 g de muscle de *semimembranosus* (SM) étaient prélevés et partagés en morceaux de 1 et 2 g pour réaliser ultérieurement des dosages de glycogène de lactate, et pour mesurer le pH. À 24 h, les pH des muscles *Longissimus Lumborum* (LL) et SM étaient mesurés directement sur la carcasse à l'aide d'une sonde (pH mètre WTW 340-B sonde Sentix SP) et 1 g de muscle était prélevé sur le SM pour des dosages de glycogène et lactate et congelé dans de l'azote liquide. À 24 h *post-mortem* également, des indicateurs

de couleur objectifs (L*, a* et b*) étaient mesurés sur la surface du SM, 1 h après rafraîchissement de la coupe, directement sur la carcasse (Minolta, Osaka, Japon). La température des muscles était mesurée directement sur la carcasse à l'aide d'une sonde (TFK 150/E).

Les échantillons destinés à des mesures de pH étaient immédiatement homogénéisés pendant 20 s dans 18 ml d'iodoacétate à 5 mM et ceux destinés au dosage de glycogène et de lactate étaient homogénéisés pendant 15 s dans 10 ml d'acide perchlorique 0,55 M, avec un broyeur (Polytron, Steinhofalder, Suisse). Les homogénats destinés aux dosages de glycogène et de lactate étaient placés à 4 °C.

Dosage du glycogène et du lactate

Environ 200 mg de SM lyophilisé étaient suspendus et homogénéisés dans 10 ml d'acide perchlorique à 0,5 M pendant 15 s (Polytron, Steinhofalder, Switzerland). Après hydrolyse du glycogène à l'aide d'amyloglucosidase (38 °C pendant 3 h) et centrifugation pendant 10 min à 4,000 × g, le surnageant était filtré sur papier. Ensuite, après l'addition d'hexokinase et de glucose-6-phosphate-déhydrogénase, le contenu en glucose du surnageant était déterminé par spectrophotométrie du NADH à une longueur d'onde de 340-nm (Dalrymple et Hamm, 1973). L'acide lactique était déterminé par spectrophotométrie du NADH à une longueur d'onde de 340-nm avant l'hydrolyse du glycogène sur une fraction du surnageant après l'addition de lactate déhydrogénase, glutamate et glutamate-pyruvate-transaminase (Bergmeyer, 1974). Le potentiel glycolytique (PG), traduit la quantité de lactate susceptible d'être produite au cours de la glycolyse *post-mortem*. Cette valeur, exprimée en "équivalent lactate" reflète le niveau de glycogène musculaire avant la saignée et a été calculée selon la formule proposée par Monin et Sellier (1985).

Dosage des catécholamines et de la créatinine

Un standard interne, le 3-4-Dihydroxybenzylamine hydrobromide (DHBA; sigma) était ajouté à l'urine, en concentration connue, pour prendre en compte le rendement d'extraction des catécholamines. Ces dernières étaient extraites de l'urine par adsorption sur alumine et éluées par une solution d'acide sulfurique à 0,1 N (Anton et Sayre, 1962). L'éluat était stocké dans un flacon pour HPLC (300 µL) et congelé à -20 °C jusqu'au dosage.

Le dosage a été réalisé par un système de chromatographie liquide haute performance (chaîne HPLC Kontron pourvue d'un passeur d'échantillon; colonne: C18, Merck, Purospher, four à colonne: Gecko 2000, système de détection électrochimique: coulchem II, société ESA), relié à un ordinateur pourvu d'un logiciel d'acquisition et de traitement de données (Kontron, Kromasystem 2000). La gamme était constituée d'un mélange d'adrénaline, de noradrénaline, de dopamine et de DHBA dont les concentrations étaient respectivement: 10-8; 5.10-8; 10-7; 2.10-7 g/mL. Le dosage était réalisé selon le principe de la phase inverse. La composition de la phase mobile (NaH₂PO₄ 75mM, SDS 1,7mM, EDTA 20µM, 10 % méthanol, 5 % Acétonitrile, pH = 3) a été préalablement établie pour optimiser la séparation des pics.

Le taux de catécholamines était exprimé relativement à celui de créatinine pour s'affranchir du niveau de dilution de l'urine. Le dosage colorimétrique de la créatinine a été réalisé en microplaque selon le principe de la réaction de Jaffé (Andanson et al., 2005).

Analyses statistiques

Les relations entre les variables mesurées ont été appréciées par le calcul des corrélations (tableau 2) par Pearson (données brutes) et Spearman (données organisées par rang). La relation entre le potentiel glycolytique et le pH ultime a été appréciée par une ligne de type exponentielle (Genstat v 8).

Tableau 1
MOYENNES ET ÉCARTYPES DES VALEURS TROUVÉES

Variable	Moyenne	Ecartype	Plage	n
Sang				
pH	6,96	0,01	6,86 - 7,04	32
pCO ₂ (mmHg)	173,7	3,67	132,5 - 200	32
pO ₂ (mmHg)	23,4	1,0	18,0 - 40,4	32
Glucose (mmol/l)	10,7	3,4	5,0 - 20,1	33
Lactate (mmol/l)	8,2	2,4	3,5 - 14,4	33
Urine				
Noradrénaline (ng/mg créatinine)	33,9	3,4	12,5 - 73,0	24
Adrénaline (ng/mg créatinine)	20,5	1,8	9,4 - 38,5	24
Dopamine (ng/mg créatinine)	38,8	2,3	18,1 - 65,1	24
SM				
Glycogène à 30 min (µmol/g)	18,40	1,13	0,90 - 52,90	60
Lactate à 30 min (µmol/g)	43,19	1,24	17,0 - 63,9	60
PG* à 30 min (µmol/g)	79,98	1,87	47,3 - 127,1	60
pH à 30 min	6,81	0,02	6,53 - 7,02	60
T (°C) à 30 min	40,01	0,06	39,1 - 40,9	60
pH à 24 h	5,63	0,02	5,36 - 6,26	58
T (°C) à 24 h	6,32	0,04	5,80 - 7,0	58
Glycogène à 24 h (µmol/g)	8,12	0,84	1,0 - 21,9	50
Lactate à 24 h (µmol/g)	76,26	1,88	41,4 - 113,6	50
L* à 24 h	50,4	0,4	42,8 - 54,9	58
a* à 24 h	6,83	0,19	3,75 - 11,86	58
b* à 24 h	4,85	0,14	2,26 - 8,23	58
LL				
pH à 24 h	5,61	0,02	5,34 - 6,10	58
T (°C) à 24 h	5,97	0,02	5,80 - 6,40	58
Foie				
Glycogène (µmol/g)	42,7	7,2	4,2 - 138,9	33
Lactate (µmol/g)	6,78	0,52	2,2 - 11,9	33
PG*	92,2	14,9	10,5 - 289,2	33

*PG = potentiel glycolytique (µmol équivalent lactate/g de muscle)

À cause du rôle de l'activité physique et du stress, le choix des équipements et leurs agencements dans les abattoirs est primordial pour les qualités des carcasses et viandes produites. Le système d'étourdissement en fait partie. Chez le porc, les deux systèmes principalement utilisés sont l'étourdissement électrique ou électronarcose, et l'étourdissement gazeux au gaz carbonique. Les différentes méthodes d'étourdissement présentent différents avantages et désavantages (Deiss et al., 2006; Terlouw et al., 2006). La méthode principale en France est l'anesthésie électrique. Son intérêt principal réside dans sa brièveté d'application. Toutefois, selon la position des électrodes, leur état d'entretien, et la taille du porc, la quantité de courant qui doit être appliquée pour rendre l'animal insensible varie (Wotton et

O'Callaghan, 2002). Aussi, dans des systèmes automatisés, l'intensité délivrée est souvent au-dessus de l'intensité nécessaire pour garantir un étourdissement efficace, soit 1.3 A. Il en résulte des pétéchies et parfois des fractures (Velarde et al., 2000). L'utilisation de l'anesthésie électrique nécessite la séparation des porcs au plus tard à l'entrée du restrainer. La séparation contraire l'instinct grégaire de l'espèce porcine. Souvent, les animaux se chevauchent dans les couloirs étroits, ce qui provoque des griffures (Hunter et al., 1994). Le positionnement automatique des électrodes se fait parfois incorrectement, à cause des variations de taille et de forme des porcs et le passage du courant peut alors être insuffisant et douloureux. Le poste de narcose au CO₂ est un puits où les porcs sont descendus dans une

nacelle, soit individuellement, soit en groupe. La conduite en groupe diminue la quantité de griffures cutanées (Hunter et al., 1994). Plusieurs études montrent des avantages au niveau la qualité des carcasses, grâce à une diminution des pétéchies (Velarde et al., 2001; Channon et al., 2002), et des viandes, grâce à une diminution du pH plus lente, parfois résultant en un pH ultime plus élevé (Channon et al., 2000; 2002; 2003). Toutefois, une diminution plus rapide a également été observée, sans toutefois entraîner la production de viandes PSE (Terlouw et al., 2006). L'inconvénient principal du système est l'excitation comportementale inhabituelle des porcs pendant la phase d'induction, potentiellement indicatrice d'un problème de bien-être (Hoenderken et al., 1979; Deiss et al., 2006) et très probablement la cause de la diminution du pH plus rapide dans notre précédente étude (Terlouw et al., 2006).

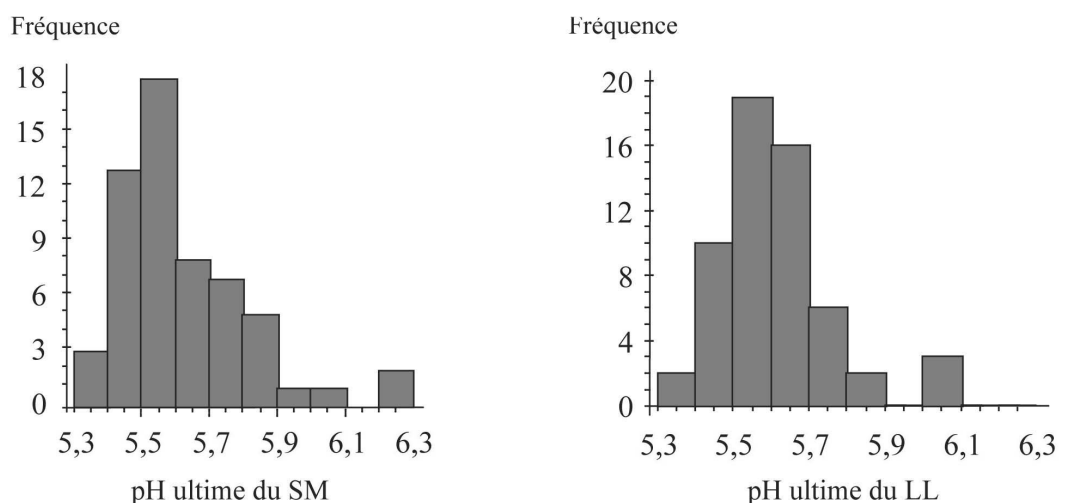
En France, chez le porc, l'étourdissement électrique est le plus souvent utilisé. Toutefois, plusieurs abattoirs se sont équipés du système d'étourdissement gazeux, dans l'objectif de diminuer la fréquence des viandes exsudatives. Cette étude a évalué les caractéristiques physico-chimiques des viandes produites dans un abattoir équipé du système d'étourdissement par CO₂ avec une conduite en groupe. Ces mesures ont été associées à des mesures de réserves en glycogène musculaire car elles influencent le pH ultime, de catécholamines urinaires qui reflètent une activation physique ou un stress et peuvent expliquer des taux de glycogène bas, des réserves en glycogène hépatiques et du glucose sanguin qui peuvent

Tableau 2b
CORRÉLATIONS R, P ENTRE LES CATÉCHOLAMINES URINAIRES ET LES AUTRES VARIABLES MESURÉES.

*Seules les variables montrant une corrélation ($p < 0,10$) figurent.
En italique: non confirmé par la corrélation par Spearman*

		Urine		
		Noradrénaline	Adrénaline	Dopamine
Noradrénaline urinaire	r	-		
	p			
Adrénaline urinaire	r	0,51	-	
	p	0,01		
Dopamine urinaire	r	0,60	0,61	-
	p	0,002	0,002	
pO ₂ sanguine	r		0,43	
	p		0,04	
Glucose sanguin	r			-0,48
	p			0,02
T du SM à 24 h	r	0,37		
	p	0,08		
Glycogène hépatique	r	-0,35		-0,50
	p	0,10		0,01
PG hépatique	r			-0,49
	p			0,02

Figure 1
DISTRIBUTION DES VALEURS DU PH ULTIME DU SM ET DU LL



être utilisées pour reconstituer les réserves musculaires en glycogène et sont liées à la durée du jeûne et le niveau d'effort fourni pendant la période de pré-abattage et les gaz et le pH sanguins, directement liés à l'absorption du CO₂ par le sang.

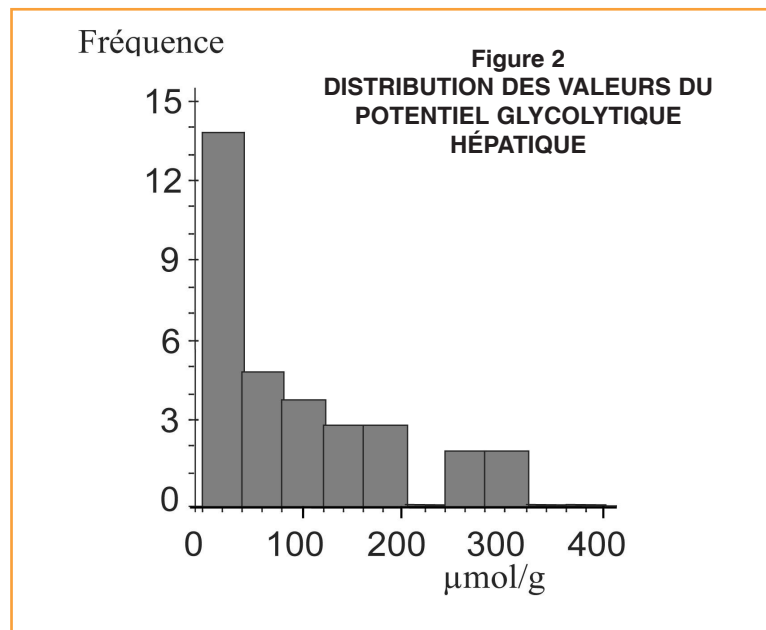
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les moyennes des mesures réalisées sur les muscles SM et LL, le sang et le foie, et leurs effectifs, sont présentés dans le tableau 1 et les figures 1 et 2.

Les pH à 30 min étaient relativement élevés, ce qui correspond généralement à des conditions d'attente et à une conduite en douceur des animaux vers le poste d'étourdissement (Monin, 1988; Astruc et al., 2005) et aura pour conséquence une fréquence très basse de viandes exsudatives (Bendall, 1973; Monin, 1988; Hambrecht et al., 2005). Les pH ultimes étaient dans les plages normales et sont en adéquation avec les potentiels glycolytiques (Przybylski et al., 1994; Velarde et al., 2000; 2001; cf. figures 6 et 7). Ils ne sont pas liés avec le pH sanguin, donc a priori pas influencés par celui-ci.

Le potentiel glycolytique reflète la quantité de glycogène présente dans le muscle au moment de la mort et détermine pour une grande partie le pH ultime, qui est plus bas chez un animal ayant des réserves glycolytiques plus importantes (Monin et Sellier, 1985; Bendall, 1973). Les moyennes des potentiels glycolytiques du SM sont un peu plus basses que celles publiées dans la littérature et qui sont généralement comprises entre 100 et 130 µmol/g, après un abattage commercial (Przybylski et al., 1994; Larzul et al., 1997; Le Roy et al., 2000; Monin et al., 2003; Terlouw et al., 2005). Le potentiel glycolytique dépend à la fois des réserves initiales avant le jeûne, puis des efforts fournis, liés aux conditions de mélange, de transport, et d'attente, et de la durée du jeûne. Dans cette étude, en l'absence de transport long, les potentiels glycolytiques bas sont très probablement la conséquence du jeûne (Fernandez et al., 1995).

Les muscles et le foie constituent les réserves en glycogène les plus importantes de l'organisme et le foie contribue à la reconstitution du glycogène musculaire en cas de diminution des apports. Un jeûne de 9 à 18 h réduit les réserves hépatiques en moyenne à 50 % des valeurs initiales. Après 24 h de jeûne le potentiel glycolytique hépatique est proche de 0 µmol/g (Warriss, 1982; Warriss et Brown, 1983; Brown et al., 1999). Quand les réserves sont



épuisées, le foie peut fournir du glucose à partir du processus de gluconéogenèse, mais cette production n'est pas instantanée. Ainsi, des efforts musculaires supplémentaires ont en général pour conséquence une déplétion de glycogène musculaire et une augmentation du pH ultime (Warriss et Brown, 1983).

Si on considère les 32 porcs dont les caractéristiques hépatiques et musculaires ont été étudiées on constate que pour 28 d'entre eux, les réserves hépatiques sont diminuées (figure 3). Pour 5 porcs la reconstitution du glycogène musculaire à partir du glycogène hépatique a été efficace avec des valeurs au-dessus de 90 µmol/g de tissu musculaire, résultant en des pH bas (figure 3). Pour les 23 porcs restants, malgré une assez forte mobilisation des réserves en glycogène hépatiques, le SM était pauvre en glycogène (<90 µmol/g).

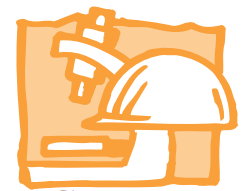
Sur l'ensemble des 59 porcs étudiés, 24 porcs avaient un pH ultime du SM au-dessus de 5,6. Ces porcs avaient moins de 90 µmol de glycogène/g de muscle (figure 4), avec des teneurs en glycogène hépatique variables (figure 5). En revanche, 19 des 43 porcs ayant des réserves de moins de 90 µmol/g, avaient quand même un pH bas (figure 4). Ce phénomène n'est pas exceptionnel. Nos propres études montrent que 4 porcs sur 9 avaient des valeurs en dessous de 90 µmol/g sans répercussion sur le pH qui restait bas (figure 7). En biochimie *post-mortem*, on sait que 5 µmol/g de glycogène expliquent une différence d'environ 0,1 unité de pH (1,8 unité de pH pour 90 µmol/g; Bendall, 1973).

Les effets du jeûne et des efforts physiques portent également sur les valeurs des mesures sanguines. En général, les

teneurs en glucose et lactate sont d'environ 4,5-5 et 8 mmol/l. Des valeurs élevées en glucose ont été observées chez d'autres espèces pendant la période de pré-abattage, suite au transport par exemple (Terlouw et Chupin, 2003). Le foie étant une réserve en glycogène importante, le glucose sanguin est pour une grande partie d'origine hépatique chez le porc à jeun, expliquant leur corrélation.

L'activité métabolique *post-mortem* résulte en une production de chaleur et de protons, expliquant les corrélations entre température et pH à 30 min et/ou 24 h. Le potentiel glycolytique (PG) est calculé à partir des teneurs en glycogène et en lactate, ce qui explique sa corrélation avec la teneur en glycogène. La corrélation entre le pH ultime et le PG est bien connue (Bendall, 1973). Des corrélations entre muscles pour la température et le pH sont souvent observées, car leurs réserves glycolytiques et leur niveau métabolique *ante-mortem* sont liés. La corrélation entre les indicateurs de couleur, l'évolution du pH et de la température s'explique par le degré de réflexion de la lumière en fonction de la distance entre les myofibrilles dans les cellules musculaires (effet du pH ultime) et le niveau de dénaturation des protéines (effet de la température et du pH initial) (Renner, 1990; Lindahl, 2005).

La corrélation entre les réserves en glycogène du foie et la température musculaire *post-mortem* est sans doute indirecte. Une température élevée peut être indicatrice d'une activité métabolique *post-mortem* élevée. Il est toutefois improbable que les porcs pauvres en glycogène hépatique aient eu une forte

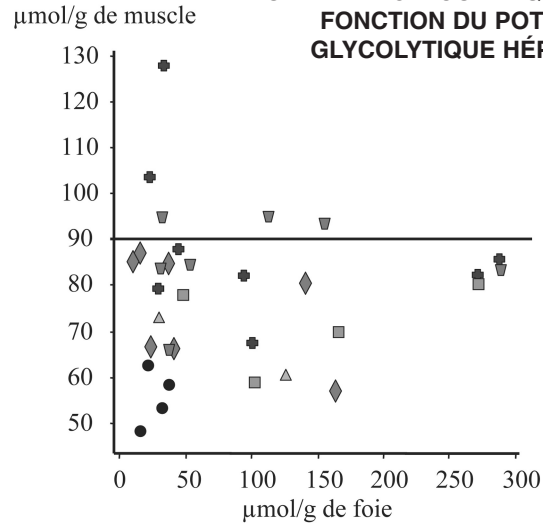


activité métabolique *post-mortem*. Il est plus probable que la température à 24 h soit influencée par la masse du porc. Les porcs les plus lourds se sont refroidis plus lentement et ces mêmes porcs avaient moins de glycogène hépatique, peut-être à cause d'effort de jeûne plus important (niveau de base plus élevé) et/ou une utilisation plus importante pendant l'activité motrice (corps plus lourd). La corrélation avec le pH du sang pourrait également s'expliquer par un effet poids corporel avec une acidification sanguine plus importante chez les porcs lourds (plus de production métabolique de CO₂ pendant l'excitation physique lors de l'induction de l'inconscience).

L'anesthésie résulte de l'action acidifiante du sang par le CO₂, et par conséquent du liquide céphalo-rachidien. L'acidification du liquide céphalo-rachidien perturbe le fonctionnement normal des neurones du cerveau qui conduit à une perte de connaissance et de motricité (Eisele et al., 1967; Forslid, 1987; Martoft et al., 2003). L'absorption du CO₂ par le sang explique les valeurs du pH sanguin. La corrélation entre le pCO₂ et le pH sanguin s'explique par la forme que prend le gaz carbonique quand il est transporté dans le sang: 70 % est sous forme d'ion HCO₃⁻ dans le sang, libérant un H⁺ ($H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$). Le lactate dans le sang est un produit de dégradation du glucose et pour une grande partie d'origine musculaire suite aux efforts physiques et prend la forme d'acide lactique ($C_3H_6O_3 \rightarrow C_3H_5O_3^- + H^+$). Il contribue ainsi à l'acidification du sang.

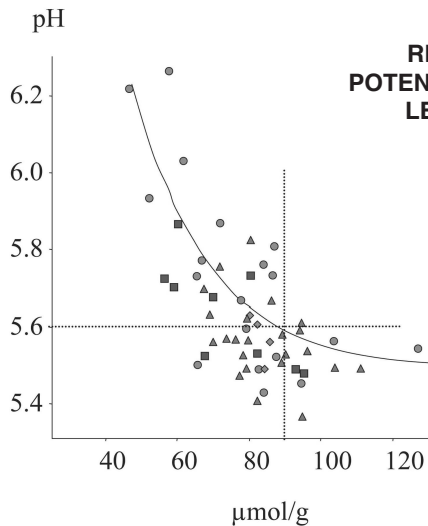
Les valeurs urinaires des catécholamines (noradrénaline, adrénaline, dopamine) sont beaucoup plus élevées que celles observées chez le porc au repos (respectivement $9,3 \pm 1,0$; $4,2 \pm 0,4$ et $26,3 \pm 2,5$ ng/mg de créatinine, Hay et Mormède, 1997). Compte tenu d'un certain délai entre le moment de sécrétion et du passage dans l'urine (entre 10 min et plusieurs heures; Terlouw et al., 2001; Hay et Mormède, 1997), ces augmentations sont probablement dues aux manipulations précédant l'étourdissement. Les taux des trois hormones sont corrélés car elles sont toutes produites par les glandes surrénales, à partir d'un même processus biochimique. L'adrénaline est connue pour son action sur la dégradation du glycogène dans le muscle actif (Fernandez et al., 1984; Febbraio et al., 1998). On trouve souvent une corrélation entre le taux

Figure 3
POTENTIEL GLYCOLYTIQUE DU SM EN FONCTION DU POTENTIEL GLYCOLYTIQUE HÉPATIQUE



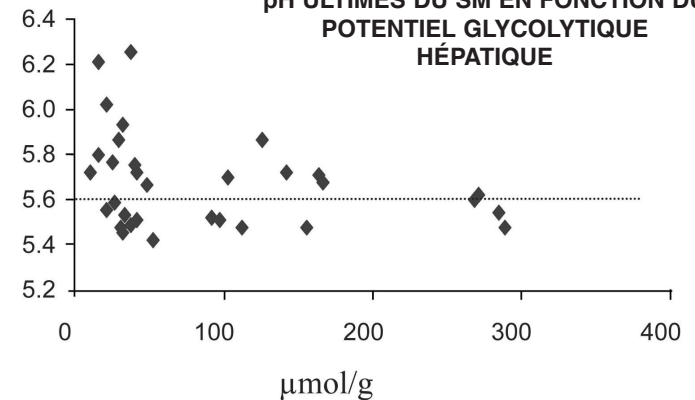
Trapèzes, croix, carrés, losanges, triangles et cercles représentent les porcs ayant des pH ultimes > 5,4 et < 5,51; > 5,50 et < 5,61; > 5,60 et < 5,71; > 5,70 et < 5,81; > 5,90 et < 6,27, respectivement.

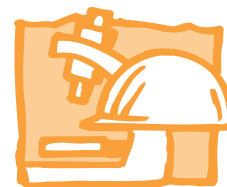
Figure 4
RELATION ENTRE LE POTENTIEL GLYCOLYTIQUE ET LE PH ULTIME DU SM



Cercles, carrés et losanges représentent des porcs ayant un potentiel glycolytique hépatique entre 10 et 55; 90 et 170; et 260 et 290 µmol/g. Les triangles représentent les porcs pour lesquels les potentiels glycolytiques hépatiques n'ont pas été mesurés.

Figure 5
pH ULTIMES DU SM EN FONCTION DU POTENTIEL GLYCOLYTIQUE HÉPATIQUE





d'adrénaline urinaire à l'abattage et le pH ultime (Foury et al., 2005; Berne et al., 2004). L'absence d'une telle corrélation traduit probablement l'influence d'autres facteurs influençant le métabolisme du glycogène (jeûne, effort physique en absence de stress, reconstitution à partir des réserves hépatiques).

Enfin, un abaissement du pH ultime progressif sur une période de plusieurs années peut s'expliquer par la sélection génétique pour la muscularité (Cameron, 1990). Cette sélection favorise la production de porcs dont la proportion musculaire de fibres blanches (plus grosses mais aussi plus riches en glycogène) est plus élevée. Plus un muscle contient de fibres blanches, plus son pH ultime a tendance à être bas (Larzul et al., 1998).

En résumé, dans cet abattoir, la diminution du pH est lente, résultant en une relative absence de viandes exsudatives et indiquant un niveau de stress avant l'abattage bas. Pour la majorité des porcs, les réserves hépatiques ont été mobilisées afin de reconstituer une partie des réserves de glycogène musculaire. Malgré cela, le potentiel glycolytique moyen du SM reste relativement bas par rapport à celui rapporté dans la littérature. L'abaissement du taux de glycogène ne s'explique pas par des taux d'adrénaline élevés, indiquant que celui-ci n'est pas uniquement lié au stress, mais que d'autres facteurs sont impliqués (jeûne, effort musculaire, attente, apports hépatiques).

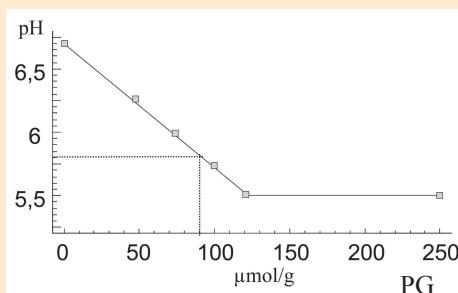


Figure 6
Représentation schématique des variations du pH ultime en fonction du potentiel glycolytique au moment de l'abattage, pour le SM du porc (d'après Przybylski et al., 1994)

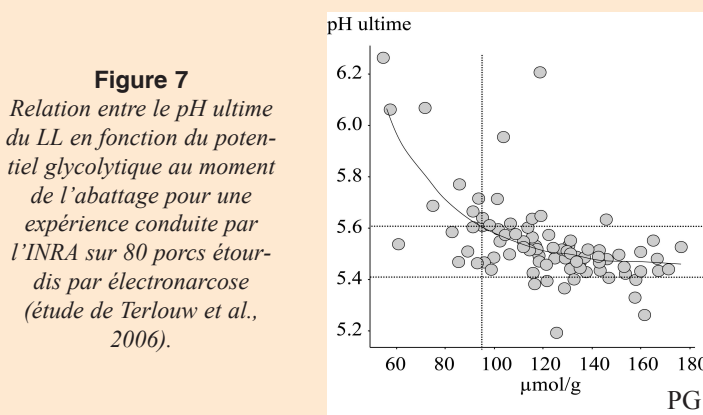


Figure 7
Relation entre le pH ultime du LL en fonction du potentiel glycolytique au moment de l'abattage pour une expérience conduite par l'INRA sur 80 porcs étourdis par électroanesthésie (étude de Terlouw et al., 2006).



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

- ANDANSON S., BERNE A., ASTRUC T., SAPIN V., ROZAND I., 2005.** Mise au point et validation d'une méthode de dosage sur microplaques de la créatinine urinaire bovine et porcine. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, N° 54, 11-19.
- ANTON A.H., SAYRE D.F., 1962.** A study of the factors affecting the aluminium oxide-trihydroxyindole procedure for the analysis of catecholamines. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 138, 360-375.
- ASTRUC T., TERLOUW C., HAYE E., BERNE A., HEYER A., 2005.** Intérêt d'une unité mobile pour abattre sur site de production : bien-être des animaux et qualité technologique des viandes. *Journées Recherches Porcines*, Paris, pp. 113-118.
- BENDALL J.R., 1973.** Post mortem changes in muscle. In: *Structure and Function of Muscle*, 2nd ed. G.H. Bourne (Ed.), Academic Press, New York, NY, pp. 244-309.
- BERNE A., ASTRUC T., HAYE E., TERLOUW C., 2004.** Catécholamines et relation avec les qualités des viandes de porc : rôles du type génétique, du mode d'élevage et des conditions d'abattage. 10^{èmes} Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viandes, 25-26/10/2004, Rennes, pp. 57-58.
- BROWN S.N., KNOWLES T.G., EDWARDS J.E., WARRISS P.D., 1999.** Relationship between food deprivation before transport and aggression in pigs held in lairage before slaughter. *Vet. Rec.*, 145, 630-634.
- CAMERON N.D.** Genetic and phenotypic parameters for carcass traits, meat and eating quality traits in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 26, 119-135. 1990.
- CHANNON, H.A., A. M. PAYNE, AND R. D. WARNER. 2002.** Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Sci.*, 60, 63-68.
- CHANNON, H.A., WAYNE A.M., WARNER R. D. 2000.** Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Sci.*, 56, 291-299.
- CHANNON, H. A., PAYNE A.M., WARNER R.D., 2003.** Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. *Meat Sci.*, 65, 1325-1333.
- DEISS V., ASTRUC T., FERREIRA C., TERLOUW E.M.C., 2006.** Anesthésie gazeuse des porcs I. Réponses physiologiques et comportementales à différents mélanges gazeux. *VPC*, 25, 71-82.
- EISELE J.H., EGER E.J., MUALLEM M., 1967.** Narcotic Properties of Carbon Dioxide in the Dog. *Anaesthesiol*, 28, 856-865.
- FERNANDEZ X., MEUNIER-SALAÜN M.C., ECOLAN P., 1994.** Glycogen depletion according to muscle and fibre types in response to dyadic encounters in pigs (*Sus scrofa domestica*) — relationships with plasma epinephrine and aggressive behaviour. *Comp. Biochem. Physiol.*, 4, 869-879.
- FERNANDEZ X., MEUNIER-SALAÜN M.C., ECOLAN P., MORMÈDE P., 1995.** Interactive effect of food deprivation and agonistic behavior on blood parameters and muscle glycogen in pigs. *Physiol. Behav.*, 58, 337-345.
- FEBBRAIO M.A., LAMBERT D.L., STARKIE R.L., PROIETTO J., HARGREAVES M., 1998.** Effect of epinephrine in trained men. *J. Appl. Physiol.*, 84, 465-470.
- FORSLLID A. 1987.** Transient neocortical, hippocampal and amygdaloid EEG silence induced by one minute inhalation of high concentration CO₂ in swine. *Acta Physiol. Scand.* 130, 1-10.
- FOURY A., DEVILLERS N., SANCHEZ M.-P., GRIFFON H., LEROY P., MORMEDE P., 2005.** Stress hormones, carcass composition and meat quality in Large White X Duroc pigs. *Meat Sci.*, 69, 703-707.
- HAMBRECHT E., EISSEN J.J., NEWMAN D.J., SMITS C.H.M., DEN HARTOG L. A., VERSTEGEN M.W.A., 2005.** Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptimal transport and lairage conditions. *J. Anim. Sci.*, 83, 440-448.
- HAY M., MORMEDE P., 1998.** Urinary excretion of catecholamines, cortisol and their metabolites in Meishan and Large White sows : validation as a non-invasive and integrative assessment of adrenocortical and sympathoadrenal axis activity. *Vet. Res.*, 29, 119-128.
- HOENDERKEN R., VAN LOGTESTIJN J.G., SYBESMA, W., SPANJAARD, W.J.M., 1979.** Carbon dioxide stunning of pigs. *Fleischwirtsch*, 59, 1572-1578.
- HUNTER E.J., WEEDING C.M., GUISE H.J., ABBOTT T.A., PENNY, R.H. 1994.** Pig welfare and carcass quality : A comparison of the influence of slaughter handling systems in two abattoirs. *Vet. Rec.*, 135, 423-425.
- LARZUL C., LE ROY P., MONIN G., SELLIER P., 1998.** Variabilité génétique du potentiel glycolytique du muscle chez le porc. *INRA Prod. Anim.*, 11, 183-197.
- LE ROY P., ELSÉN J.-M., CARITEZ J.-C., TALMANT A., JUIN H., SELLIER P., MONIN G., 2000.** Comparison between the three porcine RN genotypes for growth, carcass composition and meat quality traits. *Genet. Sel. Evol.*, 32, 165-186.
- LINDAHL G., 2005.** Colour characteristics of fresh pork. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.
- MARTOFT L., STØDKILDE-JØRGENSEN H., FORSLID A., PEDERSEN H.D., JØRGENSEN P.F., 2003.** CO₂ induced acute respiratory acidosis and brain tissue intracellular pH : a 31P NMR study in swine. *Lab. Anim.*, 37, 241-248.
- MONIN G., 1988.** Stress d'abattage et qualités de la viande. *Rec. Med. Vet.*, 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 Sci.*, 13, 49-63.
- PRZYBYLSKI W., VERNIN P., MONIN G., 1994.** Relationship between glycolytic potential and ultimate pH in bovine, porcine and ovine muscles. *J. Muscle Foods*, 5, 245-255.
- RENERRE M., 1990.** Review : Factors involved in the discoloration of beef meat. *Internat. J. Food Sci. Technol.*, 25, 613-630.
- TERLOUW E.M.C., CHUPIN J.M., 1993.** Le transport des veaux. Dans : *Le veau de boucherie* (I. Veissier, G. Bertrand et R. Toullec (Eds). INRA Editions, 2003, pp. 139-160.
- TERLOUW C., LUDRIKS A., SCHOUTEN W., VAESSEN S., FERNANDEZ X., ANDANSON S., PÈRE M.C., 2001.** Prédominance de l'allèle de sensibilité à l'halothane. *VPC*, 22, 127-136.
- TERLOUW E.M.C., PORCHER J., FERNANDEZ X., 2005.** Repeated handling of pigs during rearing. II. Effect of reactivity to humans on aggression during mixing and on meat quality. *J. Anim. Sci.*, 83, 1664-1672.
- TERLOUW C., ASTRUC T., DEISS V., FERREIRA C., ESPINOSA L., 2006.** Anesthésie gazeuse des porcs II. Qualités des viandes de porcs étourdis avec différents mélanges gazeux. 25, 133-140
- VELARDE A., GISPERT M., FAUCITANO L., MANTECA X., DIESTRE A., 2000.** The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci.*, 55, 309-314.
- VELARDE A., GISPERT M., FAUCITANO L., ALONSO P., MANTECA X., DIESTRE A., 2001.** Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Sci.*, 58, 313-319.
- WARRISS P.D., 1982.** Loss of carcass weight, liver weight and liver glycogen, and the effects on muscle glycogen and ultimate pH in pigs fasted pre-slaughter. *J. Sci. Food. Agric.*, 33, 840-846.
- WARRISS P.D., BROWN S.N., 1983.** The influence of pre-slaughter fasting on carcass and liver yield in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 10, 273-282.
- WOTTON S.B., O'CALLAGHAN M., 2002.** Electrical stunning of pigs : the effect of applied voltage on impedance to current flow and the operation of a fail-safe device. *Meat Sci.*, 60, 203-208.