

Anesthésie gazeuse des porcs : variations physiologiques et comportementales et qualités des viandes

Claudia TERLOUW (1), Thierry ASTRUC (1), Véronique DEISS (1), Lucia ESPINOSA (2)

(1) QuAPA, INRA de Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

(2) Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Mexique

(3) URH, INRA de Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

claudia.terlouw@clermont.inra.fr

avec la collaboration technique de C. Ferreira (1), G. Coulaud (3) et J-F. Chazeix (1)

Anesthésie gazeuse des porcs : Variations physiologiques et comportementales et qualités des viandes

L'étourdissement des porcs par CO₂ provoque pendant la phase d'induction d'intenses réactions comportementales. Une première expérience testait plusieurs mélanges de gaz anesthésiants. L'immersion de porcs dans 80 % de CO₂ dans de l'air (90 s), dans 40 % de CO₂ et 30 % d'O₂ dans de l'air (180 s) et dans 70 % de N₂O et 30 % de CO₂ (90 s) provoque une perte de posture après 8, 48 et 10 s (p<0,05), associée à des augmentations des gaz et une diminution du pH du sang veineux. Les signes comportementaux de détresse étaient plus intenses pendant l'immersion dans le CO₂/O₂, mais le réveil des porcs était plus rapide pour le mélange N₂O/CO₂. Dans une deuxième expérience, après l'abattage, le pH initial du *Longissimus lumborum* était plus bas et sa teneur en lactate plus élevée pour les porcs étourdis au gaz que pour ceux étourdis à l'électronarcose, suggérant un effet de l'effort musculaire et de l'absence d'oxygène chez les premiers. Le pH ultime du *Longissimus lumborum* et du *Semispinalis capitis* n'était pas influencé par le mode d'étourdissement. Celui de l'Adductor femoris était plus élevé après électronarcose qu'après étourdissement par N₂O/CO₂, les porcs étourdis au CO₂ ayant des valeurs proches de ces derniers. Celui du *Semimembranosus* montrait les mêmes tendances (p<0,10). Le mode d'étourdissement n'influence pas les teneurs en glycogène et les potentiels glycolytiques des *Longissimus lumborum* et *Semimembranosus*. Ainsi, les nouveaux mélanges testés ne diminuent pas les réactions comportementales pendant l'induction de l'inconscience et l'étourdissement par gaz influence l'évolution du pH post-mortem des muscles.

Gas stunning in pigs: Physiological and behavioural reactions, and meat quality

Gas stunning of pigs by use of CO₂ induces strong behavioural reactions during the induction phase. A first experiment tested various gas mixtures. Immersion of pigs in 80% CO₂ in air (90 s), 40% of CO₂ and 30% of O₂ in air (180 s), and 70% of N₂O and 30% of CO₂ (90 s) caused loss of posture after 8, 48 and 10 s (p<0.05), respectively, an increase in venous gas partial pressures and a reduction of venous pH. Behavioural signs of distress were stronger during immersion in CO₂/O₂ but recovery was faster after N₂O/CO₂ immersion. A second experiment found that after slaughter, the initial pH of the *Longissimus lumborum* was lower and lactate content was higher for pigs stunned with gas rather than electrically, suggesting an effect of muscular effort and of the absence of oxygen in gas stunned pigs. Ultimate pH of the Adductor femoris was higher after electronarcosis than after stunning with N₂O/CO₂, while pigs stunned with CO₂ had values close to N₂O/CO₂ stunned pigs. Ultimate pH of the *Semimembranosus* showed similar tendencies (p<0.10). Stunning method did not influence glycogen or glycolytic potential of *Longissimus lumborum* or *Semimembranosus*. Thus, the new gas mixtures tested do not reduce behavioural reactivity during induction of unconsciousness, and gas stunning influences evolution of post-mortem muscle pH.

INTRODUCTION

Pour l'étourdissement des porcs, à l'abattoir, avant la saignée, deux systèmes coexistent : l'électronarcose et gazeux au CO₂. L'intérêt de l'électronarcose réside dans sa brièveté d'application. Le système automatisé présente cependant des inconvénients : selon la position des électrodes et la taille du porc, la quantité de courant est parfois supérieure à l'intensité nécessaire à un étourdissement efficace, il en résulte des pétéchies et parfois des fractures. A l'inverse, le passage du courant peut être insuffisant et douloureux. Enfin, ce système automatisé nécessite la séparation des porcs au plus tard à l'entrée du restrainer, ce qui contrarie l'instinct grégaire de l'espèce.

Différents pays européens (Suède, Danemark, Pays-Bas) utilisent l'étourdissement par CO₂ à une cadence élevée (400-800 porcs/h). Un des intérêts du système est le mode de conduite des porcs en groupe. Une nacelle descend les porcs dans un puits, contenant au moins 70 % de CO₂ dans de l'air. L'anesthésie résulte de l'action acidifiante du CO₂ du sang, et par conséquent du liquide céphalo-rachidien perturbant le fonctionnement des neurones et conduisant à une perte de connaissance et de motricité (Martoft et al., 2003). L'inconvénient principal est la phase d'induction pendant laquelle on observe une excitation inhabituelle des animaux et des signes de souffrance respiratoire qui dépendent de la concentration en CO₂ (Raj et Gregory, 1996).

Les développements de l'application de l'étourdissement par gaz dépendront de son efficacité dans l'induction et le maintien de l'inconscience et de son impact sur les qualités des carcasses et des viandes. La présente étude a évalué différents mélanges de gaz pour leur efficacité à induire l'incon-

science chez le porc. Les réactions comportementales et physiologiques provoquées par ces mélanges pendant la phase d'induction (expérience 1) ont été étudiées et certaines qualités objectives des viandes de porcs étourdis au gaz ont été comparées à celles de porcs étourdis à l'électronarcose (expérience 2).

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Animaux

60 porcs (croisés père Duroc et mère Landrace x Large White ; poids moyen 85 kg) ont été achetés chez un éleveur local. Les porcs étaient maintenus en groupes de 5 à 10 porcs dans des loges sur paille (3 x 4,5 m) dans une animalerie (11 x 6,5 m) et recevaient 2,5 kg/porc/jour d'aliment à base de céréales dans des nourrisseurs. L'eau était à disposition à volonté à l'aide de tétines. La lumière était artificielle, allumée de 8 à 20 h.

1.2. Salle expérimentale

La salle était équipée pour l'abattage, et contenait une chambre froide, un laboratoire et un système vidéo (DVD). La cuve à gaz (Figure 1) en Plexiglass transparent comportait deux entrées de gaz branchées à des tuyaux. Deux plaques amovibles de polystyrène extrudé se rejoignaient sur la ligne médiane au-dessus de la cuve. Un tube en PVC servait de guide pour la chaîne qui portait la cage contenant le porc. Pour assurer l'homogénéité des mélanges gazeux, en limitant les flux dans la cuve, une circulation close, externe à la cuve, a été mise en place, à l'aide d'un tube en PVC (10 cm de diamètre) comportant un ventilateur (Systemair, Skinnskatteberg, Suède) à faible débit.

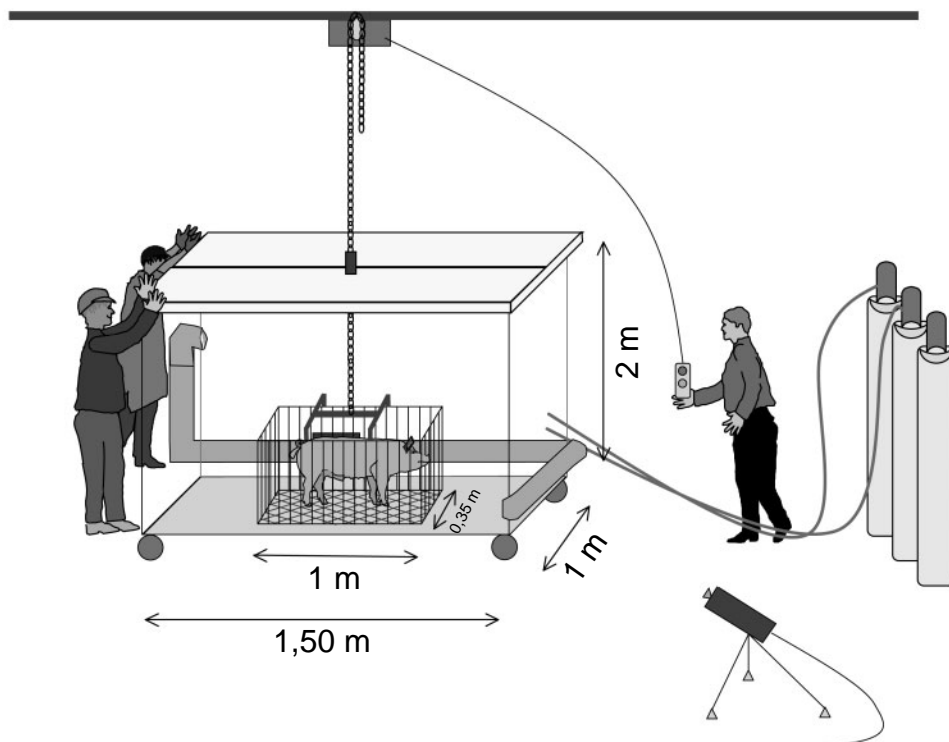


Figure 1 - Salle expérimentale

1.3. Procédure

Pour la première expérience, les mélanges et les durées d'exposition sont les suivants (10 porcs par mélange) :

- Mélange 1 : 80 % de CO₂ dans de l'air pendant 90 s
- Mélange 2 : 40 % de CO₂ et de 30 % de O₂ pendant 180 s
- Mélange 3 : 70 % de N₂O et 30 % de CO₂ pendant 90 s

Trois à 5 jours après leur arrivée, les porcs étaient soumis à la procédure expérimentale, pour habituation (1 séance par jour pendant 3 jours). Deux ou 3 jours après, avait lieu la séance témoin, puis le lendemain le test au mélange de gaz. Un seul mélange était testé par jour (3 ou 4 porcs par jour).

Pour chaque séance, le porc était sorti de sa loge d'élevage et introduit dans une loge d'attente attenante (1,5 x 1 m). Après 10 min, le porc était introduit dans une cage et transporté jusqu'à la salle d'expérimentation. La cage était accrochée au palan, levée puis descendue dans la cuve et le couvercle était posé dessus. La cage restait 75 s sur le sol de la cuve, puis était montée et descendue sur le sol de la salle (durée totale du trajet aérien dans la cuve : 15 s). La cage était ouverte et le porc était guidé à une loge de repos (1,5 x 1,5 m) dans une animalerie identique à la première, où il restait au moins 15 min, avant d'être reconduit dans son groupe. Les séances 'témoin' et 'test' suivaient la même procédure, à l'exception de l'ajout de mesures de fréquence cardiaque à l'aide d'un cardiofréquence-mètre (Polar, Monitor, Anglet) et de la plus longue durée passée dans la cuve pour le mélange CO₂/O₂. Pour les séances 'test', une prise de sang était effectuée dès la sortie de la cuve à gaz dans une veine de l'oreille. Le porc restait en observation pendant 10 min après l'immersion, avant d'être conduit à la loge de repos. Le pH et les pressions partielles du CO₂ et de l'O₂ du sang étaient analysés par un analyseur de sang (IrmaSL, diametrics medical Inc). Toutes les séances de la première expérience étaient enregistrées.

Pour la deuxième expérience, les méthodes d'étourdissement testées (10 porcs par méthode) sont les suivantes :

- 1 : électronarcose manuel (220V ; 10 s),
- 2 : 80 % de CO₂ dans de l'air (90 s)
- 3 : 70 % de N₂O et 30 % de CO₂ (90 s).

Chaque jour, cinq porcs, privés de nourriture depuis 18 h la veille, étaient abattus. Un seul mélange était testé par jour, sur 3 ou 4 porcs, les autres étant étourdis par électronarcose. Les mélanges alternaient par jour d'abattage. Après l'étourdissement, le porc était levé par une patte arrière à l'aide du palan, et saigné. Le sang de la saignée était collecté, la carcasse était introduite dans l'échaudeuse pendant 5 min (70 °C), puis fendue et éviscérée.

Des mesures ont été effectuées selon le tableau 1. Le Rendement Napole (Naveau et al., 1985) et les pertes en eau (après 24, 72 et 120 h de suspension dans un sachet, Honikel, 1998) ont été mesurées sur des échantillons prélevés 30 h post-mortem sur les LL et SM. Les échantillons destinés aux mesures de pH (à 5, 30 et 60 min post mortem) étaient broyés 20 sec dans 18 ml d'iodoacétate à 5mM, ceux destinés au dosage de glycogène et de lactate étaient broyés 15 s dans 10 ml d'acide perchlorique 0,55M et placés à 4°C. A 30 h, les pH et la température étaient mesurés sur la carcasse à l'aide d'un enregistreur équipé de deux sondes (pH-mètre WTW 340-B, sondes Sentix SP et TFK 150/E). Les points de sang étaient évalués sur une tranche de LL et de SM. Le potentiel glycolytique reflétant le niveau de glycogène musculaire avant la saignée, a été calculé selon la formule proposée par Monin et Sellier (1985).

1.4. Exploitation des données et analyses statistiques

A la lecture des DVD, étaient déterminées, pour l'immersion et le réveil, les durées, fréquences et/ou latences de diffé-

Tableau 1 - Mesures physico-chimiques effectuées à différents moments post-mortem sur les 4 muscles étudiés

	pH	T	PG	Couleur (Minolta : L*, a*, b*)
<i>Longissimus lumborum</i> (LL)				
5 min	•	•	•	
30 min	•	•	•	
60 min	•	•		
30 h	•	•	•	•
<i>Semimembranosus</i> (SM)				
30 min	•	•	•	
60 min	•	•		
30 h	•	•	•	•
<i>Adductor femoris</i> (AF)				
30 min	•	•		
60 min	•	•		
30 h	•	•		•
<i>Semispinalis capitis</i> (SC)				
30 min	•	•		
60 min	•	•		
30 h	•	•		

rents comportements (Tableau 2). La moyenne de la fréquence cardiaque a été déterminée avant, pendant et après le passage dans la cuve, ainsi que le délai de récupération d'une activité cardiaque normale (variabilité cardiaque similaire à celle du repos, moyenne constante), depuis la sortie du gaz. Pendant l'immersion, le signal cardiaque était le plus souvent perdu.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Crunch (version 4, Crunch Software Corporation, Oakland, Etats-Unis), à l'aide d'analyses de variance avec un facteur de variation inter-individuel (mélange ou méthode d'étourdissement). Le cas échéant, un facteur intra-individuel (jour : témoin vs test ou temps post-mortem) était introduit, auquel pouvait s'ajouter un deuxième (fréquence cardiaque : diffé-

Tableau 2 - Moyennes des durées (s par min) et nombre des activités observées pendant l'immersion (cage posée) et au cours du réveil, et latences (s) des activités après la sortie de la cuve et nombre de porcs montrant chaque activité (n)

Activité	80 % CO ₂	40 % CO ₂ / 30 % O ₂	30 % CO ₂ / 70 % N ₂ O	p
Durées pendant et après l'immersion				
<i>Pendant l'immersion (hors trajet aérien)</i>				
Debout	1,4 ± 0,7 ^a	9,6 ± 2,2 ^b	3,4 ± 1,0 ^a	0,0008
Debout, pattes avant pliées	0,8 ± 0,5	0,6 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,33
Assis, pattes avant tendues	0,24 ± 0,25	2,59 ± 1,28	1,87 ± 0,84	0,15
Assis, pattes avant pliées	0,24 ± 0,18	1,52 ± 0,84	0,18 ± 0,19	0,11
Couché sur le sternum	10,8 ± 6,6	27,6 ± 4,6	22,9 ± 7,6	0,13
Couché sur le flanc ou dos	27,7 ± 6,3	4,8 ± 5,1	20,1 ± 8,4	0,36
Couché en contorsion	3,0 ± 1,4 ^a	9,5 ± 3,4 ^b	2,0 ± 1,3 ^a	0,007
Bonds	9,8 ± 2,3 ^a	3,7 ± 1,4 ^b	9,8 ± 1,9 ^a	0,03
Détresse respiratoire	25,8 ± 4,7 ^a	44,1 ± 3,3 ^b	31,1 ± 2,7 ^a	0,003
Latence perte posture debout	7,9 ± 2,7 ^a	48,4 ± 10,2 ^b	10,1 ± 2,5 ^a	0,0001
Vocalisations	4,5 ± 1,3 ^{a,b}	0,8 ± 0,5 ^a	8,0 ± 3,2 ^b	0,02
Vocalisations (nombre total)	1,5 ± 0,4	1,4 ± 0,7	3,0 ± 1,0	0,15
Vocalisations (nombre/min)	1,2 ± 0,3 ^a	0,5 ± 0,2 ^a	2,4 ± 0,8 ^b	0,02
Latence bonds	7,25 ± 1,2 ^a	50,6 ± 18,2 ^b	12,1 ± 2,2 ^a	0,006
Latence détresse respiratoire	5,4 ± 2,1 ^{a,b}	9,8 ± 2,4 ^a	4,2 ± 2,9 ^b	0,055
<i>Après l'immersion</i>				
Couché sur le sternum	16,9 ± 5,6	30,5 ± 4,8	16,3 ± 6,1	0,11
Couché sur le flanc	20,3 ± 2,5	12,7 ± 5,0	14,9 ± 2,7	0,31
Couché total	37,2 ± 6,4	43,2 ± 4,4	31,1 ± 6,5	0,30
Debout	3,5 ± 2,5 ^{a,b}	0,8 ± 0,4 ^a	9,11 ± 3,1 ^b	0,03
Tentatives de se lever	3,1 ± 0,9	3,6 ± 1,5	1,3 ± 0,4	0,15
Marche instable	2,4 ± 1,3	0,5 ± 0,4	0,9 ± 0,5	0,19
Marche stable	3,3 ± 2,6	7,9 ± 5,4	13,4 ± 4,6	0,26
Détresse respiratoire	2,4 ± 1,5	3,8 ± 1,7	1,8 ± 1,3	0,59
Latences après l'immersion				
Détresse respiratoire	37,3 ± 21,2 ; n=4	29,8 ± 15,0 ; n=6	46,0 ± 50,8 ; n=3	0,87
Première tentative de se lever	145,9 ± 13,8 ; n=9	90,3 ± 59,7 ; n=8	167,1 ± 35,2 ; n=8	0,35
Se lève spontanément avec succès	314,3 ± 64,1 ^{a,b} ; n=6	329,8 ± 147,1 ^a ; n=5	137,3 ± 17,2 ^b ; n=6	0,07
Chute ²	268,5 ± 102,0 ; n=4	n=0	127,0 ± 10,3 ; n=3	0,23
Marche instable	359,5 ± 103,6 ^a ; n=4	482,5 ± 268,0 ^a ; n=2	132,6 ± 13,9 ^b ; n=5	0,04
Marche stable	337,0 ± 28,3 ; n=2	231,3 ± 52,2 ; n=3	282,0 ± 33,0 ; n=6	0,30

¹a, b sur une même ligne : p<0,05

² mélange CO₂/O₂ exclu de l'analyse.

rentes étapes). Les pH, température et les mesures du PG à 24 h étaient analysés séparément. Les différences significatives étaient localisées à l'aide d'un test-t.

Des corrélations ont été effectuées après une rectification pour le mode d'étourdissement (« Pooled Pearson »). En cas de corrélation multiple, une régression multiple était réalisée et seules les variables significatives sont présentées. Une analyse de co-variance était effectuée afin de déterminer si des variations de la co-variable expliquent les effets des facteurs de variation de la variable analysée. Les caractéristiques des carcasses ont été évaluées à l'aide de tests de Chi-carré.

2. RÉSULTATS

2.1. Expérience 1

Deux porcs sont morts dans les 2 minutes suivant la sortie de la cuve contenant 80 % de CO₂ et le mélange CO₂/O₂, vraisemblablement par arrêt cardiaque.

Pendant l'immersion dans le mélange CO₂/O₂, les porcs restaient plus longtemps debout, étaient plus souvent en

contorsion et montraient plus souvent, quoi que plus tardivement des signes de détresse respiratoire et moins souvent et plus tardivement des bonds, que les porcs immergés dans les autres mélanges (Tableau 2). Après l'immersion, certains constituants du sang étaient modifiés (Tableau 3). La reprise de la posture debout était plus rapide chez les porcs immergés dans le mélange N₂O/CO₂ (Tableau 2). Moins de porcs immergés dans du CO₂/O₂ tendaient à tomber (Chi-carré=5,65 ; p<0,10).

Les pO₂ et pCO₂ étaient corrélées avec différentes variables physiologiques (Tableau 4). La pCO₂ était corrélée avec le pH (r=-0,62 ; p<0,05) seulement après exclusion du groupe mélange CO₂/O₂. Pour ce dernier groupe, le pH était corrélé (r=-0,82 ; p<0,02) avec le pO₂.

Les fréquences cardiaques étaient plus basses (p<0,001) dans les loges d'attente (117,6 ± 2,1 bpm) et de récupération (130,1 ± 2,3 bpm) qu'après la sortie de la cuve (témoin : 151,0 ± 2,8 bpm ; test : 175,9 ± 3,2 bpm). Le délai de rétablissement de l'activité cardiaque était plus court (p<0,01) pour le mélange CO₂/O₂ (175,7 ± 51,1 s) que pour les mélanges 80 % CO₂ (448,6 ± 54,4/s) et N₂O/CO₂ (338,8 ± 12,0 s).

Tableau 3 - Moyennes et écart types de la moyenne des constituants sanguins, après immersion dans les différents mélanges

	80 % CO ₂	40 % CO ₂ / 30 % O ₂	70 % N ₂ O/ 30 % CO ₂	p
pH	7,26 ± 0,02 ^a	7,20 ± 0,02 ^b	7,28 ± 0,02 ^a	0,05
pCO ₂ (mmHg)	63,8 ± 5,5	63,5 ± 3,6	61,3 ± 3,5	0,90
pO ₂ (mmHg)	37,0 ± 3,3 ^a	68,2 ± 5,8 ^b	48,9 ± 1,8 ^a	0,001
HCO ₃ ⁻ mmol/l	30,2 ± 2,8	24,8 ± 2,0	28,1 ± 0,9	0,19
TCO ₂ mmol/l	32,4 ± 3,0	26,8 ± 2,1	30,0 ± 0,9	0,21
O ₂ sat (%)	74,3 ± 6,5	86,1 ± 2,2	77,0 ± 2,5	0,13

Tableau 4 - Coefficients de corrélation (r) entre la pO₂ et pCO₂ et différentes autres variables physiologiques

	pO ₂		pCO ₂	
	r	p	r	p
FC avant monter séance témoin	0,48	0,03	-0,44	0,05
FC dans cuve séance témoin			-0,45	0,05
FC dans loge de récupération séance témoin			-0,43	0,06
FC après rétablissement (1 ^{ère} min) séance test	0,55	0,04		
FC après rétablissement (restant du temps) séance test	0,53	0,05	-0,52	0,05
pH sanguin	-0,45	0,05		
pO ₂			-0,51	0,03
pCO ₂	-0,51	0,03		
HCO ₃ ⁻	-0,66	0,002	0,78	0,00001
TCO ₂	-0,65	0,003	0,81	0,00001
O ₂ sat	0,77	0,0001		

FC = Fréquence cardiaque

2.2. Expérience 2

Avec le mélange CO₂ 80 %, deux porcs sont morts à la sortie de la cuve et un a sursauté pendant la saignée. Après l'immersion dans le N₂O/CO₂, un porc a sursauté pendant la saignée et trois ont repris conscience (mouvements abrupts et ralentissement de la saignée) et ont été tués par une saignée au niveau du coeur. Les quantités de sang récoltées n'étaient pas influencées par le mode d'étourdissement (total de 3163 ± 160 g). Trois porcs étourdis à l'électronarcose et un étourdi au CO₂ avaient 3 ou 4 points de sang sur la tranche du SM (Chi-carré : non significatif).

Les porcs étourdis à l'électronarcose avaient un pH initial du LL plus élevé que les porcs étourdis au gaz (Tableau 5). Le pH ultime du AF était influencé par le mode d'étourdissement. Celui du SM montrait une même tendance (p<0,10). Les PG et les teneurs en glycogène des LL (PG, 5 min : 119,8 ± 3,5 µmol/g) et SM (PG, 30 min : 120,6 ± 2,8 µmol/g) n'étaient pas influencés par le mode d'étourdissement. Le lactate du LL était plus bas (p<0,01) à 5 min après électro-narcose (21,6 ± 2,8 µmol/g) qu'après étourdissement par CO₂ (33,4 ± 1,7 µmol/g) ou par N₂O/CO₂ (31,8 ± 2,2 µmol/g). Les pH initiaux étaient plus fortement corrélés avec les teneurs en lactate à 5 et 30 min (r entre -0,54 et -0,95 ; p entre 0,01 et 0,0001), qu'avec celles en glycogène (r entre 0,33 et 0,74 ; p entre 0,10 et 0,0001). L'introduction de la teneur en lactate mesurée à 5 min dans

l'analyse de variance annule l'effet de l'étourdissement sur l'évolution du pH initial (effet lactate : p<0,0001 ; effet étourdissement : p=0,87). Les évolutions de la température étaient similaires pour tous les muscles, quel que soit le mode d'étourdissement.

Les pertes en eau totales étaient similaires quel que soit le mode d'étourdissement, pour le LL (5,58 ± 0,30 %) et pour le SM (6,68 ± 0,23 %). Les pertes totales étaient corrélées avec les pH initiaux (exemple LL : r=-0,38 ; p<0,05) et, pour le LL uniquement, avec le pH ultime (r=-0,48 ; p<0,01). Les rendements Napole étaient en moyenne 90,59 ± 0,36 (LL) et 90,89 ± 0,35 (SM) et ne montraient pas de différence selon le mode d'étourdissement.

Le muscle SM était moins jaune (p<0,05) pour les porcs étourdis à l'électronarcose (5,73 ± 0,72) que pour ceux étourdis au N₂O/CO₂ (6,76 ± 1,12) ou au CO₂ (8,15 ± 0,35).

3. DISCUSSION

L'ajout de N₂O se justifiait par sa capacité d'induire une narcose (Fowler et al., 1989). Le mélange N₂O/O₂ est utilisé pour maintenir une anesthésie en chirurgie infantile et vétérinaire mais s'est avéré non anesthésiant chez le porc (essais hors expérience avec 70 % de N₂O dans 30 % de CO₂ pendant 5 et 12 minutes). L'ajout d'O₂ au CO₂ se justi-

Tableau 5 - Evolution du pH des muscles LL, SM, AF et SC

	5 min	30 min	60 min	30 h
LL				
électronarcose	6,64 ^a ± 0,05	6,65 ^a ± 0,06	6,59 ^a ± 0,08	5,43 ± 0,04
CO ₂	6,52 ^b ± 0,03	6,49 ^b ± 0,02	6,31 ^b ± 0,08	5,36 ± 0,02
N ₂ O/CO ₂	6,49 ^b ± 0,04	6,46 ^b ± 0,06	6,38 ^{a,b} ± 0,07	5,37 ± 0,01
SC				
électronarcose		6,53 ± 0,02	6,49 ^x ± 0,03	5,64 ± 0,01
CO ₂		6,46 ± 0,04	6,45 ^{x,y} ± 0,04	5,73 ± 0,05
N ₂ O/CO ₂		6,48 ± 0,04	6,36 ^y ± 0,04	5,69 ± 0,03
SM				
électronarcose		6,52 ± 0,07	6,50 ± 0,07	5,43 ^a ± 0,022
CO ₂		6,50 ± 0,04	6,51 ± 0,04	5,38 ^{a,b} ± 0,02
N ₂ O/CO ₂		6,53 ± 0,07	6,49 ± 0,07	5,37 ^b ± 0,02
AF				
électronarcose		6,49 ± 0,21	6,36 ± 0,10	5,50 ^a ± 0,03
CO ₂		6,45 ± 0,02	6,40 ± 0,03	5,44 ^{a,b} ± 0,02
N ₂ O/CO ₂		6,46 ± 0,08	6,44 ± 0,07	5,42 ^b ± 0,01

¹ a, b et x, y dans une même colonne pour un même muscle : p<0,05 et p<0,01, respectivement

² analyse de variance : p<0,10

fiat car il réduit des signes comportementaux de détresse chez le rat (Coenen et al., 1995).

Chez le porc au repos, la pO_2 du sang veineux est entre 35 et 45, la pCO_2 entre 40 et 50 mmHg. Ces valeurs augmentent après un exercice jusqu'à respectivement 52 et 64 mmHg (Hamilton et al., 2004 ; Bertol et al., 2005a, 2005b). Seule la pO_2 mesurée chez des porcs immergés dans le mélange CO_2/O_2 était beaucoup plus élevée que ses valeurs normales résultant en une saturation en O_2 (O_{2sat}) relativement élevée, comparativement aux valeurs habituelles (entre 53 et 74 %). Les pCO_2 observées suite à l'immersion dans les gaz n'étaient pas beaucoup plus élevées que celles observées après un effort.

Les corrélations entre les différentes variables sanguines étaient cohérentes. La corrélation entre la pO_2 et pCO_2 , principalement liée au groupe soumis au mélange CO_2/O_2 , peut s'expliquer par la liaison de l'hémoglobine avec l' O_2 qui entraîne une diminution de la quantité de CO_2 dans le sang (effet Haldane). Une autre explication possible est une plus forte production de CO_2 suite à la présence de plus d' O_2 et une plus forte activité métabolique, car les porcs immergés dans le CO_2/O_2 étaient plus souvent debout.

Chez le porc au repos, le pH du sang veineux est maintenu entre 7,30 et 7,40. Suite à des manipulations, le pH baisse parfois transitoirement, dû à la production de lactate et de CO_2 entre autres (Bertol et al., 2005 ; Hamilton et al., 2004). Forslid et Augustinsson (1988) ont trouvé, après immersion de porcs pendant 1 min dans 80 % de CO_2 dans de l'air, en moyenne un pH 7,1 et des pCO_2 et pO_2 de 128 mmHg et de 30 mmHg, respectivement, dans le sang veineux. Les modifications sanguines observées après les immersions dans la présente étude étaient moins importantes ; probablement les valeurs ont commencé à se normaliser pendant les 3 minutes que durait la prise de sang. Avec une ventilation à l'air libre, la normalisation de la pCO_2 dure environ 1 min, celle du pH environ 10 min (Forslid et Augustinsson, 1988). Toutefois, les corrélations entre les variables physiologiques indiquent que les valeurs des pressions partielles reflètent correctement les variations entre les animaux.

La majorité des porcs a fait des bonds d'une intensité forte avant de perdre la posture. La latence de perte de posture plus longue dans le mélange contenant du O_2 peut partiellement s'expliquer par les taux élevés d' O_2 dans le sang des porcs, fournissant de l'énergie plus longtemps, malgré un pH bas. Les contorsions et les signes de détresse respiratoire plus fréquents chez ces porcs peuvent indiquer une perte de conscience plus lente ou incomplète. De plus, malgré la plus longue exposition au mélange CO_2/O_2 , les porcs avaient un réveil aussi rapide qu'après immersion dans le CO_2 et une récupération cardiaque plus rapide. Le N_2O avec seulement 30 % de CO_2 est aussi efficace que 80 % de CO_2 en terme de perte de posture. Il n'existe actuellement pas de consensus sur la question si les porcs perdent conscience avant ou après l'excitation comportementale (Forslid, 1987 ; Grandin, 1988 ; Raj et al., 1997). La reprise de la posture debout et la marche étaient plus rapides pour les porcs immergés dans

le N_2O/CO_2 , probablement parce que le N_2O a un effet direct sur l'état de conscience et que le gaz est rapidement éliminé du corps dès la ventilation à l'air libre. La fréquence cardiaque montrait une forte accélération après l'immersion quel que soit le mélange.

La saignée était satisfaisante, mais le réveil de certains porcs étourdis avec le mélange CO_2/N_2O présente une situation inacceptable, qui pourrait être résolue par une saignée plus rapide que celle pratiquée dans l'expérience. Quelques cas de pétéchies ont été observés, mais les différences ne sont pas significatives.

L'étourdissement par les deux mélanges de gaz était associé à un pH initial plus bas du LL. Les liens forts entre la production de lactate musculaire et les pH initiaux suggèrent que l'effet résulte de l'activité métabolique du muscle et non pas de l'acidification du sang reportée sur le muscle. Il est possible que cette production soit liée aux efforts physiques pendant l'immersion. De plus, le manque d'oxygène pendant l'immersion a induit une dégradation anaérobie du glycogène et du glucose avec une production de lactate musculaire plus élevée. L'absence d'effet pour les SM et AF suggère que leur sollicitation était moins intense.

Les muscles AF et SM des porc étourdis par N_2O/CO_2 avaient des pH ultimes plus bas, par rapport à l'électronarcose et l'effet ne s'explique pas par des variations dans les teneurs en glycogène ou lactate. Les porcs étourdis au CO_2 avaient des valeurs de pH ultime proches de celles des porcs étourdis au N_2O/CO_2 , quoi que pas significativement différentes des porcs étourdis à l'électronarcose. Il s'agirait donc d'un effet des gaz sur le métabolisme post-mortem, peut-être au travers de ses effets sur le pH sanguin.

Les qualités technologiques des viandes montrent les corrélations habituellement observées. La très forte corrélation entre les taux de lactate et les pH initiaux est toutefois remarquable et s'explique peut-être par la minimisation des efforts physiques fournis par les animaux avant l'étourdissement. Les efforts physiques entraînent des changements intracellulaires complexes pouvant intervenir dans les rapports directs entre vitesse du métabolisme et acidification.

Les effets du pH ultime et de la température musculaire sur le pouvoir de rétention d'eau sont en accord avec les connaissances (Hamilton et al., 2003 ; Melody et al., 2004). Les variations dans l'évolution du pH du LL entre les modes d'étourdissement étaient insuffisantes pour induire des différences en pertes en eau ou en rendement Napole.

CONCLUSION

L'inhalation des 3 mélanges contenant du CO_2 induit une perte de conscience, après une excitation comportementale. Le CO_2/O_2 semble moins efficace en terme d'induction d'inconscience : la perte de posture est plus tardive ; malgré la plus longue exposition au mélange le réveil des porcs était de durée similaire à celle des porcs immergés dans du CO_2 ; le mélange CO_2/O_2 provoque plus de signes de détresse, que les deux autres mélanges.

Après l'abattage, le pH initial du LL était plus bas chez des porcs étourdis au gaz que chez des porcs étourdis par électronarcose et cet effet était lié au taux de lactate musculaire, suggérant un effet de l'effort musculaire et l'absence d'oxygène pendant l'immersion. Le pH ultime du AF et du SM tendaient à être plus élevés après électronarcose qu'après étourdissement par N₂O/CO₂, les porcs étourdis au CO₂

ayant des valeurs proches de ces derniers. Les PG et les teneurs en glycogène des LL et SM n'étaient pas influencés par le mode d'étourdissement.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par OFIVAL.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertol T.M., Ellis M., Hamilton D.N., Johnson E.W., Ritter M.J., 2005a. Effects of dietary supplementation with L-carnitine and fat on blood acid-base responses to handling in slaughter weight pigs. *J. Anim Sci.*, 83, 75-81.
- Bertol T.M., Ellis M., Ritte M.J., McKeith F.K., 2005b. Effect of feed withdrawal and handling intensity on *longissimus* muscle glycolytic potential and blood measurements in slaughter weight pigs. *J. Anim Sci.*, 83, 1536-1542.
- Coenen A.M., Drinkenburg W.H., Hoenderken R., van Luijckelaar E.L., 1995. Carbon dioxide euthanasia in rats: oxygen supplementation minimizes signs of agitation and asphyxia. *Lab Anim.*, 29, 262-268.
- Forslid 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.
- Forslid A., Augustinsson O., 1988. Acidosis, hypoxia and stress hormone release in response to one-minute inhalation of 80% CO₂ in swine *Acta Physiol Scand.* Feb., 132, 223-31.
- Fowler B., Mitchell I., Bhatia M., Porlier G., 1989. Narcosis has additive rather than interactive effects on discrimination reaction time. *Hum. Factors*, 31, 571-278.
- Grandin T., 1988. Possible genetic effect on pig's reaction to CO₂ stunning. *Proceedings International Congress of Meat Science and Technology, Brisbane, Australia* 34, 96-97.
- Hamilton D.N., Miller K.D., Ellis M., McKeith F.K., Wilson E.R., 2003. Relationships between longissimus glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits, and pork quality. *J. Anim Sci.*, 81, 2206-2212.
- Hamilton D.N., Ellis M., Bertol T.M., Miller K.D., 2004. Effects of handling intensity and live weight on blood acid-base status in finishing pigs. *J. Anim Sci.*, 82, 2405-2409.
- Honikel K.O., 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49, 447-457.
- 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.
- Melody J.L., Lonergan S.M., Rowe L.J., Huiatt T.W., Mayes M.S., Huff-Lonergan E., 2004. Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *J. Anim Sci.*, 82, 1195-1205.
- 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.
- Naveau, J. Pommeret, P., Lechaux, P., 1985. Proposition d'une méthode de mesure du rendement technologique : La méthode Napole. *Techni-Porc*, 8 (6) 7-13.
- Raj A.B.M., Gregory N.G., 1996. Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress induction of anaesthesia. *Anim. Welfare*, 5, 71-78.
- Raj A.B.M., Johnson S.P., Wotton S.B., McIntyre J.L., 1997. Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potential and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. *Vet. J.*, 153, 329-339.