



Effets de la configuration du camion et de la manipulation sur le bien-être du porc d'abattage pendant le transport

Thèse

Sébastien Goumon

Doctorat en Sciences Animales
Philosophiae Doctor (Ph. D.)

Québec, Canada

© Sébastien Goumon, 2013

Résumé

Le transport est un maillon indispensable de la production porcine, néanmoins considéré comme l'étape la plus stressante. Cette thèse avait pour objectifs d'identifier les facteurs de stress à l'origine des réactions physiologiques et comportementales des porcs d'abattage pendant le transport, ainsi que de développer des moyens de réduire ces réactions de stress.

Les travaux ont tout d'abord permis de préciser l'effet de facteurs liés à l'environnement du camion. Il a été montré que le déchargement des porcs était facilité en utilisant une rampe de pente inférieure ou égale à 21°, en l'absence de marche en bas de la rampe et lorsque l'angle d'entrée à la rampe était inférieur ou égal à 30°. Les résultats ont aussi permis de souligner que la longueur de la rampe pouvait négativement affecter la perception de la rampe par l'animal. Il a ensuite été montré que les animaux souffraient de l'exposition au froid lors de transports dans les conditions climatiques hivernales canadiennes et ce, d'autant plus que les transports étaient longs (18 h). L'exposition au froid avait rendu les animaux moins enclins à s'allonger au sol dans le camion (sol trop froid) et avait causé une augmentation du métabolisme (lutte contre le froid) ainsi qu'un état de soif plus important.

Cette thèse a également permis de montrer que des facteurs liés à l'expérience et à la manipulation de l'animal contribuaient au stress du transport. Nous avons observé qu'un exercice quotidien contribuait à lui seul à faciliter la manipulation des porcs et à réduire leur réponse cardiaque, alors qu'une exposition préalable à une rampe n'avait pas eu d'effet bénéfique sur leur réponse pendant le chargement. Enfin, les résultats de la présente étude soulignent l'importance de la durée de la période de repos sur la capacité d'adaptation au stress en mettant en évidence que si les porcs ne pouvaient pas suffisamment se

reposer après un exercice, alors la récupération suite à une nouvelle exposition à l'exercice était négativement affectée.

Cette thèse souligne que des améliorations liées à la configuration du véhicule et à la manipulation des animaux sont à apporter afin d'améliorer le bien-être des porcs d'abattage pendant le transport.

Abstract

Transportation is necessary, but has been reported as the most stressful step of swine production. This thesis aimed at identifying stressors contributing to physiological and behavioural stress responses of market-weight pigs during transport, and to develop means of reducing those stress reactions.

This thesis demonstrated the effect of stressors associated with vehicle design. It was found that unloading pigs was easier when a ramp with a slope equal to or lower than 21° , no step at the bottom of the ramp, or an angle of entrance equal to or lower than 30° was used. Results also highlighted that ramp length could be detrimental to the way the animal perceived the ramp. Results also showed that under Canadian climatic conditions, long transports (18 h) in cold weather appear to be more detrimental to pig's welfare. Exposure to cold temperature made pigs reluctant to rest on cold floors and caused an increase in metabolism (cold coping mechanism) and thirst.

This thesis also demonstrated that factors associated with animal handling and previous experience could contribute to the stress of transport. It was found that daily exercise, by itself, improved the ease of handling and reduced cardiovascular response, while it appeared that a previous exposure to a ramp had no beneficial effects. Results also highlighted the importance of rest duration on the capacity of adaptation to stress, by demonstrating that when pigs are not initially given enough rest to recover from exercise, the recovery from a subsequent exposure to the same exercise is negatively affected.

Overall, this thesis suggests that some improvements in truck design and animal handling should be made in order to improve the welfare of market-weight pigs during transport.

Avant-propos

La présente thèse est soumise à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du diplôme de *Philosophiae Doctor es Sciences* (Ph. D.). Elle comporte 6 chapitres. Le premier chapitre inclut une revue des travaux antérieurs divisée en 3 parties. La première partie définit le cadre général associé à la notion de bien-être animal. La seconde partie présente les variables physiologiques et comportementales les plus utilisées dans la littérature afin d'évaluer le bien-être pendant le transport. Le troisième et dernier point de cette revue de littérature consiste en une description des agents stressés présents pendant le transport, du chargement des animaux à la ferme, à la mise en parc d'attente avant l'abattage. Enfin, le chapitre 1 se conclut en décrivant les hypothèses de recherche et les objectifs de ce travail. Les chapitres 2 à 5 présentent, sous la forme d'articles scientifiques rédigés en anglais, les expériences et les résultats obtenus. Les études réalisées au cours de ce projet de doctorat se sont déroulées au Prairie Swine Centre Inc., centre de recherche situé à Saskatoon (Saskatchewan, Canada). Finalement, les résultats de cette thèse seront discutés et des perspectives seront proposées dans le chapitre 6.

Le premier article, soumis pour publication dans « Journal of Animal Science » est intitulé « Effect of ramp configuration on easiness of handling, heart rate and behavior of near-market weight pigs at unloading ». Les auteurs sont Sébastien Goumon, Luigi Faucitano, Renée Bergeron, Trever Crowe, Laurie Connor et Harold Gonyou.

Le second article, soumis pour publication dans « Canadian Journal of Animal Science », est intitulé « Effect of previous ramp exposure and regular handling on heart rate, ease of handling and behaviour of near market-weight pigs during a simulated loading ». Les auteurs sont Sébastien Goumon, Renée Bergeron, Luigi Faucitano, Trever Crowe, Laurie Connor et Harold Gonyou.

Le troisième article, soumis pour publication dans « Journal of Animal Science », est intitulé « Effects of transport duration on behavior, heart rate and gastrointestinal tract temperature of market weight pigs in 2 seasons ». Les auteurs sont Sébastien Goumon, Jennifer Brown, Luigi Faucitano, Renée Bergeron, Tina Widowski, Trever Crowe, Laurie Connor et Harold Gonyou.

Le quatrième article, soumis pour publication dans « Journal of Animal Science », est intitulé « Effect of rest interval on recovery from repeated exercise in near market-weight pigs ». Les auteurs sont Sébastien Goumon, Jennifer Brown, Luigi Faucitano, Renée Bergeron, Trever Crowe, Laurie Connor et Harold Gonyou.

Pour chacun des articles 1, 2 et 4, Sébastien Goumon¹, en qualité de principal auteur, a réalisé la conception, la planification et l'exécution des travaux expérimentaux, ainsi que l'analyse des résultats et la rédaction des articles. Renée Bergeron², directrice de thèse et co-auteure de tous les articles, fut responsable de la supervision de Sébastien Goumon dans tous les aspects du développement et de la conduite des expériences associées aux articles 1, 2 et 4, ainsi que la discussion des résultats, la rédaction et la révision des articles. Harold Gonyou³, co-directeur de thèse et co-auteur de tous les articles, fut impliqué dans le développement et la conduite des expériences associées aux 3 articles et dans la révision des articles. Jennifer Brown³, Trever Crowe⁴, Luigi Faucitano⁵ et Laurie Connor⁶, en qualité de co-auteurs, ont collaboré à ces travaux en notamment révisant les articles.

Pour l'article 3, la conception et la planification de ce projet ont été conduites par Harold Gonyou et Jennifer Brown, en collaboration avec Renée Bergeron, Tina Widowski, Trever Crowe, Luigi Faucitano et Laurie Connor, étant co-auteurs de cet article. Sébastien Goumon, en tant que principal auteur, a collaboré à ce travail en participant à l'exécution des travaux de terrain, en analysant les résultats et en rédigeant l'article et ce, sous la supervision de Renée

Bergeron et d'Harold Gonyou. Les co-auteurs ont tous participé à la révision de l'article et certains à l'exécution des travaux de terrain.

¹ Université Laval, Département des Sciences Animales, Québec, QC, Canada, G1V 0A6.

² University of Guelph, Department of Animal and Poultry Science, Guelph, ON, Canada, N1G 2W1.

³ Prairie Swine Centre Inc., Box 21057, 2105 8th Street East, Saskatoon, SK, Canada, S7H 5N9.

⁴ University of Saskatchewan, Department of Chemical and Biological Engineering, Saskatoon, SK, Canada, S7N 5A9.

⁵ Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc, 2000, rue Collège, Sherbrooke, QC, Canada, J1M 0C8.

⁶ University of Manitoba, Department of Animal Science, Winnipeg, MB, Canada, R3T 2N2.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement ma directrice de thèse, Renée Bergeron. Un énorme merci à toi pour ta gentillesse sans limite, ta vivacité intellectuelle et pour m'avoir guidé, épaulé et soutenu pendant toute la durée de mon doctorat. Malgré la distance, tu as su être toujours présente quand j'en avais besoin. Merci de m'avoir toujours fait confiance en me laissant l'autonomie nécessaire à la réalisation de ce projet. Enfin, merci à toi et à ta famille pour avoir été les premiers à m'accueillir et à m'initier à la culture canadienne.

Merci à mon premier co-superviseur Harold Gonyou pour m'avoir encadré et pour avoir partagé sa précieuse expertise avec moi. Merci de m'avoir permis de voyager et de rencontrer un grand nombre de personnes intéressées par les mêmes choses que moi, le bien-être des animaux, et ce, en n'hésitant jamais à m'envoyer à des conférences ou colloques.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Jean F. Bernier, mon second co-superviseur. Merci pour vos conseils et votre écoute lors de nos longues discussions improvisées dans votre bureau. Merci de m'avoir demandé comment j'allais tous les matins et de vous être préoccupé de mes besoins quand j'étais à l'Université Laval.

Je tiens à remercier Frédéric Guay, Jean-Paul Laforest et Nicolas Devillers pour avoir accepté sans hésiter d'être rapporteurs de cette thèse et d'y consacrer de leur temps. Je remercie Trever Crowe, Jennifer Brown, Luigi Faucitano, Tina Widowski, et Laurie Connor pour leurs conseils et corrections lors de la rédaction des articles présents dans cette thèse. Qu'ils trouvent ici le témoignage de mon profond respect et de ma gratitude.

Mon projet de doctorat m'a donné l'opportunité de vivre dans 2 provinces du Canada dans lesquelles j'ai pu faire la connaissance de personnes formidables sans qui mon expérience canadienne, et notamment hivernale, n'aurait pas été la même.

En Saskatchewan: Je remercie très chaleureusement tous les membres de la « Team Awesome » aka « The E-team », plus particulièrement : Megan, merci pour ton aide sans faille lors de l'ensemble du travail expérimental. Je sais que bouger les cochons en haut de la rampe n'a pas toujours été de la rigolade ! Également, Fiona et Jennifer, merci pour votre soutien quotidien, vos discussions réconfortantes, votre amitié sans faille et pour avoir recréé un cocon familial à des milliers de kilomètres de chez moi. Jana, mon « panothi brother », ça a été un vrai plaisir d'avoir expérimenté la Saskatchewan ensemble tout au long de ces 2 ans et demi, en tant que collègues, amis et colocataires. Bon courage pour ta recherche de doctorat. Je tiens également à remercier tous les étudiants, chercheurs et membres du personnel de la porcherie du Prairie Swine Centre Inc. pour leur sympathie et leurs encouragements. Plus précisément, un grand merci à Brian Andries, responsable de la porcherie pour avoir toujours été compréhensif et arrangeant afin de me fournir les animaux dont j'avais besoin. Merci à Doug, pour sa bonne humeur inconditionnelle et d'être un fervent disciple de la théorie du *Naked Man*. Merci à Karu et Oliver, connus aussi sous le nom de *Sri lankan swim team*, pour leurs sourires et leur gentillesse dès 8 h du matin. Merci à Sam, le roi de la bricole pour son soutien technique et son humour. Enfin je tiens à remercier mon barbu préféré, l'inimitable John Meier pour sa sincère bonté, sa bonne humeur contagieuse et les longues discussions sous la douche !

Au Québec, l'année passée au Québec a été pleine d'heureuses rencontres. Pour faire court, un grand merci à Marina, Luca, Shyam, Abdel, Tais, Élodie, Sandra, Paridokht, Sabine, Maryam, Nassim, Juan, Sergei, Hasna et Fatou et tous les autres pour leur amitié et sympathie quotidiennes pendant le

déjeuner et lors de tous ces moments passés en votre compagnie. Vous étiez ma famille au Québec. Je vous souhaite bon courage et bonne chance pour la suite !

Enfin, un énorme merci rempli de gratitude et d'affection à mes parents, Henri et Odile, et à mes 2 frères, Julien et Matthieu, qui m'ont accompagné et encouragé tout au long de mes longues études. Merci de m'avoir témoigné votre appui et amour, me donnant ainsi la volonté nécessaire pour mener mon doctorat jusqu'au bout.

Ce doctorat fut une expérience enrichissante autant professionnellement qu'humainement. J'aimerais conclure en faisant un clin d'œil à tous les cochons qui m'ont accompagné pendant ce voyage. Malgré les hématomes sur les parties les plus diverses de mon corps et les entorses, j'exprime ma gratitude envers ce fascinant animal qu'est le porc, auprès duquel j'ai tellement appris. J'aimerais leur dédier cette citation: « *For a scientist to study the behaviour and the welfare problems of pigs for 25 years requires, of course, a certain dedication and empathy. However, this is not enough; one also develops a respect for the animal one is working with. After discovering more and more of their behaviour, admiration is added to respect. As the years pass by, one cannot avoid developing a liking for pigs* » - Van Putten

*« Fit the farm to the animal, not the animal to
the farm » - Ron Kilgour*

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	v
Avant-propos	vii
Remerciements.....	xi
Table des matières.....	xvii
Liste des figures	xxv
Liste des tableaux	xxvii
Liste des abréviations	xxix
Introduction	1
CHAPITRE 1. Revue des travaux antérieurs	5
1.1 Définition du bien-être animal.....	6
1.2 Évaluation du bien-être pendant le transport	8
1.2.1 Définition de la réponse de stress.....	8
1.2.2 Méthodes d'évaluation du stress.....	9
1.2.2.1 Indicateurs physiologiques.....	10
1.2.2.1.1 Hormones.....	10
1.2.2.1.2 CPK, LDH et lactate.....	12
1.2.2.1.3 Fréquence cardiaque	13
1.2.2.1.4 Fréquence respiratoire et température corporelle	14
1.2.2.1.5 Fonction immunitaire et hématoците.....	15
1.2.2.2 Indicateurs comportementaux	16
1.2.2.3 Mortalité et morbidité	17
1.2.2.4 Qualité des carcasses et de la viande	18
1.2.2.4.1 Blessures	18
1.2.2.4.2 Mesures de métabolisme musculaire.....	18
1.3 Facteurs affectant la réaction de stress pendant la manipulation avant le transport	19
1.3.1 Le patrimoine génétique	20
1.3.2 Relation homme-animal.....	22

1.3.3 Alimentation	24
1.3.3.1 Mise à jeun	24
1.3.3.2 Alimentation et réduction du stress.....	26
1.3.4 Logement.....	27
1.3.5 Outils de manipulation	28
1.3.6 Tri des porcs avant le chargement	31
1.3.7 Taille des groupes et mouvements des animaux.....	31
1.3.8 Environnements lumineux et sonore	33
1.3.9 Chargement et déchargement	35
1.3.9.1 Rampes	36
1.3.9.2 Systèmes alternatifs	40
1.4 Facteurs affectant la réaction de stress pendant le transport.....	42
1.4.1 La configuration du camion.....	42
1.4.2 Durée de transport.....	45
1.4.3 Conditions climatiques	49
1.4.4 Qualité de la conduite	54
1.4.5 Densité de transport	55
1.5 Facteurs affectant la réaction de stress à l'abattoir.....	59
1.6 L'abattage à la ferme, une alternative au transport?	62
1.7 Objectifs et hypothèses.....	64
CHAPITRE 2. Effets de la configuration de la rampe de déchargement sur la manipulation, le rythme cardiaque et le comportement du porc d'abattage	69
RÉSUMÉ.....	71
ABSTRACT	72
2.1 INTRODUCTION	73
2.2 MATERIALS AND METHODS	74
2.2.1 Animals and treatment.....	74
2.2.2 Procedure	76
2.2.3 Data collection.....	78
2.2.3.1 Pig behavior and ease of handling	78
2.2.3.2 Heart rate	78

2.2.4 Statistical analysis	80
2.3 RESULTS.....	81
2.3.1 Experiment 1 (angle of entrance to the ramp)	81
2.3.1.1 Heart rate	81
2.3.1.2 Pig behavior.....	81
2.3.1.3 Ease of handling	82
2.3.2 Experiment 2 (ramp slope).....	82
2.3.2.1 Heart rate	82
2.3.2.2 Pig behavior.....	84
2.3.2.3 Ease of handling	84
2.3.3 Experiment 3 (initial step at ramp entrance).....	86
2.3.3.1 Heart rate	86
2.3.3.2 Pig behavior.....	86
2.3.3.3 Ease of handling	86
2.4 DISCUSSION	88
2.5 CONCLUSIONS	92
2.6 ACKNOWLEDGEMENTS	93
CHAPITRE 3. Effet d’une exposition à la rampe et d’un exercice régulier sur le rythme cardiaque, la facilité de manipulation et le comportement de porcs d’abattage lors d’un chargement simulé	95
RÉSUMÉ.....	97
ABSTRACT.....	98
3.1 INTRODUCTION	99
3.2 MATERIALS AND METHODS	100
3.2.1 Animals and Treatments	100
3.2.1.1 Physical Training.....	101
3.2.1.2 Psychological Training	102
3.2.2 Simulated Loading Procedure	103
3.2.3 Data Collection	104
3.2.3.1 Pig Behaviour and Ease of Handling.....	105

3.2.3.2 Heart Rate	105
3.2.4 Statistical analysis.....	106
3.3 RESULTS.....	108
3.3.1 Physical Training.....	108
3.3.2 Psychological Training	112
3.3.3 Simulated Loading.....	112
3.3.3.1 Heart Rate Measurements	112
3.3.3.2 Behaviour Measurements	112
3.3.3.3 Ease of Handling.....	114
3.4 DISCUSSION	114
3.5 CONCLUSIONS	118
3.6 ACKNOWLEDGMENTS	119
CHAPITRE 4. Effets de la durée de transport sur le comportement, le rythme cardiaque et la température du tractus gastro-intestinal du porc d’abattage au cours de 2 saisons....	121
RÉSUMÉ.....	123
ABSTRACT	124
4.1 INTRODUCTION	125
4.2 MATERIALS AND METHODS	126
4.2.1 Animals and treatments	126
4.2.2 Data collection.....	129
4.2.2.1 Physiological measures	130
4.2.2.1.1 Heart rate.	130
4.2.2.1.2 Gastrointestinal tract temperature.....	131
4.2.2.2 Behavioral observations	131
4.2.2.2.1 Behavior on the truck.....	131
4.2.2.2.2 Lairage behavior.....	132
4.2.2.3 Truck measures	132
4.2.3 Statistical Analysis	132
4.3 RESULTS.....	133

4.3.1 Loading	133
4.3.1.1 Physiology.	133
4.3.1.2 Truck temperature.	133
4.3.2 Pre-travel.....	135
4.3.2.1 Physiology.	135
4.3.2.2 Truck temperature	135
4.3.3 Initial travel	135
4.3.3.1 Physiology and behavior.	135
4.3.3.2 Truck temperature.	137
4.3.4 Pre-arrival 1.....	137
4.3.5 Pre-arrival 2.....	140
4.3.6 Unloading	140
4.3.6.1 Physiology.	140
4.3.6.2 Unloading time.....	140
4.3.7 Lairage	140
4.3.8 Comparisons across periods in pigs transported for 18h	144
4.4 DISCUSSION	144
4.5 CONCLUSIONS	148
4.6 ACKNOWLEDGMENTS	148
CHAPITRE 5. Effet de la période de repos sur la récupération suite à un exercice répété chez le porc d'abattage.....	149
RÉSUMÉ.....	151
ABSTRACT.....	152
5.1 INTRODUCTION	153
5.2 MATERIALS AND METHODS	153
5.2.1 Animals and treatments.....	154
5.2.2 Procedures	154
5.2.3 Data collection	157
5.2.3.1 Heart rate.	157
5.2.3.2 Respiratory rate.	157

5.2.3.3 Skin temperature.....	157
5.2.3.4 Posture.	158
5.2.3.5 Environmental conditions.	158
5.2.4 Statistical analysis.....	158
5.3 RESULTS.....	159
5.3.1 Heart rate	159
5.3.2 Skin temperature.....	159
5.3.3 Respiratory rate.....	160
5.3.4 Handling time	160
5.3.5 Ambient temperature	160
5.4 DISCUSSION	165
5.5 CONCLUSIONS	168
5.6 ACKNOWLEDGEMENTS	168
CHAPITRE 6. Discussion générale et conclusions.....	169
6.1 Facteurs associés à la configuration du véhicule de transport	172
6.1.1 Amélioration des rampes d'accès aux compartiments problématiques.....	172
6.1.1.1 Rappel des résultats	172
6.1.1.2 Discussion et perspectives	172
6.1.2. Amélioration de l'isolation thermique du camion	176
6.1.2.1 Rappel des résultats	176
6.1.2.2 Discussion et perspectives	177
6.1.3 Standardisation de la configuration des camions	178
6.2 Facteurs associés à la manipulation de l'animal	179
6.2.1 Préparation avant le transport: importance de l'expérience antérieure de l'animal	179
6.2.1.1 Rappel des résultats	179
6.2.1.2 Discussion et perspectives	180
6.2. 2 Gestion du temps de repos	182
6.2.2.1 Rappel des résultats	182
6.2.2.2 Discussion et perspectives	182

Annexe 1. Sondage réalisé auprès de 5 entreprises de transport en Saskatchewan sur la configuration de la rampe utilisée dans le compartiment « bedaine » lors du chargement et déchargement.....	185
Bibliographie	189

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 Modèle intégratif du bien-être (d'après Fraser et al., 1997)	7
Figure 1.2 Rampe menant vers le compartiment « bedaine » (a- vue générale d'une rampe avec extension et marche en haut; b - vue rapprochée d'une rampe avec extension et marches en haut en en bas (photos prises par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada)	38
Figure 1.3 Rampes menant (a) vers les compartiments de l'étage supérieur et menant (b).dans le compartiment avant de l'étage principal (photos courtoisie de J. Brown, PSC inc, SK, Canada).....	39
Figure 1.4 Panneau diviseur, central et percé délimitant 2 files sur une rampe de chargement (Grandin T., 1990)	40
Figure 1.5 Enclos-élévateur (Grandin T., 1990)	41
Figure 1.6 Camion à étage hydraulique (ten wheel truck) (photo courtoisie de L. Faucitano, AAC, QC, Canada).....	44
Figure 1.7 Remorque à « bedaine » avec 3 essieux, ventilation naturelle à moitié fermée à l'avant et fermée à l'arrière (photo prise par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada).....	44
Figure 1.8 Remorque à « bedaine » avec 2 essieux, ventilation naturelle ouverte (photo prise par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada).....	44

Chapitre 2

Figure 2.1 Experimental room and apparatus	75
Figure 2.2 Modification of the angle of entrance in the bottom pen (BP) and movement of the animals to the ramp	77

Chapitre 3

Figure 3.1 Experimental room and apparatus	104
Figure 3.2 Effect of the interaction between time and run period (run 1, 2 and 3) on heart rate during the training period for EXERCISE and BOTH pigs.....	109
Figure 3.3 Effect of days on time to complete a run during training period for EXERCISE and BOTH pigs.....	110
Figure 3.4 Effect of the interaction between time and recovery period (recov 1, 2 and 3) on heart rate during the training period for EXERCISE and BOTH pigs ..	111
Figure 3.5 Effect of time on the frequency of interaction with the cone (a: BOTH, c: RAMP) and the ramp (b: BOTH; d: RAMP) during the training periods (with R2 being the coefficient of determination)	113

Chapitre 4

Figure 4.1 Compartment distribution of the pot-belly trailer (Cx: identification of the compartment; n: number of pigs loaded in a given compartment in summer/winter)	128
Figure 4.2 Mean heart rates and effects of the interaction between season and transport duration on heart rate (a) at loading ($P < 0.01$), (b) pre-travel (PT) ($P < 0.05$), and (c) during the first 90 min of the trip (IT) ($P < 0.001$).....	134
Figure 4.3 Mean gastrointestinal tract temperature and effects of the interaction between season and transport duration on gastrointestinal tract temperature (a) at loading ($P < 0.001$), (b) pre-travel (PT) ($P < 0.001$), (c) during the first 90 min of the trip (IT) ($P < 0.001$) and (d) Pre arrival 2 (PA2 ($P = 0.022$)).....	136
Figure 4.4 Effects of the interaction between season and transport duration on (a) drinking behavior ($P < 0.001$) and (b) latency to lie down ($P < 0.05$) in lairage ...	141

Chapitre 5

Figure 5.1 Diagram of the bridge (top) and the standard handling course (bottom)	155
Figure 5.2 Timeline of the experiment	156
Figure 5.3 Comparison of the heart rate response throughout the experiment of a) RT ₃₅ pigs ($P < 0.001$), b) RT ₇₅ ($P < 0.001$) or c) RT ₁₅₀ ($P < 0.001$) pigs.	161
Figure 5.4 Comparison of the skin temperature response throughout the experiment of a) RT ₃₅ ($P < 0.001$), b) RT ₇₅ ($P < 0.001$) or c) RT ₁₅₀ ($P = 0.012$) pigs.	162
Figure 5.5 Comparison of the respiratory response of pigs for a) RT ₃₅ ($P < 0.001$), b) RT ₇₅ ($P = 0.331$) or c) RT ₁₅₀ ($P = 0.225$) pigs during the resting periods 1 (RP ₁) and 2 (RP ₂).....	164

Liste des tableaux

Chapitre 2

Tableau 2.1 Definitions of behavioral and handling variables	79
Tableau 2.2 Effects of angle of entrance on heart rate, pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading	83
Tableau 2.3 Effects of ramp slope on heart rate, pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading	85
Tableau 2.4 Effects of initial step (ST) to ramp on heart rate, unloading time and subjective score (LS mean \pm SEM) during simulated unloading	87
Tableau 2.5 Effects of initial step (ST) to ramp on pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading	89

Chapitre 3

Tableau 3.1 Definition of behavioural and handling measures.....	107
Tableau 3.2 Effects of training treatments on heart rate, pig behaviour and ease of handling during simulated loading procedures	115

Chapitre 4

Tableau 4.1 Descriptive statistics for average temperatures ($^{\circ}$ C) encountered on the truck over each period.....	127
Tableau 4.2 Definition of the experimental periods of transport	130
Tableau 4.3 Effects of season, transport duration and compartment on mean heart rate (HR, beats/min) and gastrointestinal tract temperature (GTT, $^{\circ}$ C) of slaughter pigs, during transport to a slaughterhouse in conventional « pot-belly » trucks in western Canada	138
Tableau 4.4 Effects of season and transport duration on the behavior of slaughter pigs, during transportation to a slaughterhouse in a conventional « pot-belly » trucks in western Canada.....	139
Tableau 4.5 Effects of season and transport duration on the behavior of slaughter pigs, during lairage after transportation to a slaughterhouse in a conventional « pot-belly » trucks in western Canada	142
Tableau 4.6 Temporal changes in measures of physiology and behavior of pigs transported for 18 h in summer and winter.....	143

Chapitre 5

Tableau 5.1 Regression analysis of the number of resting (RP) and exercise (Ex) periods on heart and respiratory rates and temperature for each treatment	163
Tableau 5.2 Comparison of the latencies (min) for heart and respiratory rates, temperature and posture to return to baseline values during the full RP ₂ (150 min) among the 3 treatments RT ₃₅ , RT ₇₅ and RT ₁₅₀	163

Annexe

Tableau A.1 Informations sur le déroulement des procédures de chargement et déchargement dans la « bedaine »	186
Tableau A.2 Caractérisation de la configuration de la rampe utilisée dans le compartiment « bedaine » lors du chargement et déchargement.....	187

Liste des abréviations

ACTH : Hormone adrénocorticotrope
AIC : Akaike's information criterion
AOE : Angle d'entrée à la rampe
BOTH : Entraînements physiques et psychologiques
BP : Parc de l'étage inférieur
C : Compartiment
CLT : Certified Livestock Transport
CON : Traîtement Témoin
CPK : Créatinine phosphokinase
CRH : Corticotropin-Releasing Hormone
DFD : Viandes foncées, dures et sèches
Ex₁ : Exercice 1
Ex₂ : Exercice 2
EXERCISE : Entraînement physique
FAWC : Farm Animal Welfare Council
FRT : Temps de récupération complète
GTT : Température du tractus gastrointestinal
HR : Rythme cardiaque
IT : Période de transport juste après le départ
LDH : Lactate déshydrogénase
OIE : Organisation mondiale pour la santé animale
P1 et P2 : Période de transport 1 et 2
PA1 : Période avant l'arrivée à l'abattoir 1
PA2 : Période avant l'arrivée à l'abattoir 2
PSE : Viandes pâles, molles et exsudatives
PT : Période en position stationnaire avant le départ
RAMP : Entraînement psychologique
RP₀ : Période initiale de repos
RP₁ : Période de repos 1
RP₂ : Période de repos 2
RR : Fréquence respiratoire
RT₃₅ : Repos de 35 min
RT₇₅ : Repos de 75 min
RT₁₅₀ : Repos de 150 min
SA : Surface au sol (densité)
ST : Température cutanée
SUM : Été
TP : Parc de l'étage supérieur
TQA : Trucker Quality Assurance
WIN : Hiver

Introduction

Le transport est une étape nécessaire et sensible dans le milieu de la production porcine. Les porcs peuvent être transférés entre les unités d'élevage d'une même exploitation, comme par exemple de la pouponnière aux bâtiments d'engraissement/ finition. Ils peuvent aussi l'être d'une ferme à une autre principalement dans le cas d'animaux reproducteurs (Marchant-Forde et Marchant-Forde, 2009). À la fin du cycle de production, les animaux sont inévitablement transportés à l'abattoir afin d'être abattus et transformés. Dans ce cas, le transport fait référence à l'ensemble des étapes consistant à conduire un animal de l'unité de production à l'abattoir, c'est-à-dire le chargement à la ferme, le confinement des animaux dans le camion en mouvement, le déchargement et enfin la mise en parc dans la salle d'attente à l'abattoir (Lambooj, 2000; Tarrant et Grandin, 2000). Le transport consiste donc en une série de manipulations et de situations de confinement qui font qu'il est perçu comme un événement nouveau, non familier et menaçant par l'animal (Tarrant et Grandin, 2000). Ainsi, le porc peut être exposé à une grande variété d'agents stressseurs de nature physique (i.e. conditions climatiques extrêmes, mise à jeun) ou psychologique (i.e. nouvel environnement social et physique) qui peuvent altérer le bien-être de ces animaux et ultimement la qualité de leur viande (McGlone et al., 1993; Dalla Costa et al., 2007; Correa et al., 2010).

Le transport vers l'abattoir est une étape vitale, car il est le maillon final de la chaîne de production. Il est aussi la phase la plus visible au public. Ainsi, cette étape de la production est bien souvent prise pour cible, qualifiée de cruelle et remise en cause par les groupes de protection des animaux. Même s'il se déroule sur une période de temps relativement courte, le transport est considéré comme l'étape la plus stressante de la vie du porc (revues par Warriss, 1998a; Knowles et Warriss, 2000; von Borell, 2001) pouvant ultimement mener à la mort (Fitzgerald et al., 2009). Christensen et Barton-Gade (1997) ont calculé que 70 % des animaux

morts pendant le transport le sont dans le camion, alors que les 30 % restants le sont une fois à l'abattoir. Aux États-Unis, le taux de mortalité lié au transport est d'environ 0,25 % (Ritter et al., 2008a; Fitzgerald et al., 2009) alors qu'au Canada il varie de 0,07 (Sunstrum et al., 2006) à 0,17 % (Murray, 2001) et entre 0,10 et 1,00 % en Europe (Warriss, 1998a). La mortalité pendant le transport des porcs destinés à l'abattage n'est pas négligeable compte tenu du nombre de porcs envoyés à l'abattoir chaque année : soit 252 millions en Europe (EC, 2012) et 131 millions en Amérique du Nord en 2011 (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2012). Il est légitime de penser que si des animaux sont morts pendant le transport, alors l'ensemble des animaux transportés ont vu leur bien-être compromis. En effet, un grand nombre de porcs subissent un stress ne conduisant pas à la mort, mais qui les rend non ambulatoires, c'est-à-dire incapables de se tenir debout sans aide ou de se déplacer sans être traînés ou portés (Benjamin, 2005). En considérant l'ensemble des pertes pendant le transport (animaux morts et non ambulatoires), le pourcentage moyen s'élève à environ 0,5 % en Europe (Averós et al., 2008) et à 0,7 % au Canada (Ritter et al., 2009a) voire 1 % (Ellis et al., 2004) aux États-Unis. Dans une étude menée en Ontario (Canada), Dewey et al. (2004) ont montré que les facteurs principaux liés à la mortalité pendant le transport sont l'éleveur (55 %), le transformateur (25 %) et enfin le transporteur (19 %). L'effet de l'éleveur est bien souvent le résultat d'une mauvaise manipulation des animaux pendant le chargement, alors que les effets du transformateur et transporteur peuvent être expliqués par une configuration peu appropriée des véhicules de transport.

La mortalité et la morbidité pendant le transport ont un impact très significatif sur l'économie de la filière porcine, devenant ainsi une préoccupation majeure pour les éleveurs et les transporteurs (Grandin, 2000a; Benjamin, 2005). Aux États-Unis, la perte financière a été estimée entre 50 et 100 millions de dollars chaque année pour l'industrie porcine (Ellis et al., 2003). Les défauts sur les carcasses (blessures) et la viande (viandes pâles, molles et exsudatives ou PSE, et foncées, dures et sèches ou DFD) vont conduire à des restrictions lors de la transformation

et de l'exportation. Par exemple, la présence de viandes PSE génère à elle seule une perte de 0,90 \$ par carcasse produite annuellement (Scanga et al., 2003).

Le bien-être de l'animal est devenu une préoccupation majeure pour le secteur porcin car le respect de la qualité de vie de l'animal est désormais une priorité et une attente des sociétés occidentales (Appleby et Hughes, 1997; Dantzer et al., 2003), basées sur le postulat que les animaux peuvent souffrir (Manteca, 1998). Dans un sondage français, conduit sur 1000 personnes, 85 % des répondants ont indiqué être conscients de problèmes liés au bien-être des animaux d'élevage, et 33 % ont placé les conditions de transport comme le principal problème (Ouedraogo, 1998). Les préoccupations envers le bien-être des porcs pendant le transport ne sont plus uniquement abordées par les institutions gouvernementales ou académiques, mais aussi par les professionnels impliqués dans la chaîne de production, des organisations internationales telles que l'organisation mondiale pour la santé animale (OIE) et les consommateurs. Tous ces acteurs se concentrent maintenant sur le développement de standards élevés concernant les soins donnés aux animaux pendant le transport et l'abattage. Il en résulte, notamment, la mise en place de codes de conduite et recommandations, ainsi que de certificats de qualification (TQA aux USA, CLT au Canada) en Amérique du Nord.

Le stress subi pendant le transport va non seulement affecter le bien-être et la qualité de la viande de l'animal mais aussi l'acceptation de cette pratique et de la viande de porc. Le consommateur tient un rôle important en achetant le produit final. Ainsi, sa satisfaction est essentielle. Une perception négative de la qualité de vie de l'animal par le consommateur pourrait avoir un impact significatif sur le marché du porc par la non-acceptation du produit (Grunert, 2006). Ainsi, des entreprises telles que McDonalds, achetant d'énormes quantités de viande de porcs, ont établi de nouvelles exigences de production demandant à leurs fournisseurs d'obtenir des produits venant d'éleveurs dont la production répond à des standards précis concernant le traitement des animaux (Grandin, 2000a). Afin

d'être adoptés, ces standards doivent être basés sur les résultats de travaux scientifiques. Ainsi, la recherche sur le bien-être animal est importante afin de contribuer à l'amélioration des pratiques couramment employées en élevage.

CHAPITRE 1. Revue des travaux antérieurs

1.1 Définition du bien-être animal

Aujourd'hui associé à des notions de droits des animaux ou d'éthique, le concept de bien-être de l'animal contraste avec l'idée d'« Animal-machine » formalisée par Descartes. Depuis plusieurs décennies, le statut de l'animal dans les sociétés occidentales a évolué passant de celui de simple objet à celui d'être sensible, capable de souffrir et donc digne d'intérêt (Giroux, 2002). De ce changement de perception sont nées la volonté et la préoccupation d'assurer un « bon » traitement des animaux. De plus en plus de réflexions philosophiques (comités d'éthique) et politiques (commissions d'étude et législations) sont maintenant conduites dans le cadre de cette problématique (Vandenheede, 2003).

De nombreux scientifiques et philosophes ont tenté de conceptualiser le bien-être animal et ont proposé diverses définitions. Hollands (1980) propose de veiller au respect du bien-être animal en leur accordant « *la dignité naturelle qui leur est due en tant qu'êtres vivants et sensibles* ». Hughes (1976) et Hurnik (1988) définissent le bien-être animal comme étant un état « *d'harmonie physique et psychologique* » entre l'organisme et son milieu. Il est à noter que Hughes (1976) va encore plus loin dans sa définition du bien-être qui doit aboutir « *à la complète santé mentale et physique* ». Broom (1996) considère le bien-être comme étant « *un état de l'animal relatif à ses tentatives d'adaptation à son environnement* ». Il existe alors une corrélation négative entre l'effort que l'animal doit fournir pour s'adapter à son milieu et la qualité de son bien-être. Duncan (1996) quant à lui définit cette notion comme étant « *tout ce qui est en rapport avec ce que l'animal ressent* ». Enfin, Wiepkema et Koolhaas (1992) définissent le bien-être animal comme « *un état de santé physique et mentale* ». Il apparaît donc que le bien-être animal n'est pas un concept unique. La notion de bien-être a été définie de manière complète et pratique dans le rapport Brambell (1965, cité dans Dawkins, 1983) et a ensuite été reprise par l'organisation para gouvernementale britannique FAWC (Farm Animal Welfare Council, 1992). Cette définition plurifactorielle se résume par la notion du respect de cinq « libertés » fondamentales. Elle prend en

compte le respect des besoins physiologiques (faim/soif), environnementaux (confort physique de l'animal), sanitaires (maladies, blessures et douleurs), psychologiques (peur, anxiété, détresse ou jeu) et comportementaux (possibilité d'exprimer le comportement normal de l'espèce).

La diversité des définitions du bien-être animal n'est qu'apparente puisque cette notion peut s'ordonner en trois conceptions complémentaires. En effet, ces dernières mènent bien souvent aux mêmes conclusions, mais elles restent distinctes puisqu'elles mettent chacune l'accent sur des aspects spécifiques différents. Certains scientifiques et éthiciens avancent que le fonctionnement biologique de l'animal doit être le facteur majeur à prendre en compte dans la définition et l'évaluation du bien-être (Broom, 1996). Ce dernier sera qualifié de bon si l'intégrité des systèmes comportementaux et physiologiques de l'animal est intacte. D'autres prônent la nécessité qu'a l'animal de mener une « vie naturelle » c'est-à-dire de développer et d'exprimer ses comportements propres, ses adaptations (Rollin, 1993). Enfin le bien-être est également défini en se basant sur l'importance des expériences subjectives vécues par l'animal, l'individu ne devant pas subir d'états d'inconforts tels que la peur ou la souffrance (Veissier et al., 2007). Fraser et al. (1997) propose un modèle de synthèse dit intégratif qui atteste que le bien-être se voit ainsi compromis dès que les conditions de vie sollicitent de façon exagérée les capacités d'ajustement physiologiques et comportementales (Figure 1.1).

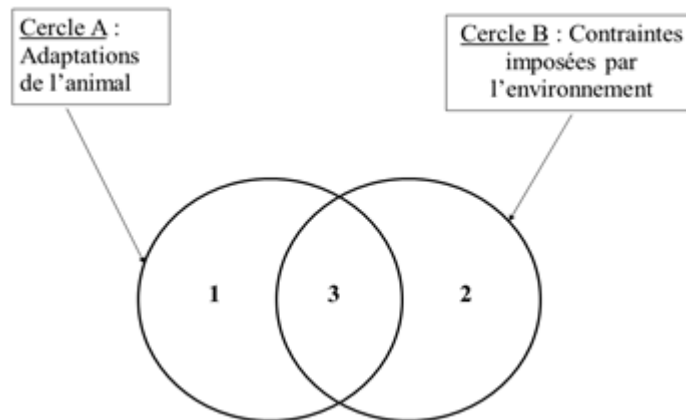


Figure 1.1 Modèle intégratif du bien-être (d'après Fraser et al., 1997)

Brièvement, ce modèle est constitué de 2 cercles délimitant 3 zones d'intérêt :

- le cercle A rassemble les adaptations (physiologiques, comportementales ou émotionnelles) de l'animal résultant de son histoire évolutive et personnelle ou encore des changements génétiques qui ont pu se produire particulièrement lors de la domestication pour les animaux d'élevage;
- le cercle B rassemble les contraintes imposées par le milieu de vie de l'animal;
- zone 1 regroupe l'ensemble des situations pour lesquelles les adaptations de l'animal peuvent devenir inutiles, car elles ne contribuent plus ou peu à une fonction importante;
- zone 2 regroupe l'ensemble des situations pour lesquelles l'animal ne possède pas les adaptations nécessaires;
- zone 3 regroupe l'ensemble des situations auxquelles un animal peut, jusqu'à un certain degré, faire face (bien-être acceptable).

1.2 Évaluation du bien-être pendant le transport

1.2.1 Définition de la réponse de stress

Pendant le transport, le bien-être est évalué en quantifiant le stress de l'animal. Ce dernier est défini comme étant la réaction (ou réponse) ou état émotionnel, physiologique et comportemental d'un animal confronté à une situation qu'il perçoit comme menaçante pour son équilibre physique et mental (Désiré et al., 2002; Terlouw, 2005). La notion de stress est par conséquent une notion complexe regroupant 4 domaines: physiologie, comportement, psychologie (expérience de l'animal) et cognition (Steptoe, 2000). Le terme d'agent stressueur est employé pour désigner tout stimulus induisant une activation de l'axe hypothalamo-hypophysaire (Minton, 1994).

Deux systèmes physiologiques sont principalement impliqués dans la réponse à un agent stressant. Le premier système impliqué dans la réaction de stress est l'axe catécholaminergique. Il est activé par le système nerveux sympathique qui agit via les terminaisons présentes au sein de la moelle épinière. Lors d'une exposition à un agent stressant, le système sympathique, activé par les différents organes sensoriels, va stimuler la glande médullosurrénale qui va alors sécréter de l'adrénaline et de la noradrénaline, qui vont agir sur différentes fonctions de l'organisme telles que l'activité cardiaque, respiratoire ou hépatique (Knowles et Warriss, 2000). La réaction engendrée correspond à la réaction d'urgence « fight or flight » décrite par Cannon et al. (1929), et réfère plutôt à une réaction engendrant des effets à court terme. Contrairement à l'axe catécholaminergique, l'axe corticotrope favorise une réponse avec des effets à long terme, correspondant ainsi au syndrome général d'adaptation décrit par Selye (1951). Lors de la réponse de stress, la corticolibérine (CRH) est libérée par l'hypothalamus et stimule alors l'hypophyse, qui à son tour secrète l'hormone adrénocorticotrope (ACTH). Cette hormone va alors stimuler les corticosurrénales qui vont libérer les glucocorticoïdes agissant sur l'organisme (Matteri et al., 2000). Un feedback négatif de ces glucocorticoïdes est présent afin de réguler l'activité de l'axe. Il est à noter qu'il existe une interaction possible entre ces deux systèmes puisque l'adrénaline est capable de stimuler la sécrétion de glucocorticoïdes. Également, les glucocorticoïdes peuvent stimuler la synthèse de noradrénaline et ensuite d'adrénaline en stimulant l'activité de la phényléthanolamine-N-méthyl transférase (Roussel, 2004).

1.2.2 Méthodes d'évaluation du stress

Le stress des porcs pendant le transport à l'abattoir peut être apprécié en utilisant des indicateurs physiologiques ou comportementaux. Les taux de mortalité et de morbidité sont également employés, notamment dans les études épidémiologiques (Palacio et al., 1996). Enfin, l'analyse de la qualité de la viande peut s'avérer être une mesure intéressante car elle peut refléter l'état physiologique de l'animal juste avant l'abattage.

1.2.2.1 Indicateurs physiologiques

1.2.2.1.1 Hormones

1.2.2.1.1.1 Catécholamines

L'une des premières réponses d'un organisme exposé à un agent stressueur est la libération de catécholamines dans le sang (adrénaline et noradrénaline) à partir des glandes surrénales ou par voie nerveuse (noradrénaline). La libération de catécholamines, qui a lieu principalement dans le plasma sanguin (Fernandez et al., 1995), a pour principal effet d'augmenter le rythme cardiaque et a également un effet catabolique sur les réserves énergétiques. Elle active la glycogénolyse qui va entraîner une augmentation rapide de glucose dans le sang (Matteri et al., 2000). L'utilisation de ces hormones pour mesurer le stress reste limitée du fait de leur extrême sensibilité à la manipulation pendant l'échantillonnage, ce qui peut expliquer pourquoi cette hormone n'a pas montré de résultats satisfaisants dans l'évaluation du bien-être lors du transport (Parrott et al., 1998). Néanmoins le dosage des catécholamines dans l'urine permet de remédier au problème de variation rapide et peut refléter l'activité fonctionnelle du système nerveux autonome (Hay et Mormède, 1998).

1.2.2.1.1.2 Glucocorticoïdes

Les glucocorticoïdes sont sécrétés par le cortex surrénalien et ce, sous le contrôle de l'ATCH, qui est elle-même produite par l'hypophyse. Ils vont avoir un effet stimulateur sur le métabolisme du glucose et causer des effets anti-inflammatoires (Matteri et al., 2000). Le cortisol est le glucocorticoïde le plus abondant chez le porc. Il est un bon indicateur d'un stress à court terme, qu'il soit positif (jeu, activités sexuelles) ou négatif (souffrance, détresse) mais il est aussi sous le contrôle d'un rythme circadien (De Jong et al., 2000a) et est très sensible à la manière dont l'échantillonnage est fait (Lay et al., 1992). En effet, le prélèvement d'un échantillon de sang peut provoquer une réaction de stress pouvant altérer les résultats. Ainsi, il est important de pratiquer un échantillonnage qui ne perturbe pas l'animal. Celui du cortisol libre présent dans la salive est une possibilité (Cooper et

al., 1989; Parrott et al., 1989, Schmidt et al., 2009). Cependant, la salive contient des concentrations faibles en cortisol (5 à 10 % des concentrations plasmatiques), ce qui implique la réalisation de dosages spécifiques et plus sensibles (Cook et al., 1996). Enfin, il est possible d'échantillonner le cortisol dans l'urine. Cette technique est plus appropriée pour l'évaluation d'effets à long termes car les concentrations mesurées dans l'urine sont peu sensibles aux variations rapides (Mormède et al., 2006).

Dans la littérature, les études ayant utilisées le cortisol comme indicateur de stress pendant le transport ont produit des résultats partagés. Certaines d'entre elles n'ont montré aucune variation du cortisol lors du transport ou de l'attente à l'abattoir (Brown et al., 1999a; Pérez et al., 2002b). D'autres, par contre, ont rapporté que la concentration de cortisol était augmentée lors de la manipulation (Neubert et al., 1996) et plus particulièrement lors du chargement des porcs (McGlone et al., 1993; Geverink et al., 1998a; Breinekova et al., 2007) ou du regroupement d'animaux non familiers (Bradshaw et al., 1996a).

Les glucocorticoïdes et les catécholamines étant les hormones en ligne de front, leurs concentrations sont d'intéressants indicateurs du caractère aversif des manipulations pré-abattage (Cockram, 2007). Cependant, il existe de nombreuses autres hormones qui sont impliquées dans la réponse de stress, comme par exemple les endorphines ou la vasopressine.

1.2.2.1.1.3 Endorphines

Les β -endorphines sont libérées dans la circulation sanguine par l'hypophyse antérieure sous le contrôle de la CRH mais aussi par le lobe intermédiaire de l'hypophyse (Murburg et al., 1993). Leur concentration peut ainsi être évaluée par radio-immuno-dosage (Bench et al., 2008a). Les β -endorphines sont impliquées dans la réduction de la réponse émotionnelle et de la perception de la douleur associées à l'exposition à un agent stresseur (Manteca, 1998). De fortes concentrations en β - endorphines peuvent induire une lipolyse et une

hyperglycémie (Schleicher et al., 1987) qui peuvent notamment causer une élévation de la température corporelle (Geers et al., 1994). L'augmentation de la concentration des β -endorphines est étroitement liée à celle de l'ACTH dans le plasma (Broom, 2000). Aussi, la mesure des endorphines dans le sang peut être un outil complémentaire à la mesure du cortisol. Une augmentation des β -endorphines a été mise en évidence lors de la manipulation des porcs comme lors d'une contention pour obtenir des échantillons sanguins (Roozen et al., 1995) ou du chargement (Bradshaw et al., 1996b) mais aussi lors du transit (Geers et al., 1994).

1.2.2.1.1.4 Vasopressine

Cette hormone est synthétisée par les noyaux supra-optique et paraventriculaire de l'hypothalamus, et libérée par l'hypophyse postérieure. Le principal rôle de la vasopressine est de réguler le volume d'eau et la composition ionique du corps (Simon, 2008). Cette hormone va être libérée lors d'une augmentation de l'osmolarité du plasma. Son action sera alors de causer un accroissement de la rétention d'eau par les reins. L'augmentation de la concentration de vasopressine dans le plasma a été associée à une plus forte l'incidence de nausées et de vomissements chez le porc lors du transport (Bradshaw et al., 1996b), témoignant du caractère inconfortable du transport pour ces animaux.

1.2.2.1.2 CPK, LDH et lactate

La créatinine phosphokinase (CPK) et la lactate déshydrogénase (LDH) sont deux enzymes indicatrices de l'intensité de la manipulation pré-abattage chez le porc (Broom et al., 1996; Pérez et al., 2002a; Kim et al., 2004). Elles vont être libérées dans le sang quand le muscle est endommagé ou quand il est soumis à un exercice intense (Broom et al., 1996). Le suivi de ces enzymes a permis de montrer que, par exemple, un court transport (Averós et al., 2009) et le regroupement d'animaux non familiers (Oliver et al., 1993) pouvaient entraîner une fatigue chez le porc et donc être néfastes pour son bien-être. Le lactate est le

produit final de la glycolyse anaérobie et s'accumule avec la demande énergétique de la cellule lors d'un stress ou exercice (Broom et al., 1996; Allison et al., 2006). Une concentration élevée de ce métabolite témoigne d'un état d'acidose métabolique, qui est notamment caractéristique des animaux non ambulatoires et fatigués (Benjamin et al., 2001; Ivers et al., 2002; Allison et al., 2006). La mesure de l'équilibre acido-basique peut également être un indicateur pertinent pour évaluer la réponse de l'animal à la manipulation (Bertol et al., 2002; 2005; Ritter et al., 2009b). Une manipulation agressive avec aiguillons électriques cause une augmentation du glucose et du lactate sanguin et une diminution du pH et des concentrations en bicarbonate comparé à des animaux déplacés doucement (Benjamin et al., 2001; Bertol et al., 2002; Hamilton et al., 2004).

1.2.2.1.3 Fréquence cardiaque

La mesure de la fréquence cardiaque peut être utile afin d'avoir une idée de l'activation du système nerveux autonome (Geverink et al., 1998a; Otten et al., 1997). Le rythme cardiaque est sous le contrôle du système sympathique qui va l'accélérer et le contrôle du système parasympathique qui va le ralentir (von Borell et al., 2001). Il peut être mesuré à l'aide de ceintures cardiaques (Schmidt et al., 2009; Correa et al., 2010) ou d'implants sous cutanés (De Jong et al., 2000b). Cette mesure est sensible à l'exposition à un agent stresseur psychologique, à l'activité physique et au statut alimentaire (Talling et al., 1995; Baldock et al., 1988). La prise en compte du contexte dans lequel la mesure est faite est donc importante. On peut difficilement différencier un changement de l'activité physique de l'animal d'un changement émotionnel avec cette seule mesure (Broom et Johnson, 1993). Il est alors suggéré d'allier l'étude du comportement afin de déterminer le contexte dans lequel l'animal évolue (avant ou après les prélèvements, par exemple) permettant ainsi de faciliter l'interprétation des données (Dawkins, 2004). Des chercheurs ont proposé d'étudier la variabilité de la réponse cardiaque afin de pouvoir dissocier la composante physique de celle psychologique. Le cœur même au repos ne bat pas toujours au même rythme. La

variabilité des battements cardiaques est due à l'accélération et au ralentissement du cœur, qui sont contrôlés, respectivement, par les systèmes sympathique et parasympathique. Certains agents stresseurs peuvent conduire à une activation privilégiée d'un de ces deux systèmes. En analysant cette variabilité, notamment les ratios basses fréquences/hautes fréquences, il est alors possible de déterminer lequel de ces systèmes contribue de façon plus importante au contrôle cardiaque (revue par von Borell, et al., 2001). De manière générale, les animaux présentant la plus grande variabilité sont ceux qui sont le plus affectés par l'agent stresseur (Minero et al., 2002). La fréquence cardiaque peut parfois diminuer quand un animal est effrayé (Alm, 2004); cependant, la principale réponse cardiaque à l'exposition à une situation stressante est la tachycardie. Ainsi, il a été mesuré que le rythme cardiaque augmente lors du chargement (Geverink et al., 1998a; Brown et al., 2005), lors de l'utilisation d'aiguillons électriques (McGlone et al., 2004; Correa et al., 2010) ou encore en fonction de la taille du groupe de porcs manipulés (Lewis et McGlone, 2007).

1.2.2.1.4 Fréquence respiratoire et température corporelle

Tout comme la fréquence cardiaque, avec laquelle elles sont positivement corrélées, la fréquence respiratoire et la température corporelle sont déterminées par le taux métabolique et l'activité musculaire (Broom et Johnson, 1993). Le rythme respiratoire peut être évalué à distance par observation de l'animal (McCann et al., 1998) ou grâce à une ceinture abdominale (Reefmann et al., 2009). Il augmente par exemple quand l'animal se trouve dans un environnement chaud (Hahn, 1997; Brown-Brandl et al., 1998) ou lors d'un exercice (Kasa et al., 1995). Également, le changement du rythme respiratoire peut se produire lors d'un état émotionnel particulier tel que la peur, sans qu'il n'y ait d'activité physique (Mellor et Murray, 1989). La température peut être mesurée de manière interne via des thermomètres insérés en position rectale (Asala et al., 2010) ou vaginale (Yan, 2002), ou encore mesurée avec des senseurs ingérés par l'animal et qui se logent alors dans le tractus digestif (Tamminga et al., 2009). Elle peut aussi être

enregistrée en surface (peau) via des instruments utilisant la technologie infrarouge (Stewart, 2008). Alors que la température interne varie peu, celle de surface fluctue à cause des conditions climatiques, et ainsi donne des résultats moins fiables. Les phénomènes en jeu sont la vasodilatation, favorisant la perte de chaleur via conduction et radiation vers l'environnement, et la vasoconstriction ayant l'effet opposé. Une augmentation de température est souvent associée à l'exposition à des conditions stressantes pour l'animal telles que le transport chez le porc (Geers et al., 1994; Tamminga et al., 2009), le veau (Trunkfield et al., 1991) ou le mouton (Parrott et al., 1999).

1.2.2.1.5 Fonction immunitaire et hématocrite

Le transport peut induire des changements du système immunitaire, et plus précisément une immunosuppression, après une durée aussi courte que 2 h (Kelley, 1985; Mota-Rojas et al., 2009). Si le système immunitaire est moins fonctionnel, l'animal ne pourra faire face de manière appropriée à son environnement et sera plus susceptible aux maladies et infections (Marg et al., 2001). Par conséquent son bien-être se verra affecté (revue par Broom et Johnson, 1993). La capacité de l'animal à réagir de manière efficace contre un antigène va être fonction du nombre, de l'activité et de l'efficacité des lymphocytes et peut être évaluée en mesurant le ratio du nombre de neutrophiles/lymphocytes; un ratio élevé indiquant une faille de la barrière immunitaire (Siegel et Gross, 2000).

Le transport peut impliquer des périodes prolongées sans nourriture ou eau dont la conséquence principale est une perte initiale de poids (Lambooj, 2000). En plus des phénomènes physiologiques normaux (excrétion, évaporation, respiration) après une longue période sans eau et nourriture, une déshydratation et une mobilisation du gras et du glycogène musculaire apparaissent, accentuant la perte de poids (Brown et al., 1999b). L'état de déshydratation peut être caractérisé par la mesure de l'hématocrite, c'est-à-dire le pourcentage relatif du volume des

globules rouges circulant dans le sang par rapport au volume total du sang, positivement corrélé au taux de déshydratation (McGlone et Pond, 2003).

1.2.2.2 Indicateurs comportementaux

Les mesures comportementales sont des réponses adaptatives qui permettent de donner des informations sur la façon dont un animal perçoit son environnement. Elles permettent d'apprécier l'état de stress, les préférences et besoins de l'animal et facilitent l'interprétation des mesures physiologiques (Broom, 2000). L'atout de ces mesures est qu'elles sont non invasives et le plus souvent non intrusives. Des comportements tels que des tentatives de fuite, un refus d'avancer ou une immobilisation témoignent du caractère stressant et aversif de l'environnement et de la manipulation (Lensink et al., 2001) et peuvent traduire l'expérience de l'animal (Hemsworth et Coleman, 1998). L'étude des vocalisations est aussi un outil intéressant pour l'évaluation du bien-être pendant le transport (Schön et al., 2004). Chez le porc, l'intensité, la durée et la fréquence des cris émis par l'animal ont été corrélées avec les concentrations de CPK et avec le rythme cardiaque, et associées à une réponse de stress aigu (von Borell et Ladewig, 1992; Warriss et al., 1994; White et al., 1995).

L'observation des postures est un indicateur rapide de l'inconfort de l'animal. Par exemple, le comportement des animaux malades ou blessés (isolement social ou posture antalgique) permet de supposer qu'ils perçoivent leur condition comme un événement désagréable, voire douloureux (Veissier et al., 1999). Le nombre d'animaux debout pendant le transport peut aussi traduire l'inconfort des animaux dû aux conditions climatiques (Torrey et al., 2013a). En effet, lorsque des porcs sont exposés au froid ils vont avoir tendance à se rapprocher les uns des autres, ou rester debout pendant le transport afin de limiter la perte de chaleur. Le contraire est observé quand les animaux sont soumis à un environnement chaud (Huynh et al., 2005). Un grand nombre d'animaux debout peut aussi indiquer une conduite peu soignée et trop brusque (Bradshaw et al.,

1996c), cette dernière pouvant être associée avec des vomissements indiquant un mal des transports dû à la présence de vibrations dans la remorque (Bradshaw et al., 1996b; Randall et Bradshaw 1998). Les chutes et glissades lors du chargement et déchargement peuvent indiquer la qualité de la manipulation ou de l'équipement utilisé (Torrey et al., 2013a).

La respiration avec la bouche ouverte, souvent associée à une raideur musculaire, reflète une demande importante en oxygène liée à un exercice intense. Ce comportement est notamment observé lors de la manipulation et du transport des porcs dits fatigués (Benjamin, 2005; Ritter et al., 2008a). Enfin, l'incidence des rencontres agonistiques indique un problème social dû au regroupement d'animaux non familiers, procédure qui est souvent réalisée à la ferme ou dans la salle d'attente à l'abattoir (Geverink et al., 1996; Terlouw et al., 2007). Les combats peuvent être un problème important chez le porc causant des blessures qui peuvent être sérieuses (Bradshaw et al., 1996a).

1.2.2.3 Mortalité et morbidité

Les taux de mortalité et de morbidité pendant le transport ou à l'abattoir sont couramment employés comme outils d'appréciation indirecte de l'intensité du stress subi par les animaux et ainsi de la qualité du bien-être (Ritter et al., 2009a). La mort d'un animal pendant le transport est bien souvent précédée d'une période de pauvre bien-être. Elle révèle que l'animal a été exposé à des conditions extrêmes au point que les mécanismes physiologiques n'ont pu maintenir l'homéostasie de l'organisme (Khansari et al., 1990). De plus, si un ou des animaux sont morts pendant le transport, il est alors légitime de penser que le bien-être des autres animaux dans la remorque a aussi pu être affecté (Knowles et Warriss, 2000). Les porcs sont également exposés à des stress qui ne conduisent pas immédiatement à la mort d'animaux. Ces animaux sont désignés comme fatigués, c'est-à-dire qu'ils deviennent non ambulatoires sans qu'aucune blessure ou fracture n'ait été observée (Benjamin, 2005). Une incidence élevée des pertes

animales durant le transport est un indicateur évident que le bien-être de l'animal a été compromis.

1.2.2.4 Qualité des carcasses et de la viande

Les mesures faites après l'abattage peuvent également permettre d'apprécier objectivement le bien-être de l'animal pendant le transport et dans les salles d'attente à l'abattoir.

1.2.2.4.1 Blessures

Blessures, meurtrissures et lacérations peuvent être évaluées lorsque les carcasses sont stockées au froid. Les lésions cutanées révèlent clairement un bien-être appauvri et sont le plus souvent à mettre en relation avec les interactions agonistiques entre porcs ou leur manipulation (Faucitano, 2001; Turner et al., 2006; Rabaste et al., 2007). Les lésions cutanées peuvent également indiquer l'effet de l'environnement physique de la remorque comme les engelures causées par le froid en hiver (Goumon et al., 2012), ou les égratignures causées par des allées ou rampes de chargement trop étroites (Guàrdia et al., 2009).

1.2.2.4.2 Mesures de métabolisme musculaire

L'analyse du métabolisme musculaire, à travers celle de la qualité de la viande, est souvent utilisée pour mesurer le niveau d'activité physique et de stress des porcs avant l'abattage. La présence ou l'incidence de viandes PSE (Dalla Costa et al., 2007) ou DFD (Guàrdia et al., 2005) peut donner des informations sur la qualité de la manipulation et du transport des porcs. Des cas de viandes PSE sont observés quand les animal ont subi un stress aigu avant l'abattage tel que l'utilisation d'aiguillons électriques (D'Souza et al., 1998a) ou un repos trop court en salle d'attente à l'abattoir (Warriss, 2003). Ce stress engendre une accélération de l'activité métabolique, consistant notamment à une transformation rapide du

glycogène en acide lactique. Il en résulte une chute du pH dans les muscles. Cette acidification est accentuée par la température élevée du muscle suite au stress avant abattage (Adzitey et Nurul, 2011). Une température musculaire élevée ou un pH bas dans les minutes ou heures qui suivent l'abattage sont indicateurs d'activités et/ou de stress élevés (Terlouw et Rybarczyk, 2008). Contrairement à la viande PSE, la présence de viandes DFD est due à un épuisement des réserves musculaires de glycogène. L'animal est donc en état de fatigue avant même d'arriver à l'abattoir (Warriss, 1998a). Une accumulation insuffisante d'acide lactique suffisante résulte en un pH qui reste élevé ($\text{pH} > 6$) même 24 h post mortem, reflétant un amenuisement des réserves de glucose présentes dans le muscle et traduisant un effort physique important ante mortem (Adzitey et Nurul, 2011). L'incidence de viandes DFD accroît lorsque les animaux sont soumis de manière prolongée à un agent stresseur, notamment suite à une longue période de mise à jeun associée à un transport sur une longue durée (Warriss et al., 1987), une longue période d'attente à l'abattoir ou le regroupement d'animaux non familiers engendrant des combats (Warriss, 2003).

1.3 Facteurs affectant la réaction de stress pendant la manipulation avant le transport

Les agents stresseurs se différencient par leur nature, leur intensité et leur fréquence. La nature de l'agent va dépendre de la situation à laquelle est confronté l'animal. Il existe des agents stressants de nature physique (fatigue, restriction alimentaire, conditions climatiques), ou de nature psychologique (contention, nouveauté, regroupement d'animaux non familiers). L'intensité de l'agent stresseur va également conditionner celle de la réponse de l'organisme. Une exposition à un agent stresseur de forte intensité, mais sur une période courte, caractérise un stress aigu (phase d'alarme selon Selye). Une exposition peut être unique ou distribuée sur une période courte ou au contraire longue. Les caractéristiques de l'exposition à un agent stresseur permettent de définir le stress chronique (phase d'épuisement selon Selye) qui est induit par une répétition sur une période longue.

Du fait de son caractère ponctuel, le transport va impliquer une réponse aigüe plutôt que chronique.

Comme de nombreuses autres espèces, le porc réagit de manière prévisible à l'exposition à un agent stressant (Lawrence et al., 1991). Néanmoins, avant même que les porcs ne soient transportés, ils peuvent expérimenter des procédures ou situations stressantes qui peuvent potentiellement modifier leur réponse ultérieure à d'autres agents stressants. La variabilité des réponses selon l'individu est notamment due à la génétique et à l'expérience antérieure (Mormède et al., 2002). Pendant leur vie, les porcs sont soumis à de nombreuses procédures qui sont perçues comme négatives, telles que la coupe de la queue, le rognage des dents ou la castration. De plus, les animaux sont rarement soumis à des interactions positives et sont bien souvent élevés dans des milieux sans éléments d'enrichissement tels qu'une litière. L'expérience de l'animal peut ainsi contribuer à l'apparition de réactions de peur ou de stress quand il est exposé à des interactions avec l'Homme ou de nouveaux environnements. L'expérience antérieure va avoir par la suite un effet important sur la réponse comportementale, physiologique et métabolique du porc aux manipulations pré-abattage (Terlouw, 2005).

1.3.1 Le patrimoine génétique

Le patrimoine génétique a un effet important sur la façon dont un animal perçoit et s'adapte à son environnement et ainsi sur sa susceptibilité au stress (Murray et Johnson, 1998; Gispert et al., 2000; Werner et al., 2007). Avant même d'étudier les facteurs influençant le bien-être des porcs pendant le transport, il est primordial de s'assurer, qu'en premier lieu, les animaux soient aptes au transport (Grandin, 2001). Les porcs porteurs du gène de sensibilité à l'halothane sont plus susceptibles au stress de la manipulation et du transport (Gispert et al., 2000; Fabrega et al., 2002; Pérez et al., 2002a). Chez ces animaux, tout état de stress peut provoquer un syndrome d'hyperthermie maligne, aussi nommé syndrome de

stress aigu, 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 (Gregory, 1998). Les animaux sensibles portent une mutation (n) dans un gène codant pour une protéine impliquée dans les échanges de calcium au niveau du réticulum sarcoplasmique des fibres musculaires, et connue sous le nom de récepteur à la ryanodyne (Fujii et al., 1991). Cette mutation a une fréquence élevée dans certaines races telles que le porc Piétrain. Elle va induire une forte réactivité physiologique au stress, alors que la réactivité comportementale sera peu modifiée (Nyberg et al., 1988; Weaver et al., 2000). L'intérêt commercial de garder ce gène dans le génotype des porcs était qu'il favorisait une viande maigre et une meilleure qualité de la carcasse chez les individus hétérozygotes (Nn) (Oliver et al., 1993). Cependant de nombreuses études conseillent maintenant d'éliminer ce gène des programmes de reproduction (Fabrega et al., 2002) car sa présence a été associée à une augmentation du taux de mortalité (Holtcamp, 2000) et à la présence de viande de type PSE, notamment chez les individus homozygotes (McPhee et al., 1994; Murray et Johnson, 1998). Il a été rapporté que les individus hétérozygotes (Nn) présentaient une meilleure conversion de l'énergie présente dans la nourriture et une viande plus maigre, bien que l'incidence de viande PSE soit toujours importante (Leach et al., 1996; Fisher et al., 2000). Leurs taux de mortalité, bien qu'inférieurs aux animaux homozygotes positifs (nn), restent supérieurs à ceux des individus homozygotes négatifs (NN) (Murray et Johnson, 1998; Fabrega et al., 2002).

Le patrimoine génétique peut également influencer le comportement. Les porcs de certaines races ou lignées génétiques peuvent être plus excitables et difficiles à bouger (Grandin, 1997a). Les porcs de race Duroc tendent à être plus calmes et ceux de lignées incluant la race Hampshire ou Piétrain tendent à être plus nerveux. Cependant, dans un test d'approche par l'Homme, les porcs de race Blanc de l'ouest se sont montrés moins craintifs que des porcs de race Duroc. Ils avaient aussi une température musculaire inférieure après abattage, qui est probablement la conséquence d'une réduction du stress ou de l'activité des

animaux (Terlouw et Rybarczyk, 2008). Certaines lignées génétiques de porcs sélectionnées pour obtenir de la viande maigre se sont montrées être plus craintives, plus agressives et refusant plus souvent d'avancer que celles sélectionnées pour une viande plus grasse (Grandin, 1994; Shea-Moore, 1998; Busse et Shea-Moore, 1999). Il existe également des différences entre races en termes de réactivité de l'axe sympathico-corticotrope (Désautés et al., 1997).

1.3.2 Relation homme-animal

Lorsque les porcs entrent en période de finition, ils peuvent n'avoir que très peu d'interactions avec les animaliers, notamment si les systèmes d'alimentation et d'évacuation du lisier sont automatiques (Benjamin, 2005; Krebs et McGlone, 2009). En vue de leur abattage, les porcs vont être déplacés et ce, dans un environnement complètement nouveau, que ce soit à la ferme ou à l'abattoir. La réactivité des porcs envers l'Homme peut être influencée par leur expérience antérieure avec ce dernier. Il a été montré qu'une manipulation positive et répétée rend les porcs plus enclins à être approchés (Tanida et al., 1994), et à rentrer en contact avec l'Homme (Gonyou et al., 1986; Hemsworth et Barnett, 1992; Hemsworth et al., 1996). Des animaux habitués à voir une personne rentrer dans leur parc pour effectuer la vérification quotidienne se sont montrés moins réactifs au transport que ceux qui n'avaient pas été exposés à la présence de cette personne dans le parc (Geers et al., 1995). Au contraire, une manipulation négative telle que l'utilisation d'aiguillons électriques va réduire cette motivation (Gonyou et al., 1986; Hemsworth et al., 1986).

Lors de leur transport, les porcs vont être manipulés dans des environnements qu'ils perçoivent comme nouveaux, tels que les allées de la porcherie ou les rampes de chargement. L'exposition à ces dernières peut, entre autres, causer une élévation du rythme cardiaque, des changements du système immunitaire, et des concentrations en hormones de stress, ainsi que contribuer à la difficulté de manipulation des animaux, qui peuvent être réduites par une

exposition précoce au nouvel environnement (Abbott et al., 1997; Geverink et al., 1998c; Lewis et al., 2008; Krebs et McGlone, 2009). Ainsi des porcs ayant eu l'opportunité de sortir hors de leur parc (Abbott et al., 1997) et de subir une simulation de transport (Geverink et al., 1998c) avant d'être envoyés à l'abattoir, étaient plus enclins à sortir de leurs parcs, plus faciles à bouger, et avaient des carcasses de meilleure qualité. Une étude menée par Krebs et McGlone (2009) a montré que l'habituation de porcs ayant fait l'expérience de sortir de leur parc et de visiter la remorque, le tout associé à une récompense (sirop d'érable), permettait de réduire le temps de chargement dans une remorque contenant la récompense. En exposant des porcs à une rampe une fois par jour, une semaine avant d'être transportés, Lewis et al. (2008) ont mesuré que ces porcs avaient un rythme cardiaque plus bas et mettaient moins de temps pour finir un parcours que des porcs non exposés. Les auteurs suggèrent alors que les porcs ne sont pas stressés par les allées ou rampes en tant que telles, mais plutôt par la nouveauté de la situation.

La familiarisation des animaux à l'Homme peut, par contre, avoir un effet non désiré. Les porcs qui ont été entraînés ou exposés à plus de manipulations par l'Homme se sont montrés moins craintifs à leur égard (Geverink et al., 1998c; Hemsforth et al., 2002). Le problème est que ces animaux vont bien souvent essayer de maintenir un contact avec l'Homme (Tanida et al., 1994), ce dernier devant ainsi recourir à une manipulation plus intense, impliquant notamment l'utilisation d'aiguillons électriques, pour bouger les animaux (Geverink et al., 1998c; Hemsforth et al., 2002; Krebs et McGlone, 2009). Au contraire, les animaux exposés à un nouvel environnement mais non manipulés par l'Homme bougent plus facilement et ce, sans l'utilisation des aiguillons électriques. Krebs et McGlone (2009) suggèrent que ces animaux ne sont plus craintifs à l'égard du nouvel environnement, mais le sont toujours vis-à-vis de l'Homme.

1.3.3 Alimentation

1.3.3.1 Mise à jeun

En préparation du transport et de l'abattage, les porcs sont bien souvent mis à jeun à la ferme. Ils n'ont généralement pas non plus accès à de l'eau pendant le transport. Ces pratiques sont réglementées dans de nombreux pays. Par exemple en Europe, dans un rapport sur le bien-être des animaux pendant le transport, un groupe de scientifiques européens (SCAHAW, 2002) a recommandé que les animaux soient mis à jeun 10 h au maximum avant leur abattage. Cependant, une mise à jeun de 12 à 18 h avant abattage est pratique courante (Gispert et al., 1996). Les raisons principales de cette restriction alimentaire sont basées sur des justifications économiques et sanitaires. Le retrait de nourriture avant le transport va tout d'abord permettre d'économiser sur le coût en nourriture comme les animaux mangent moins (Bidner et al., 1997). Mais l'avantage le plus significatif est que la mise à jeun avant l'abattage permet de réduire la mortalité des animaux lors du transport et en salle d'attente (Guàrdia et al., 1996; Warriss, 1998a). Le taux de mortalité est plus important chez les animaux nourris avant leur transport car l'estomac, alors plein, crée une pression sur la veine cave, ce qui en réduit le diamètre et diminue l'efficacité de la circulation sanguine (Warriss, 1994). De plus, chez les porcs nourris avant l'abattage, un risque d'hyperthermie associé à la manipulation des animaux (Chevillon, 2001a) et un mal des transports (Bradshaw et al., 1996b) ont été rapportés. Warriss (1998a) suggère qu'une mise à jeun de 12 h avant l'abattage peut conduire à une perte de 1,3 kg de liquide gastro-intestinal et que cela pourrait être suffisant pour aider les animaux à endurer le transport. À l'abattoir, le fait d'avoir des animaux avec des estomacs vides va favoriser la diminution des problèmes associés à la manipulation des viscères (Chevillon, 1994). Si ces derniers sont perforés pendant la transformation de la carcasse et qu'ils contiennent des bactéries, notamment les salmonelles (Hurd et al., 2002; Saucier et al., 2007), la carcasse tout entière pourra également être contaminée et ultimement causer un empoisonnement alimentaire (Eikelenboom et al., 1991). Des études ont aussi montré que la mise à jeun des animaux pouvait

avoir un effet bénéfique sur la qualité de la viande, en diminuant en particulier l'incidence de viande PSE. Cette observation a été faite après un jeûne de 12 h (Eikelenboom et al., 1991), de 24 h (Murray et al., 1989) et même de 48 h (Leheska et al., 2002). Aucune relation positive n'a été trouvée entre la qualité de la viande et une mise à jeun de plus de 72 h (Becker et al., 1989; Fisher et al., 1989).

Bien que la mise à jeun permette de réduire les coûts économiques et d'augmenter la salubrité et la qualité de la viande, elle entraîne en contre partie des effets néfastes sur le rendement et la qualité des carcasses ainsi que sur le bien-être du porc. Il a été estimé que le porc envoyé à l'abattoir perd 4 % de son poids pendant les premières 18 à 24 h de jeun (Knowles et Warriss, 2000). À plus long terme, Mayes et al. (1988) ont observé que des porcs dont l'accès à l'eau et à la nourriture avait été suspendu pendant 24, 48 et 72 h, avaient perdu respectivement 3,08, 5,72 et 7,35 kg. Cette perte de poids serait principalement due à une déshydratation et à une utilisation des réserves en glycogène de l'organisme (Knowles et Warriss, 2000). Warriss et al. (1983) ont montré que des porcs non à jeun pouvaient devenir déshydratés après un transport d'une durée aussi courte que 6 h. La déshydratation est notamment accentuée par le fait que les porcs ne boivent pas beaucoup, même si de l'eau est disponible pendant le transport (Lambooj, 1983; Lambooj et al., 1985). Les animaux n'ayant pas accès à de la nourriture pendant le transport ont faim quand ils arrivent à l'abattoir. Beattie et al. (2002) ont montré que des animaux, mis à jeun 20 h avant l'abattage et soumis à un transport de 75 km, ont passé plus de temps à s'alimenter à l'abattoir. Cette observation n'a pas été faite chez les animaux mis à jeun pendant 12 h, dont le comportement alimentaire avant et après jeûne était le même. Les auteurs en ont conclu qu'un jeûne de 20 h a rendu les animaux affamés.

Il a été montré que la privation de nourriture entraîne une augmentation de l'activité physique (Fernandez et al., 1995) et de l'agressivité (Fernandez et al., 1995; Brown et al., 1999b; Turgeon, 2003). Cette dernière est accentuée quand les

animaux sont soumis à de longs transports et temps d'attente à l'abattoir (Murray et al., 2001). La conséquence de cette agressivité est une augmentation des affrontements d'animaux non familiers qui résulte en une augmentation de l'incidence des lacérations et autres dommages cutanés (Murray et al., 2001) et contribue à la diminution du glycogène hépatique (Warriss et Bevis, 1987) et musculaire (Fernandez et al., 1995; Bertol et al., 2005). Brown et al. (1999b) ont soumis des animaux à un jeûne de 1, 12 ou 18 h avant d'être transportés à l'abattoir, et ont montré qu'à l'abattoir les réserves en glycogène hépatique étaient totalement épuisées chez les animaux à jeun depuis 12 et 18 h. Chez les animaux à jeun 1 h avant d'être chargés, les réserves étaient plus basses que pour les animaux nourris avant d'être abattus. Jones et al. (1985) ainsi que Wittman et al. (1994) ont noté une réduction significative du glycogène musculaire après 24 à 48 h de jeûne. Enfin, des études ont montré qu'une mise à jeun résultait en une viande avec un pH élevé, caractéristique des viandes DFD (Warriss et al., 1987; Eikelenboom et al., 1991)

Comme le concèdent Faucitano et al. (2010a), la définition de la durée optimale de la période de mise à jeun peut être difficile. Par exemple, alors qu'une mise à jeun de 24 h a toujours un effet bénéfique sur la qualité et la salubrité alimentaire, elle n'en a plus en termes de bien-être animal. De plus, comme il l'a été mentionné, il est certes important que les porcs soient complètement à jeun en arrivant à l'abattoir, mais il est également capital qu'ils soient à jeun avant d'être manipulés et transportés.

1.3.3.2 Alimentation et réduction du stress

L'apport de petites quantités de nutriments spécifiques, tels que le magnésium ou le tryptophane, 1 ou 2 jours avant le transport ou dès l'arrivée à l'abattoir peut contribuer à réduire la déshydratation des tissus ainsi que le catabolisme protéique, glucidique et lipidique (Schaefer et al., 2001), ce qui en retour va résulter en une amélioration de la qualité de la viande. Srinongkote et al. (2003)

ont montré qu'un régime alimentaire enrichi en L-lysine et L-arginine réduisait la concentration du cortisol plasmatique de porcs soumis à ce régime comparativement aux animaux nourris de manière régulière. Ils ont également observé que les animaux exposés au nouveau régime présentaient une plus faible réactivité au stress du transport. L'utilisation de la ractopamine (Paylean®) dans l'alimentation du porc est devenue assez répandue, notamment en Amérique du Nord et en Amérique du sud (Marchant-Forde et al., 2003). Cet agoniste bêta-adrénergique est un agent répartiteur des réserves énergétiques qui va favoriser le dépôt de tissu maigre chez les porcs en finition (Crome et al., 1996). Les porcs nourris avec cet additif alimentaire se sont montrés plus difficiles à bouger et plus sensibles au stress de la manipulation et du transport (Grandin, 2001; Marchant-Forde et al., 2003).

1.3.4 Logement

Les conditions de logement des porcs peuvent varier en termes de densité des animaux par enclos ou par la qualité de l'enclos (environnement pauvre versus enrichie). Elles peuvent ainsi influencer l'expérience sociale des animaux et leur réactivité à la nouveauté avant le transport, qui en retour peuvent avoir d'importantes conséquences sur la façon dont ils vont réagir au transport.

Ruis et al. (2001) ont comparé la latence de contact avec un objet nouveau et le rythme cardiaque de porcs isolés et de porcs élevés en paires et ont ainsi montré que les porcs élevés en isolement présentaient un rythme cardiaque ainsi qu'une latence d'approche plus élevés que les porcs élevés en paires. Les auteurs en ont conclu que l'isolement rendait les porcs plus craintifs. Hayne et al. (2009) ont observé que, bien qu'ils avaient tendance à être plus rapides à charger, des porcs élevés en grands groupes (250 animaux/parc) n'ont pas nécessité plus de manipulations pour être bougés, ni présenté une réponse physiologique plus élevée que des porcs en petits groupes (16-18 animaux/parc) lors de leur transport vers l'abattoir.

L'environnement physique peut également influencer la réponse au stress de la manipulation. Des travaux ont montré que des porcs élevés dans des conditions pauvres (ou standard), c'est-à-dire non enrichies, ont présenté une forte réactivité à l'exposition à de nouveaux objets (Beattie et al., 1995; De Jong et al., 1998; Olsson et al., 1999) et ont été plus agressifs (De Jonge et al., 1996; O'Connell et Beattie, 1999) que des animaux élevés en milieu enrichi. Des porcs logés dans un environnement pauvre sont moins enclins à sortir de leur parc (Abbott et al., 1997) et s'avèrent être aussi plus réactifs en réponse à la manipulation pendant le transport et à l'abattoir (Klont et al., 2001; Lambooi et al., 2004). L'enrichissement semble ainsi développer les capacités sociales et exploratrices des porcs. De Jong et al. (2000c) ont observé que des porcs élevés en milieu enrichi (parc plus grand et paille au sol) étaient moins actifs pendant le transport et à l'abattoir, et n'ont pas présenté d'augmentation en cortisol lors du transport, comparés aux individus témoins. Cependant Geverink et al. (1999) ont trouvé que des animaux élevés de manière standard ont été plus faciles à charger comparés à des porcs élevés en milieu enrichi. Ces auteurs ont suggéré que les porcs élevés en régime standard pouvaient avoir été davantage motivés que ceux de l'autre groupe à quitter leur parc pour explorer d'autres environnements.

1.3.5 Outils de manipulation

Selon Dewey et al. (2009), le stress auquel les animaux sont soumis à la ferme contribue à 55 % de la variation du taux de mortalité des porcs pendant le transport. Les méthodes de manipulation utilisées à la ferme jouent un rôle important dans ce stress (Hamilton et al., 2004; Bertol et al., 2002, 2005). Les porcs sont principalement bougés à l'aide de panneaux, de « pagaies » en plastique, d'aiguillons électriques ou encore de drapeaux. Ces outils n'ont pas tous la même efficacité et les mêmes conséquences sur le comportement et la physiologie des porcs. De nombreuses études examinant les effets de ces outils ont montré que les aiguillons électriques induisent beaucoup plus de stress chez les animaux que les autres outils et diminuent l'efficacité de la manipulation des porcs (Brundige et al., 1998; McGlone et al., 2004). La réponse de stress résultant

d'une manipulation intense associée à l'utilisation d'aiguillons électriques peut conduire à des changements importants de la physiologie de l'animal qui peut devenir fatigué ou non ambulateur (Hamilton et al., 2004; Correa et al., 2008). Certains auteurs qualifient même l'utilisation des aiguillons électriques comme étant aussi stressante que la procédure de chargement (Becker et al., 1985) et plus aversive que l'inhalation de gaz (90 % CO₂) (Jongman et al., 2000). Leur utilisation n'est pas recommandée, car ils ont un effet néfaste sur la physiologie (Brundige et al., 1998; Benjamin et al., 2001), le comportement (Brundige et al., 1998, Correa et al., 2010) et la qualité de la viande (D'Souza et al., 1998a; Jongman et al., 2000).

Comparant l'effet d'une manipulation intense (aiguillons électriques, 16 coups/cochons et panneaux en plastique) à une manipulation douce (pagaies et des panneaux en plastique), Hamilton et al. (2004) ont montré que les porcs soumis au premier traitement avaient des concentrations de lactate élevées et un pH bas dans les muscles et dans le sang, et également une tendance à avoir une température rectale plus élevée après la manipulation. Des résultats similaires ont été rapportés par Bertol et al. (2002; 2005). Brundige et al. (1998) ont comparé l'effet de l'utilisation de l'aiguillon électrique à celle d'un bâton en plastique lors du chargement des porcs et ont observé que les animaux chargés au moyen de l'aiguillon présentaient un rythme cardiaque et une température rectale plus élevés. De plus, les porcs vocalisaient beaucoup plus et s'affolaient en essayant de s'enfuir de la zone de chargement. L'utilisation des aiguillons électriques entraîne aussi des dommages sur la carcasse. La manipulation à un pas soutenu associée à l'utilisation d'aiguillons électriques a causé plus de dommages cutanés, une plus forte incidence de viande PSE, ainsi que des éclats sanguins dans les muscles (Geverink et Lambooij, 1994; Faucitano et al., 1997). Hemsworth et al. (2002) ont montré qu'une utilisation importante des aiguillons électriques avant l'abattage induisait la présence de viande PSE chez 23 % des animaux testés. De nombreux abattoirs en Europe et en Amérique du Nord ont banni l'aiguillon électrique de leur panel d'outils (Gentry et al., 2008). Cependant, cet appareil

semble toujours largement utilisé, notamment à la ferme. Il a été estimé que 50 % (Murray, 2001), voire 90 à 95 % (Correa, 2011) des éleveurs porcins au Canada utilisent régulièrement l'aiguillon électrique pour déplacer leurs porcs. Leur utilisation peut refléter la faible expérience des manipulateurs (Faucitano, 2001) ou une configuration mal adaptée du véhicule de transport (Driessen et Geers, 2000). Comme le souligne Grandin (2001), les aiguillons électriques ne doivent être utilisés qu'en dernier recours, et seulement quand un animal apte à la manipulation refuse d'avancer. Cependant, les rythmes soutenus de production en abattoir entraînent une utilisation bien souvent systématique de cet outil (Geverink et al., 1996). De plus, les caractéristiques d'utilisation (voltage et ampérage) de l'appareil ne sont soumises à aucune législation (Benjamin, 2005).

Le drapeau, la pagaie et le panneau en plastique sont certainement à considérer comme alternatives à l'aiguillon électrique. McGlone et al. (2004) ont comparé l'efficacité et les effets de ces outils, et ont trouvé que les pagaies en plastique étaient certes moins aversives que les aiguillons électriques, mais leur utilisation pouvaient résulter en plus de vocalisations et en une réduction de l'efficacité de mouvement des porcs comparée à l'utilisation de panneaux en plastique et de drapeaux. Comme le soulignent Correa et al. (2010), ces outils sont peu efficaces quand les manipulateurs doivent bouger les porcs en une file unique vers la zone d'abattage. Aussi, ils ne peuvent atteindre les animaux empêchant le groupe d'avancer en avant de la file. Correa et al. (2010) mentionnent que dans ce cas précis, l'utilisation de l'aiguillon électrique peut conduire à meilleure efficacité de mouvement, mais aussi que des abus peuvent être commis si cet outil est utilisé par des manipulateurs non entraînés. Ces auteurs ont également montré que l'utilisation d'un aiguillon à air comprimé, provoquant des résultats similaires à l'utilisation de pagaies en plastique, pouvait être une bonne alternative à l'aiguillon électrique. Il a été également proposé que l'utilisation de portes s'ouvrant automatiquement pourrait améliorer le mouvement des porcs à l'abattoir et ainsi contribuer à la diminution de l'utilisation des aiguillons électriques (Barton-Gade et al., 1992).

1.3.6 Tri des porcs avant le chargement

Le tri dans le parc d'engraissement et le déplacement vers l'aire de chargement constituent les premiers stress et efforts violents pour le porc lors de la procédure de transport. Chevillon (2001a) a mesuré une forte élévation du rythme cardiaque lorsque les animaux étaient sortis de leur parc pour être bougés vers l'aire de chargement. L'auteur conseille alors de trier et bouger les animaux de préférence juste après le dernier repas ou 7-8 h après celui-ci, et si possible aux heures les plus fraîches de la journée. Le tri des animaux 18 h avant le chargement a réduit les signes de stress (ventilation avec bouche ouverte, décoloration cutanée) et le temps de manipulation au chargement chez les porcs au poids d'abattage. Cette procédure n'a néanmoins eu aucun bénéfice sur le stress du déchargement ou la mortalité pendant le transport (Gesing et al., 2010).

Après le tri, il est préférable de déplacer les porcs dans une aire de stockage à la ferme avant le chargement afin de permettre aux animaux de se reposer. Une période de 2 h permet notamment aux porcs de retrouver un niveau de battements cardiaques proche de celui observé dans leur parc (Chevillon, 2001a). Ainsi, l'aire de stockage permet de charger des porcs non essouffés et moins stressés. Il est à souligner que l'effet est bénéfique seulement si les animaux ne sont pas regroupés entre individus non familiers et si l'aire de stockage est bien ventilée et adaptée au nombre d'animaux sortis du parc d'engraissement. Cette procédure permettrait de diminuer de 25 % la mortalité en transport (Chevillon, 2001a). De plus, cette procédure permet de diminuer significativement le temps de chargement (Chevillon et Griot, 1997).

1.3.7 Taille des groupes et mouvements des animaux

Il est recommandé de bouger les porcs d'abattage en petit groupes de 3 à 6 animaux (Lewis et McGlone, 2007; Berry et al., 2009). Cette pratique améliore le bien-être des porcs et permet aussi une plus grande efficacité du travail. Lewis et McGlone (2007) ont comparé la réponse de porcs bougés en groupes de 1 à 10

individus sur un parcours simulant la manipulation nécessaire pour les amener de leur parc jusque dans un camion. Les auteurs en sont venus à la conclusion que bouger 5 à 6 porcs à la fois résultait en une élévation du rythme cardiaque moins importante et permettait de charger un camion plus rapidement qu'avec un plus grand nombre d'animaux. À partir de 7 animaux, les auteurs ont noté que certains commençaient à faire demi-tour. Berry et al. (2009) ont comparé le chargement à la ferme et le déchargement à l'abattoir de porcs en groupes de 4 ou 8 individus, et ont montré que charger les porcs en groupes de 4 individus réduisait le temps de chargement, le nombre de porcs morts à l'arrivée ou non ambulatoires et l'incidence de signes de stress tels qu'une ventilation avec bouche ouverte, une décoloration de la peau ou des tremblements.

Barton-Gade (1997) a noté que bouger des porcs, de l'enclos au camion, en groupes pouvant aller jusqu'à 15 individus permet de réduire le taux d'agression et d'augmenter le temps passé au repos comparé à des groupes plus grands, et ce même si les animaux avaient été regroupés. Il est intéressant de signaler que, dans les abattoirs, les porcs sont bougés, de manière routinière et efficace, en groupes de 25 à 50 animaux des parcs de la salle d'attente jusqu'aux files d'abattage (Kavanagh, 2010). La différence avec les recommandations précédentes est que les études présentées ci-dessus ont été conduites dans des fermes où, de manière générale, les couloirs et allées sont relativement étroits. Ainsi, comme le souligne Grandin et al. (2002), la largeur des allées dans lesquelles les porcs sont bougés est un facteur important à considérer en vue de l'émission de recommandations en termes de taille de groupes. Selon la chercheuse, il est acceptable de bouger des porcs en groupes de 4-6 animaux dans une allée d'un mètre de large. Elle recommande par contre de réduire la taille du groupe à 3 animaux si la largeur de l'allée est plus étroite (0,75 m). Chevillon (2001a) conseille que les porcs soient bougés dans un couloir de 1,2 m de large pour des groupes de 5 à 6 animaux.

La configuration des allées à la ferme, tout comme à l'abattoir, doit être prise en compte lors du mouvement des animaux. Grandin (1990) recommande d'éliminer les angles de 90° qui semblent être perçus par l'animal comme une voie sans issue (Grandin, 1978; Carpenter et al., 1993; Chevillon, 1998). Confirmant ces résultats, Warriss et al. (1992) ont montré que le temps de manipulation était plus grand lorsque des porcs étaient bougés dans des allées comprenant des angles de 90° comparativement à des allées avec des angles de 45°.

Il a été montré que la distance parcourue par les animaux pouvait avoir un effet négatif sur leur réponse au stress du chargement et du transport, et devait être minimisée autant que possible (Faucitano, 1998). Selon Ritter et al. (2008a), aux États-Unis, la distance moyenne que les porcs ont à parcourir pour atteindre la zone de chargement est couramment supérieure à 100 m. Ces mêmes auteurs ont conduit une étude au cours de laquelle ils ont bougé des porcs sur des distances courtes (< 24 m) ou longues (47 à 67 m) avant d'atteindre la zone de chargement. Ils ont observé une augmentation de la fréquence de la ventilation avec la bouche ouverte ainsi que de la décoloration cutanée, signes d'un stress important, chez les porcs bougés sur des longues distances de chargement. Une étude menée par la même équipe (Ritter et al., 2007) a montré que des distances de chargement de 60 à 91 m induisaient une augmentation du taux de porcs non ambulatoires à la ferme et à l'abattoir. Seule une tendance a été observée par Ritter et al. (2008a) pour l'incidence d'animaux non ambulatoires.

1.3.8 Environnements lumineux et sonore

Les porcs vivent dans un environnement dans lequel l'intensité et la période lumineuse sont contrôlées et les sons sont familiers. Lors de leur transport, les caractéristiques de ces deux facteurs peuvent changer considérablement.

Le mouvement des porcs dans les allées de la ferme ou dans les zones de chargement et déchargement peut être influencé par l'éclairage de ces zones. Les

porcs semblent plus enclins à bouger d'une zone sombre vers une zone éclairée (van Putten et Elshof, 1978; Grandin, 1990; Tanida et al., 1996). Néanmoins, ils refuseront d'avancer si l'intensité lumineuse est trop forte (Grandin, 1990). Il a été rapporté que le manque de lumière dans les camions rendait les animaux peu enclins à avancer pendant le chargement (Grandin, 1989; Brown et al., 1993). Cette observation est notamment pertinente quand les animaux sont manipulés en fin de journée ou la nuit. Lorsque les animaux sont chargés ou déchargés pendant la journée, des ombres le long des rampes peuvent les effrayer et ainsi rendre leur mouvement difficile (Grandin, 1990; Tanida et al., 1996). Grandin (1996) suggère que le mouvement peut être amélioré en ajoutant une source lumineuse afin de limiter la présence de ces zones d'ombres sur le parcours emprunté par les animaux.

Diverses études ont montré que les sons auxquels les porcs sont exposés à la ferme (Talling et al., 1998a; Schaefer et al., 2001), pendant le transport et à l'abattoir (Geverink et al., 1998b) peuvent être considérés par les animaux comme menaçants et modifier leurs réponses physiologiques et comportementales des animaux (Grandin, 2000b). Le son peut être un facteur de stress à cause de sa nouveauté et de son intensité. Une exposition courte à un nouveau son peut causer une augmentation du rythme cardiaque, des concentrations plasmatiques élevées en glucocorticoïdes et une augmentation de l'occurrence des comportements de fuite (Talling et al., 1998b). Une exposition longue à un son peut au contraire résulter en une diminution des concentrations en glucocorticoïdes et en une augmentation des concentrations des catécholamines (Kemper et al., 1976 cités par Otten et al., 2004). Il a été mesuré que les porcs peuvent être exposés à des niveaux sonores de plus de 70 décibels à la ferme et entre 85 et 97 décibels lors du transport et à l'abattoir (Talling et al., 1998a). Il semble que les porcs réagissent plus spécifiquement à l'intensité du bruit plutôt qu'à son origine. Les animaux soumis à de haut niveaux sonores, de l'ordre de 85 décibels, se sont montrés plus craintifs et difficiles à bouger (Lippmann et al., 1999), ayant un rythme cardiaque plus élevé (Talling et al., 1995) et présentant une réponse de stress plus

importante (Kanitz et al., 2005) que des animaux exposés à des niveaux plus bas. Talling et al. (1995) ont montré que des sons enregistrés pendant le transport ou du bruit blanc (bruit de nature aléatoire, d'un niveau d'énergie égal sur toute la gamme des fréquences audibles) entraînaient une élévation du rythme cardiaque des animaux. Au contraire, Geverink et al. (1998b) n'ont observé aucun changement de la réponse cardiaque de porcs exposés à des vocalisations de congénères, des bruits de machines et du bruit blanc. Cependant, ces 2 derniers sons ont conduit les porcs à rester plus proches les uns des autres. Une autre étude a trouvé que l'élévation du rythme cardiaque la plus importante était mesurée lors de l'exposition à des bruits de transport (Spensley et al., 1995). Il semble donc que les bruits entendus pendant le transport, les bruits de machines et le bruit blanc engendrent plus de stress chez le porc comparativement à des bruits rencontrés à la ferme ou à l'abattoir. Les sons utilisés pour représenter les sons entendus à la ferme ou à l'abattoir contiennent bien souvent des vocalisations de porcs. Il est alors possible de penser que les porcs seraient plus stressés par les sons industriels plutôt que par des sons de congénères, même si ces derniers sont dans des situations stressantes. Limiter les niveaux sonores dans les zones de manipulation telles que les zone de chargement ou de déchargement pourrait donc contribuer à limiter le stress des porcs.

1.3.9 Chargement et déchargement

Arrivés à la zone de chargement, les animaux vont être conduits dans le camion. Le chargement, tout comme le déchargement, sont considérés comme les étapes pré-abattage les plus stressantes pour le porc (Faucitano, 1998; Geverink et al., 1998c; Brown et al., 2005). L'effet de ces procédures sur la physiologie du porc a été décrit de manière extensive dans la littérature (Brown et al., 1993; Brundige et al., 1998; Correa et al., 2010). Des études ont notamment montré que le rythme cardiaque augmentait beaucoup lors du chargement mais diminuait progressivement lors du transport, pour ensuite augmenter à nouveau lors du déchargement (Geverink et al., 1998a; Brown et al., 2005; Kephart et al., 2010).

Ces deux procédures peuvent être vues comme un stress physique et psychologique lié au fait que les animaux sont bougés sur des distances qui peuvent être relativement longues (Ritter et al., 2008a) et doivent le plus souvent traverser des rampes, et ce dans un environnement totalement nouveau. Lors du chargement, les porcs ne seraient pas stressés de manière inhérente par les allées ou les rampes mais plutôt par la nouveauté engendrée par cette manipulation (Lewis et al., 2008). De plus, les animaux vont être en contact étroit avec le manipulateur, ce qui peut entraîner de la peur chez un animal non habitué à la présence de l'homme (Hemsworth et al., 1986). Ainsi, le chargement nécessite une bonne préparation du personnel et des équipements bien conçus. La prise en compte de ces éléments va favoriser une progression fluide des porcs vers le camion, limitant ainsi le stress (Terlouw et al., 2008). Réduire le stress du chargement et déchargement est essentiel, notamment chez les porcs dont le patrimoine génétique les rend plus susceptibles au stress (gène halothane).

Il existe différents systèmes de chargement et de déchargement : les rampes, les enclos-élévateurs ou les modules de chargement. Dans le cas idéal, aucun de ces systèmes ne devrait être présent et les porcs devraient être chargés directement de la ferme dans le camion en directe continuité. Une fois dans le camion, la fin du processus va dépendre de la configuration du camion. S'il s'agit d'un camion à plusieurs étages, deux cas sont envisageables : niveaux mobiles ou fixes, ces derniers nécessitent l'utilisation de rampes internes (ascendante et descendante, Figures 1.2 et 1.3).

1.3.9.1 Rampes

L'utilisation de rampes de chargement et de déchargement est une pratique courante, notamment en Amérique du Nord. Bien que très utilisées, elles sont jugées néfastes pour le bien-être du porc et ultimement pour la qualité de la viande si elles ne répondent pas à certains critères (Brown et al., 2005; Kephart et al., 2010). Alors que Mayes et Jesse (1980) ont mesuré que le rythme cardiaque des

porcs augmentait plus pendant l'ascension d'une rampe, d'autres études ont rapporté que la descente de la rampe était plus difficile (Phillips et al., 1988; Warriss et al., 1991; Brown et al., 2005).

Les porcs peuvent éprouver des difficultés à l'approche de rampes trop pentues. Il est recommandé que la pente des rampes ne dépasse pas 20° (Warriss et al., 1991; Grandin, 1997a). D'une part, van Putten et Elshof (1978) ont montré que le rythme cardiaque des porcs augmentait linéairement avec l'augmentation de la pente de la rampe. D'autre part, Warriss et al. (1991) ont mesuré que des porcs de 40 à 70 kg montaient et descendaient des rampes de 0° à 20° à la même vitesse, alors que lorsque la pente de la rampe était supérieure à 20°, le temps mis pour monter la rampe augmentait de manière linéaire avec la valeur de la pente de 20° à 45°. Par contre pour la descente, les difficultés ont été principalement observées à des angles supérieurs à 35°. En exposant des porcelets de 16 kg à un test de préférence, Phillips et al. (1988) ont montré que l'utilisation de la rampe diminuait quand la pente passait 20° à 32°. Notamment, le nombre d'animaux refusant d'utiliser la rampe passait de 2 % pour la rampe de 20° à 44 % pour celle de 32°. Selon van Putten et Elshof (1978), une rampe de 30° paraît infranchissable pour des porcs au poids d'abattage. Ils ont observé que les animaux se retournaient et refusaient de monter ou descendre cette rampe. Même si les porcs sont physiquement capables de monter une rampe de 30°, la composante psychologique tient une place importante dans la réponse de stress lors du chargement (Mayes et Jesse, 1980; Grandin, 1997a)

La présence de crampons rend les rampes moins glissantes afin de permettre un mouvement fluide et sécuritaire des animaux. Leurs caractéristiques, et notamment un faible espacement entre les crampons, semblent contribuer à compenser des pentes trop importantes. Warriss et al. (1991) ont montré que l'ascension de rampes pentues était facilitée par un espacement de 15 cm entre crampons plutôt que de 30 cm. Par contre lors de la descente, aucune différence n'a été observée. Des résultats similaires ont été rapportés par Phillips et al.

(1988) qui ont observé que des porcelets exposés à des rampes de 20 ou 32° avaient préféré des espacements entre crampons de 5 et 10 cm plutôt que des espacements de 20 et 30 cm. Lors d'une autre étude par ces mêmes auteurs (Phillips et al., 1989), il a été noté que des porcelets avaient tendance à utiliser une rampe de 28° avec des crampons espacés de 5 cm plutôt qu'une rampe de 22° avec un espacement de 10 cm.

L'utilisation d'une rampe en escalier peut aussi être une alternative pour réduire la pente ou la longueur de la rampe. De plus, elle permet de limiter les glissades quand la rampe est recouverte de fèces (Grandin, 2000b). Grandin (2008) recommande d'utiliser des marches de 8 cm de haut et 30 cm de longueur pour le chargement des porcs. Phillips et al. (1988) ont montré que de jeunes porcs utilisaient une rampe en escalier autant qu'une rampe droite conventionnelle ayant la même pente. Il est à noter que cette observation n'a été faite qu'avec des marches de petite taille, et non avec des marches larges et espacées. Les porcs sont hésitants lorsque qu'ils doivent franchir une marche pour entrer ou sortir du camion si elle est trop élevée (> 15 cm), entraînant des difficultés lors de la manipulation (SCAHAW, 2002).

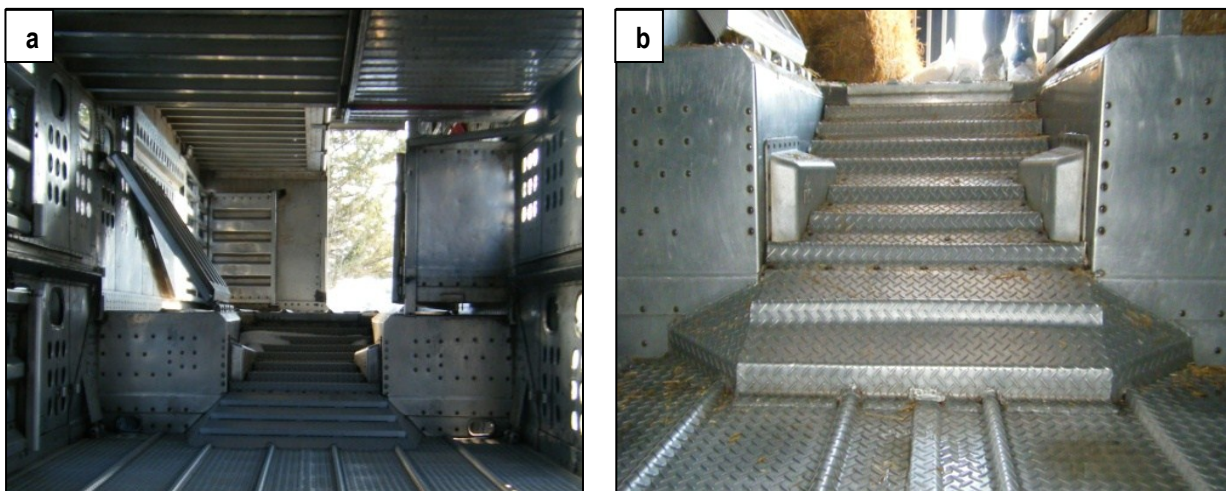


Figure 1.2 Rampe menant vers le compartiment « bedaine » (a- vue générale d'une rampe avec extension et marche en haut; b- vue rapprochée d'une rampe avec extension et marches en haut en en bas (photos prises par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada)

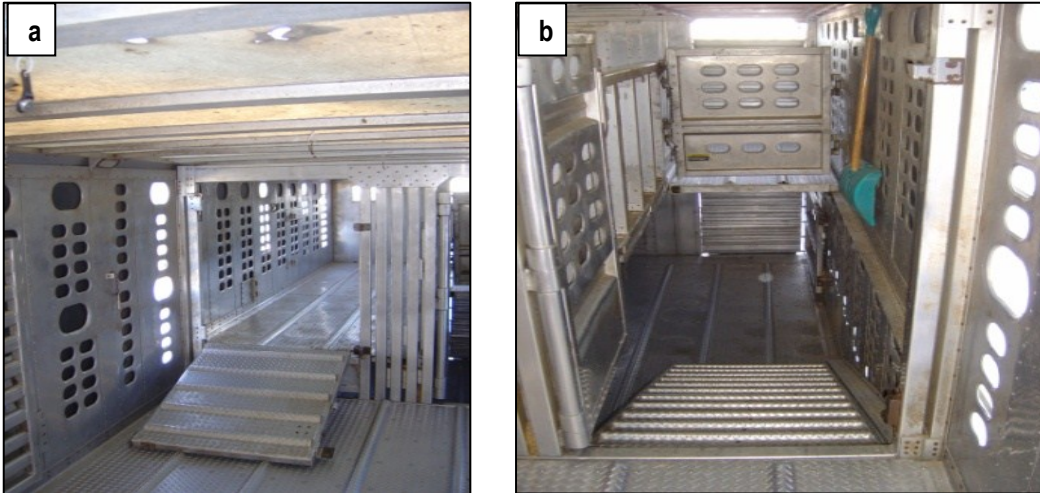


Figure 1.3 Rampes menant (a) vers les compartiments de l'étage supérieur et menant (b) dans le compartiment avant de l'étage principal (courtoisie de J. Brown, PSC inc, SK, Canada)

Il est conseillé de charger les porcs en petits groupes mais en laissant la possibilité à au moins 2 porcs de marcher l'un à côté de l'autre (Grandin, 1990; Lambooi, 2000). En effet, de par leur comportement grégaire, les porcs préfèrent rester ensemble dans une situation stressante (van Putten et Elshof, 1978) et le phénomène de facilitation sociale va ainsi motiver les animaux à se suivre. L'utilisation de panneaux centraux et percés (Figure 1.4), délimitant des files peut également aider le mouvement des porcs sur la rampe en promouvant le comportement de « suite » et en évitant que les animaux s'arrêtent ou se retournent (Grandin, 1990; Hemsworth, 2000). Les panneaux extérieurs doivent par contre être pleins car, si les porcs voient les manipulateurs ils vont avoir tendance à refuser d'avancer (Grandin, 1982; Atkinson, 2000), ce qui peut rendre le chargement ou le déchargement plus difficile. Enfin, les rampes doivent être droites de façon à ce que l'animal puisse voir une voie de sortie à la fin de la rampe (Grandin, 1980).

Compte tenu des effets indésirables de l'utilisation des rampes, des systèmes alternatifs ont été développés et testés, et ce notamment dans de nombreux pays européens (Christensen et al., 1994).



Figure 1.4 *Panneau diviseur, central et percé délimitant deux files sur une rampe de chargement (Grandin T., 1990)*

1.3.9.2 Systèmes alternatifs

Au lieu d'utiliser une rampe, les porcs peuvent aussi être chargés et déchargés au niveau du quai de chargement via un enclos disposé sur un élévateur hydraulique en arrière du camion (« Tailgate lift » en anglais) (Figure 1.5). Ce système est efficace dans des pays tels que le Danemark, où les camions transportent moins de 100 animaux (Grandin, 1991). La présence de ce système permet de réduire l'utilisation des aiguillons électriques lors de la manipulation des animaux (Chambers et Grandin, 1991). Nanni Costa et al. (1996) ont observé une plus grande incidence d'hémorragies dans les épaules et de viande PSE, due à une plus fréquente utilisation des aiguillons électriques, chez des porcs chargés avec des rampes comparativement à des animaux chargés avec un enclos sur élévateur hydraulique. Cependant, aucune différence n'a été observée par les mêmes auteurs dans d'autres études (Nanni Costa et al., 1999, 2002). Brown et al. (2005) n'ont pas noté d'importantes différences entre l'utilisation de ces deux systèmes lors du chargement et du déchargement.

Un troisième système dit modulaire consiste à charger les animaux dans des conteneurs ou modules qui vont être chargés mécaniquement avec un chariot élévateur dans le camion à la ferme et déchargés de la même manière à l'abattoir. Les animaux peuvent être chargés avant l'arrivée du camion, permettant ainsi aux

animaux de récupérer de l'exposition à l'environnement nouveau et de la manipulation associées au processus de chargement (Brown et al., 2005). Comme le système de type enclos-élevateur, ce système présente l'avantage que les porcs peuvent être chargés au niveau du sol, éliminant ainsi certains facteurs de stress, tels que la rampe. Le système modulaire semble être la technique de chargement et de déchargement qui requiert le moins de manipulation à la fois pour le personnel et les porcs (van Putten et Elshof, 1978; Brown et al., 2005). Brown et al. (2005) ont mesuré que les porcs chargés avec ce système étaient plus rapides à bouger et avaient une température corporelle et un rythme cardiaque plus bas que ceux manipulés avec la rampe ou le système de type enclos-élevateur. Cependant, le système modulaire a entraîné des concentrations de cortisol plus élevées chez les porcs pendant le chargement, jusqu'à 30 min après le chargement et pendant le déchargement. Les auteurs ont avancé l'hypothèse que ces porcs n'avaient pas réussi à se calmer après le chargement et pourraient avoir subi un stress en réponse puisque les animaux devaient quitter le module pour aller vers un environnement qu'ils devaient considérer comme nouveau (Brown et al., 2005).

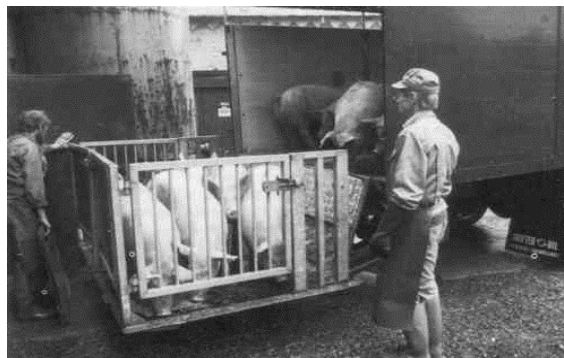


Figure 1.5 Enclos-élevateur (Grandin T., 1990)

1.4 Facteurs affectant la réaction de stress pendant le transport

Une fois que les animaux ont été chargés dans le camion, d'autres facteurs vont affecter leur bien-être comme par exemple la configuration du camion, la durée de transport, les conditions climatiques ou encore la qualité de la conduite et la densité dans le camion.

1.4.1 La configuration du camion

La configuration du camion a un grand impact sur la façon dont les porcs vont réagir au transport. Les principaux types de camions utilisés sont le type à étages hydrauliques (Figure 1.6) et le type « bedaine » (ou « Pot-belly » en anglais) (Figures 1.7, et 1.8). Les véhicules à étages amovibles peuvent avoir un ou plusieurs niveaux, ces derniers étant mobiles grâce à un système hydraulique qui va élever ou descendre le plancher. Les remorques de type « bedaine » ont le plus souvent 3 niveaux fixes connectés par des rampes internes. Alors que les véhicules à étages hydrauliques sont utilisés majoritairement en Europe, le type « bedaine » l'est plutôt en Amérique du Nord. La popularité de ce dernier vient du fait qu'il peut transporter jusqu'à environ 200 porcs, contre tout juste une centaine pour les camions à étages amovibles. De plus, il peut être utilisé à la fois pour le transport porcin et bovin. Il a donc un fort atout économique. Cependant, une multitude d'études montrent que le camion à "bedaine" est une source de stress (Ritter et al., 2008a; Torrey et al., 2013b). L'utilisation de ce type de véhicule est associée avec une perte significativement plus importante d'animaux pendant le transport (Zanella et Duran, 2001; Sutherland et al., 2009). Ritter et al. (2008a) ont mesuré une fréquence de respiration avec la bouche ouverte ainsi qu'une décoloration cutanée plus grande lors du déchargement d'un camion à « bedaine » (cinq rampes internes) que lors d'un déchargement du camion avec un étage hydraulique (une rampe interne). Le temps de déchargement était également plus long et l'utilisation de l'aiguillon électrique plus fréquente pour le camion à « bedaine ». Selon les auteurs, le nombre plus important de rampes internes, dont

la pente est bien souvent importante, semble être un facteur contribuant fortement aux résultats observés lors de l'utilisation de ce type de véhicule. Ainsi, le problème de l'accessibilité de compartiments se pose dans le cas du camion à « bedaine ».

Les compartiments de l'étage supérieur et ceux de l'étage inférieur ont été mis en évidence comme étant les compartiments les plus néfastes pour le bien-être et la qualité des viandes. Torrey et al. (2013a) ont observé que les animaux qui ont dû accéder à leur compartiment via une rampe mais également ceux qui ont dû effectuer un virage de 180° ont été les plus lents et les plus difficiles à décharger, impliquant une utilisation plus fréquente de l'aiguillon électrique. Vanelli Weschenfelder et al. (2010) ont mesuré des valeurs de pH dans le muscle *semimembranosus* plus élevées pour les porcs transportés dans le camion à « bedaine » comparativement à celles de porcs transportés dans un véhicule à étages amovibles. Cette observation suggère que les animaux transportés dans le véhicule à « bedaine » sont exposés à plus de stress physique, probablement dû à l'utilisation de rampes internes.

Brown et al. (2011) ont suivi des transports au Canada et ont mis en évidence que indépendamment du type de véhicules utilisés (véhicule à « bedaine » versus à étages amovibles) et de la saison (été versus hiver), les températures étaient plus froides dans les compartiments de l'étage supérieur et plus chaudes dans ceux de l'étage inférieur. Ceci pourrait s'expliquer par la distribution inégale de l'air dans le camion et la proximité de l'étage inférieur du moteur et autres composants du véhicule. D'autres études ont mis en évidence une différence entre les compartiments de la partie avant et arrière du véhicule. Warriss et al. (2006) ont montré que les porcs logés dans les compartiments à l'avant du camion, et notamment ceux du compartiment supérieur, présentaient des valeurs de température du sang lors de la saignée, de concentration de cortisol et du niveau de déshydratation plus élevés que les porcs transportés dans



Figure 1.6 Camion à étage hydraulique (ten wheel truck) (Courtoisie de L. Faucitano, AAC, QC, Canada)



Figure 1.7 Remorque à « bedaine » avec 3 essieux, ventilation naturelle à moitié fermée à l'avant et fermée à l'arrière (photo prise par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada)



Figure 1.8 Remorque à « bedaine » avec 2 essieux, ventilation naturelle ouverte (photo prise par S. Goumon, avec la courtoisie de Steves Inc, MB, Canada)

les autres compartiments. Un plus grand nombre de meurtrissures sur les carcasses (longe et épaule) et une plus mauvaise qualité de la viande ont également été observés chez des porcs transportés dans la partie frontale du véhicule comparativement à celle de porcs transportés à l'arrière (Guise et Penny, 1989; Barton-Gade et al., 1996). Ceci s'explique probablement par les conditions climatiques régnant dans ces compartiments, mais également par l'intensité des vibrations, qui pourraient être plus fortes dans la partie frontale.

1.4.2 Durée de transport

La durée pendant laquelle les porcs destinés à l'abattoir sont transportés est un facteur reconnu pour avoir un effet négatif sur leur bien-être (Lambooi, 2000; Bench et al., 2008a), la qualité de leur viande (Pérez et al., 2002a; Mota-Rojas et al., 2006) et leur taux de mortalité (Warriss, 1998a; Averós et al., 2008). Aux États-Unis, Scanga et al. (2003) ont quantifié les distances sur lesquelles les porcs étaient transportés pour atteindre les abattoirs et ont rapporté que 51,8 % des transports se faisaient sur moins de 161 km, 32,6 % entre 162 et 322 km, et 15,6 % sur plus de 323 km. Les transports sur de longues distances ne sont pas majoritaires en Europe non plus. Christensen et al. (1994) ont rapporté qu'au début des années 90, les transports sur de longues distances étaient plutôt une exception. En effet, dans les 7 pays européens dans lesquels le sondage avait été conduit, la majorité des transports duraient moins de 2 h, avec une distance moyenne de 100 km ou moins. Plus précisément, en Finlande, 80 % des porcs sont transportés entre 1 à 5 h, mais 1 à 2 % le sont pour des durées supérieures à 10 h (Honkavaara, 1995). Similairement, au Royaume-Uni, même si le temps moyen de transport est de 2 à 3 h, certains animaux peuvent être transportés pendant plus de 11 h (Riches et al., 1996). Le nombre de porcs transportés sur de longues distances a tendance à augmenter (Carlsoon et al., 2004; Marchant-Forde et Marchant-Forde, 2009), notamment à cause de la régionalisation des abattoirs et des échanges internationaux (Warriss, 1994).

La durée du transport est un facteur qui peut varier considérablement, mais il fait l'objet de recommandations ou législations. Au Canada, les législations et codes de pratiques limitent le transport des porcs à une durée de 24 h, avec la condition que les animaux ne soient pas mis à jeun pendant plus de 5 h avant le chargement (CARC, 2001). Aux États-Unis, les législations recommandent une durée de transport de 28 h au maximum (Bench et al., 2008c). Néanmoins, pour ces deux pays, les lois autorisent une extension de la durée de transport jusqu'à 36 h. Aux termes d'un premier transport, les animaux doivent être approvisionnés en eau et nourriture et doivent pouvoir se reposer pendant au moins 5 h, avant de pouvoir être transportés à nouveau. En Europe, le transport des animaux est plus strictement réglementé et limité à 8 h selon la directive européenne (directive 95/29/EC). Un transport plus long, allant jusqu'à 24 h est autorisé sous réserve que les animaux puissent avoir accès à de la nourriture et que le camion possède un revêtement de sol et une ventilation appropriés. Après 24 h de transport les porcs doivent être déchargés, nourris, abreuvés et pouvoir se reposer pendant 24 h avant tout autre transport (CEC, 2005). Il est intéressant de mentionner que l'effet de la durée de transport est lié à de nombreux autres facteurs (densité de chargement, saison), ce qui peut notamment expliquer les différences observées entre les études. En effet, la qualité du transport va influencer l'effet de la durée du transport. Comme le souligne Marchant-Forde et Marchant-Forde (2009), un transport de 24 h peut être raisonnablement acceptable s'il se fait dans un camion bien équipé, à une densité de chargement acceptable et sous des températures tempérées. Au contraire, un court transport de quelques heures dans un camion mal équipé, sous le soleil et une forte densité de chargement peut être plus que néfaste pour le bien-être et la qualité de la viande des porcs.

Les transports sur de longues distances ou durées sont intuitivement perçus comme négatifs. Un long transport va bien souvent être associé à une absence de nourriture et d'eau pendant une longue période et à une augmentation de la fatigue chez les porcs (Lambooi, 1988). Même s'il s'agit d'un point sensible en termes législatifs, peu d'études se sont intéressées à ce sujet. Vecerek et al. (2006) et

Malena et al. (2007) ont conduit des études épidémiologiques en république Tchèque et ont montré que l'augmentation du taux de mortalité était associée à l'augmentation des distances sur lesquelles les porcs étaient transportés pour être abattus. Le taux de mortalité était de 0,06 % pour les distances inférieures à 50 km et atteignait 0,34 % pour des transports sur des distances supérieures à 300 km (Vecerek et al., 2006). Brown et al. (1999a) ont transporté des animaux pendant 8, 16 ou 24 h et les ont soit abattus directement à leur arrivée ou les ont gardés en salle d'attente pendant 6 h. Les auteurs ont trouvé que les concentrations de lactate et de cortisol étaient les plus élevées chez les porcs transportés pendant 16 h. Néanmoins, les concentrations de lactate des porcs gardés en salle d'attente pendant 6 h n'étaient plus différentes de celles des animaux témoins. Brown et al. (1999a) en ont alors conclu que les transports d'une durée maximale de 16 h étaient acceptables en termes de bien-être des porcs. Au Mexique, Mota-Rojas et al. (2006) ont également comparé la réponse de porcs après des transports de 8, 16 ou 24 h, suivis d'une période de 8 h en salle d'attente à l'abattoir. Les auteurs ont relevé que l'incidence de meurtrissures et tremblements de l'arrière train augmentaient avec la durée de transport. Ils ont également rapporté des températures rectales élevées et une hyperventilation plus fréquente chez les porcs transportés pendant 16 h. Ces dernières observations auraient pu être causées par le fait que les camions sont arrivés à l'abattoir dans l'après-midi, lorsque la température ambiante était élevée. Néanmoins, les auteurs en ont conclu que les transports pendant plus de 16 h avaient un effet négatif sur le bien-être des porcs. Il semble cependant que l'incidence des viandes PSE soit réduite après de longs transports (2,5 et 8 h) comparativement à des transports de 30 min (Leheska et al., 2002).

La présence d'un arrêt pendant les longs transports a été suggérée afin d'aider les animaux à mieux supporter le transport. Williams (2006) a comparé les effets d'un transport de 16 h avec un arrêt après 8 h, pendant lequel les porcelets étaient déchargés, nourris et abreuvés puis chargés à nouveau, à des transports de 16 h en continu. Cette étude a révélé qu'après le transport, les porcelets

n'ayant pas été déchargés ont passé plus de temps à boire et à manger et présentaient une fonction immunitaire altérée comparés aux porcelets ayant été déchargés. Aucune étude n'a cependant été menée chez des porcs en finition, notamment allant à l'abattoir. Néanmoins, comme il l'a été précédemment mentionné, le chargement et le déchargement sont considérés comme des événements très stressants pour les animaux. Ainsi, il est suggéré de laisser les porcs se reposer dans le camion plutôt que de les décharger (von Borell et Schäffer, 2005). Il est à souligner que les postes où les camions peuvent stationner pendant ces arrêts doivent être équipés de manière appropriée, notamment en offrant des infrastructures permettant de lutter contre les fluctuations thermiques. L'effet d'un arrêt pendant un long transport n'est positif que s'il est possible pour les animaux de se reposer. Haley et al. (2008) ont montré qu'en été, la température dans le camion pouvait augmenter rapidement et de manière conséquente, quand le véhicule était immobilisé, pouvant entraîner un choc thermique chez le porc. Ainsi, sans les infrastructures adéquates, un arrêt du camion sans déchargement des animaux peut, au contraire, compromettre le bien-être de ceux-ci.

Les transports sur de courtes périodes peuvent avoir un effet aussi négatif que les longs transports. Dans une étude épidémiologique menée en Allemagne, Werner et al. (2007) ont observé que le taux de mortalité augmentait non seulement pour les transports de plus de 8 h mais également pour les transports de moins d'une heure. En Espagne, Pérez et al. (2002a) ont observé que dans des conditions commerciales, des porcs soumis à un transport de 15 min présentaient une concentration en cortisol plus élevée, un rapport neutrophile/lymphocyte supérieur et une qualité de viande inférieure comparativement à des animaux transportés pendant 3 h. Ces résultats semblent donc indiquer que le bien-être des animaux lors d'un transport de 15 min était plus compromis. Les auteurs suggèrent qu'un transport plus long pourrait permettre aux animaux de s'adapter au transport. Hambrecht et al. (2005) n'ont quant à eux observé aucune différence entre les réponses en cortisol des porcs transportés pendant 50 min ou pendant 3 h.

Comme le soulignent très justement Marchant-Forde et Marchant-Forde (2009), le temps passé dans le camion serait un meilleur indicateur que la distance parcourue. Les auteurs appuient leur réflexion sur l'étude conduite par Ritter et al. (2006) qui ont examiné des transports de 240 km de la ferme jusqu'à l'abattoir. Bien qu'en moyenne le transport fut de 5 h en incluant toutes les manipulations comme le chargement et déchargement, les transports pouvaient durer entre 4 et 9 h. En tenant compte de cette étendue dans leurs analyses, Ritter et al. (2006) ont montré que la durée du transport, du chargement au déchargement ainsi que la durée de déchargement, étaient fortement corrélées aux pertes observées à l'abattoir.

1.4.3 Conditions climatiques

Lors du chargement, déchargement et pendant le transit, les animaux peuvent être soumis à de fortes variations de températures, ces dernières différant considérablement d'une saison à l'autre (Lewis et Berry, 2006; Brown et al., 2011). Par exemple, au Canada, Ritter et al. (2006) ont mesuré des températures ambiantes variant de -13,2 à 31,5 °C entre l'hiver et la fin du printemps. La variation peut également avoir lieu au sein du même transport, comme lors de transport du nord de l'Allemagne vers le sud de l'Italie ou de l'Espagne (Tarrant, 1989), où les températures peuvent passer de -5 °C à 30 °C voire plus, du début à la fin du voyage (Barton-Gade et al., 1993, cité par SCAHAW, 1999).

Les températures auxquelles les animaux vont être exposés dans le camion peuvent rapidement changer car elles sont la résultante de la température extérieure et de la chaleur produite par les porcs (Lambooy et Engel, 1991). En effet, le stress du chargement peut causer une hyperthermie qui va entraîner une augmentation de la température dans le compartiment de transport (Warriss, 1998b). Étant donné que la température extérieure change au cours de l'année, il va alors être important de considérer l'effet des saisons sur le bien-être des porcs pendant leur transport. Alors que la qualité de la viande est principalement affectée

par l'exposition au froid (Berg, 1999; Gosálvez et al., 2006), le taux de mortalité et le bien-être des porcs le sont à la fois par des températures froides et chaudes (Dalla Costa et al., 2007; Averós et al., 2008; Ritter et al., 2009a; Sutherland et al., 2009).

Deux autres facteurs peuvent influencer l'environnement thermique des porcs dans le camion. Le taux d'humidité est un élément important à prendre en compte, notamment en été car l'humidité de l'air va influencer la capacité de l'animal à dissiper la chaleur. Ainsi une augmentation de l'humidité est associée à une diminution de la capacité de refroidissement par évaporation, cette dernière étant d'importance quand la température ambiante est proche de celle de la peau de l'animal (SCAHAW, 1999). Le deuxième facteur à prendre en compte est la vitesse de l'air. Le mouvement des masses d'air sur la peau des animaux va également contribuer à la dissipation de la chaleur. Il est ainsi suggéré qu'une vitesse d'air importante devrait être favorisée dans le camion afin de contribuer à limiter le stress dû à des températures élevées ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Esmay et Dixon, 1986 cité par SCAHAW, 1999).

Afin de prévenir tout effet négatif des conditions thermiques (température et humidité) au sein du camion, un bon système de ventilation est indispensable et doit être adapté aux différentes saisons (Kettlewell et al., 2001; Warriss et al., 2006). Dans le cas de ventilation naturelle, des panneaux sont ajoutés en hiver et retirés en été (Chevillon, 2001a). Dans le cas de ventilation forcée, le conducteur peut l'ajuster de manière appropriée électroniquement (Warriss et al., 2006). Il est à noter qu'une bonne ventilation est également nécessaire afin de limiter les niveaux de dioxyde de carbone (CO_2), d'ammoniac (NH_3) et sulfure d'hydrogène (H_2S) qui sont produits les animaux et la fermentation de leurs fèces et de leurs urines dans le camion (SCAHAW, 1999).

Comme les autres mammifères de production, le porc est homéotherme. Il peut conserver une température corporelle interne relativement stable indépendamment de l'environnement dans lequel il se trouve. Garder une température corporelle constante implique que la production et la perte de chaleur soient équivalentes. Le porc se retrouve alors dans la zone de thermoneutralité et la production de chaleur est minimale (Brown-Brandl et al., 2001). Cette zone se situe entre 15 et 25 °C chez le porc d'abattage (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1993). L'augmentation de la différence entre la température corporelle et la température ambiante va entraîner une augmentation de la production de chaleur. Ainsi si la température à laquelle le porc est exposé sort des limites de la thermo-neutralité, le porc va devoir produire plus de chaleur. Si la température passe au-dessus de cette zone, le porc peut être en situation d'hyperthermie, qui est l'une des causes principales prédisposant les porcs à devenir fatigués (Ritter et al., 2008b). La température interne de l'animal va augmenter si ce dernier n'arrive pas à dissiper la chaleur produite. Le porc ne pouvant pas suer, il va plutôt réduire sa prise alimentaire (Houpt, 2010), s'allonger au sol (Peishi et Toshio, 2001; Huynh et al., 2005), augmenter la distance entre ses congénères (Huynh et al., 2005) et haleter (Sunstrum et al., 2006). Par contre, lorsque la température passe sous la zone de thermo-neutralité, la perte devient supérieure à la production de chaleur. Le porc peut alors souffrir d'hypothermie. Pour lutter contre le froid, les porcs vont adopter des postures qui vont réduire l'exposition de la surface corporelle au froid (Mount, 1975; Schmidt-Nielsen, 1983), ou augmenter leur prise alimentaire (Houpt, 2010). Dans le cadre du transport des animaux, la modification de la prise alimentaire est peu probable comme les animaux sont bien souvent mis à jeun avant et durant le transport. Exposer les porcs à des situations thermiques en dehors de leur zone de thermo-neutralité conduit à une réduction du bien-être de des animaux et peut éventuellement provoquer la mort (Haley, 2005; Barton-Gade et al., 2007).

Des études ont montré que le taux mortalité pendant le transport est plus important pendant les mois d'été (Sunstrum et al., 2006; Haley et al., 2008; Correa

et al., 2010). Sutherland et al. (2009) ont rapporté un nombre plus important d'animaux morts pendant le transport dans le Midwest américain lorsque la température ambiante dépassait les 20 °C. Des résultats similaires ont été trouvés par Rademacher et Davies (2005) aux États-Unis, Dewey et al. (2006) au Canada, et Lambooi (2000) en Europe. Une augmentation de la fréquence de respiration avec bouche ouverte ainsi que de la décoloration cutanée ont également été rapportées pour des températures supérieures à 17 °C (Kephart et al., 2010). Tarrant (1993) a trouvé qu'au-dessus de 25 °C, la respiration des animaux devenait plus difficile et que le taux de mortalité augmentait. Van Logtestijn et al. (1982) ont montré qu'au-dessus de 28 °C, la ventilation et le rythme cardiaque étaient significativement plus rapides. Lors de jours chauds, il est préférable de transporter les porcs aux heures les plus fraîches mais aussi d'éviter les temps d'attente dans un camion à l'arrêt. En effet, une augmentation significative de la température dans la remorque a été observée quand le camion était à l'arrêt en été, ce qui pourrait expliquer le lien entre l'attente à la ferme ou à l'abattoir et l'augmentation du taux de mortalité ou de porcs fatigués (Haley, 2005). Le douchage des porcs dans le camion a également montré son utilité en limitant le risque d'hyperthermie en saison chaude. Alors que Colleu et Chevillon (1999) ont observé une diminution du taux de mortalité suite à un douchage des animaux à des températures dépassant 15 °C, Christensen et Barton-Gade (1999) n'ont observé une diminution significative que lorsque la température ambiante dépassait 25 °C. L'arrosage des porcs va contribuer à augmenter le refroidissement par évaporation, permettant aux porcs de faire descendre leur température corporelle (Lambooi et Engel, 1991). Lorsque le camion est en mouvement et que le système de ventilation est adéquat, la vitesse d'air sur la peau des animaux semble suffisante pour permettre de lutter contre les risques d'hyperthermie (Colleu et al., 1998). Le problème se pose lors du chargement et du déchargement. Une diminution de 10 % de la température corporelle de surface des porcs a été relevée suite à un douchage de 5 min dans le camion après le chargement en période chaude (> 15 °C) (Colleu et Chevillon, 1999) ou un douchage de 10 à 20 min, selon la saison, effectué au déchargement

(Vandenbergh, 1999 cité par Chevillon, 2001a). Chevillon (2001a) pointe le fait qu'un douchage trop long ou intermittent n'apporte aucun bénéfice et tend à empêcher les animaux de se coucher et de se reposer.

Les mois d'hiver peuvent aussi avoir un effet néfaste sur la mortalité et l'incidence de porcs non ambulatoires à l'arrivée à l'abattoir (Ellis et Ritter, 2006; Gosálvez et al., 2006; Ritter et al., 2008a). Les basses températures rencontrées en hiver ont également un effet négatif sur la qualité des carcasses. Des études conduites en Espagne (hiver: 0-31 °C, été: 15-35 °C) et au Canada (hiver: -11- (-) 4 C, été: 13-26 °C) ont montré qu'une plus grande incidence de coupes/pertes (Gosálvez et al., 2006) et de blessures sur les carcasses (Dalla Costa et al., 2007; Correa et al., 2012) avaient lieu en hiver et ce, à cause d'agressions et de comportements de monte qui tendent à augmenter en hiver quand les animaux se serrent les uns contre les autres afin de maintenir leur température corporelle. Il a aussi été observé qu'en hiver, les porcs ne s'assoient ou ne s'allongent pas aussi fréquemment qu'en été et ce, même si le sol du camion est recouvert d'une litière (Peeters et al., 2008; Torrey et al., 2013a). Les porcs ne seraient alors pas en mesure de se reposer et ils subiraient un état de stress physique et de fatigue plus important, notamment dans le cas de longs transports (Knowles et Warriss, 2000). Ce résultat suggère également que le sol a pu être trop froid pour que les animaux puissent s'allonger confortablement. Le type de revêtement et la présence de matériaux au sol peuvent influencer le confort des porcs pendant leur transport. La plupart des camions de transport sont équipés d'un sol en acier sur lequel sont généralement ajoutés des matériaux, tels que de la sciure de bois ou de la paille, qui permettent de créer une isolation thermique (Bruce, 1981; Rousseau, 2000) et ainsi diminuer l'incidence d'engelures (Grandin et al., 2002) mais aussi de réduire le temps d'entretien de camion et le bruit généré pendant le chargement et déchargement des animaux (Marchant-forde et Marchant-Forde, 2009). La quantité de matériaux à déposer au sol doit être ajustée en fonction des conditions thermiques ambiantes. Chevillon et al. (2002) conseillent par exemple de fournir aux porcs transportés pendant 16 h, une litière de sciure de bois d'une épaisseur

de 1 à 3 cm quand les températures varient entre 6-16 °C et d'humidifier la litière si les températures sont supérieures à 16 °C.

1.4.4 Qualité de la conduite

Les porcs peuvent souffrir du mal des transports et ce notamment s'ils n'ont pas été mis à jeun avant le transport (Randall et Bradshaw, 1998). Le mal des transports va se traduire par des vomissements, l'écume à la bouche, une augmentation du rythme cardiaque, et des concentrations sanguines élevées de cortisol et de vasopressine (Bradshaw et al., 1996b; Perremans et al., 2001). La qualité de la route et de la conduite (accélération, virages et freinages) peuvent générer des conditions qui vont se traduire par de l'inconfort pour les animaux. Des études ont caractérisé la qualité du transport de doux ou brusque en équipant soit les animaux (Cockram et al., 1996), soit la remorque (Bradshaw et al., 1996c) de senseurs évaluant l'accélération. Il a été rapporté que le conducteur peut avoir un effet significatif sur la qualité de la conduite et ultimement sur le taux de mortalité pendant le transport (McGlone, 2006). Une conduite brusque, avec de fortes accélérations, a pour conséquences que les porcs restent debout plus longtemps, entraînant ainsi une augmentation du rythme cardiaque, du niveau de stress et de la fatigue musculaire (Peeters et al., 2008).

Le mal des transports a été associé à certaines caractéristiques intrinsèques de la remorque telles les vibrations, qui sont influencées par la qualité de la route et de la conduite. L'exposition aux vibrations lors d'un transport brusque mène à une augmentation de la concentration plasmatique de cortisol et en vasopressine, cette dernière étant corrélée avec un état nauséux (Forsling et al., 1984; Bradshaw et al., 1996 a,b). Il a été observé que 33 % des animaux avaient vomi pendant un transport d'une heure (Bradshaw et al., 1996b) et 26 % après un transport de 4 h (Randall et Bradshaw, 1998). Les vibrations sont perçues comme aversives par le porc comme en témoigne l'étude de Stephens et Perry (1990) qui ont mesuré que des porcs pressaient activement sur un bouton afin de stopper

l'exposition à des vibrations. Perremans et al. (1998, 2001) ont montré que les vibrations de basses fréquences (2-4 Hz), ainsi que les accélérations fortes faisaient augmenter le rythme cardiaque des porcelets, qui passaient beaucoup moins de temps allongés que lorsqu'ils étaient exposés à des vibrations de plus hautes fréquences (8-18 Hz). Bradshaw et al. (1996b) ont fait la même observation chez des porcs de 40 kg. Une réduction des vibrations est rendue possible par l'utilisation de camions à suspension à air permettant une conduite douce et beaucoup plus confortable (Randall et al., 1996).

1.4.5 Densité de transport

En premier lieu, il est important de faire un point sur la définition du terme de densité quand il est utilisé pour le transport des animaux, car cette définition peut être source de variations. Le terme de densité peut tout d'abord caractériser la surface disponible au sol (ou « space allowance » en anglais) par animal d'un certain poids, le plus souvent 100 kg ($m^2/100 \text{ kg}$). Elle est également parfois exprimée en unité de poids par m^2 de sol disponible (kg/m^2 ; « floor pressure » en anglais). Par contre, comme le souligne Broom (2008), elle ne devrait jamais être définie en m^2 par animal, car, dans ce cas, la variation du poids des animaux n'est pas prise en compte. De plus, le poids des animaux d'abattage continue à changer depuis ces dernières années, atteignant en moyenne 120 à 125 Kg en Amérique du Nord (Kim et al., 2005). Une définition plus précise a été proposée par von Borell et Schäffer (2005) qui ont suggéré l'utilisation d'une équation allométrique incluant le poids de l'animal (P): densité = $0,0192 * P^{0,667}$, qui conduit à une densité de $0,47 \text{ m}^2$ pour des porcs de 120 kg. L'espace alloué à l'animal peut aussi être défini en considérant le volume disponible en tenant compte de la hauteur des compartiments (kg/m^3). On parle alors de densité de chargement (« stocking density » en anglais). La prise en compte du volume disponible peut jouer un rôle important dans les camions à niveaux multiples. Comme le précise Bench et al. (2008b), utiliser le volume seul peut être inappropriée car les animaux pourraient avoir accès à une hauteur de plafond suffisante pour se tenir debout et permettant une bonne circulation de l'air, mais une surface au sol insuffisante pour s'allonger

et se reposer. En effet, la principale requête, sur laquelle les différentes recommandations s'accordent, est que les animaux doivent avoir la possibilité de s'allonger dans leur position naturelle pendant le transport afin de se reposer et de réguler leur température, notamment en été. Cependant, les recommandations faites par de nombreux pays présentent des variations plus ou moins importantes. Au Canada, une densité de 0,36 m²/ 100 kg a été recommandée par Agriculture et Agroalimentaire Canada dans l'un de ses codes de pratiques (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1993). Aux États-Unis, une densité de 0,35 m²/ 100 kg a été proposée par le National Pork Board (NPB, 2008). Contrairement à ces deux pays, l'Union Européenne a légiféré sur la densité de chargement. Ainsi, la directive européenne EC N°1/2005 (EC, 2005) recommande que les animaux soient chargés avec une densité 0,425 m²/ 100 kg.

La quantité d'espace alloué à l'animal est l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte dans l'évaluation du bien-être des animaux pendant le transport et elle doit être appliquée en fonction de la durée de transport ainsi que des conditions climatiques (Hall et Bradshaw, 1998). En effet, l'espace disponible pour chaque animal va conditionner la production de chaleur et les postures dans le camion. L'Amérique du Nord et l'Europe s'accordent sur le fait que la densité doit être réduite d'environ 20 % lorsque les températures extérieures sont élevées (revue par Bench et al., 2008b). Par exemple au Canada, il est recommandé de réduire la densité de 10 % quand les températures sont supérieures à 16 °C et de 25 % quand les conditions sont chaudes (>24 °C) et humides. Si la température ambiante dépasse les 30 °C, les porcs ne devraient pas être transportés (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1993; CARC, 2001). Cependant, aucune recommandation n'a été faite pour les basses températures (Bench et al., 2008b).

La quantité d'espace dont l'animal doit disposer peut créer un conflit d'intérêt car allouer moins d'espace par animal permet de charger plus d'animaux à chaque transport, et donc de réduire les coûts de transport. Néanmoins, les

effets négatifs observés suite à cette pratique en termes de bien-être et de qualité de la viande peuvent contrebalancer les bénéfices.

Quand l'espace alloué à l'animal est réduit ($< 0,40 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$), la température dans le compartiment augmente, la circulation de l'air diminue et l'animal est dans l'impossibilité de s'allonger (Warriss et al., 1998b). Lambooij et Engel (1991) ont montré qu'à une densité de $0,36 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$, tous les animaux ne pouvaient pas s'allonger au même moment, ce qui a conduit à des changements fréquents de positions ayant des répercussions sur la qualité de la viande. Il en résulte que l'animal éprouve de l'inconfort et est à la recherche d'espace, ce qui peut entraîner des chevauchements et une augmentation de l'incidence des comportements agonistiques entre animaux, pouvant causer des blessures et de la fatigue (Guise et Penny, 1989). Des études ont montré une diminution du taux de mortalité durant le transport (Guàrdia et al., 1996), de l'incidence de porcs non ambulatoires (Ritter et al., 2006) ainsi que des boiteries (Kephart et al., 2010) lorsque les densités de chargement étaient de l'ordre de $0,39 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$ comparées à des densités plus fortes. Les densités très élevées ($< 0,35 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$) sont jugées inacceptables car elles contribuent à une forte augmentation du stress physique associé à une forte concentration de CPK (Barton-Gade et Christensen, 1998; Warriss, 1998b; Lee et al., 2000), et à une augmentation de l'incidence des prolapsus rectaux et des blessures cutanées et ultimement de la mortalité (Guise et Warriss, 1989; Guàrdia et al., 2005) comparativement à de plus faibles densités.

À des densités faibles ($> 0,45 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$), l'animal dispose de plus d'espace, mais ne s'allonge pas forcément plus sur le sol et ne peut pas rester debout confortablement, car il va avoir des difficultés à garder l'équilibre, notamment lorsque le camion s'engage dans des routes à virages serrés ou lors de freinages brutaux, ce qui peut entraîner une élévation du stress et de l'incidence des blessures (Barton-Gade et Christensen, 1998). Warriss (1995) a suggéré que des densités supérieures à $0,39 \text{ m}^2/ 100 \text{ kg}$ pourraient faciliter les

déplacements des animaux, ce qui en retour pourrait contribuer à augmenter le taux d'agressions.

Il est important de noter que les recommandations concernant la surface à fournir aux porcs pendant le transport devraient être faites en fonction du temps de transport. Une surface inférieure à $0,40 \text{ m}^2$ serait acceptable tant que la durée de transport est inférieure à 3 h. En effet, il semblerait que les animaux ne s'allongent pas ou peu pendant les premières heures de transport. Bradshaw et al. (1996a) ont observé que les porcs restaient debout pendant les 1,5 premières heures lors d'un transport à $0,49 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$. Selon les auteurs, ce résultat serait associé à la mauvaise qualité de la conduite. La même observation a été faite pour des densités entre $0,33$ et $0,50 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$, et ce, pour des transports dont la durée était inférieure à 3 h (Hunter et al., 1994; Barton-Gade et Christensen, 1998). Lambooi et Engel (1991) ont montré qu'à une densité de $0,45 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$, les animaux ont commencé à s'allonger après 1 h et que la plupart des animaux s'étaient assis après 2 à 3 h de transport. Selon les auteurs, les porcs se sont couchés après le début du transport, une fois qu'ils s'étaient adaptés à leur nouvel environnement et au mouvement du camion. À une densité de $0,59 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$, Lambooi et Engel (1991) ont montré que plus de porcs se couchaient, et ce plus rapidement, qu'à des densités de $0,39$ ou $0,47 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$. Les auteurs affirment qu'une surface de $0,47 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ était tout juste suffisante pour que les animaux puissent s'allonger, et que $0,39 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ était insuffisant, car les animaux changeaient fréquemment de position. Par contre, pour des transports plus longs, il a été observé que les animaux s'allongeaient s'ils en avaient la possibilité. Ainsi, il est recommandé d'utiliser une surface qui permette aux animaux de s'allonger dans une position naturelle. Dans ce cas, une densité de $0,42 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ semble être le meilleur compromis entre le coût de transport et le bien-être des animaux (Barton-Gade et Christensen, 1998; Warriss et al., 1998a).

1.5 Facteurs affectant la réaction de stress à l'abattoir

Une fois déchargés à l'abattoir, les porcs sont le plus souvent transférés dans des parcs en attente de leur abattage. Le but de cette manipulation est de permettre aux animaux de récupérer du stress du transport, et notamment du déchargement (Faucitano, 1998; Pérez et al., 2002b; Warriss, 2003), mais également de contribuer à un approvisionnement d'animaux constant sur la chaîne d'abattage, assurant ainsi une bonne efficacité de la production (Warriss, 2003). Tout comme pendant le transit, la réponse des porcs en attente avant abattage peut être affectée par de nombreux facteurs tels que l'expérience antérieure de l'animal (De Jong et al., 2000c), la mise à jeun (Gispert et al., 2000), le regroupement d'animaux non familiers (Brown et al., 1999b), la durée de transport (Warriss et al., 1998b; Brown et al., 1999a) et la génétique (susceptibilité au stress, porteurs du gène halothane, De Smet et al., 1996) ou les conditions environnementales (Fraquenza et al., 1998). Les interactions entre ces facteurs font que la détermination d'une durée de récupération optimale est difficile.

Dans des conditions normales de température (15 à 25 °C), un temps de récupération de 1- 4 h semble être un bon compromis en termes de qualité de la viande et de bien-être (Milligan et al., 1998; Pérez et al., 2002b; Warriss, 2003; Van de Perre et al., 2010). Cependant, en pratique, la période de temps pendant laquelle les animaux sont gardés avant l'abattage peut varier considérablement. Au Royaume-Uni, une durée moyenne de 4,1 h, variant de 2,1 à 12,5 h, a été rapportée par Guise et al. (1995). En Europe, la variation s'étend par exemple de 0 à 15 h en Espagne (Gispert et al., 2000), 0 à 5 h en Belgique et aux Pays-Bas (Geverink et al., 1996; Lammens et al., 2007). Aux États-Unis, Bahnsen et al. (2006) ont observé une attente moyenne de 15 h, avec une variation de 3 à 32 h. Scanga et al. (2003) ont rapporté des chiffres sensiblement différents, avec 1,9 % des porcs qui attendaient moins d'une heure, 38,4 % entre 1 et 3 h, 43,0 % entre 3 et 5 h, 7,0 % entre 5 et 8 h et 9,7 %, plus de 8 h avant d'être abattus. Ces larges variations peuvent s'expliquer par la taille des abattoirs, la durée de transport, la

manipulation des animaux ou encore les conditions environnementales (Gispert et al., 2000, variation 0-15 h). Les durées peuvent aussi varier en fonction du moment de la journée pendant lequel les animaux arrivent à l'abattoir. Des animaux arrivant en fin d'après-midi seront gardés plus longtemps et abattus tôt le lendemain matin (Scanga et al., 2003).

L'attente avant l'abattage n'est bénéfique que si les animaux peuvent récupérer du stress du transport. Une durée inappropriée, trop courte ou trop longue, peut au contraire conduire à un stress supplémentaire, et peut avoir des conséquences sur la facilité de manipulation des animaux et sur la qualité de la viande (revue par Warriss, 2003). Les bénéfices de la période de récupération peuvent également être perdus si la configuration de l'abattoir est mal adaptée et si la manipulation des animaux est inappropriée (Faucitano et al., 1998; Geverink et al., 1998b; Grandin, 2000a; Van der Wal et al., 1999).

L'abattage immédiatement après le déchargement s'est révélé être néfaste pour l'intensité de stress des animaux, et par conséquent pour la qualité de la viande. Pérez et al. (2002b) ont montré que des porcs abattus immédiatement après un transport de 3 h présentaient les concentrations en cortisol les plus élevées et un plus fort pourcentage de viande PSE comparés à des porcs abattus après 3 ou 9 h de repos. Mota-Rojas et al. (2009) ont montré qu'un abattage immédiat entraînait des altérations métaboliques et hémodynamiques pouvant causer une hyperglycémie, une acidose lactique et ainsi une baisse rapide du pH. L'abattage immédiat a aussi des conséquences négatives sur le comportement des porcs. Milligan et al. (1998) ont rapporté que des porcs conduits directement vers la zone d'abattage étaient plus difficiles à bouger, nécessitant une utilisation plus fréquente d'aiguillons électriques que des porcs ayant eu l'opportunité de se reposer pour au moins 1 h. Geverink et al. (1996) suggèrent pour leur part que les porcs devraient être abattus à leur arrivée à l'abattoir afin de réduire l'incidence des dommages cutanés dus aux agressions entre animaux. Un abattage immédiat peut être envisagé dans le cas où une attention particulière est portée à la

manipulation des porcs. Aaslyng et Barton Gade (2001) ont montré que, lorsque manipulés de façon à limiter le stress au maximum avant l'abattage (déplacement en petits groupes et pas d'utilisation de l'aiguillon électrique) et transportés en été, les animaux gardés en salle d'attente pendant une courte durée (30 et 90 min) avaient une viande de qualité équivalente (pH, couleur et température) à celle des animaux gardés en salle d'attente pour des périodes allant jusqu'à 2,5 h. Si le temps de récupération est court (< 1-2 h) alors les porcs ne semblent pas être capables de récupérer du stress subi pendant le transport, et présentent toujours des niveaux élevés de cortisol, CPK et lactate (Warriss et al., 1998 a,b; Pérez et al., 2002b; Hambrecht et al., 2005), indiquant un stress et une fatigue. Des périodes courtes de récupération peuvent aussi causer des pH musculaires bas, une plus grande perte d'eau ainsi qu'une couleur associée aux viandes de type PSE (D'Souza et al., 1998a,b; Stoier et al., 2001). Un abattage peu après le transport semble cependant préconisé si les animaux sont gardés dans un environnement chaud (35°C) (Santos et al., 1997).

Lorsque le temps d'attente avant l'abattage est long (> 3 à 4 h), alors les animaux vont pouvoir récupérer physiologiquement, ce qui contribue à diminuer l'incidence des viandes PSE (Nanni Costa et al., 2002) Cependant, les longues périodes d'attente avant l'abattage, le plus souvent associées à un retrait prolongé de nourriture, tendent à favoriser l'augmentation de l'activité physique et plus précisément l'incidence des comportements agonistiques entre porcs (Brown et al., 1999b; Nanni Costa et al., 2002; Warriss, 2003; Guàrdia et al., 2009). Conséquemment, une baisse significative des réserves de glycogène dans les muscles, causant l'augmentation des viandes DFD (Gispert et al., 2000; Pérez et al., 2002b), une augmentation des blessures et dommages cutanés (Fraquenza et al., 1998; Warriss et al., 1998b; Gispert et al., 2000; Murray et al., 2001), et ainsi une baisse du rendement et de la valeur de la carcasse (Eikelenboom et al., 1991), sont observées chez les porcs maintenus de manière prolongée avant l'abattage. La mise à jeun prolongée n'a pas seulement un effet significatif sur la diminution des réserves énergétiques, elle contribue également à augmenter le niveau de

stress des animaux. Pérez et al. (2002b) ont rapporté que des animaux à jeun, gardés 9 h avant leur abattage après un transport de 20 km, avaient des concentrations plus faibles en glucose et plus fortes de cortisol comparés aux animaux gardés 2 à 3 h. Warriss et al. (1998b) ont quant à eux montré que les concentrations en cortisol chez des animaux nourris et gardés toute la nuit en salle d'attente étaient plus basses.

Le temps passé dans les parcs avant abattage peut aussi exposer les porcs à des risques d'infection, notamment aux salmonelles, et ce, même après nettoyage et désinfection (Swanenburg et al., 2001). Les principales sources d'infection sont le parc lui-même et les abreuvoirs (Rostagno et al., 2003). Rostagno et al. (2005) ont déclaré qu'en termes de sécurité sanitaire, il serait préférable de laisser les animaux se reposer dans le camion plutôt que dans les parcs à l'abattoir. Le risque d'infection est d'autant plus important que les animaux passent une longue période en parcs. Hurd et al. (2001) ont montré que des infections aux salmonelles pouvaient se propager très rapidement, après une attente de 2 à 3 h, alors qu'une autre étude a montré qu'une période d'une heure limitait l'infection (Boughton et al., 2007).

1.6 L'abattage à la ferme, une alternative au transport?

Avec la croissance constante de la population mondiale qui pourrait atteindre 9 milliards d'habitants en 2040, il a été estimé que la production de nourriture devrait doubler d'ici 2030 pour satisfaire la demande mondiale (United Nations Conference, 2012). Le transport vers l'abattoir étant un maillon important de la chaîne de production, il faut s'attendre à ce qu'il s'intensifie. Le transport des animaux est au cœur de problématiques économiques (pertes financières dues à la mort d'animaux et à la mauvaise qualité de viande), mais aussi sociétale (éthique animale et développement durable) et il est légitime de se questionner sur les conséquences d'une intensification, notamment en termes d'agriculture durable et de bien-être animal. Ainsi, l'industrie porcine va devoir proposer des systèmes

de production qui satisfont le consommateur ainsi que chaque citoyen, en rejoignant certains standards environnementaux et éthiques, c'est-à-dire un faible impact sur l'environnement, un meilleur bien-être animal et une bonne qualité de viande. Comment pratiquer un transport qui soit respectueux des animaux et de l'environnement ? Y a-t-il des alternatives au transport, tel qu'il est pratiqué ?

Des recherches ont été conduites sur le développement et l'utilisation d'abattoirs mobiles en Amérique du Nord et dans certains pays européens. Ces unités voyagent de ferme en ferme fournissent un service flexible et sont inspectées par le gouvernement. Malgré les préoccupations d'ordre éthique, de nombreux facteurs tels que la tradition, la culture ou certains aspects économiques et sociaux expliquent pourquoi les animaux sont transportés vivants plutôt que sous forme de viande (Carlsson et al., 2004). Pourtant, l'abattage à la ferme contribue à fortement alléger, voire annuler, le stress inhérent aux manipulations pré-abattage comme le chargement, le transport, le déchargement ou le mélange des animaux (Astruc et al., 2005). Il est également mis en avant que le transport de la viande plutôt que d'animaux vivants est plus durable car il réduit le coût de transport, les risques sanitaires (contamination et dispersion des maladies) et le taux de pollution (émission de CO₂) engendrés par le transport (Baltussen et al., 2009). De plus, il offre également une plus grande flexibilité pour les viandes et produits carnés de spécialité. On peut aisément modifier le système d'abattage pour répondre à des exigences de certification particulières (élevages biologiques) ou à des besoins en matière de coupe ou de conservation. Il permet aussi d'accommoder des élevages qui sont isolés ou qui doivent abattre des animaux de réforme. Astruc et al. (2005) ont montré qu'un abattage à la ferme était réalisable dans des conditions satisfaisantes en ce sens que la cadence d'abattage est bonne et les qualités sensorielles et technologiques des viandes sont préservées par rapport à un petit abattoir industriel. Cependant, certains facteurs comme les capacités de réfrigération, de stockage et d'acheminement des carcasses, l'approvisionnement en eau, l'élimination des déchets biologiques et le rendement d'abattage sont aussi souvent remis en question (Benefalk et al., 2002). Le coût

d'une unité d'abattage mobile et de son entretien est probablement l'obstacle le plus important, car on peut se demander si un groupe ou un particulier parviendrait à rentabiliser une telle opération. Ainsi, en 2008, un abattoir mobile en Abitibi-Témiscamingue a dû arrêter ses opérations trois ans après son démarrage faute de rentabilité (Jean-François Bernier, communication personnelle).

Bien que l'abattage à la ferme semble prometteur, les contraintes techniques, économiques et financières font que cette méthode n'est encore prête à être mise en fonction, et reste à être développée. La nécessité d'étudier et d'améliorer les conditions actuelles reste donc une priorité afin de combler les besoins des porcs pendant le transport.

1.7 Objectifs et hypothèses

Dans le cadre du transport des porcs d'abattage, le pourcentage moyen des pertes animales (animaux morts et non ambulatoires) s'élève à environ 0,5 % en Europe (Averós et al., 2008), à 0,7 % au Canada (Ritter et al., 2009a) et atteint même 1 % aux États-Unis (Ellis et al., 2004). Sachant que 252 millions de porcs en Europe (EC, 2012) et 131 millions de porcs en Amérique du Nord (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2012) ont été transportés en 2011, les conditions actuelles de leur transport peuvent être considérées comme un problème en termes de bien-être animal. Ces chiffres amènent des interrogations sur les causes du stress associé au transport porcin. Ainsi, les travaux de cette thèse ont pour but principal de contribuer à identifier et à mieux comprendre les facteurs de stress à l'origine des réactions physiologiques et comportementales des porcs d'abattage pendant le transport et de développer des moyens de réduire ces réactions de stress. Cette thèse se propose de mieux comprendre la façon dont les animaux perçoivent leur environnement pendant la manipulation, le transport et les conséquences de ce dernier sur leur comportement et leur physiologie. Les travaux présentés dans cet ouvrage traitent plus particulièrement des effets de la

configuration du véhicule et de la manipulation associée au transport. Pour atteindre ce but, quatre objectifs ont été établis et ont fait l'objet de quatre expériences.

Les 2 premiers objectifs de cette thèse traitent de la réponse comportementale et physiologique des porcs lors du chargement et du déchargement. Ces procédures peuvent générer un effort physique mais aussi de la peur et de la confusion chez l'animal (Grandin, 1997a). Un chargement ou un déchargement difficile, c'est-à-dire avec des animaux peu enclins à rentrer ou à sortir du camion, peut conduire à une manipulation plus brutale des animaux, et notamment à l'utilisation des aiguillons électriques. De nombreux abattoirs en Europe et en Amérique du Nord ont banni l'aiguillon électrique de leur panel d'outils (Gentry et al., 2008). Cependant, il est toujours utilisé pour le chargement (Murray, 2001). Les problèmes liés à la manipulation lors de ces 2 étapes du transport pourraient être dus à la configuration du camion, et plus précisément celle des rampes internes, ainsi qu'à l'expérience de l'animal.

Dans le chapitre 2, la modification de la configuration du camion de transport, et plus précisément à celle du camion de type « bedaine » (ou « pot-belly trailer » en anglais) sera abordée. L'utilisation de ce type de véhicule est fortement remise en question à cause de problèmes associés à sa configuration, tels qu'une mauvaise distribution thermique et la présence de rampes internes. En effet, il a été abondamment montré dans la littérature que les caractéristiques inhérentes à ce camion ont des conséquences néfastes en termes de qualité de la viande (Correa et al., 2012; Weschenfelder et al., 2012) et de bien-être (Ritter et al., 2008a; Torrey et al., 2013b). Il est possible, qu'ultimement, ce véhicule soit banni, ce qui aurait un impact économique important pour les producteurs. En effet, le camion à « bedaine » permet de transporter un grand nombre d'animaux (> 200 porcs) comparé à des camions à niveaux hydrauliques (Correa et al., 2012). De plus, ce véhicule est très souvent utilisé à la fois pour transporter bovins et porcins. La modification des compartiments ou de l'accès aux compartiments

posant problèmes pourrait être un bon compromis pour l'industrie. Le compartiment au niveau le plus inférieur du véhicule, appelé la « bedaine » ou « pot-belly » en anglais, est l'un des compartiments les plus problématiques. Du fait de son emplacement entre les essieux, ce compartiment possède une rampe qui serait à l'origine des difficultés de manipulation. Ainsi, le premier objectif de cette thèse est d'évaluer si certaines caractéristiques de la rampe menant à ce compartiment (pente, ajout d'une marche et angle d'entrée de la rampe) contribuent au caractère stressant et à la difficulté de manipulation lors du déchargement. L'hypothèse est que l'utilisation d'une rampe avec une pente élevée, la présence d'une marche en bas de la rampe et un angle d'entrée important auront des effets négatifs sur la facilité de manipulation des animaux.

Pendant le transport, les porcs sont exposés à une variété d'agents stressants de nature physique et psychologique (Nanni Costa, 2009). Connaître la contribution de ces facteurs de stress dans la réponse de l'animal permettrait de mieux préparer les animaux au transport en modifiant leur expérience préalable au transport. Le chapitre 3 portera plus précisément sur l'étape du chargement car elle est l'une des étapes les plus stressantes du transport (Grandin, 1997a) et elle correspond au moment pendant lequel les animaux sont exposés pour la première fois à un stress physique et psychologique. Le second objectif de la thèse est alors de déterminer si l'origine de la réponse de stress lors de cette étape du transport est physique ou psychologique ou les deux. En d'autres mots, est-ce que le stress associé au chargement est causé par l'effort physique (déplacement vers la zone de chargement, franchissement de la rampe) ou plutôt par une peur qui pourrait être associée à la présence de la rampe dans l'environnement particulier du compartiment « bedaine ». Pour répondre à cet objectif, l'effet de la modification de l'expérience antérieure (entraînement physique et psychologique) sur les réponses comportementales et physiologiques des animaux pendant leur chargement sera étudié. L'hypothèse est que si le stress a une composante majoritairement physique alors les animaux ayant l'entraînement physique seront les plus faciles à manipuler et présenteront des réponses au stress plus faibles alors que si le stress

a une composante majoritairement psychologique alors les animaux ayant l'entraînement psychologique seront ceux qui présenteront des réponses au stress plus faibles et seront les plus faciles à manipuler.

Le troisième objectif, qui a fait l'objet du chapitre 4, est d'évaluer l'effet de deux facteurs de stress présents pendant le transit des animaux : la distance et les conditions climatiques. Le transport des porcs au Canada peut se faire dans des conditions qui peuvent varier considérablement en termes de distances et de conditions climatiques (Brown et al., 2011). Avec la consolidation des abattoirs, les distances sur lesquelles les animaux sont transportés tendent à s'allonger (Carlsoon et al., 2004; Marchant-Forde et Marchant-Forde, 2009), pouvant avoir des effets négatifs sur le bien-être des animaux. Ces effets peuvent être potentiellement accentués par les conditions climatiques extrêmes observées au Canada. Il existe peu d'informations sur la façon dont les animaux réagissent à ces conditions de transport, et les seules données collectées dans ce contexte l'ont essentiellement été après abattage en évaluant la qualité de la viande ou les concentrations d'hormones de stress reflétant la fatigue de l'animal (Gosálvez et al., 2006; Pérez et al., 2002a; Averós et al., 2008; Bench et al., 2008a). Ainsi, cette étude de terrain se propose de suivre les réponses comportementales et physiologiques des animaux pendant des transports de courte (6 h), moyenne (12 h) ou longue (18 h) durée, lors de 2 saisons (été et hiver) dans le contexte de l'Ouest canadien. Les résultats présentés dans cette thèse ne sont qu'un volet d'une étude plus large qui vise également à évaluer l'impact de la saison et de la distance de transport sur la qualité de la viande et l'environnement climatique au sein du camion. L'hypothèse est que les transports sur de longues durées (> 6 h) ont des effets négatifs sur le bien-être du porc, qui peuvent être accentués selon la saison.

L'objectif 4, faisant l'objet du cinquième chapitre, vise à mieux comprendre l'importance de la récupération comportementale et physiologique dans la réaction au stress chez le porc. Les animaux sont soumis à une succession de stressseurs

tout au long du transport. Des études ont montré que la multiplicité et la succession des stressseurs pendant le transport peuvent avoir un effet additionnel sur les réponses de l'animal (Ritter et al., 2009a). Les conditions nécessaires pour récupérer de ces stressseurs peuvent ne pas être présentes que ce soit à la ferme (Chevillon, 2001b), dans le camion (Pilcher et al., 2006) ou à l'abattoir (Warriss, 2003). La réponse au stress pourrait-elle alors être influencée par l'état de récupération de l'animal? En comparant l'effet de différents temps de repos à l'abattoir sur le bien-être, mais surtout la qualité de la viande, de nombreux travaux ont montré qu'une période de repos trop courte (Pérez et al., 2002b; Hambrecht et al., 2005), mais aussi trop longue (Nanni Costa et al., 2002; Guàrdia et al., 2009), avant l'abattage ne sont pas favorables. Cependant, ces études ne tiennent pas compte de l'état physiologique de l'animal avant son déchargement. La dernière expérience de cette thèse permettra de comparer l'influence de l'état de récupération comportementale et physiologique, après une première exposition à un agent stressseur (manipulation et exercice), sur la réponse au stress et les capacités de récupération après l'exposition au même agent stressseur. L'hypothèse est qu'un temps insuffisant de repos aura des conséquences négatives sur la réponse au stress et l'état de récupération lors d'une nouvelle exposition à l'agent stressseur.

CHAPITRE 2. Effets de la configuration de la rampe de déchargement sur la manipulation, le rythme cardiaque et le comportement du porc d'abattage

Ce chapitre a fait l'objet d'un article intitulé: « Effect of ramp configuration on easiness of handling, heart rate and behavior of near-market weight pigs at unloading » soumis pour publication dans « Journal of Animal Science ». Les auteurs sont : Sébastien Goumon (candidat au doctorat: planification et réalisation des travaux expérimentaux, analyse des résultats et rédaction de l'article), Luigi Faucitano (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Renée Bergeron (directrice de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit), Trever Crowe (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Laurie Connor (collaboratrice scientifique du projet: correction et révision du manuscrit) et Harold Gonyou (co-directeur de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit).

RÉSUMÉ

Trois expériences, utilisant chacune 280 animaux, ont été conduites dans un compartiment de camion simulé afin de tester l'effet de l'angle d'entrée à la rampe (90°, 60°, 30° ou 0°), la pente de la rampe (0°, 16°, 21° ou 26°), et enfin l'ajout d'une marche associée à des pentes de 16° ou 21° sur la facilité de manipulation, le rythme cardiaque (porcs et manipulateur), et le comportement de porcs d'abattage pendant le déchargement du compartiment de l'étage inférieur d'un camion de type « bedaine ». L'utilisation d'une rampe avec une pente élevée (26°), mais aussi la longueur associée à une rampe de plus faible inclinaison, diminuaient la facilité de manipulation lors du déchargement. De plus, une rampe associée à un angle d'entrée élevé (90°), ou à une marche rendait le déchargement le plus difficile. La modification de la configuration de la rampe actuellement utilisée en conditions commerciales permettrait d'améliorer l'efficacité de la manipulation et de réduire le stress chez le porc.

Mots-clés: déchargement, marche, pente, porc, rampe, stress.

Effect of ramp configuration on ease of handling, heart rate and behavior of near-market weight pigs at unloading

S. Goumon, L. Faucitano, R. Bergeron, T. Crowe, M. L. Connor and H.W. Gonyou

ABSTRACT

Three experiments, each using 280 pigs, were conducted in a simulated compartment to test the effect of angle of entrance (**AOE**) to the ramp (90°, 60°, 30° or 0°), ramp slope (0°, 16°, 21° or 26°), and an initial 20 cm step associated with 16° or 21° ramp slopes on the ease of handling, heart rate (**HR**) and behavior of near market-weight pigs during unloading. Heart rate (pigs and handler), unloading time, handler's interventions and pigs' reaction were monitored. The results of the first experiment show that using a 90° AOE had detrimental effects on ease of handling ($P < 0.05$), pig's HR ($P < 0.05$) and behavior ($P < 0.05$). The 0° and 30° AOE appeared to improve the ease of unloading, while the 60° AOE had an intermediate effect. The 30° AOE appeared to be preferable, because pigs moved at this angle barked less frequently ($P < 0.01$) and required less manipulation ($P < 0.05$) than pigs moved with a 0° AOE. The results of the second experiment show that the use of a flat ramp led to the easiest unloading as demonstrated by the lower number of balks ($P < 0.001$) when pigs were moved to the ramp and the less frequent use of paddle ($P = 0.001$) or voice ($P < 0.001$) on the ramp, compared to the other treatments. However, the flat ramp did not differ from the 21° ramp in many of the variables reflecting ease of handling, which may be explained by the difference in configuration between the ramps. The results also show that the use of the steepest ramp slope had the most detrimental effect on pig's balking and backing up behavior ($P < 0.001$) and handling (touches, slaps and pushes) ($P < 0.05$, for all) when moved to the ramp, and on unloading time ($P < 0.01$). No differences in pig HR ($P < 0.05$) and ease of handling on the ramp ($P < 0.05$) were found between a 26° and a 16° ramp slope, suggesting that the length of the ramp may be one of the factors which make unloading more difficult. The results of the last experiment show that an initial step made unloading physically more demanding for the handler ($P < 0.001$) and pigs on the ramp ($P < 0.05$) as demonstrated by their greater HR. The greater difficulty of handling ($P < 0.01$) and reluctance to move ($P < 0.05$) of pigs moved toward the 16° ramp with a step suggest that pigs perceived this ramp as more psychologically challenging. Making a few changes in terms of the design of the ramp could improve the efficiency of handling and reduce stress in pigs.

Key words: handling, pigs, ramp, stress, unloading, welfare

2.1 INTRODUCTION

Loading and unloading procedures have been identified as the most stressful events during the transport process (Grandin, 1997a; Warriss, 1998a). Despite the evidence about the efficiency of the hydraulic lift or containers for loading groups of pigs onto the truck (Brown et al., 2005), loading for transport is still commonly performed with ramps in Canada. It has been shown that a ramp slope over 20° leads to a significant increase in heart rate (Van Putten and Elshof, 1978), cortisol concentration (Bradshaw et al., 1996c), balking behavior (Phillips et al., 1988; Lambooi and van Putten, 2000) and handling time (Warriss et al., 1991). Other ramp features, such as the presence and the height of steps (Grandin, 1990), may affect pigs' response during loading and unloading.

The use of large punch-hole trailers, such as “pot-belly” (PB) models, holding more than 200 pigs, is very common in Canada. Because these trailers are equipped with fixed upper and lower decks, external and internal ramps are used for loading. The use of ramps has been associated with higher mortality rates in Danish and British national transport surveys (Riches et al., 1996; Barton-Gade et al., 2007). In addition, steep internal ramps (up to 40°) and 90° turns within PB trailers are thought to increase unloading difficulty (Torrey et al., 2013b; Schwartzkopf-Genswein et al., 2012) and can explain the higher incidence of “dead-on-arrival” and downer pigs after transportation with a PB trailer compared to a flat-deck trailer equipped with hydraulic decks (Ritter et al., 2008a). There is a clear lack of knowledge on how ramp configuration may influence behavioral and physiological responses of pigs during loading or unloading. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of different ramp configurations (ramp slope, an initial step and angle of entrance to the ramp) on handling, heart rate and behavior of near-market pigs unloaded from the lower compartment (the “pot”) of the PB trailer.

2.2 MATERIALS AND METHODS

All experimental procedures performed in this study were approved by the University of Saskatchewan's Animal Research and Ethics Board and adhered to the Canadian Council on Animal Care guidelines for humane animal use (Canadian Council on Animal Care, 2009).

2.2.1 Animals and treatment

This study was undertaken at the Prairie Swine Centre Inc. (Saskatoon, SK, Canada). A total of 840 near-market weight pigs (cross between a L-42 sow and a 337 boar; PIC Line), weighing around 110 kg, were used in 3 experiments (280 animals / experiment). Pigs were housed in groups of 10 mixed-sex animals at a density of 0.85 m² / 100 kg and had not been subjected to any handling besides weighing, nor previously exposed to a ramp. Each experiment was carried out in the same finishing room and trials occurred between 0830 h and 1600 h. The room was temperature controlled (15 °C) and uniformly illuminated, without any shadows in the experimental area.

An experimental apparatus (Figure 2.1) was constructed within the finishing barn and designed to simulate unloading from the pot-belly (PB) compartment of a commercial transport trailer. It consisted of 2 holding pens connected by a ramp. The top pen (TP) had a metal-floor (4.90 x 2.45 x 0.91 m; space allowance (SA) = 1.10 m² / 100 kg) and was built on a hydraulic lift, which allowed pigs to be loaded into this area without using a ramp. During the test, the TP was lifted to a height of 70 cm. The bottom pen (BP) had a concrete floor (1.75 x 2.45 x 0.91 m; SA = 0.39 m² / 100 kg). Dimensions of the BP, where all modifications to ramp configuration were made, were chosen because of their relevance to the typical design of the PB compartment. All of the ramps used in this project were custom built, and measured 0.91 m wide, which provides enough room to allow 2 pigs to climb the ramp at the same time. The ramps were made out of aluminium and were cross-laid with 2-cm high cleats, spaced 10 cm apart. In the

ramp area, 91-cm high wooden boxes were set up on each side of the ramp in order to fill the gap between the 2 pens, thus delimiting the ramp area (Figure 2.1).

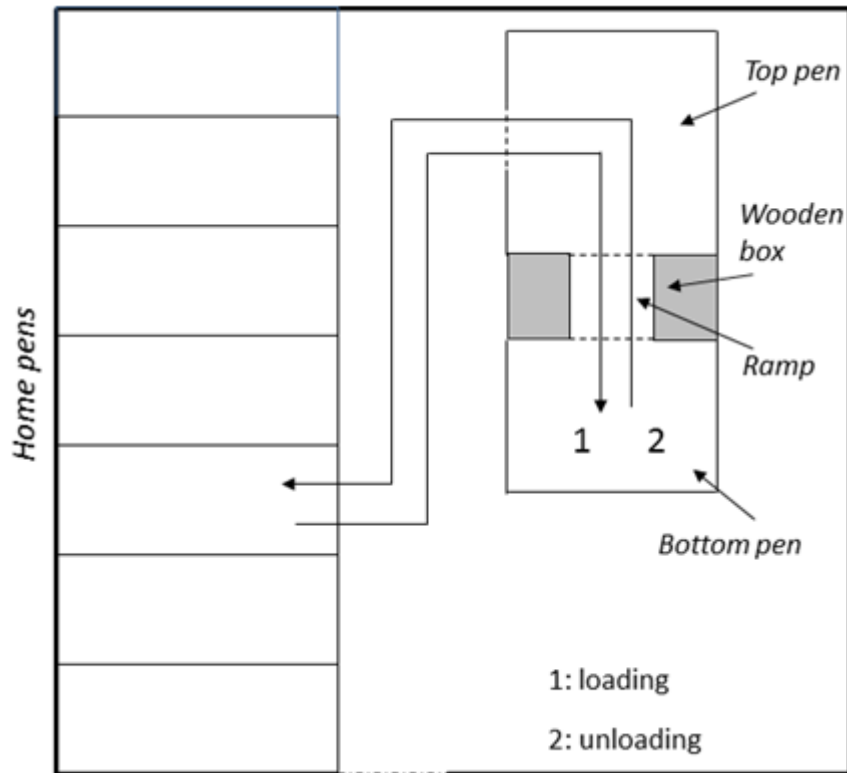


Figure 2.1 Experimental room and apparatus

The ramps, which were covered in wood shavings, were centered in both pens, except for the 0° angle of entrance (Experiment 1; Figure 2.2). For each experiment, 28 groups of 10 pigs were exposed to a specific ramp configuration (7 groups per treatment) on 7 non-consecutive days. The exit ramp in the pot-belly compartment is situated in the middle of the back wall to allow the compartment to extend as close as possible to the rear wheels. This location means that pigs approaching the exit along the wall must make a 90° turn to enter the ramp. In experiment 1, the configuration of the ramp was changed by setting up 0.91 m high boards on one side of the entrance leading to the

ramp, to create angles of 90° (control), 60°, 30° and 0° into a 21° sloped loading ramp (1.95 m long). For each configuration, the BP space allowance was kept the same (0.39 m²/ 100 kg) by changing the dimensions of the pen (Figure 2.2). In experiment 2, 4 ramp slopes were tested using a 90° angle of entrance: 0° (control), 16°, 21° and 26°. Ramp lengths were 1.95, 2.54, 1.95, and 1.60 m, respectively. The control treatment consisted of a ramp laid on the horizontal floor. Thus, in this treatment, pigs had to go through a 91 cm wide corridor with no elevation. Finally in experiment 3, 4 other ramp configurations were assessed: 16° or 21° ramp slope with or without a 20-cm initial step off the bottom of the ramp. The 16° and 21° ramps associated with a step measured 1.81 and 1.40 m long, respectively.

2.2.2 Procedure

Each group was submitted to a 6-h fasting period prior to the experiment and tested only once. For each trial, a group was moved from the home pen to TP and was held there for 15 min. The group was then moved from TP to BP, down the ramp (simulated loading), by the same handler using only a board, the voice and a paddle. The unique handler used in this experiment was a trained technician who had experience in routine pig handling and transportation. In experiment 1, the handler was specifically instructed to move the group of pigs by driving it to the modified entrance and by holding a moving board on the other side of the ramp (Figure 2.2). While pigs were waiting in the BP for 20 min, the access to the ramp was closed by using a wooden board covering the ramp area to simulate the way it is done in a commercial trailer with a metal gate. Afterwards, the board was removed and the pigs were moved back up the ramp (simulated unloading), into the TP, and were given a 10-min rest period before being brought back to their home pen. The trial was stopped after 10 min even if all pigs had not climbed up the ramp.

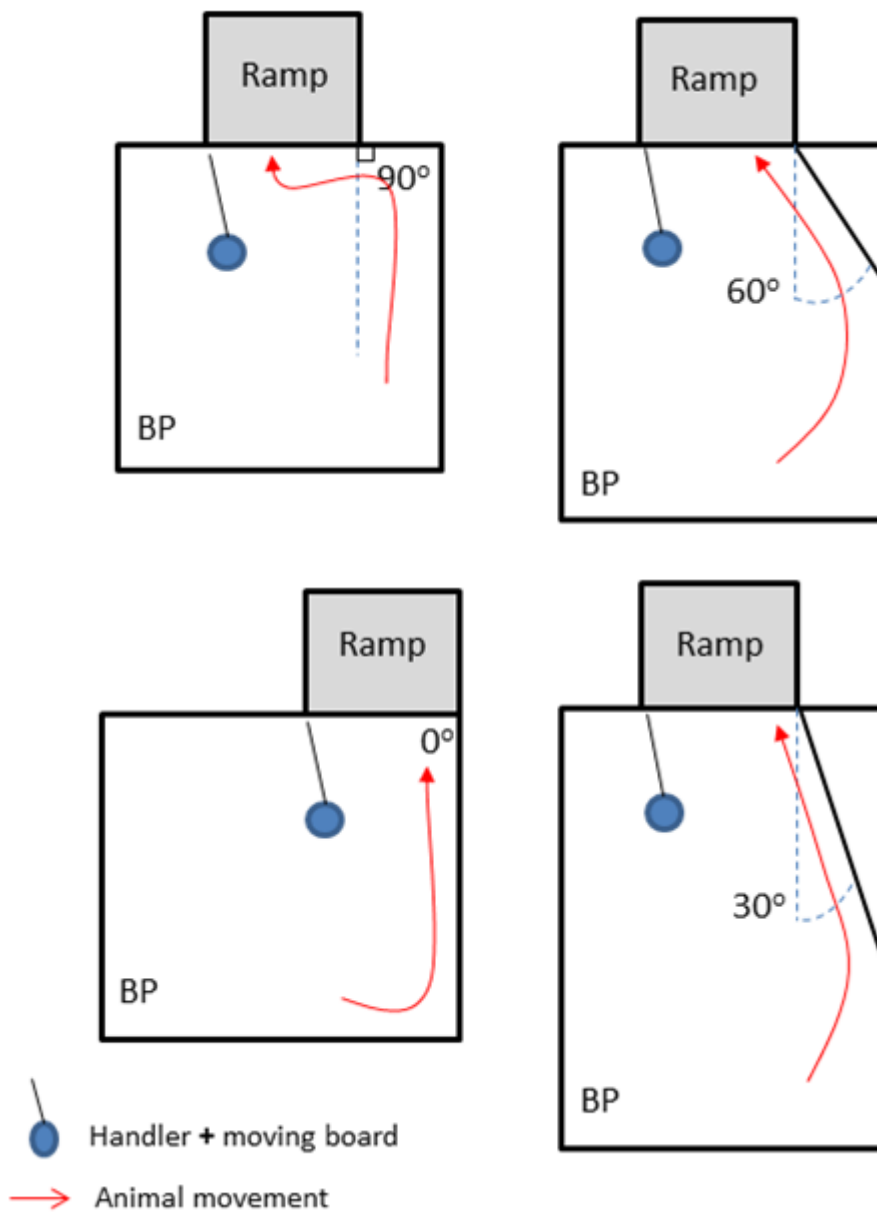


Figure 2.2 Modification of the angle of entrance in the bottom pen (BP) and movement of the animals to the ramp (for the 30, 60 and 90° angle treatments, some pigs may have entered the ramp area at an angle of entrance lower than the treatment).

2.2.3 Data collection

2.2.3.1 Pig behavior and ease of handling

The trials were video recorded using digital cameras (Pentax Optio W90 12.1 MP, Mississauga, ON, Canada) in order to monitor handling and behavior data in the BP and on the ramp.

The ease of moving the pigs was assessed by recording the number of times the paddle was used by the handler to slap, touch a pig or to make some noise by hitting the floor or the walls of the pen. The number of times the voice was used and a pig was pushed by the handler's body or using a moving board was also monitored (Table 2.1). A handling subjective score was also used by asking the handler to assess the ease of handling by drawing a mark on a line ranging from very easy (0-cm mark) to very difficult to move (12-cm mark) at the end of each trial. The times taken to unload the first pig and the entire group were also recorded. A pig was considered as unloaded when its back legs were in the TP. The number of occurrences of each behavior described in Table 2.1 was recorded.

2.2.3.2 Heart rate

Pigs to be used for the heart rate study were selected using an Open Door Test (adapted from Brown et al., 2009) a week before the trial. This test was used in order to assess heart rate across various coping strategies (proactive, intermediate and reactive). Just before performing the test, a person entered the home pen to mark the pigs from one to ten in order to identify them during the test. The pen door was then opened by the observer from a distance of 1 m away from the pen entrance. Over a 3-min period, pigs were free to leave the pen and go into a hallway. For each pig, the latency to get out of the pen (hind feet crossing the entrance of the pen) was recorded. Pigs received a rank (from one to ten) according to their latency to exit. Pigs that did not exit the pen got the maximum latency (180s), and scored as last (rank 10). The first, fifth and the last pig were selected to be fitted with the heart rate monitors. Heart rate of the

Table 2.1 *Definitions of behavioral and handling variables*

Behavior	Description
Vocalizations	A sound (0.5-2 s) of both high amplitude and high frequency produced with an open mouth.
Back-up	Pig backs up at least 2 steps.
Balks	Pig refuses to walk or stops for longer than 2 s.

Handling	Description
Touch	Making contact with the pig's back or side with a paddle when the paddle is not lifted above the height (0.9 cm) of the pen sides.
Slap	Making contact with the pig's back or side with a paddle when the paddle is raised above the height of the pen sides before making contact.
Push	Handler applies pressure on pig with her body or a board (> 2 s).
Noise	Voice: the handler talks in order to encourage the pigs to move. <hr/> Paddle: Handler hits the wall or the floor with the paddle to make a noise (rattle) in order to encourage the pigs to move.

handler and 3 pigs from each group was recorded throughout all trials at 5-sec intervals in the handler and in 3 pigs from each group using Polar © heart rate monitors (team Polar, Polar Electro Canada Inc., Quebec, QC, Canada). Each heart rate monitor was inserted into the protective pouch of a rubber belt that was fitted around the pig's chest, while it was fitted to the handler's chest with an elastic belt. The pigs' thoracic region was shaved and a lubricant gel was applied to the sensors to ensure connection was maintained with the skin. After fitting of the heart rate monitors, pigs were returned to their home pen for 60 min to allow heart rate to return to a normal resting level. Data were downloaded and the average heart rate for each pig was determined for each of the experimental periods, which were the 10-min holding period before unloading (waiting period), unloading period (in BP and on the ramp), and the 10-min recovery period after unloading. For the analysis, the increase in heart rate (**HR**) in the BP ($HR_{BP} - HR_{\text{waiting period}}$) and on the ramp ($HR_{\text{ramp}} - HR_{BP}$), along with the decrease in heart rate in TP ($HR_{\text{recovery period}} - HR_{\text{ramp}}$) were calculated and expressed as percentage. For the handler, the increase in heart rate was calculated as: $HR_{\text{test}} - HR_{\text{rest}}$, with HR_{test} and HR_{rest} being respectively, the handler's heart rate during the test, and 5 min before the test started, while the handler was resting.

2.2.4 Statistical analysis

Each experiment was designed as a randomized complete block design. A replicate consisted of 4 trials including every treatment. The group of 10 pigs tested on a given ramp configuration was considered the experimental unit. This design allowed each group of pigs to be subjected to a given ramp slope in a balanced order across and within days, controlling for the effect of time of day and experimental day. Normality and homogeneity of variance (Shapiro-Wilk test) were tested prior to the analysis. For experiments 1 and 2, heart rate (average of the 3 selected pigs' heart rates), subjective handling score and unloading time were analyzed as 4 treatment factors by ANOVA using the PROC MIXED procedure in SAS (SAS, 2010. Cary, NC), while for the experiment 3, they were analyzed as a 2 x 2 factorial (presence or absence of the step and 16° or 21° slope). A correlation analysis was carried out between the subjective handling score and the handler's heart rate using the PROC CORR procedure in SAS.

Ramp configuration was treated as a fixed effect, while the day effect was considered as random. Tukey-Kramer adjustments were used to compare treatment means. When residual normality was not met, transformations using the BOXCOX procedure in SAS were performed. Behavioral and handling data were averaged for the group of pigs and analyzed using the Kruskal-Wallis one-way analysis of variance. A Mann-Whitney test was used if the previous test was significant, in order to compare treatment means. Untransformed LS means and standard errors of the mean (**SEM**) are reported. A probability level of $P < 0.05$ was chosen as the limit for statistical significance in all tests.

2.3 RESULTS

2.3.1 Experiment 1 (angle of entrance to the ramp)

2.3.1.1 Heart rate

The increase in the handler's heart rate was lower ($P = 0.018$) when a 0° angle of entrance was used compared to a 90° angle, while heart rate values for 30° and 60° angles were intermediate and did not differ ($P > 0.05$) from the other treatments (Table 2.2). Pigs in the 90° angle of entrance treatment had the greatest ($P = 0.019$) increase in heart rate in the BP and a greater increase ($P = 0.011$) in heart rate on the ramp than those in the 30° or 60° treatments, while pigs in the 0° angle treatment were intermediate on the ramp and did not differ ($P > 0.05$) from the other treatments (Table 2.2). There were no differences ($P > 0.05$) in heart rate among the 4 treatments when pigs were in the top pen.

2.3.1.2 Pig behavior

Pigs in 90° angle of entrance treatment balked the most ($P = 0.007$) while those in the 30° treatment balked the least (Table 2.2). There were no differences ($P > 0.05$) between the 0° and 60° angle of entrance treatments. Vocalizations were the most frequent ($P = 0.045$) with the 90° angle (Table 2.2), while there was no difference ($P >$

0.05) among the other treatments. On the ramp, the number of balking events was the greatest ($P = 0.009$) in pigs moved through the 90° angle of entrance and the lowest for pigs in the 0° and 30° angle treatments (Table 2.2), while it did not differ ($P > 0.05$) between pigs in the 60° treatment and those in the 30° or 90° treatments. The frequency of back up behavior was not significantly ($P > 0.05$) affected by the angle of entrance.

2.3.1.3 Ease of handling

It took longer ($P = 0.018$ and $P = 0.034$, respectively) to unload the first pig and the group (Table 2.2) in the 90° angle of entrance treatment. The subjective handling score, positively and moderately correlated ($R = 0.492$; $P = 0.008$) with the handler's heart rate, did not differ ($P > 0.05$) among the 4 treatments. In the BP, the handler used the voice less frequently ($P = 0.015$) to move pigs in the 0° or 30° angle of entrance treatments than those in the 60° or 90° angle treatments (Table 2.2). The use of the paddle to make noise was found to be the lowest ($P = 0.044$) with the 30° angle. There were no differences ($P > 0.05$) among the 3 other treatments (Table 2.2). The number of touches and slaps and the number of pushes were the highest ($P = 0.043$ and $P = 0.047$, respectively) for pigs in the 90° angle treatment and lowest for those in the 30° angle of entrance treatment (Table 2.2). There were no differences ($P > 0.05$) between pigs in the 0° and 60° angle of entrance treatments. No differences were found for any handling measures on the ramp.

2.3.2 Experiment 2 (ramp slope)

2.3.2.1 Heart rate

The handler's increase in heart rate was the highest ($P < 0.001$) when pigs were unloaded using the 26° ramp and lowest with the 0° ramp (Table 2.3). There were no differences ($P > 0.05$) between the 16° and the 21° ramps. When pigs were being moved toward the ramp and on the ramp, their increase in heart rate ($P < 0.001$ and $P = 0.022$, respectively) was the lowest with the 0° and 21° ramps and the highest with the

Table 2.2 Effects of angle of entrance on heart rate, pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading

	0°	30°	60°	90°	P-value
Heart rate (%)					
Handler ¹	+32.2 \pm 3.2 ^b	+36.9 \pm 3.2 ^{ab}	+36.2 \pm 3.2 ^{ab}	+47.4 \pm 3.2 ^a	0.018
Pigs in BP ^{2, 3}	+24.4 \pm 1.2 ^b	+25.6 \pm 1.2 ^b	+24.0 \pm 1.2 ^b	+34.9 \pm 1.2 ^a	0.019
Pigs on ramp ⁴	+11.2 \pm 1.6 ^{ab}	+7.1 \pm 1.6 ^b	+7.5 \pm 1.6 ^b	+14.2 \pm 1.6 ^a	0.011
Pigs in TP ^{5, 6}	-14.5 \pm 2.8	-15.6 \pm 2.8	-16.3 \pm 2.8	-20.5 \pm 2.8	0.698
Behavior ⁷					
<i>In BP</i> ^{2, 8}					
Balks	6.0 \pm 0.8 ^b	1.9 \pm 0.5 ^c	6.0 \pm 1.9 ^b	22.3 \pm 7.0 ^a	0.007
Back up	1.1 \pm 0.5	0.3 \pm 0.3	1.6 \pm 0.6	1.7 \pm 0.8	0.191
Vocalizations	2.4 \pm 0.9 ^b	1.1 \pm 0.6 ^b	1.0 \pm 0.2 ^b	7.7 \pm 1.7 ^a	0.045
<i>On Ramp</i> ^{8, 9}					
Balks	5.1 \pm 0.5 ^b	3.3 \pm 0.3 ^c	9.6 \pm 0.6 ^{ab}	14.4 \pm 0.8 ^a	0.009
Unloading time (s) ¹⁰					
First pig	30.7 \pm 13.5 ^b	21.9 \pm 13.5 ^b	32.9 \pm 13.5 ^b	70.0 \pm 13.5 ^a	0.018
Group	143.2 \pm 59.2 ^b	131.3 \pm 59.2 ^b	152.1 \pm 59.2 ^b	330.7 \pm 59.2 ^a	0.034
Handling ⁷					
SHS ^{10, 11}	2.1 \pm 1.2	1.3 \pm 1.2	2.8 \pm 1.2	4.4 \pm 1.2	0.285
<i>In BP</i> ^{2, 8}					
Voice	13.6 \pm 3.2 ^b	6.7 \pm 1.6 ^b	19.6 \pm 4.3 ^a	28.0 \pm 6.0 ^a	0.015
Noise with paddle	29.3 \pm 5.6 ^a	18.6 \pm 3.1 ^b	46.0 \pm 12.8 ^a	52.9 \pm 12.7 ^a	0.044
Touch/slap	8.1 \pm 2.1 ^b	0.9 \pm 0.3 ^c	7.0 \pm 2.9 ^b	23.1 \pm 4.0 ^a	0.043
Push	7.1 \pm 1.7 ^b	2.0 \pm 0.4 ^c	7.3 \pm 2.0 ^b	17.9 \pm 5.0 ^a	0.047
<i>On ramp</i> ⁸					
Voice	2.0 \pm 0.9	2.1 \pm 1.0	2.9 \pm 0.9	4.9 \pm 1.3	0.201
Noise with paddle	5.7 \pm 1.9	4.6 \pm 2.1	6.4 \pm 1.6	17.7 \pm 11.7	0.499
Touch/slap	5.1 \pm 1.9	0.3 \pm 0.3	5.0 \pm 2.3	4.7 \pm 2.4	0.121
Push	1.6 \pm 1.3	1.0 \pm 0.6	2.4 \pm 1.4	4.4 \pm 1.3	0.206

¹ Difference between HR_{test} and HR_{rest}

² Bottom pen

³ Difference between HR_{BP} and HR_{waiting period}

⁴ Difference between HR_{ramp} and HR_{BP}

⁵ Top pen

⁶ Difference between HR_{recovery period} and HR_{ramp}

⁷ Occurrences per unloading event

⁸ Analyzed using Kruskal-Wallis one way analysis of variance

⁹ Not enough data to run the analysis on back up and vocalizations

¹⁰ probabilities after Log transformation

¹¹ Subjective Handling Score (cm; 0 cm = very easy; 12 cm = very difficult)

^{a-c} Within a row, means without a common superscript differ ($P < 0.05$)

16° and 26° ramps (Table 2.3). After unloading (in TP), the decrease in heart rate was greater ($P = 0.003$) in pigs moved through the 26° ramp than those moved through 0° and 21° ramps (Table 2.3). No differences ($P > 0.05$) were found between the 16° and the 0° ramps or between the 16° and 26° ramps.

2.3.2.2 Pig behavior

The frequency of balking behavior ($P < 0.001$) was the highest when pigs were handled in the BP towards the 26° ramp slope and the lowest when handled towards the 0° ramp slope, while there were no differences between the 16° and 21° ramp slopes (Table 2.3). Pigs vocalized ($P = 0.002$) and backed up more ($P < 0.001$) when they were moved to the 26° ramp than pigs in the other treatments (Table 2.3). On the ramp, the number of balking events was greater ($P = 0.004$ when the 16° and the 26° ramps were used and did not differ ($P > 0.05$) between the 0° and 21° ramp slopes.

2.3.2.3 Ease of handling

It took longer ($P = 0.006$ and $P < 0.001$, respectively) to unload the first pig and the group of 10 pigs when the animals were moved to the 26° ramp than to the other ramps (Table 2.3). The handling score, positively and strongly correlated ($R = 0.633$; $P = 0.003$) with the handler's heart rate, was lower ($P < 0.001$) when the 0° and 21° ramp were used compared to the 16° ramp and was found to be the highest when pigs were moved to the 26° ramp (Table 2.3). Unloading pigs with the 26° ramp required more slaps and touches ($P = 0.010$) and more pushes ($P = 0.045$) than the other treatments, which did not differ among each other (Table 2.3). However, the number of touches and slaps tended ($P = 0.077$) to be greater for the 16° than 21° ramp slope. The use of noise by the handler (voice and paddle) was more frequent ($P = 0.002$ and $P = 0.006$, respectively) with the 16° and 26° ramp slope compared to the 0° and 21° ramp slopes (Table 2.3). Moving pigs on the ramp required fewer pushes ($P = 0.002$) when pigs were moved on the 0° and 21° ramps compared to the 16° and 26° ramps (Table 2.3). The number of touches and slaps was the greatest ($P = 0.044$) on the 26° ramp slope

Table 2.3 Effects of ramp slope on heart rate, pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading

	0°	16°	21°	26°	P-value
Heart rate (%)					
Handler ¹	+18.8 \pm 2.3 ^c	+30.6 \pm 2.3 ^b	+30.9 \pm 2.3 ^b	+39.6 \pm 2.3 ^a	<0.001
Pigs in BP ^{2, 3}	+22.1 \pm 2.2 ^b	+30.3 \pm 2.2 ^a	+23.1 \pm 2.2 ^b	+33.2 \pm 2.2 ^a	<0.001
Pigs on ramp ⁴	+7.2 \pm 1.1 ^b	+11.4 \pm 1.1 ^a	+6.6 \pm 1.1 ^b	+12.6 \pm 1.1 ^a	0.022
Pigs in TP ^{5, 6}	-13.1 \pm 2.9 ^{bc}	-19.9 \pm 2.9 ^{ab}	-11.2 \pm 2.9 ^c	-26.7 \pm 2.9 ^a	0.003
Behavior⁷					
<i>In BP^{2, 8}</i>					
Balks	1.3 \pm 0.5 ^c	8.9 \pm 2.3 ^b	6.6 \pm 1.6 ^b	24.4 \pm 6.2 ^a	<0.001
Back up	0.0 \pm 0.0 ^b	0.7 \pm 0.3 ^b	0.4 \pm 0.3 ^b	5.1 \pm 0.9 ^a	<0.001
Vocalizations	1.0 \pm 0.7 ^b	1.1 \pm 0.6 ^b	1.3 \pm 0.6 ^b	11.6 \pm 2.4 ^a	0.002
<i>On Ramp^{8, 9}</i>					
Balks	2.7 \pm 1.2 ^b	14.4 \pm 2.6 ^a	5.6 \pm 1.2 ^b	14.9 \pm 5.2 ^a	0.004
Unloading time (s)¹⁰					
First pig	20.7 \pm 12.8 ^b	28.3 \pm 12.8 ^b	35.1 \pm 12.8 ^b	78.6 \pm 12.8 ^a	0.006
Group	136.3 \pm 42.1 ^b	238.4 \pm 42.1 ^b	172.1 \pm 42.1 ^b	413.4 \pm 42.1 ^a	<0.001
Handling⁷					
SHS ^{10, 11}	0.3 \pm 0.8 ^c	2.9 \pm 0.8 ^b	0.6 \pm 0.8 ^c	6.2 \pm 0.8 ^a	<0.001
<i>In BP^{2, 8}</i>					
Voice	7.1 \pm 1.8 ^b	26.3 \pm 5.2 ^a	11.0 \pm 1.8 ^b	43.7 \pm 7.6 ^a	0.002
Noise with paddle	21.0 \pm 7.0 ^b	107.0 \pm 26.9 ^a	36.9 \pm 9.0 ^b	105.9 \pm 12.7 ^a	0.006
Touch/slap	3.3 \pm 1.6 ^b	6.4 \pm 2.0 ^b	1.9 \pm 1.0 ^b	48.3 \pm 20.0 ^a	0.010
Push	0.1 \pm 0.1 ^b	1.1 \pm 0.6 ^b	0.4 \pm 0.3 ^b	16.1 \pm 4.1 ^a	0.045
<i>On ramp⁸</i>					
Voice	1.6 \pm 0.7 ^c	11.4 \pm 2.3 ^a	5.4 \pm 0.8 ^b	16.1 \pm 3.0 ^a	0.001
Noise with paddle	2.6 \pm 1.1 ^c	48.6 \pm 10.6 ^a	11.4 \pm 2.2 ^b	22.6 \pm 7.2 ^a	<0.001
Touch/slap	0.1 \pm 0.1 ^c	3.29 \pm 2.8 ^b	1.3 \pm 0.6 ^{bc}	11.0 \pm 4.2 ^a	0.044
Push	0.0 \pm 0.0 ^b	2.4 \pm 0.8 ^a	0.1 \pm 0.1 ^b	8.0 \pm 4.1 ^a	0.002

¹ Difference between HR_{test} and HR_{rest}

² Bottom pen

³ Difference between HR_{BP} and HR_{waiting period}

⁴ Difference between HR_{ramp} and HR_{BP}

⁵ Top pen

⁶ Difference between HR_{recovery period} and HR_{ramp}

⁷ Occurrences per unloading event

⁸ Analyzed using Kruskal-Wallis one way analysis of variance

⁹ Not enough data to run the analysis on back up and vocalizations

¹⁰ Probabilities after Log transformation

¹¹ Subjective Handling Score (cm; 0 cm = very easy; 12 cm = very difficult)

^{a-c} Within a row, means without a common superscript differ ($P < 0.05$)

and greater with the 16° sloped ramp than on the 0° ramp slope (Table 2.3). On the ramp, the use of noise by the handler (voice and paddle) was the highest ($P = 0.001$ and $P < 0.001$, respectively) when pigs were on the 16° and 26° ramp slopes and the lowest when they were on the 0° ramp slope (Table 2.3).

2.3.3 Experiment 3 (initial step at ramp entrance)

2.3.3.1 Heart rate

The increase in the handler's heart rate was the greatest ($P < 0.001$) when the initial step was used (Table 2.4) and tended ($P = 0.082$) to be the greatest when the 21° ramp slope was used. When pigs were moved to the ramp, the increases in pig heart rate were found to be greater ($P < 0.001$) in the step treatment. The same results were observed when pigs were on the ramp and in the TP ($P < 0.001$ for both; Table 2.4). No differences ($P > 0.05$) in heart rate between the slope treatments were observed when pigs were in the BP, on the ramp or in the TP.

2.3.3.2 Pig behavior

Pigs balked ($P = 0.021$) and vocalized ($P = 0.038$) more in BP when the step was used with the 16° ramp slope (Table 2.5). There were no differences ($P > 0.05$) in balking or vocalization of pigs in BP between the other treatments. The use of the initial step did not significantly ($P > 0.05$) affect the frequency of back up behavior in BP (Table 2.5). On the ramp, the frequency of balking events was the greatest ($P = 0.004$) when the 16° ramp slope was used with a step.

2.3.3.3 Ease of handling

It took more time ($P = 0.002$ and $P < 0.001$, respectively) to unload the first pig or the group when the initial step was used (Table 2.4). The handling score, positively and moderately correlated ($R = 0.378$; $P = 0.047$) with the handler's heart rate, was greater ($P = 0.028$) when the 16° ramp slope was used compared to the 21° ramp slope, while

Table 2.4 Effects of initial step (ST) to ramp on heart rate, unloading time and subjective score (LS mean \pm SEM) during simulated unloading

	Slope (SI)			Step (St)			P-value		
	16°	21°	SEM	without	with	SEM	SI	St	SI*St
Heart rate (%)									
Handler ¹	31.4	36.3	1.9	28.4 ^b	40.8 ^a	1.9	0.082	<0.001	0.985
Pigs in BP ^{2,3}	23.9	21.1	1.1	22.2 ^b	31.1 ^a	1.1	0.171	<0.001	0.722
Pigs on ramp ⁴	6.1	6.9	0.9	4.2 ^b	9.2 ^a	0.9	0.782	<0.001	0.938
Pigs in TP ^{5,6}	-16.1	-15.6	1.1	-13.6 ^b	-17.3 ^a	1.1	0.873	0.041	0.742
Unloading time (s) ⁷									
First pig	38.6	40.2	7.4	14.1 ^b	35.7 ^a	7.4	0.113	0.002	0.201
Group	207.8	152.1	19.6	107.1 ^b	252.8 ^a	19.6	0.104	<0.001	0.120
Handling									
SHS ^{7,8}	2.7	3.2	0.8	2.1 ^b	3.8 ^a	0.8	0.463	0.028	0.123

¹ Difference between HR_{test} and HR_{rest}

² Bottom pen

³ Difference between HR_{BP} and HR_{waiting period}

⁴ Difference between HR_{ramp} and HR_{BP}

⁵ Top pen

⁶ Difference between HR_{recovery period} and HR_{ramp}

⁷ Probabilities after Log transformation

⁸ Subjective Handling Score (cm; 0cm = very easy; 12cm = very difficult)

^{a-b} Within a row, means without a common superscript differ ($P < 0.05$)

the use of the step had no effect ($P > 0.05$) on this variable (Table 2.4). In the bottom pen, the use of the voice did not differ significantly ($P > 0.05$) between the 4 treatments but a higher number of slaps and touches ($P = 0.005$) and more frequent use of the paddle to make noise ($P = 0.007$) was observed when a step was used with the 16° ramp slope than with the 21° ramp slope (Table 2.5). The frequency of pushes was higher ($P = 0.004$) when a step was used than when it was not, for both ramp slopes (Table 2.5). On the ramp, the use of the paddle to make noise and the frequency of touches and slaps did not differ among treatments, although there was a trend towards more touches and slaps being used on the 16° sloped ramp with an initial step than without ($P = 0.096$). The number of pushes on the ramp was the lowest ($P = 0.024$) when the 16° ramp slope with no step or when the 21° ramp slope with a step were used. Frequency of pushes was similar for pigs on the 16° ramp with step and the 21° sloped ramp without a step (Table 2.5).

2.4 DISCUSSION

The results show that using a 90° angle of entrance to the ramp has detrimental effects on ease of handling, pig's heart rate and behavior. Because pigs have a tendency to circle around the handler (Grandin, 1997b), they tended to walk along the wall on one side of the pen and then to get stuck in this corner, most probably because they viewed the 90° turn as a dead end (Carpenter et al., 1993; Chevillon, 1998). Thus, more handling was required to get them to move toward the ramp. This observation is in line with the recommendations made by Grandin (1990), suggesting that handling facilities should not have any 90° corners in order to ease animal movement before slaughter. These results are also in agreement with those of Warriss et al. (1992), who found a greater moving time in a race with a 90° angle than with a 45° bend. Reducing the angle of entrance with the use of boards allowed the handler to direct the pigs to the ramp without any possibility for the pigs to hide in a corner. The 0° and 30° angles of entrance appeared to improve the ease of unloading, while the 60° angle had an intermediate effect. The 30° angle seemed to be preferable, because pigs moved at this angle balked less frequently and required less manipulation by the handler. This pen configuration is

Table 2.5 Effects of initial step (ST) to ramp on pig behavior and ease of handling (LS mean \pm SEM) during simulated unloading

	16°	16° ST	21°	21° ST	P-value
Behavior ^{1,2}					
<i>In BP</i> ³					
Balks	2.6 \pm 1.5 ^b	15.7 \pm 3.2 ^a	3.1 \pm 0.6 ^b	5.3 \pm 1.5 ^b	0.021
Back up	0.4 \pm 0.2	1.4 \pm 0.6	0.7 \pm 0.4	2.7 \pm 1.3	0.641
Vocalizations	0.6 \pm 0.4 ^b	6.1 \pm 1.7 ^a	0.9 \pm 0.5 ^b	2.0 \pm 1.1 ^b	0.038
<i>On Ramp</i> ⁴					
Balks	3.1 \pm 1.2 ^b	10.1 \pm 1.2 ^a	2.6 \pm 1.2 ^b	3.3 1.0 ^b	0.004
Handling ^{1,2}					
<i>In BP</i> ³					
Voice	9.4 \pm 1.4	19.9 \pm 5.1	11.9 \pm 1.9	13.4 \pm 3.2	0.175
Noise with paddle	18.0 \pm 6.1 ^b	64.0 \pm 5.4 ^a	21.3 \pm 4.4 ^b	35.3 \pm 9.5 ^b	0.007
Touch/slap	7.1 \pm 1.8 ^c	57.3 \pm 7.4 ^a	21.6 \pm 6.3 ^b	32.0 \pm 5.9 ^b	0.005
Push	1.4 \pm 1.0 ^b	18.3 \pm 3.5 ^a	3.9 \pm 1.3 ^b	18.1 \pm 4.5 ^a	0.004
<i>On ramp</i> ⁵					
Noise with paddle	1.9 \pm 0.7	4.0 \pm 3.4	5.0 \pm 2.5	0.6 \pm 0.3	0.427
Touch/slap	0.6 \pm 0.4	4.1 \pm 1.7	5.6 \pm 4.8	2.0 \pm 0.5	0.096
Push	0.0 \pm 0.0 ^b	4.4 \pm 1.6 ^a	5.5 \pm 3.7 ^a	0.4 \pm 0.2 ^b	0.024

¹ Occurrences per unloading event

² Analyzed using Kruskal-Wallis one way analysis of variance

³ Bottom pen

⁴ Not enough data to run the analysis on back up and vocalizations

⁵ Not enough data to run the analysis on voice

^{a-b} Within a row, means without a common superscript differ ($P < 0.05$)

quite similar to the one recommended by Grandin (1982) for crowd pen designs using a single offset step to prevent jamming at the entrance of a single file ramp. In the present study, the use of a 30° angle of entrance may have improved the movement flow by creating a smoother pathway along the wall.

The results of the second experiment demonstrate that a flat ramp improved the ease of handling based on the handler's lower heart rate and the lower number of vocal and paddle interventions required by the handler to move the pigs on the ramp. However, the flat ramp did not differ from the 21° ramp in many of the variables reflecting ease of handling, which may be explained by the difference in configuration between the ramps. Indeed, due to the ramp area configuration associated with the 0° ramp (ramp on the ground with a 91 cm wall on each side), pigs unloaded with this ramp had to go through a narrow corridor to reach the other pen, which could have been perceived as psychologically stressful as a 21° sloped ramp. It is not clear why the 16° slope created more handling difficulties than the 21° slope, as shown by variables such as pig heart rate, balking on the ramp, voice and noise with paddle. In the present study, slope modifications were made by changing the length of the ramps (2.54 and 1.95 m for the 16° and 21° ramps, respectively), which might have influenced how the animal perceived the ramp. Thus, the animals may have perceived the 16° ramp as more psychologically and physically challenging than the 21° ramp because it represented a longer walk to reach the other side. Because space on a trailer is usually limited, a folding ramp extension has been previously suggested as a potential solution to the detrimental effect of steep ramp slopes associated with short ramps (van Putten and Elshof, 1978; Grandin, 1979). However, the present results suggest that the length of the ramp may have a negative effect on the ease of unloading.

The results of this experiment clearly show that the use of the steepest 26° ramp slope had the most detrimental effect on pigs' behavior and handling. This is consistent with studies demonstrating that a ramp slope over 20° leads to a significant increase in unloading time (Warriss et al., 1991) and to more frequent balking behavior (Phillips et al., 1988). The 26° ramp may have been perceived as more psychologically and

physically challenging by the pigs compared to the other ramp slopes. The pig's reluctance to move resulted in more vocalizations and handler's interventions. The increase in pigs' heart rate was also higher with the 26° ramp. However, this increase was not different from the increase associated with the use of the 16° ramp, again, probably because of the 16° ramp was longer than the 26° ramp (2.54 and 1.60 m for the 16° and 26° ramps, respectively). This would explain why the present results are not consistent with the findings of van Putten and Elshof (1978) and Mayes and Jesse (1980), who showed a direct positive correlation between heart rate during loading and ramp slope.

The use of an initial step was tested in experiment 3 because it may be used to either reduce the ramp slope or the length of the ramp. Phillips et al. (1988) showed that young pigs used a staircase composed of small steps at least as readily as a ramp of similar slope, while staircase designs with fewer, larger steps were not preferred. However, the results of the present study show that a step associated with a ramp made the work more challenging for the handler, as indicated by his greatest heart rate when pigs were moved to the ramps with a step, reflecting a greater physical effort or stress. In addition, unloading was more difficult to initiate when the initial step was used, which may explain the greater time to unload pigs with the ramps combined with the step. The presence of the step also made the unloading more physically demanding for the animal as shown by the greater increase in pigs' heart rate on the ramp. In line with the results of the present study, handling problems due to pigs' refusal or hesitation to leave the truck voluntarily have been related to height differences between the truck and the unloading ramp when step height was above 15 cm (SCAHAW, 2002). The greater difficulty of handling and reluctance to move of pigs moved toward the 16° ramp with a step suggest that pigs perceived this ramp as more challenging. As suggested in the experiment 2, the length of the ramp may have had an effect on how a pig perceived the ramp. Thus, there may have been combined effects of the use of the step and the ramp slope.

However, when comparing the ramps not associated with an initial step, the results obtained in experiments 2 and 3 are not in line, even though similar conditions (handler, tools and simulated compartments) were applied. In contrast to experiment 2, there were no differences between pigs in the 16 ° and 21 ° ramp slope treatments in experiment 3. Compared to pigs in experiment 2, pigs moved to the 16° ramp in experiment 3 seemed to balk less and require less handling. The reason for this discrepancy is not known. Human factors, such as the handler becoming more familiar with the experimental set-up and more efficient at moving animals, cannot be completely ruled out.

On commercial trailers, ramp slopes in the pot-belly can be as steep as 41° (Weschenfelder et al., 2012), and the presence of 1 or 2 (at the top and bottom of the ramp) steps is quite common (Goumon S., personal observations). The present study suggests that ramp slope should not be greater than 21° and that a step at the bottom of the ramp is not recommended. For ramp slopes steeper than 21°, the use of a ramp extension may not be the most appropriate modification to facilitate handling because, as suggested by the results of the present study, the beneficial effect of a lower ramp angle is possibly counteracted by a longer ramp length.. Elevating the floor of the “pot”, could be suggested in order to decrease the slope of the ramp. However, this modification means an elevation of the whole truck, which may not be possible for safety reasons. Our results also show that angle of entrance should not be greater than 30°. This can be easily implemented by setting up a board, before loading, on one side of the entrance. However, it has to be noted that this procedure leads to a reduction of the surface available in the compartment, which is equivalent to 2 market-weight pigs, according to our estimates.

2.5 CONCLUSIONS

The results demonstrate that ramp configuration has an effect on the efficiency of unloading pigs and their behavior. The animals appear more reluctant to move when a

steep ramp, an initial step associated with a moderate slope or a wide angle of entrance are used. The current configuration of the “pot” compartment in pot-belly trailers is not ideal and does not match these recommendations. Although unloading may be a physically demanding exercise, this study highlights that the way pigs first perceive the ramp, while being moved to it, is a main contributing factor to the handling difficulty. Animals refusing to move up a ramp can lead to unnecessary rough handling. Thus, making a few changes in terms of the design of the ramp could improve the efficiency of handling and welfare of pigs and handler.

2.6 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge with gratitude the financial support of the Alberta Livestock Meat Agency, NSERC, SaskPork, Alberta Pork, Manitoba Pork Council and the Saskatchewan Agriculture Development Fund. The authors also wish to acknowledge the technical assistance of M. Bouvier

CHAPITRE 3. Effet d'une exposition à la rampe et d'un exercice régulier sur le rythme cardiaque, la facilité de manipulation et le comportement de porcs d'abattage lors d'un chargement simulé

Ce chapitre a fait l'objet d'un article intitulé : « Effect of previous ramp exposure and regular handling on heart rate, ease of handling and behaviour of near market-weight pigs during a simulated loading » soumis pour publication dans « Canadian Journal of Animal Science ». Les auteurs sont : Sébastien Goumon (candidat au doctorat: planification et réalisation des travaux expérimentaux, analyse des résultats et rédaction de l'article), Luigi Faucitano (collaborateur scientifique du projet: correction et révision du manuscrit), Renée Bergeron (directrice de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit), Trever Crowe (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Laurie Connor (collaboratrice scientifique du projet : correction et révision du manuscrit) et Harold Gonyou (co-directeur de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit).

RÉSUMÉ

Cette étude avait pour but d'évaluer si la réponse au stress pendant un chargement simulé pouvait être réduite en modifiant l'expérience antérieure du porc. Cent soixante porcs ont été assignés, 2 semaines avant le chargement simulé, à l'un des 4 traitements suivants: entraînement physique (EXERCISE), entraînement psychologique (RAMP), les 2 entraînements (BOTH) ou aucun entraînement (CON). Après la période d'entraînement, les animaux ont été chargés dans un compartiment simulé et leur comportement, leur rythme cardiaque, ainsi que celui du manipulateur, le temps de chargement et la facilité de manipulation ont été mesurés. Lors du test, le rythme cardiaque était plus bas pour les animaux EXERCISE et BOTH comparés aux animaux RAMP et CON. La manipulation des animaux EXERCISE a été plus facile que celle des animaux RAMP, BOTH et CON. Cette étude montre qu'un exercice quotidien contribue à lui seul à faciliter la manipulation des animaux et à réduire leur réponse cardiaque, alors qu'une exposition préalable à une rampe, ne semble pas avoir d'effets bénéfiques.

Mots-clés: chargement, exercice physique, exposition à la rampe, porcs, stress.

Effect of previous ramp exposure and regular handling on heart rate, ease of handling and behaviour of near market-weight pigs during a simulated loading

S. Goumon, R. Bergeron, L. Faucitano, T. Crowe, M. L. Connor and H. W. Gonyou

ABSTRACT

The objective of this study was to assess whether stress response during simulated loading could be reduced by providing pigs with experience prior to the event. Two weeks before simulated loading, 160 Large White x Landrace near market-weight pigs were allocated to one of four treatments: physical training (EXERCISE), psychological training (RAMP), EXERCISE and RAMP trainings (BOTH) or no training (CON). Once training was completed, pigs were loaded into a simulated trailer compartment, and behaviour, pig and handler's heart rates, loading time and handling difficulty were measured. During loading, heart rate was lower ($P < 0.05$) for EXERCISE and BOTH pigs compared to RAMP and CON pigs. The numbers of touch/slap and push were lower ($P < 0.05$ and $P < 0.05$, respectively) for EXERCISE pigs compared to CON, RAMP and BOTH pigs, which did not differ ($P > 0.05$). The number of balks was the lowest ($P < 0.05$) for EXERCISE pigs, whereas there were no differences ($P > 0.05$) between BOTH and CON or RAMP pigs. This study demonstrates that daily exercise, by itself, improves the ease of handling and reduces cardiovascular response, while it appears that previous exposure to a ramp had no beneficial effects.

Key words: loading, pigs, ramp exposure, regular moving, stress.

3.1 INTRODUCTION

During the growing and finishing periods, pigs are exposed to little variation in their environment and infrequent interactions with handlers (Benjamin, 2005; Krebs and McGlone, 2009). However, during the transportation process prior to slaughter, pigs are submitted to a variety of physical and psychological stressors, such as loading and unloading (Warriss, 1998a). Pigs may be physically challenged by being moved out of their home pen to the loading area, sometimes over long distances (Ritter et al., 2007). In addition, they are forced onto the ramp leading to the truck, which may require a significant physical effort to climb (Van Putten and Elshoff, 1978; Warriss et al., 1991). Physical stress has been reported to contribute to the incidence of fatigued pigs (Benjamin, 2005; Correa et al., 2010). Concerns about the cardiovascular capacity and adaptability of the pig have also been raised since fattened pigs have relatively small hearts, low blood volumes and low hemoglobin levels (Niewold et al., 2000). On the other hand, pigs may have to cope with psychological stressors, which may challenge coping mechanisms as much as physical stressors (Von Borell, 2001).

It has been hypothesized that loading and unloading represent first and foremost a psychological challenge (Grandin, 1997a; Lambooij and Van Putten, 2000). There is ample evidence showing that prior experiences influence how pigs perceive their environment. Repeated positive handling increases pigs' willingness to be approached by a human (Tanida et al., 1994) or their motivation to approach or physically contact a human (Gonyou et al., 1986; Hemsworth and Barnett, 1992; Hemsworth et al., 1996). Negative handling (e.g. the use of an electric prod) reduces this motivation (Hemsworth et al., 1986; Gonyou et al., 1986). Experience with handling and coming out of the home pen during the weeks prior to transport to slaughter has been shown to have a beneficial effect on pigs' willingness to move and to reduce loading time (Abbott et al., 1997; Geverink et al., 1998c; Krebs and McGlone, 2009). Pigs exposed to a loading ramp once a day for one week prior to slaughter showed a lower heart rate and took less time to complete a

handling course compared to naïve pigs (Lewis et al., 2008). The authors suggested that pigs are not inherently stressed by alleys or ramps, but rather by the novelty of the situation. Based on current information, it is unclear whether loading and unloading procedures cause a physical or a psychological stress, or both. Stress during transport contributes to animal losses, and thus represents a financial and welfare challenge (Ritter et al., 2009a). A better understanding of the factors causing stress may help prepare the pigs and then reduce animal losses. To our knowledge, the study by Jacobson and Cook (1998) is the only one that tried to determine the contribution of psychological and physical factors to transport stress, but this work was done in cattle. The relative contributions of physical and psychological factors during the loading procedure remain to be investigated in pigs. Thus, the aim of this study was to determine whether the stress response during loading could be reduced by altering a pig's previous physical and psychological experiences.

3.2 MATERIALS AND METHODS

All experimental procedures performed in this study were approved by the University of Saskatchewan's Animal Research and Ethics Board and adhered to the Canadian Council on Animal Care guidelines for humane animal use (Canadian Council on Animal Care, 2009).

3.2.1 Animals and Treatments

This study was undertaken at the Prairie Swine Centre Inc. (Saskatoon, SK, Canada). A total of 160 pigs (cross between a L-42 sow and a 337 boar, PIC line), weighing around 110 kg, were used (40 animals/treatment). Pigs were housed in groups of 10 mixed sex animals at a space allowance (SA) of 0.85 m² / 100 kg pig, and had not been subjected to any handling besides weighing or previously

exposed to a ramp. The room was temperature controlled (15 °C) and uniformly illuminated, without any shadows in the experimental area.

Four groups of 10 pigs, housed in the same pen, were submitted to either regular moving (physical training, EXERCISE), ramp exposure (psychological training, RAMP), both treatments (BOTH) or neither (CON), which were applied about 2.5 weeks before slaughter.

3.2.1.1 Physical Training

Pigs were walked in a 2.3 m wide hallway within the barn at a moderate pace (around 2 km/h) over 5 and 4 consecutive training sessions during the first and the second experimental week, respectively. Two handlers walked behind the group of 10 pigs and only used the voice and plastic containers (filled with feed to make noise) to encourage the animals that were not walking at the required pace. A training session consisted of a succession of 3 runs and recovery periods and occurred between 0900 and 1200 h. For each run period, the distance walked was 400 m and pigs took 12.2 ± 3.8 min to complete the course. The ratio of exercise duration to recovery duration was 1/3, leading to recovery periods of 36 min. Heart rate data were monitored in 3 pigs per group during 7 of the 9 days of exposure (d 1, 2, 3, 5, 6, 8 and 9). Training sessions were on consecutive days except d 5 and d 6, which were separated by a 2-d break (weekend). The recovery periods were monitored using a video camera (Sony Handycam DCR-SR68, Mississauga, ON, Canada) to make sure pigs were resting.

The pigs fitted with the heart rate monitors (Polar Electro Canada Inc., Quebec, QC, Canada) were selected using an Open Door Test (adapted from Brown et al., 2009) 3 days before the beginning of the first training session. This test was used in order to assess heart rate across various coping strategies (proactive, medium and reactive). Just before performing the test, a familiar handler entered the home pen to mark the pigs from one to ten in order to identify

them during the test. The pen door was then opened by the observer from a distance of 1 m away from the pen entrance. Over a 3-min period, pigs were free to leave the pen and go into a hallway. For each pig, the latency to get out of the pen (hind feet crossing the entrance of the pen) was recorded. Pigs were ranked, from one to ten, according to their latency. Pigs which did not exit the pen got the maximum latency (180 s), and scored as last (rank 10). The second, sixth and the ninth pig were elected to be fitted with the heart rate monitors during the training period.

3.2.1.2 Psychological Training

Over 11 days, pigs had free access to a 35° ramp set up on the back wall of their home pen. The ramp was made of aluminum and was cross-laid with cleats spaced 10 cm apart and left in the pen for the entire training period, without any modifications. The ramp was short enough so that pigs could not make more than 3 steps on it. A red plastic cone was hung on the top of the ramp to encourage pigs to explore and use the ramp. Pigs could only touch the cone once they had reached the top of the ramp. Krebs and McGlone (2009) showed that there can be a strong and beneficial association between an object (or reward) and a task such as loading when animals were trained to get on a truck using a ramp. The quality (ramp or cone exploration, Table 3.1) and quantity of interactions were monitored for each pig by taking pictures (Pentax Optio W90 12.1 MP, Mississauga, ON, Canada) every 3 min from 0900 to 1700 h, every day except on d 6 and d 7.

Pigs on the BOTH treatment were exposed to the physical and the psychological trainings. Because they were exercised on average 37.7 min in a hallway, BOTH pigs were exposed to the ramp and cone for a total 248.2 h, while RAMP pigs were exposed to the same objects for 255 h throughout the entire experiment.

Pigs on the CON treatment did not have access to a ramp and were not walked in the hallway. To ensure that pigs from all treatments received a minimum exposure to humans, pigs on the CON and RAMP treatments were moved for 4 to 5 min, once on every physical training day, from their home pen to the next pen over a distance of approximately 10 m. This distance was considered to be short enough not to constitute a significant physical exercise. Then, the animals were moved back to their home pen.

3.2.2 Simulated Loading Procedure

The day after the last day of training, groups of pigs from all 4 treatments were tested, in a random order among the 4 replicates, in an experimental apparatus, which consisted of 2 holding pens connected by a ramp (Figure 3.1). The top pen (TP) had a metal floor (4.90 x 2.45 x 0.91 m, SA = 1.10 m²/ 100 kg), 70 cm above the lower floor. The bottom pen (BP) had a concrete floor (1.75 x 2.45 x 0.91 m, SA = 0.39 m² / 100 kg). These 2 pens were linked in their center by a 21° ramp, which was cross-laid with 2-cm high cleats, spaced 10 cm apart. The angle of entrance to the ramp was 90°. The ramp was 91 cm wide, enough to allow 2 pigs to climb the ramp at the same time, and covered with wood shavings. The access to the ramp was closed with a wooden board covering the ramp area to simulate the way it is done in a commercial trailer with a metal gate. The test took place between 0830 h and 1600 h in the finishing room where the pigs were housed.

Each group was submitted to a 6-h fasting period prior to the experiment and tested only once. On the testing day, pigs were taken out of their home pens as a group, moved to BP and held there for 20 min. Afterwards, the board blocking the access to TP was removed and the pigs were moved up the ramp to the TP by the same handler using only a board, the voice and a paddle. The same handlers were used throughout the entire study. The handler and the moving device were different from those used during the training period to prevent generalization of pig

response to handling. The animals were left in the TP for 30 min before being brought back to their home pen.

3.2.3 Data Collection

The trials were video recorded using digital cameras (Pentax Optio W90 12.1 MP, Mississauga, ON, Canada) in order to monitor handling and behaviour data in BP and on the ramp. Heart rate was monitored throughout the entire trial.

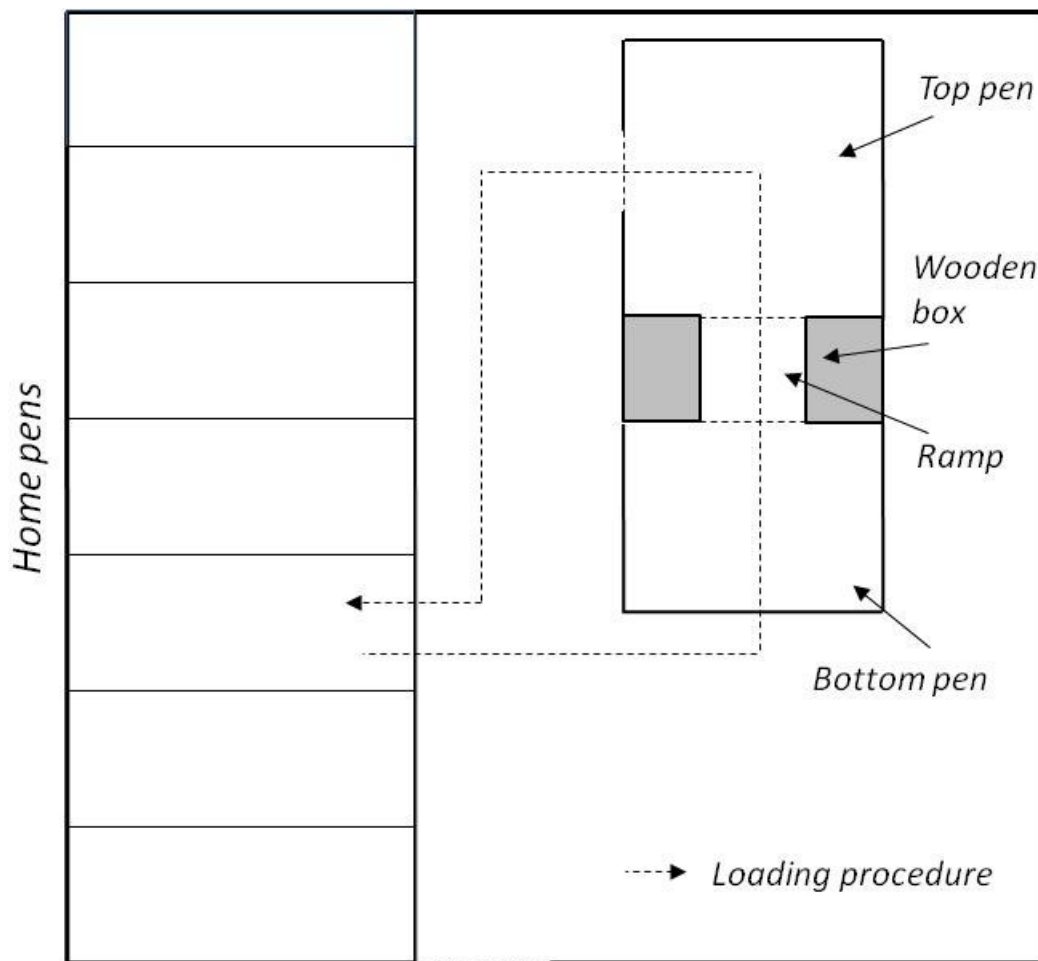


Figure 3.1 Experimental room and apparatus

3.2.3.1 Pig Behaviour and Ease of Handling

The ease of moving the pigs was assessed by recording the number of times the paddle was used by the handler to slap, touch a pig or to make some noise by hitting the floor or the walls of the pen. The number of times the voice was used, a pig was pushed by the handler's body or moved with a board were also monitored (Table 3.1). At the end of each trial, the same handler was asked to assess the ease of handling throughout the entire experiment, using a handling subjective score on a continuous scale between 0 and 12. The times taken to load the first pig and the entire group were also recorded. A pig was considered as loaded when its back legs were in the TP. The occurrences of the behaviours cited in Table 3.1 were recorded.

3.2.3.2 Heart Rate

Heart rate (HR) was recorded throughout the entire simulated loading, at 5-sec intervals, using Polar heart rate monitors[®] (Polar Electro Canada Inc., Quebec, QC, Canada), on the handler and the 3 pigs ranked first, fifth and last during the Open Door Test. Each heart rate monitor was inserted into the protective pouch of a rubber belt that was fitted around the pig's chest, while it was fitted to the handler's chest with an elastic belt. The pig's thoracic region was clipped and a lubricant gel was applied to the sensors to ensure connection was maintained with the skin. After fitting of the heart rate monitors, pigs were returned to their home pen for 60 min, to allow heart rate to return to a normal resting level. Data were downloaded and the average heart rate for each pig was determined for each of the experimental periods, which were: the 10-min holding period before loading (waiting period), loading (in BP and on the ramp) and the 10-min holding period after loading in TP. For the analysis, the increase in heart rate in BP ($HR_{BP} - HR_{\text{waiting period}}$) and on the ramp ($HR_{\text{ramp}} - HR_{BP}$) along with the decrease in heart rate in TP during the first 10min after loading ($HR_{\text{10min holding period}} - HR_{\text{ramp}}$) were calculated. The overall increase in heart rate was also calculated, consisting of the

sum of the above 3 values. This increase indicated how close the heart rate after loading was to the resting heart rate.

3.2.4 Statistical analysis

The experiment was designed as a randomized complete block design. The group of 10 pigs tested on a given treatment was considered as the experimental unit. Normality and homogeneity of variance (Shapiro-Wilk test) were tested prior to the analysis. During the training period, the effect of time on heart rate was analyzed by repeated measures ANOVA with PROC MIXED procedure in SAS (SAS, 2010). The model included the fixed effects of training (BOTH and EXERCISE), period (i.e. run 1, 2 and 3 or recovery 1, 2 and 3) and day, and replicate as a random effect. Co-variance structures were tested and selected based on the lowest Akaike's information criterion (AIC). Object (ramp or cone) exploration between treatments was analyzed using a chi-square test and the ratio ramp exploration/cone exploration was compared using a 2 sample t-test. A correlation analysis was used to evaluate the effect of time on the frequency of interaction with the cone and the ramp for RAMP and BOTH pigs during the training. During the test, heart rate (average of the 3 selected pigs' heart rates), subjective handling and the unloading time were analyzed with the PROC MIXED procedure in SAS (SAS, 2010). Exposure treatment was treated as a fixed effect, while the day effect was considered as random. Tukey-Kramer adjustments were used to compare treatment means. When residual normality was not met, transformations using the BOXCOX procedure in SAS were performed. Behavioural and handling data were summarized as the average for the group of pigs and analysed using either the PROC MIXED model procedure or the Kruskal-Wallis one-way analysis of variance by ranks. When the Kruskal-Wallis test was significant, a Mann-Whitney test was used to compare treatment means. Untransformed LS means and standard errors of the mean (SEM) are reported. A probability level of $P < 0.05$ was chosen as the limit for statistical significance in all tests.

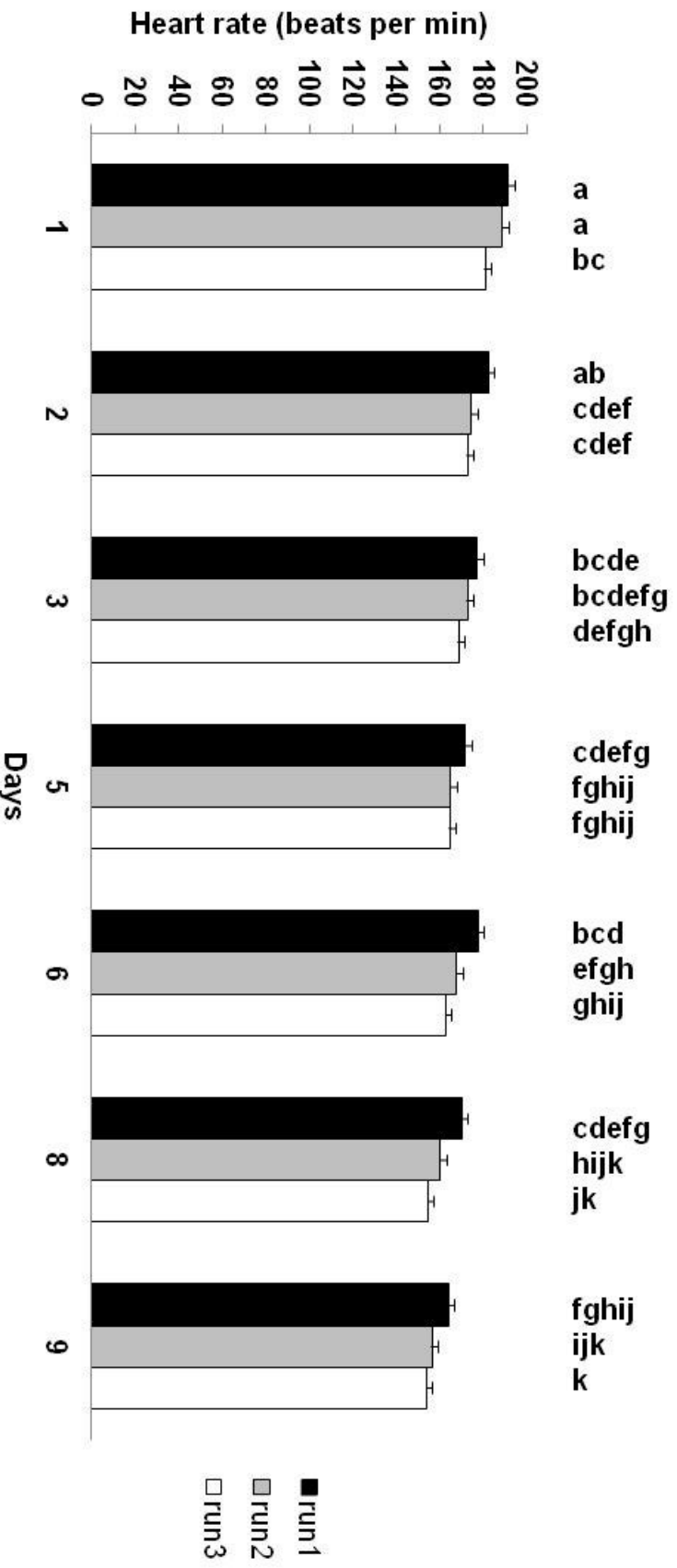
Table 3.1 Definition of behavioural and handling measures

Behaviour	Description
Exploration	<i>Ramp</i> : pig has its four feet on the floor and touches the ramp with its mouth or snout <i>Cone</i> : pig has at least 2 feet on the ramp and touches the cone with its mouth or snout
Vocalizations	A sound (0.5-2 s) of both high amplitude and high frequency produced with an open mouth.
Back up	Pig backs up at least 2 steps.
Balks	Pig refuses to walk or stops for longer than 2 s.
Handling	Description
Touch	Making contact with the pig's back or side with a paddle when the paddle is not lifted above the height of the pen sides.
Slap	Making contact with the pig's back or side with a paddle when the paddle is raised above the height of the pen sides before making contact.
Push	Handler puts pressure on pig with her body or a board (> 2 s).
Noise	<i>Voice</i> : the handler talks in order to encourage the pigs to move. <i>Paddle</i> : Handler hits the wall or the floor with the paddle to make a noise (rattle) in order to encourage the pigs to move.

3.3 RESULTS

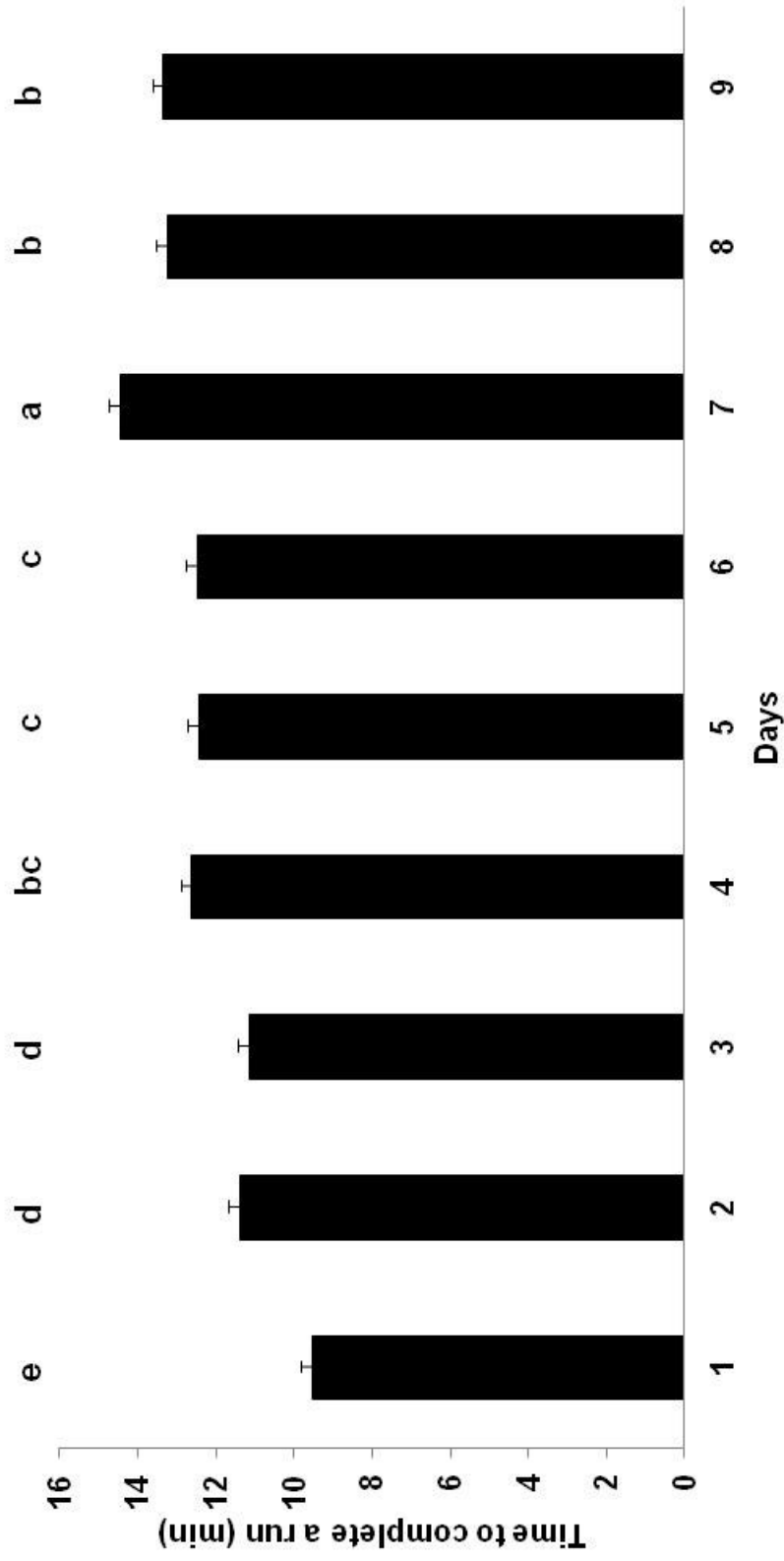
3.3.1 Physical Training

During exercise, there were no effects of treatment ($P > 0.05$) or interactions between treatment and run ($P > 0.05$), treatment and day ($P > 0.05$) or between treatment, run and day ($P > 0.05$) on HR, while the interaction between day and run was significant ($P = 0.004$; Figure 3.2). Heart rate was greater during run 1 compared to run 2 on days 2, 6 and 8, during run 1 compared to run 3 on days 1, 2, 6, 8 and 9 and during run 2 compared to run 3 on day 1 (Figure 3.2). The time to complete the course was the greatest during run 3, the lowest during run 1 and intermediate during run 2 (13.4, 11.1 and 12.5 s, respectively; SEM: 0.2; $P < 0.001$,; data not shown). There was a day effect ($P < 0.001$), with time to complete a run increasing over days, reaching the peak on day 7 (Figure 3.3). During the recovery period, there was a significant effect of treatment on heart rate with BOTH pigs having a greater ($P = 0.007$) HR during the recovery period than the EXERCISE pigs (136.2 ± 3.4 and 127 ± 3.4 beats/min, respectively). There were no interactions between treatment and recovery ($P > 0.05$), treatment and day ($P > 0.05$) or between treatment, recovery and day ($P > 0.05$) on HR, while the interaction between day and recovery was significant ($P < 0.001$). For recovery 1, HR on day 1 was greater than on days 5, 8 and 9, while the other days were not different from one another (Figure 3.4). For recovery 2, HR on day 1 was greater than on days 6, 8 and 9, while the other days were not different from each other. For recovery 3, HR on days 1, 2, 3 and 5 was greater than on days 8 and 9. Heart rate did not differ between recovery 1 and recovery 2, while it differed between recovery 3 and recovery 1 or recovery 2 on day 8.



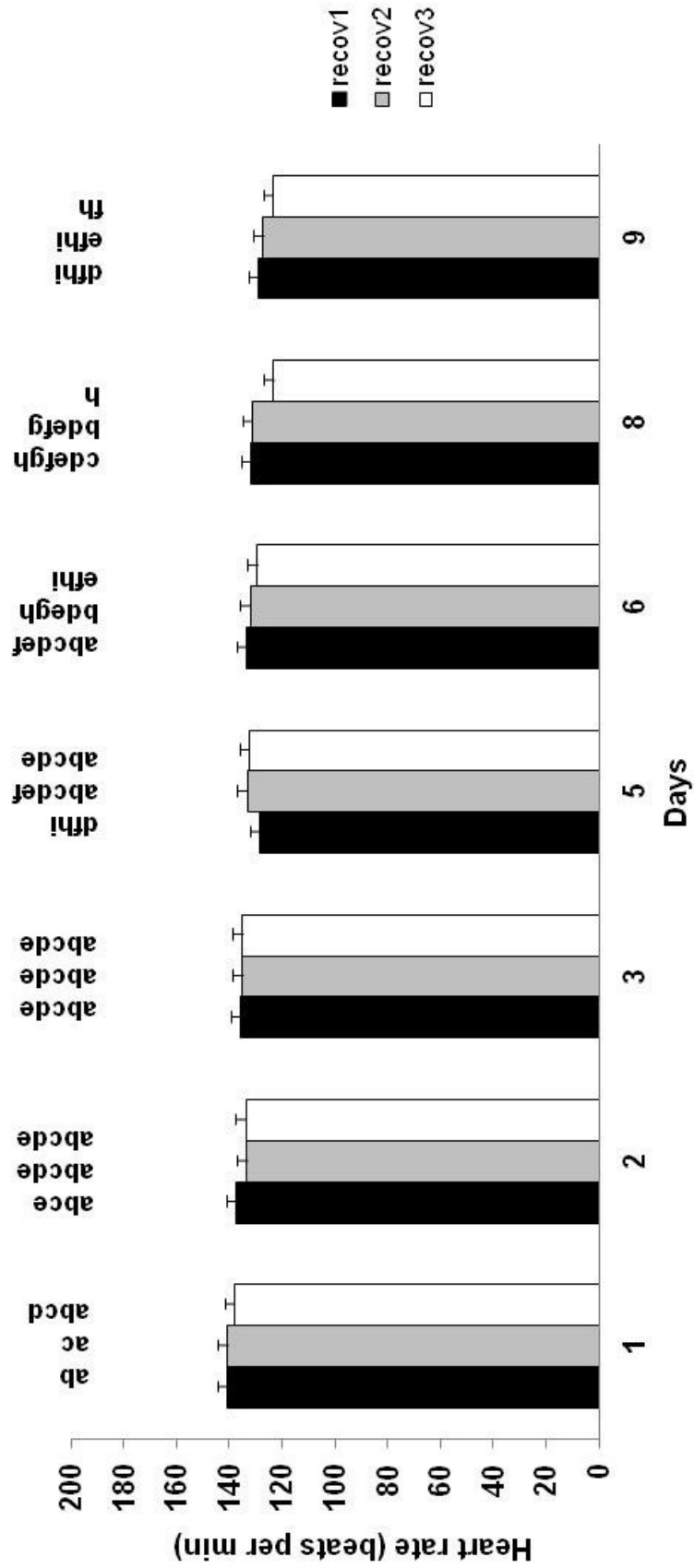
^{a-d} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 3.2 Effect of the interaction between time and run period (run 1, 2 and 3) on heart rate during the training period for EXERCISE and BOTH pigs



^{a-e} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 3.3 Effect of days on time to complete a run during training period for EXERCISE and BOTH pigs



^{a-i} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 3.4 Effect of the interaction between time and recovery period (recov 1, 2 and 3) on heart rate during the training period for EXERCISE and BOTH pigs

3.3.2 Psychological Training

The identity of the object explored during the training period was dependent on the treatment ($P < 0.001$). RAMP pigs explored the cone (Co) more frequently than the ramp (Ra; ratio Ra/Co = 0.4 ± 0.1 ; $P = 0.021$; data not shown), whereas BOTH pigs touched the cone almost as frequently as the ramp (ratio Ra/Co = 1.2 ± 0.2 ; $P > 0.05$; data not shown). On average, RAMP pigs touched the ramp 295 ± 35.4 times and the cone 761.0 ± 112.0 times, while BOTH pigs touched the ramp 188.7 ± 25.5 times and the cone 174.7 ± 39.9 times throughout the training period. As showed in Figure 3.5, there was a decrease in the number of contacts with the cone and with the ramp for BOTH ($P = 0.006$ and $P = 0.004$, respectively) and RAMP pigs ($P < 0.001$ and $P = 0.019$, respectively) over time.

3.3.3 Simulated Loading

3.3.3.1 Heart Rate Measurements

The increase in the handler's heart rate was not affected by treatments ($P > 0.05$; Table 3.2). Pigs exposed to EXERCISE and BOTH treatments had a lower ($P = 0.012$ and $P = 0.003$, respectively) increase in HR due to handling in the BP and on the ramp compared to CON and RAMP pigs, which were not different from each other ($P > 0.05$; Table 3.2). During the first 10 min after loading, RAMP pigs had the greatest ($P > 0.05$; Table 3.2). During the first 10 min of recovery, RAMP pigs had the greatest ($P = 0.011$) decrease in HR compared to EXERCISE, BOTH and CON pigs, which were not different ($P > 0.05$). The overall increase rate was the lowest ($P = 0.019$) for CON pigs, while it was greater for BOTH and EXERCISE compared to RAMP pigs (Table 3.2).

3.3.3.2 Behaviour Measurements

In the BP, the number of balks was the lowest ($P = 0.040$) in EXERCISE pigs, greater in CON than RAMP and EXERCISE pigs but similar ($P > 0.05$) in BOTH and RAMP or CON groups. No significant differences between treatments were

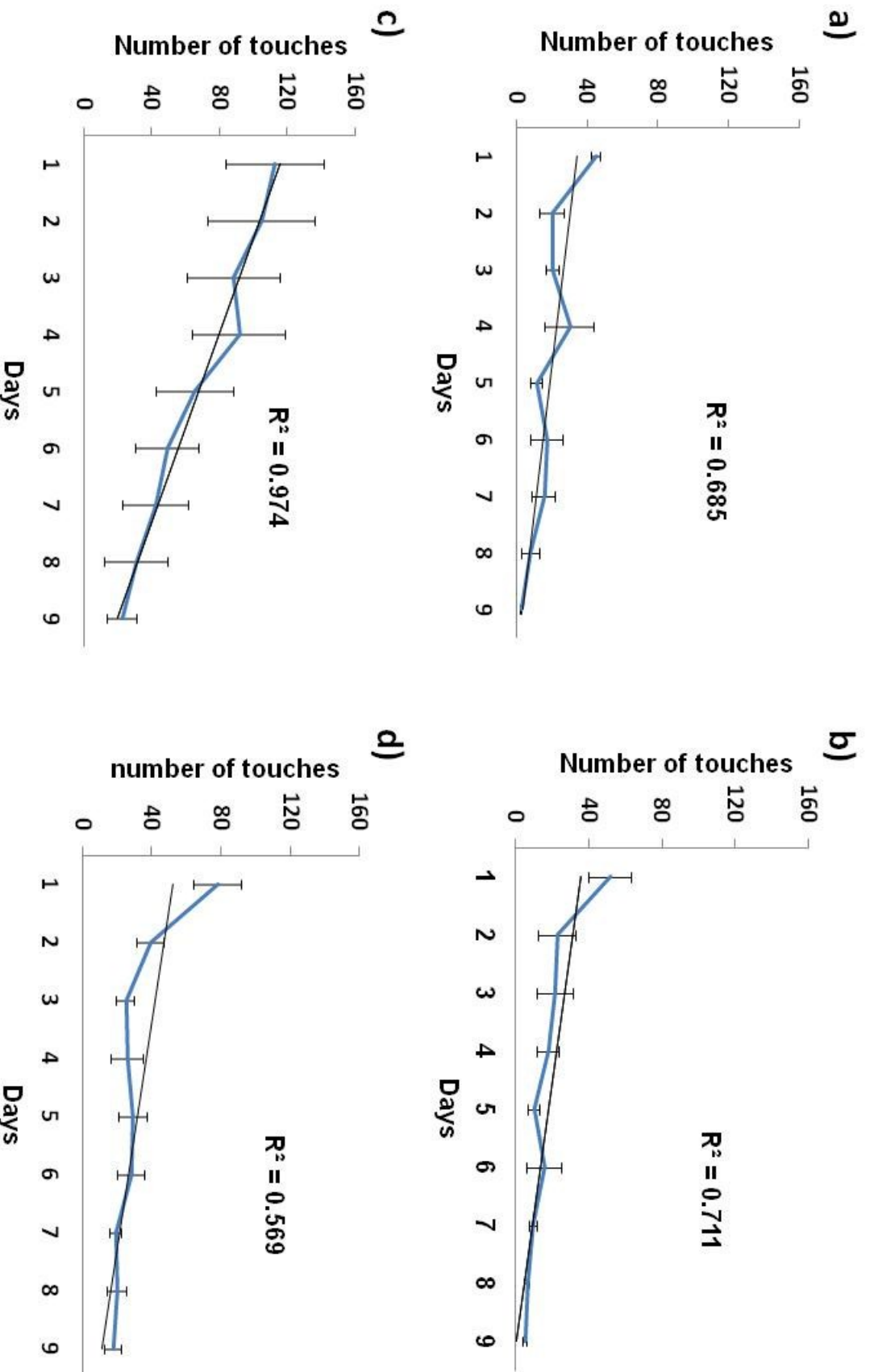


Figure 3.5 Effect of time on the frequency of interaction with the cone (a: BOTH; c: RAMP) and the ramp (b: BOTH; d: RAMP) during the training periods (with R^2 being the coefficient of determination)

found for the other behaviours in the BP and for all behaviours on the ramp either ($P > 0.05$; Table 3.2).

3.3.3.3 Ease of Handling

Handling score and time to load the first pig of the group did not differ among treatments ($P > 0.05$ for both; Table 3.2). In the bottom pen, the frequencies of slaps/touches and pushes were the lowest ($P = 0.047$ and $P = 0.043$, respectively) when pigs were on the EXERCISE treatment, while the other treatments did not differ between each other ($P > 0.05$; Table 3.2). The use of the voice and of the paddle to make noise did not differ among treatments either ($P > 0.05$; Table 3.2). On the ramp, the use of the paddle to make noise was significantly lower ($P = 0.044$) in CON and EXERCISE pigs compared to RAMP and BOTH pigs (Table 3.2). There were no differences among treatments in the use of the voice, and in the frequency of touches, slaps and pushes ($P > 0.05$ for all; Table 3.2).

3.4 DISCUSSION

The objective of this study was to determine whether altering the pig's prior experience through repeated physical exercise and prolonged exposure to a loading ramp could help reduce the behavioural and physiological responses to simulated loading. The results of this study show that EXERCISE pigs were less reluctant to move and required less handling compared to the other treatments and that their cardiac response was lower than the response of RAMP and CON pigs when moved to the ramp. This suggests that prior handling alone contributed to the ease of handling. Decreases in heart rates for BOTH and EXERCISE pigs were observed during the exercise and the recovery periods during training. This observation could be explained by a better cardiovascular condition (Chorbajian, 1971; Bouchard, 1997). In the present study, it was hypothesized that modifications may occur in the cardiovascular (i.e. an enhanced ability to increase

Table 3.2 Effects of training treatments on heart rate, pig behaviour and ease of handling during simulated loading procedures

	CON	RAMP	EXERCISE	BOTH	P-value
Heart rate (bpm)^z					
<i>Handler</i>					
In the bottom pen	+34.2 ± 3.1	+31.0 ± 3.1	+27.2 ± 3.1	+26.7 ± 3.1	0.371
<i>Pigs</i>					
In the bottom pen	+33.4 ± 4.6 ^a	+33.2 ± 4.6 ^a	+15.6 ± 4.6 ^b	+19.8 ± 4.6 ^b	0.012
On the ramp	+23.9 ± 2.3 ^a	+25.3 ± 2.3 ^a	+11.5 ± 2.3 ^b	+10.1 ± 2.3 ^b	0.003
First 10 min of recovery	-13.0 ± 6.1 ^b	-36.2 ± 6.1 ^a	-12.9 ± 6.1 ^b	-20.6 ± 6.1 ^b	0.011
Overall increase ^y	+43.8 ± 4.7 ^a	+24.2 ± 4.7 ^b	+13.1 ± 4.7 ^c	+10.2 ± 4.7 ^c	0.019
Behaviour^{x, w}					
<i>In the bottom pen</i>					
Balks	37.2 ± 9.9 ^a	19.5 ± 3.7 ^b	9.5 ± 1.7 ^c	23.0 ± 9.1 ^{ab}	0.040
Back up	5.5 ± 1.5	3.5 ± 0.9	2.0 ± 0.9	2.5 ± 1.3	0.210
Vocalizations	8.7 ± 2.9	8.7 ± 2.7	3.7 ± 1.5	7.7 ± 3.9	0.485
<i>On the ramp</i>					
Balks	10.7 ± 2.3	10.0 ± 3.5	4.2 ± 1.1	6.2 ± 1.2	0.154
Back up	0.5 ± 0.3	1.2 ± 0.2	0.5 ± 0.3	0.7 ± 0.5	0.129
Vocalizations	1.7 ± 0.8	1.7 ± 0.7	0.2 ± 0.2	1.7 ± 1.0	0.422
Handling^{x, w}					
<i>In bottom pen</i>					
Voice	33.5 ± 10.1	26.0 ± 3.5	19.7 ± 3.9	25.5 ± 4.9	0.345
Noise with paddle	100.2 ± 19.6	58.7 ± 16.5	55.5 ± 16.5	60.0 ± 20.3	0.156
Touch/slap	19.7 ± 9.9 ^a	14.0 ± 3.6 ^a	3.7 ± 1.9 ^b	17.5 ± 6.1 ^a	0.047
Push	9.2 ± 4.2 ^a	7.0 ± 3.4 ^a	1.2 ± 0.8 ^b	10.7 ± 4.9 ^a	0.043
<i>On the ramp</i>					
Voice	9.0 ± 3.2	15.2 ± 5.5	10.0 ± 2.8	11.2 ± 5.5	0.726
Noise with paddle	19.7 ± 7.0 ^b	36.0 ± 6.3 ^a	11.7 ± 6.1 ^b	43.0 ± 7.4 ^a	0.044
Touch/slap	3.5 ± 2.3	3.5 ± 1.8	1.2 ± 0.9	8.2 ± 5.6	0.446
Push	9.0 ± 4.4	7.5 ± 1.2	2.2 ± 2.3	2.7 ± 1.7	0.209
SHS^{v, u}	4.6 ± 1.1	3.3 ± 1.1	1.2 ± 1.1	3.1 ± 1.1	0.167
Loading time (s)^u					
First pig	48.7 ± 16.2	37.2 ± 16.2	25.0 ± 16.2	46.5 ± 16.2	0.726
Group	128.2 ± 26.6	108.2 ± 26.6	72.9 ± 26.6	124 ± 26.6	0.390

^z: increase or decrease in heart rate in beats per minute

^y: sum of variation in heart rate in the bottom pen, on the ramp and during the first 10 min after loading

^x: occurrence per loading event

^w: Analyzed using Kruskal-Wallis one-way analysis of variance

^v: Subjective Handling Score (cm; 0cm = very easy; 12cm = very difficult)

^u: Probabilities after Log transformation

^{a-c} Means within a row followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$)

stroke volume) and muscular (i.e. hypertrophy of skeletal and cardiac muscles) systems of the pigs exposed to regular handling, which may result in improved fitness, thereby allowing the animals to navigate to the test area and move up a ramp more easily. According to Lewis et al. (2008), pigs are unlikely to get more fit or conditioned by exercise over a short period. However, in their study, pigs were moved over a short distance (< 100 m) once every day for 7 days, whereas in the present study, training was more intense, with pigs being walked over 400 m, 3 times a day for 9 days. Nonetheless, it is unclear to what extent an increase in fitness helps the pigs to cope with the handling procedure when they are being moved to the ramp. The decrease in heart rate over time during the training period could also be explained by habituation to handling, making pigs better able to cope with the stress of handling during simulated loading. This hypothesis could be confirmed by the decrease in heart rate observed between run 1 and 3 and the increase in time to complete a run, which may have been due to pigs becoming less fearful of the handling course.

Particular care was taken in order to limit any potential variation in the quality of handling among treatments. However, although CON and RAMP pigs were exposed to the same quality of handling as EXERCISE and BOTH pigs (i.e. being moved out of the pen and handled with the same tools as the 2 other groups), they were handled for a shorter duration. Despite the fact that tools and handlers were different between the training sessions and the test, pigs exposed to physical training may have generalized their behavioural response to the handling conditions during training to the simulated loading conditions. Generalization of pig response to stress has been shown by Hemsworth et al. (1994) who found that pigs, in similar handling situations, extend their behavioural response to one handler to other humans. Even if EXERCISE pigs required less human intervention during handling, they were not faster to move. This observation does not confirm the results reported in the literature, which showed that pigs that had the experience of being moved were faster to load into a trailer (Geverink et al., 1998c;

Krebs and McGlone, 2009). In the present study, EXERCISE pigs may have been slow to move because they were less fearful of the handler (Geverink et al., 1998c; Hemsworth et al., 2002). BOTH and EXERCISE pigs perceived the loading procedure as less physically and, maybe, less psychologically challenging than the other 2 groups, as demonstrated by the lower increase in heart rate for those animals compared to CON and RAMP pigs. In addition, they recovered more rapidly during the first 10 min in the top pen.

Nevertheless, despite a cardiac response similar to EXERCISE pigs, BOTH pigs were harder to move during simulated loading. Indeed, they balked and required as much handling as RAMP and CON pigs, the latter being, as expected, more fearful of the ramp and not as physically fit as the other groups. It is worth noting that commercial pigs may be more reactive to handling during loading than pigs in the CON treatment, which were exposed to a minimum handling. Even though BOTH pigs were subjected to the positive effects of physical training, in terms of improved cardiovascular capacities and/or habituation to handling, their previous exposure to the ramp appeared to have made them more difficult to move.

A similar conclusion can be drawn for RAMP pigs that balked less than CON, but required as much handling. It had been hypothesized that pigs would get used to the ramp if it was part of their environment, because allowing animals to investigate a novel object results in a decreased fear towards the object (Grandin, 1997a). The decrease in the number of ramp-oriented behaviours over time likely reflects habituation to the ramp, as it is no longer considered as a novel object (Van de Weerd et al., 2003; Gifford et al., 2007). Lewis et al. (2008) showed that pigs previously exposed to ramps were easier and faster to load and had a reduced heart rate when moved in a handling course. The difference with the results observed in the present study may be explained by the fact that in Lewis et al.'s study (2008), pigs had the experience of being pushed up and down ramps they could cross, whereas in our study, during the training period, pigs previously

exposed to a ramp had voluntary access to a ramp on which they could only make a couple of steps, without ever crossing

In the present experiment, a cone was used to encourage pigs to explore and step on the ramp during the RAMP training. However, the cone may have been considered as an enrichment object, associated with a play situation, and have become a positive reinforcement as described by Skinner (1969), encouraging the animal to walk up the ramp. Using the same method, Krebs and Mcglone (2009) showed that it was easier to load pigs that had been trained by associating a reward (object and odour) to the task of getting on the truck. In the present study, the absence of the cone during the test may have decreased their willingness to go up the ramp. The difficult handling and the frequent occurrences of balking behaviour observed in BOTH and RAMP pigs were then likely to be due to animals stopping in front of the ramp to explore it and look for the cone as they had done during training. Instead, they were pushed towards and onto the ramp, without having any control of the situation. The more frequent use of the paddle when navigating the ramp to move BOTH and RAMP pigs confirms the hypothesis that they were most probably expecting the cone, while EXERCISE and CON pigs crossed the ramp right away. The similar balking behavior between BOTH, CON and RAMP pigs has no clear explanation. The intermediate behavioural response of BOTH pigs may be due to their reduced exploration of the cone and the ramp during training compared to pigs that were not regularly exercised. Indeed, BOTH pigs spent less time in the pen since they were exercising. They may also have been tired from exercise and less prone to interact with the ramp and the cone.

3.5 CONCLUSIONS

This study demonstrated that daily exercise alone contributes to improved ease of handling, reduction in cardiovascular response and helps pigs cope better with a simulated loading. It appears that, in the context of this experiment, prior exposure

to a ramp does not contribute to reduce the stress response at simulated loading. This work confirms that altering the previous experience of the pig may facilitate handling and improve animal welfare. However, further investigations are needed to determine if the decrease in the behavioural and cardiovascular responses reported in this study was due to an improvement in physical fitness or habituation to handling. In addition, more research is required to determine if the use of a ramp in a context which is similar to the real procedure at loading and unloading, i.e. allowing pigs to climb up and down, could reduce the stress of loading and improve the ease of handling.

3.6 ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge with gratitude the financial support of the Alberta Livestock Meat Agency, NSERC, Sask Pork, Alberta Pork, Manitoba Pork Council and Saskatchewan. Agriculture Development Fund. The authors also wish to acknowledge the technical assistance of M. Bouvier.

**CHAPITRE 4. Effets de la durée de transport
sur le comportement, le rythme cardiaque et
la température du tractus gastro-intestinal du
porc d'abattage au cours de 2 saisons**

Ce chapitre a fait l'objet d'un article intitulé : « Effects of transport duration on behavior, heart rate and gastrointestinal tract temperature of market weight pigs in 2 seasons » soumis pour publication dans « Journal of Animal Science ». Les auteurs sont : Sébastien Goumon (candidat au doctorat : participation à la réalisation des travaux expérimentaux, analyse des résultats et rédaction de l'article), Renée Bergeron (directrice de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit), Luigi Faucitano (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Tina Widowski (collaboratrice scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Jennifer Brown (collaboratrice scientifique du projet : conception et planification de l'expérience, correction et révision du manuscrit), Trever Crowe (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Laurie Connor (collaboratrice scientifique du projet : correction et révision du manuscrit) et Harold Gonyou (co-directeur de thèse : supervision scientifique de l'étudiant; conception et planification de l'expérience, correction et révision du manuscrit).

RÉSUMÉ

Cette étude a évalué les effets de trois durées de transport (6, 12 et 18 h) sur le rythme cardiaque, la température du tractus gastro-intestinal (TTG) et le comportement de porcs d'abattage au cours de leur transport et attente avant l'abattage et ce; en été et en hiver, dans l'ouest du Canada. Il a été montré que les porcs ont passé moins de temps couchés en hiver qu'en été pendant le transit. Un rythme cardiaque plus rapide en hiver qu'en été et une TTG plus élevée chez les porcs transportés pendant 18 h en hiver ont été mesurés à la fin du transit. À l'abattoir, les porcs transportés pendant 18 h en hiver ont plus bu et ont mis plus longtemps pour se coucher que les autres groupes. En conclusion, sous les conditions climatiques de l'Ouest canadien, les transports longs (18 h) par températures froides semblent être plus néfastes pour le bien-être du porc.

Mots-clés: bien-être, durée, porcs, saisons, stress, transport

Effects of transport duration on maintenance behavior, heart rate and gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs in 2 seasons

S. Goumon, J. A. Brown, L. Faucitano, R. Bergeron, T. M. Widowski, T. Crowe, M. L. Connor and H. W. Gonyou

ABSTRACT

Welfare and meat quality of market weight pigs may be negatively affected by transport duration and environmental temperatures, which vary considerably between seasons. This study evaluated the effects of 3 transport durations (6, 12 and 18 h) on the physiology and behavior of pigs in summer (SUM) and winter (WIN) in western Canada. Market-weight pigs were transported using a pot-belly trailer at an average loading density of 0.375 m² / 100 kg. Four replicates of each transport duration were conducted during each season. Heart rate (HR) and gastrointestinal tract temperature (GTT) were monitored from loading to unloading in 16 pigs from 4 selected trailer compartments (n = 96 groups, total of 384 animals, BW = 120.8 ± 0.4 kg), namely top front (C1), top back (C4), middle front (C5) and bottom rear (C10). Behavior was recorded for pigs (948 and 924 animals, in summer and winter, respectively) in C1, C4 and C5 during transportation (standing: St, sitting: Si, lying: Ly) and during 90 min in lairage (Si, Ly, drinking and latency to rest) for pigs in all 4 compartments. Transport was split into 7 periods: loading, pre-travel (PT), initial travel (IT), pre-arrival 1 (PA1) and 2 (PA2), unloading and lairage. During IT and PA2, pigs spent significantly less time lying in WIN than in SUM ($P < 0.05$ and $P < 0.05$, respectively). During PA1, PA2 and unloading, a greater ($P < 0.001$) HR was found in pigs transported in WIN compared to SUM. During PA2, pigs subjected to the 18 h transport treatment in WIN had a greater ($P < 0.05$) GTT than the other groups. In lairage, pigs transported for 18 h in WIN drank more ($P < 0.001$) and took longer to rest ($P < 0.01$) than pigs from other groups. During PA1, pigs transported for 18 h had the greatest GTT ($P < 0.001$). At unloading, pigs transported for 6 h had the lowest GTT ($P < 0.001$). In lairage, pigs transported for 18 h spent less time lying than those transported for 6 h or 12 h ($P < 0.001$). These results suggest that in winter, pigs increased their metabolism and were reluctant to rest on cold floors. Pigs transported for 18 h in winter showed greater evidence of thirst. It may be concluded that under western Canadian climatic conditions, long transports (18 h) in cold weather appear to be more detrimental to pig's welfare. Further research is needed to improve the design of Canadian trucks with the objective to protect pigs from cold stress during long distance transportation.

Key words: duration, pigs, season, stress, transportation, welfare

4.1 INTRODUCTION

With the consolidation of the slaughter industry (Warriss, 1994), more pigs are being killed in fewer but larger slaughterhouses, leading to an increase in transport distances and durations (Carlsson et al., 2004; Marchant-Forde and Marchant-Forde, 2009). Journey duration may have a negative influence on welfare (Lambooy and van Putten, 2000; Bench et al., 2008a), meat quality (Leheska et al., 2002; Perez et al., 2002a) and in extreme cases on the mortality rate (Warriss, 1998a; Averós et al., 2008) of market pigs. Long transports (> 8 h), but also short transports (< 3 h) have been reported to be detrimental (Brown et al., 1999a; Werner et al., 2007). The effects of transport duration on pork quality and pig welfare may vary depending on environmental temperatures. During transport, pigs may be exposed to a large variation in temperatures, which differ considerably between regions and seasons (Lewis and Berry, 2006; Brown et al., 2011). Mortality during transport has been linked to weather condition in slaughter pigs (Warriss, 1998a; Haley et al., 2008). Both cold (Dalla Costa et al., 2007; Ritter et al., 2008a) and heat stress (Dewey et al., 2006; Sutherland et al., 2009) may have detrimental effects on mortality and welfare of pigs.

Swine transport conditions in Canada are highly variable in terms of distance travelled and seasonal changes in temperature. Hence, it may be considered as an ideal location to assess the effects of transportation on pig welfare. The aim of the present study was to determine the effects of transport duration on some behavioral and physiological parameters, comparing a short, a moderate and a long transport time, under Canadian commercial conditions in both summer and winter. This study was part of a larger study in which pig's blood parameters and meat quality were also evaluated (Brown et al., 2012; Seddon et al., 2012).

4.2 MATERIALS AND METHODS

All experimental procedures performed in this study were approved by the University of Saskatchewan's Animal Research and Ethics Board and adhered to the Canadian Council on Animal Care guidelines for humane animal use (Canadian Council on Animal Care, 2009).

4.2.1 Animals and treatments

A total of 5,040 crossbred market-weight pigs of the same genetic (Large White x Landrace sows and Duroc boars) and fed the same diet (3220 Kcal/kg, 15% proteins) during finishing, were transported from 2 commercial finishing farms to a commercial slaughter plant in Manitoba in the summer (July 2010) and winter (January-February 2011) seasons. Pigs were randomly distributed into 3 transport duration treatments: 6, 12 or 18 h in both seasons. Four replicates of each transport duration were conducted during each season over 4 weeks ($n = 96$ groups). A summary of the climatic conditions on the truck is shown in Table 4.1. The average ambient temperatures throughout the transport were 22.9 ± 1.7 °C [12.5 to 40.1 °C] in summer and -14.3 ± 1.7 °C [-28.8 to 1.9 °C] in winter. The trucks were pot-belly types (tri-axle, natural ventilation, same air suspension) transporting 210 pigs on 3 decks distributed into 10 compartments (Figure 4.1). The truck was bedded with 10 bags of wood shavings in summer and 8 bags of shaving and 9 bags of straw in winter. The side panels were open 100 % in the summer, and 10 % in the winter.

A sub-sample of 384 animals (16 castrated male pigs/truck, 4 pigs from each of 4 compartments; $BW = 120.8 \pm 0.4$ kg) was randomly selected for the physiological study. They were transported in the 4 compartments (4 pigs/compartment), namely top front (C1), top back (C4), middle front (C5) and rear bottom (C10) (Figure 4.1), which were shown to be the most detrimental to meat quality and animal welfare in previous studies using the same trailer model (Torrey et al., 2013a; Faucitano et

Table 4.1 Descriptive statistics for average temperatures (°C) encountered on the truck over each period

	Loading	Pre-travel	Initial travel	P1	P2	Pre-arrival 1	Pre-arrival 2	Unloading	SEM	P-value
Summer										
Temperature	26.2 ^a	27.0 ^a	27.3 ^a	30.3 ^a	25.2 ^a	20.5 ^b	20.1 ^b	22.9 ^{ab}	2.0	<0.001
Range (min/max)	14.6 / 34.2	16.8 / 34.1	15.6 / 35.1	23.2 / 38.2	18.2 / 35.1	13.7 / 29.2	14.2 / 33.6	17.7 / 36.6		
Winter										
Temperature	0.7 ^c	9.9 ^a	5.3 ^b	-0.2 ^c	-1.8 ^c	-2.2 ^c	-0.8 ^c	4.1 ^b	1.6	<0.001
Range (min/max)	-28.1 / 20.6	3.5 / 20.5	-9.9 / 22.6	-15.5 / 12.6	-16.5 / 18.7	-14.0 / 18.1	-15.0 / 15.6	-9.4 / 19.6		

^{ab} Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

al., 2010b; Correa et al., 2012). All pigs in these 4 compartments (928 and 924 animals, in summer and winter, respectively) were used in behavioral observations during lairage, while the behaviour of pigs in C1, C4 and C5 was observed during transport. Before transport, animals were housed in fattening pens holding approximately 20 barrows and gilts. Pigs transported for 18 h were off feed for approximately 24 h before slaughter whereas those transported for 6 and 12 h were off feed for about 20 h. Loads travelling to slaughter for 18, 12 and 6 h left the farm at respectively 1300, 1900 and 0100 h. Each load consisted of unmixed pigs from the same farm and transported on the same truck. The different loads were transported by 3 different drivers, who were randomly assigned to transport duration treatments each week.

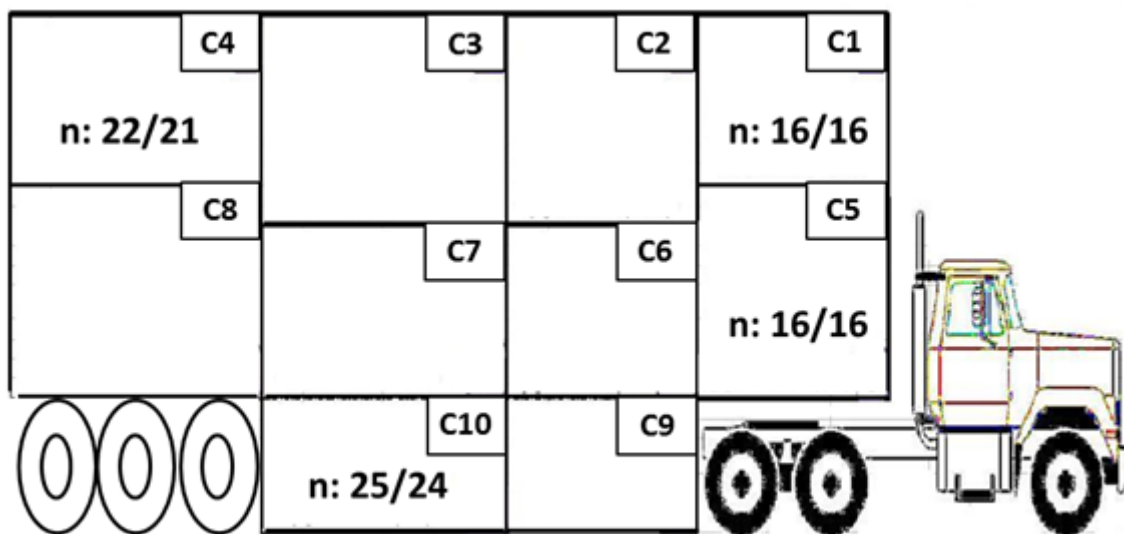


Figure 4.1 Compartment distribution of the pot-belly trailer (Cx: identification of the compartment; n: number of pigs loaded in a given compartment in summer/winter)

The average space allowance on the truck was 0.37 m² / 100 kg in summer and 0.38 m² / 100 kg in winter. In C1 and C5, load density was lower (0.39 m² / 100 kg, respectively) than in the other compartments, especially in summer, because Canadian trucking companies typically underload front compartments and overload rear compartments to balance weight on axles. Pigs were loaded (loading order: C9, 10, 5, 6, 7, 1, 2, 4, 3, 8), in single file, in groups of approximately 10 animals through a ramp within the barn into the truck. On the truck, pigs being moved to the upper deck (C1 and C4) had to walk up an internal ramp. Pigs moved to the middle deck (C5) only had to use the external ramp to be loaded. Finally, pigs loaded onto the rear compartment of the “belly” (C10) had to walk down an internal ramp. Throughout the loading procedure, pigs were handled by barn staff and drivers using plastic boards. Drivers and barn staff used electric prods under exceptional circumstances such as moving reluctant pigs. The different loads arrived at the slaughter facility and were unloaded at 30-min intervals in a random, predetermined order beginning at 0630 h. Pigs were unloaded from their respective compartments in the reverse order of loading. Staff had only access to paddles during unloading. Pigs from C1 and C4 and from C5 and C10 were grouped (n = 40) at unloading and moved to holding pens in lairage. Pigs were provided ad libitum access to water and held for approximately 150 min before slaughter.

4.2.2 Data collection

For each load, physiological or behavioral (or both) variables were monitored in the animals over 7 periods: loading, pre-travel, initial travel, pre-arrival 1, pre-arrival 2, unloading and lairage. Data were collected during 2 additional periods during transport for the 18 h loads (P1 and P2) (see Table 4.2 for definition).

Table 4.2 Definition of the experimental periods of transport

Periods	Definition
Loading	When pigs were being loaded in the truck at the farm (approx. 1 h)
Pre-travel (PT)	A 20 min period after loading, while the truck is still at the farm dock
Initial travel (IT)	First 90 min after departure from the farm
P1*	90-150 min after departure from the farm
P2*	510-570 min after departure from the farm
Pre-arrival 1 (PA1)	210-150 min prior to arrival at the plant
Pre-arrival 2 (PA2)	A 30 min period before truck arrives at dock at the plant
Unloading	When the whole truck was being unloaded
Lairage	A 90 min period when pigs were held in lairage pens

* Only measured in 18 h transports

4.2.2.1 Physiological measures

4.2.2.1.1 Heart rate.

Heart rate was recorded using Polar© heart rate monitors (Team Polar, Polar Electro Canada Inc., Quebec, QC, Canada), at 5-s intervals from loading to unloading. Heart rate monitors were inserted into the protective pouch of a rubber belt that was fitted around the pig's chest. The pigs' thoracic regions were shaved and a lubricant gel was applied to the sensors to ensure connection was maintained with the pigs' skin. Heart rate monitors were installed 4 h before loading to prevent interference between handling and the experimental results. After being belted, pigs were returned to their pen waiting to be loaded. Belts were removed immediately after unloading. Data were downloaded and the average heart rate for each pig was determined for each of the experimental periods up to and including unloading. Because the monitors had a limited recording period, pigs wearing monitors in the 18 h transport were split into two sets of 2, with one set recording for the first part of the trip and the other set recording for the second half.

4.2.2.1.2 Gastrointestinal tract temperature.

Gastrointestinal tract temperature (GTT) was monitored every minute from loading to lairage using the iButton data logger (High Resolution Thermochron iButton DS1921H, 1°C accuracy (-40°C/+85°C), Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, CA). For oral administration (4h before loading) of the iButton data loggers, each pig was snared and a heavy gauge metal “pig gag” was inserted between its jaws to hold them open. A balling gun loaded with the iButton was then inserted as far back into the pig’s mouth as possible, and the iButton was ejected. The pig was then released and monitored for 30 s to ensure that the iButton had been swallowed. After slaughter, the viscera were removed on the processing line and the loggers were recovered from the stomach (92.8 %), caecum (5.5 %) or intestines (1.7 %) of each pig by gross dissection. The overall recovery rates of the iButtons were 84.4 % and 75.5 % for summer and winter trials, respectively. Average temperatures for each pig were determined for each experimental period. A temperature drop of more than 2 °C during lairage was considered indicative of drinking, and such temperatures were excluded from the calculations.

4.2.2.2 Behavioral observations

4.2.2.2.1 Behavior on the truck. During transportation, behavior was recorded using digital cameras (Pentax Optio W90 12.1 MP, Mississauga, ON, Canada), mounted on the side of 3 of the compartments of interest (C1, C4 and C5) and programmed to take pictures at 5-min intervals. The cameras were mounted in such way as to maximize the view of the compartments. No cameras were installed in C10 due to the lower height of the compartment. The percentage of animals within view that were standing, sitting or lying was recorded from the departure until the arrival at the slaughterhouse. Some data were lost due to camera failure, particularly during the winter trials. Data for each compartment were summarized for each experimental period as the average percentage of pigs observed in the 3 postures.

4.2.2.2.2 Lairage behavior. Behavior during lairage was recorded by direct observation for 90 min beginning when the pigs entered the pen. Scan sampling was used at 5-min intervals to determine the number of pigs sitting, lying and drinking. The latency to rest was also determined as the time to when at least 50% of the pigs were lying. Data for the entire period were summarized as the average percentage of pigs in each of the 4 categories.

4.2.2.3 Truck measures

From departure to arrival, temperature was monitored every 5 min, inside and outside the trailer, using iButton data loggers (DS1923 Hygrochron Temperature/Relative Humidity Logger, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ / 5% RH accuracy (-55°C / $+100^{\circ}\text{C}$), Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, CA, USA) hung up 5 cm below the ceiling of each compartment and the side mirrors of the truck (ambient temperature). Some ambient temperature data recorded in winter were lost due to extreme weather conditions.

4.2.3 Statistical Analysis

This study was carried out as a $2 \times 3 \times 4$ factorial arrangement of the following treatments: 1) season (summer vs. winter), 2) transport duration (6, 12 and 18h) and 3) compartment (C1, C4, C5 and C10) to evaluate the impact of these factors on physiological and behavioral variables. It should be noted that the seasonal replicates were not true replicates of each season, but rather pseudo replicates, because they were performed within the same year. However, data were collected under a range of climatic conditions that are representative of each season in the Brandon area (Theweathernetwork, 2012). Normality and homogeneity of variance (Shapiro-Wilk test) were tested before the analysis. A Proc Mixed procedure in SAS (v9.2, SAS, 2010. Cary, NC, USA) with season, transport duration and compartment within truck as fixed effects and week within season as a random effect, was performed to analyze the data for each experimental period. An additional analysis was conducted on data from 18 h loads collected during P1, P2

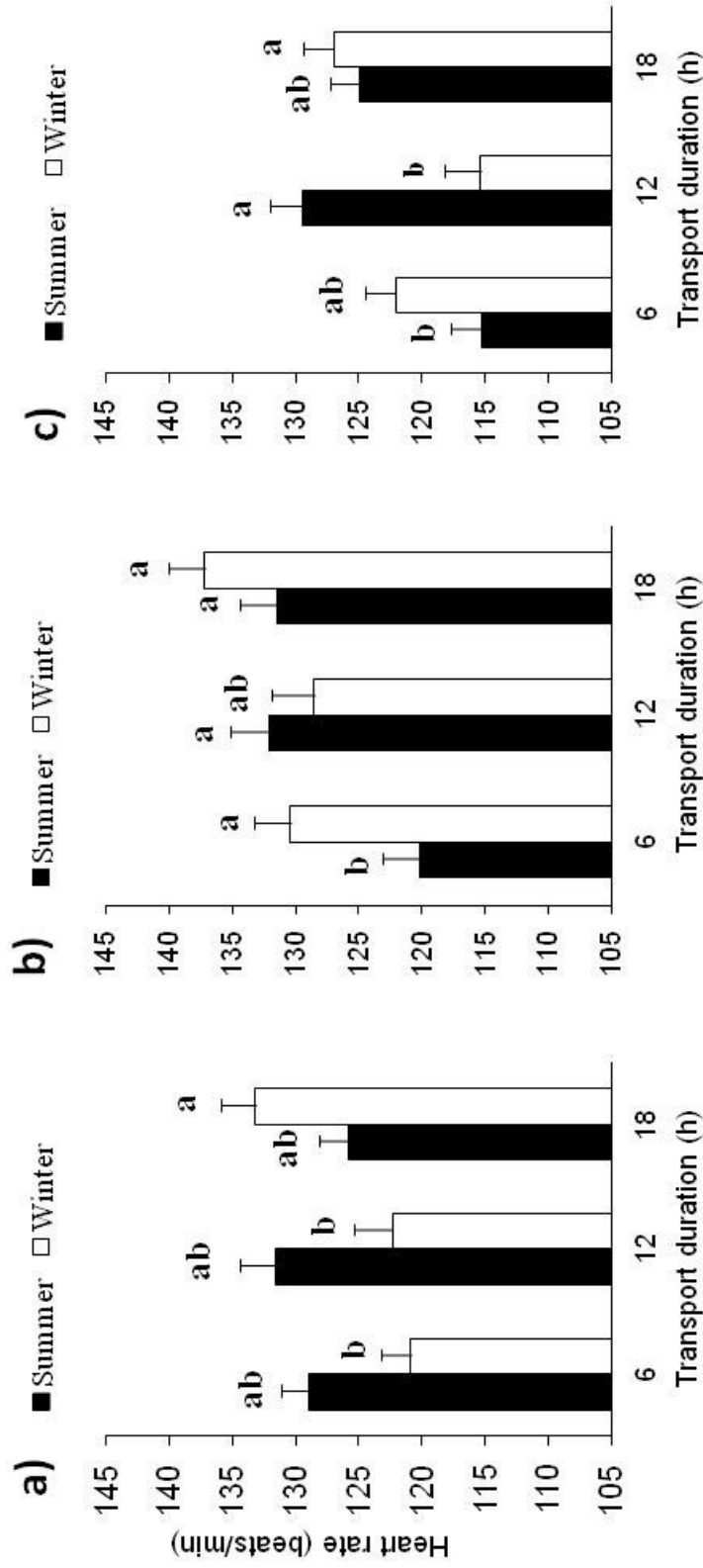
and PA1 as repeated measures. Tukey-Kramer adjustments were used to compare treatment means. When residual normality was not met, transformations using the BOXCOX procedure in SAS were performed. When normality could not be reached with transformations, non parametric statistics (Kruskal Wallis test) were used. Untransformed LS means and standard errors of the mean (SEM) are reported.

4.3 RESULTS

4.3.1 Loading

4.3.1.1 Physiology. Pigs loaded in preparation for an 18 h transport had a greater ($P = 0.006$) heart rate (133.2 ± 2.7 beats/min) than the ones being loaded for the 6 and 12 h transports (122.3 ± 3.1 and 120.9 ± 2.3 beats/min, respectively) in winter (Figure 4.2). There were no differences between transport durations in the summer. The location in the truck where pigs were loaded had no effect on heart rate (C1: 128.2, C4: 123.2, C5: 128.1 and C10: 129.0 beats/min, SEM: 2.3; $P > 0.05$). An interaction between season and transport duration (Figure 4.3) influenced GTT as well, with pigs being loaded to be transported for 12 h in summer (40.33 ± 0.07 °C) having a greater ($P < 0.001$) GTT temperature than the ones being loaded for a 6 h or 18 h transport (39.8 ± 0.1 and 39.6 ± 0.1 °C, respectively) in the same season. No variations in GTT were found in winter. Pigs being loaded into compartment 4 (39.5 ± 0.1 °C) tended to have a lower ($P = 0.052$) GTT than pigs loaded into compartment 10 (39.7 ± 0.1 °C).

4.3.1.2 Truck temperature. In summer, the temperature recorded when pigs on the 6 h transport duration treatment were loaded (21.6 ± 0.9 °C), was lower ($P < 0.001$) than the 12 and 18 h transport duration treatments (29.8 ± 0.9 and 27.2 ± 0.9 °C, respectively). There were no differences in truck temperature at loading between transport duration in winter (average temperature over this period in Table 4.1).



^{a,b} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 4.2 Mean heart rates and effects of the interaction between season and transport duration on heart rate (a) at loading ($P < 0.01$), (b) pre-travel (PT) ($P < 0.05$), and (c) during the first 90 min of the trip (IT) ($P < 0.001$)

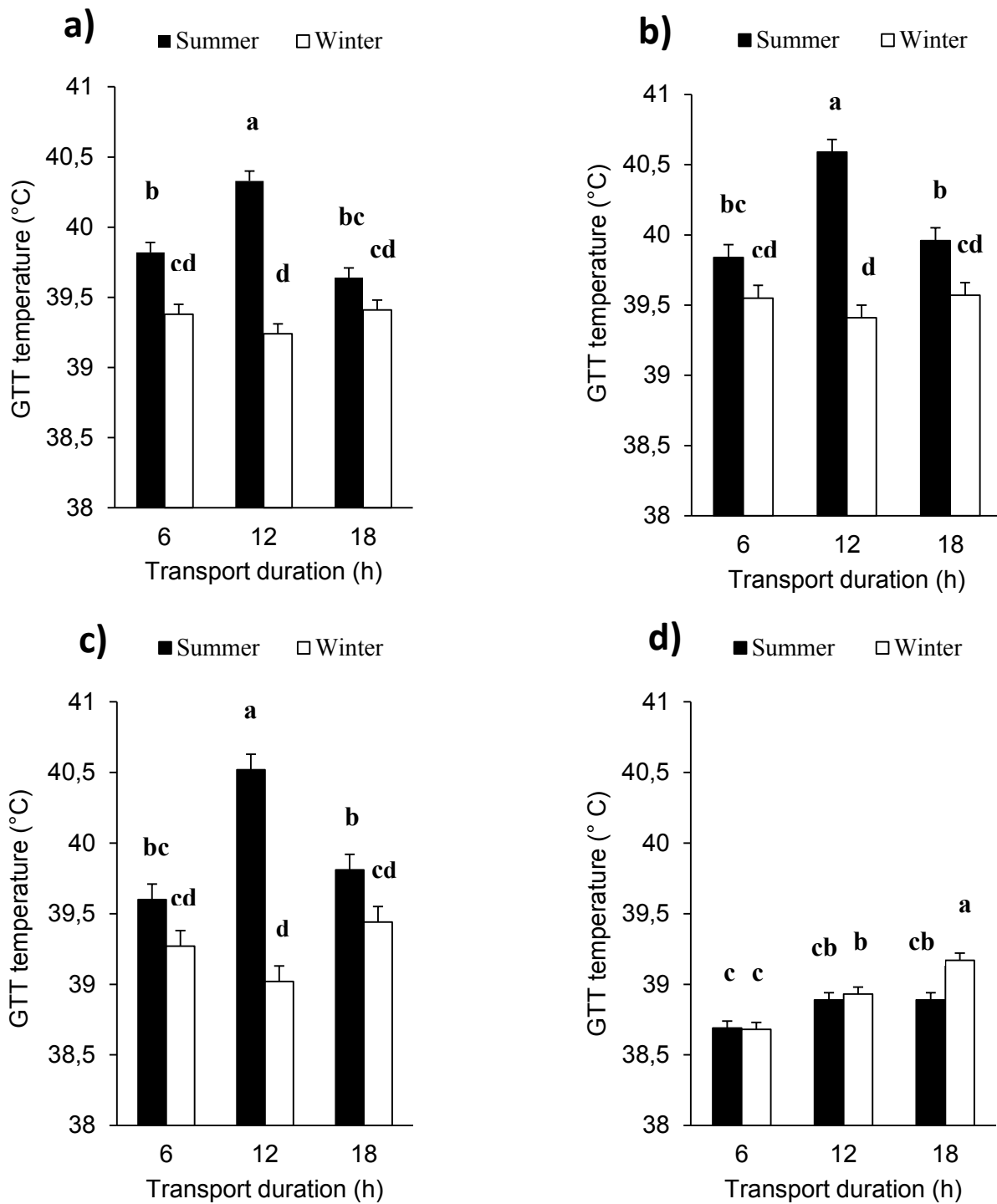
4.3.2 Pre-travel

4.3.2.1 Physiology. There was an interaction between season and transport duration for the heart rate data (Figure 4.2), with pigs on the 18 and 12 h treatments in summer (131.5 ± 2.9 and 132.1 ± 2.9 beats/min, respectively) having a greater ($P = 0.048$) heart rate compared to pigs on the 6 h treatment (120.2 ± 2.9 beats/min), whereas no differences between transport durations were observed in the winter. Pigs loaded in the C4 (136.1 ± 2.5 beats/min) had a greater ($P = 0.004$) heart rate than those loaded in C5 (124.1 ± 2.5 beats/min). There was an interaction between season and duration for the GTT (Figure 4.3), with pigs loaded to be transported for 12 h in summer (40.6 ± 0.1 °C) having a greater ($P < 0.001$) GTT than the pigs on the 6 h and 18 h treatments (39.8 ± 0.1 and 40.0 ± 0.1 °C, respectively). The GTT of pigs loaded to be transported in winter did not differ between transport duration treatments. There were no effects ($P > 0.05$) of compartment on this variable (C1: 39.8, C4: 39.8, C5: 39.8 and C10: 39.9, SEM: 0.1).

4.3.2.2 Truck temperature. In summer, the truck temperature was lower ($P < 0.001$) when 6 h loads (22.3 ± 0.8 °C) were waiting at the farm compared to the 12 h and 18 h transport duration treatments (30.1 ± 0.8 and 28.6 ± 0.8 °C, respectively). There were no differences in truck temperature between transport duration in winter (average temperature over this period in Table 4.1).

4.3.3 Initial travel

4.3.3.1 Physiology and behavior. In the summer, pigs loaded to be transported for 12 h (129.5 ± 2.5 beats/min) had a greater ($P < 0.001$) heart rate than pigs loaded to be transported for 6 h (115.3 ± 2.4 beats/min), while in the winter pigs on the 12 h transport treatment (115.4 ± 2.8 beats/min) had a lower heart rate than pigs on the 18 h transport treatment (127.0 ± 2.4 beats/min; Figure 4.2). Heart rate varied according to the compartment location on the truck, with pigs loaded in C4 (127.1 ± 2.1 beats/min) having a greater ($P = 0.021$) heart rate than those loaded



^{a-d} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 4.3 Mean gastrointestinal tract temperature and effects of the interaction between season and transport duration on gastrointestinal tract temperature (a) at loading ($P < 0.001$), (b) pre-travel (PT) ($P < 0.001$), (c) during the first 90 min of the trip (IT) ($P < 0.001$) and (d) Pre arrival 2 (PA2) ($P = 0.022$)

in C1 and C5 (119.3 ± 2.1 and 119.1 ± 2.1 beats/min, respectively). In summer, pigs on the 12 h transport treatment (40.5 ± 0.1 °C) had a greater ($P < 0.001$) GTT than those transported for 6 h and 18 h (39.6 ± 0.1 and 39.8 ± 0.1 °C, respectively; Figure 4.3). No differences between transport duration treatments were found in the winter. Compartment had no influence ($P > 0.05$) on this variable (C1: 39.5, C4: 39.7, C5: 39.5 and C10: 39.7, SEM: 0.1). In winter, pigs were standing up significantly more, were lying down and sitting less than in summer ($P = 0.011$). Behavior also differed by compartment (Table 4.4), with pigs transported in C4 standing up more than those transported in C1 and lying down less, compared to pigs travelling in C5 and C1 ($P = 0.005$ and $P < 0.001$, respectively). There were no effects of transport duration on behavior during initial travel (Table 4.4).

4.3.3.2 Truck temperature. In summer, the truck temperature was lower ($P < 0.014$) during the first 90 min of transport for the 6 h loads (23.2 ± 0.8 °C) than the 12 and 18 h loads (29.5 ± 0.9 and 29.3 ± 0.9 °C, respectively). There were no differences in truck temperature between transport duration in winter (average temperature over this period in Table 4.1).

4.3.4 Pre-arrival 1

Pigs transported in winter had a greater ($P < 0.001$) heart rate than in summer (Table 4.3). Heart rate tended to differ by transport duration ($P = 0.086$), with pigs subjected to the 18 h transport treatment tending to have a greater heart rate than those subjected to the 6 h treatment (Table 4.3). The location in the truck also tended to have an effect on heart rate, with pigs transported in C10 being more inclined to have a greater heart rate than those transported in C1 ($P = 0.077$; Table 4.3). Pigs on the 18 h transport treatment had a greater ($P < 0.001$) GTT temperature than the ones on the 6 h or 12 h treatments (Table 4.3). There were no effects of season or compartment on this variable in this transport phase (Table 4.3). Behavior in this phase was only influenced by the duration of transport, with pigs on the 18 h transport treatment sitting less (Table 4.4) than those on the 6 h and 12 h treatments ($P = 0.012$).

Table 4.3 Effects of season, transport duration and compartment on mean heart rate (HR, beats/min) and gastrointestinal tract temperature (GTT, °C) of slaughter pigs, during transport to a slaughterhouse in conventional “pot-belly” trucks in western Canada

Periods	Season (S)		Transport duration (TD)						Compartments (C)				P-value			
	Summer	Winter	SEM	6h	12h	18h	SEM	1	4	5	10	SEM	S	TD	C	S*TD
Pre-arrival 1	107.1 ^b	117.4 ^a	1.8	108.3	113.4	115.1	2.3	107.2	111.5	114.2	116.1	2.6	<0.001	0.086	0.077	0.515
HR Pre-arrival 2	98.8 ^b	119.3 ^a	1.6	105.8	109.8	111.5	1.9	103.3 ^b	109.9 ^{ab}	110.5 ^{ab}	112.4 ^a	2.3	<0.001	0.113	0.038	0.210
Unloading	94.0 ^b	104.8 ^a	2.3	99.8	103.8	94.7	2.7	93.1 ^b	102.2 ^{ab}	97.4 ^{ab}	105.0 ^a	3.0	<0.001	0.069	0.036	0.137
Pre-arrival 1	39.0	38.9	0.04	38.8 ^b	38.9 ^b	39.2 ^a	0.05	38.9	38.9	38.9	39.0	0.1	0.201	<0.001	0.299	0.101
GTT Unloading	38.8	38.8	0.04	38.7 ^b	38.9 ^a	38.9 ^a	0.07	38.8	38.8	38.9	38.8	0.1	0.758	<0.001	0.798	0.261
Lairage	39.0	38.9	0.03	38.8 ^b	39.0 ^{ab}	39.0 ^a	0.04	38.9	38.9	39.0	39.0	0.1	0.549	0.026	0.534	0.274

C1: front , C4: top back , C5: middle front and C10: rear bottom

^{a,b} Within a row and for each factor, means without a common superscript differ ($P < 0.05$).

There were no significant interactions between S and C or TD and C

Table 4.4 Effects of season and transport on the maintenance behavior* of slaughter pigs, during transportation to a slaughterhouse in conventional “pot-belly” trucks in western Canada

	Season (S)		Transport duration (TD)				Compartment (C)				P-value				
	Summer	Winter	6h	12h	18h	SEM	1	4	5	10 ¹	SEM	S	TD	C	S*TD
<i>Initial travel</i>															
Standing	40.4 ^b	51.7 ^a	3.0	52.0	44.3	41.8	3.8	36.8 ^b	55.0 ^a	46.3 ^{ab}	3.7	0.011	0.128	0.005	0.301
Sitting	22.5 ^a	17.7 ^b	1.8	18.6	18.2	23.3	2.2	20.5	20.3	19.2	2.1	0.043	0.138	0.886	0.483
Lying	32.2 ^a	20.0 ^b	3.0	21.2	30.8	26.3	3.7	36.5 ^a	14.9 ^b	26.9 ^a	3.6	0.005	0.199	<0.001	0.247
<i>Pre-arrival 1</i>															
Standing	15.5	22.0	10.0	26.6	19.7	10.0	10.2	8.2	18.0	30.0	9.5	0.533	0.384	0.227	0.949
Sitting	17.3	17.7	3.6	21.9 ^a	22.4 ^a	8.1 ^b	3.8	14.3	22.3	15.9	3.6	0.923	0.012	0.264	0.142
Lying	64.7	50.5	11.9	45.2	51.6	76.0	12.3	72.5	53.8	46.6	11.6	0.272	0.117	0.242	0.659
<i>Pre-arrival 2</i>															
Standing	10.9	21.6	11.4	25.2	6.5	17.1	11.2	12.4	14.5	21.9	10.6	0.389	0.432	0.781	0.821
Sitting	12.8	17.7	3.2	14.4	15.0	16.3	3.2	12.3 ^{ab}	21.1 ^a	12.3 ^b	3.6	0.155	0.901	0.042	0.508
Lying	74.4 ^a	49.6 ^b	11.9	52.7	74.7	58.6	12.6	70.2	57.8	57.9	12.1	0.041	0.118	0.242	0.380

*: Analyzed using non parametric statistics

^{a,b} Means, within a row and for each factor, with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹No data available for this compartment

There were no significant interactions between S and C or TD and C

C1: front , C4: top back , C5: middle front and C10: rear bottom

4.3.5 Pre-arrival 2

Pigs transported in winter had a greater ($P < 0.001$) heart rate than in summer (Table 4.3). Heart rate also differed by the location of truck compartments, with pigs transported in the C10 having a greater ($P = 0.038$) heart rate than the ones in C1 (Table 4.3). Heart rate did not differ between transport duration treatments (Table 3). In winter, pigs subjected to the 18 h transport treatment (39.2 ± 0.1 °C) had a greater ($P = 0.022$) GTT (Figure 4.3) than the ones subjected to a 6 h or 12 h treatment (38.7 ± 0.1 and 38.9 ± 0.1 °C, respectively) in the same season. The GTT did not differ between transport duration treatments in the summer and there were no compartment effects (Table 4.3). Pigs were lying down less in winter than in summer and were sitting more when transported in C4 than in C5 ($P = 0.041$ and $P = 0.042$, respectively; Table 4.4). There were no transport duration effects on this variable in this transport phase.

4.3.6 Unloading

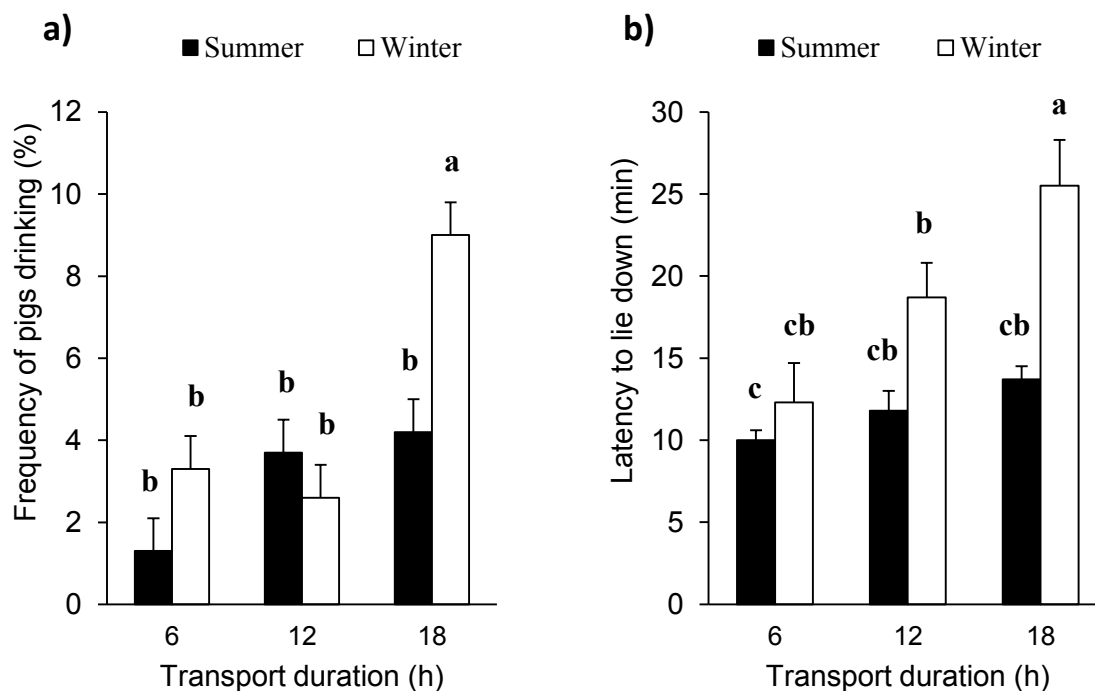
4.3.6.1 Physiology. Pigs had a greater ($P < 0.001$) heart rate in winter than in summer (Table 4.3). Pigs transported for 12 h had a tendency to have a greater ($P = 0.069$) heart rate than those transported for 18 h (Table 4.3). Pigs unloaded from C10 showed a greater ($P = 0.036$) heart rate than those from C1 (Table 4.3). Pigs transported for 6 h had the lowest GTT ($P = 0.026$; Table 4.3). There were no season nor compartment effects on this variable at unloading.

4.3.6.2 Unloading time. It took longer ($P < 0.001$) to unload pigs out of C10 (96.9 ± 11.6 s) than out of C5 or C1 (46.7 ± 11.6 and 62.6 ± 11.8 s, respectively) (data not shown). Season and transport duration did not influence unloading time.

4.3.7 Lairage

Pigs transported for 18 h had a greater ($P = 0.026$) GTT than those transported for 6 h (Table 4.3). Neither season nor compartment influenced GTT during lairage (Table 4.3). There was an interaction between season and transport duration for

drinking behavior (Figure 4.4), with pigs submitted to the 18 h transport treatment in winter drinking more (9.0 ± 0.8 %) than the pigs travelling for 6 h or 12 h (3.3 ± 0.8 and 2.6 ± 0.8 %, respectively; $P < 0.001$). Lairage behavior did not differ between transport duration treatments in the summer. There was an interaction between season and duration ($P < 0.032$; Figure 4.4) for latency to rest, with pigs transported for 18 h in winter (25.5 ± 2.8 min) taking more time to lie down than the ones travelling for 6 and 12 h (12.3 ± 2.4 and 18.7 ± 2.1 min, respectively). The compartment location did not affect lairage behavior (Table 4.5).



^{a-c} Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Figure 4.4 Effects of the interaction between season and transport duration on (a) drinking behavior ($P < 0.001$) and (b) latency to lie down ($P < 0.05$) in lairage

Table 4.5 Effects of season and transport on the behavior* of slaughter pigs, during lairage after transportation to a slaughterhouse in conventional “pot-belly” trucks in western Canada

	Season (S)		Transport duration (TD)				Compartment (C)			P-value				
	Summer	Winter	SEM	6h	12h	18h	SEM	1 ¹	5 ²	SEM	S	TD	C	S*TD
Sitting	1.9	2.0	0.4	1.5	1.8	2.6	0.4	1.9	2.0	0.4	0.715	0.372	0.764	0.472
Lying	72.2	71.9	2.5	78.2 ^a	74.2 ^a	63.8 ^b	2.5	73.9	70.2	1.9	0.889	<0.001	0.192	0.228
Drinking	3.1	5.0	0.4	2.3	3.2	6.6	0.5	4.0	4.0	0.4	<0.001	<0.001	0.990	<0.001
Latency to rest	11.9	19.5	3.0	11.2	15.8	19.6	2.5	14.4	16.3	2.0	0.002	0.009	0.519	0.032

*: Analyzed using non parametric statistics

^{a,b} Means, within a row and for each factor, with different superscripts differ ($P < 0.05$).

There were no significant interactions between S and C or TD and C

¹Pigs from compartments 1 and 4 were mixed; ² Pigs from compartment 5 and 10 were mixed

Table 4.6 Temporal changes in measures of physiology and behavior* of pigs transported for 18h in summer and winter

Period (P)	Summer				Winter				P-Value	
	P1	P2	PA1	P1	P2	PA1	SEM	P	P	P*S
HR ¹ (beats/min)	120.0 ^a	114.4 ^{ab}	108.0 ^b	122.0 ^{ab}	118.8 ^{ab}	122.1 ^{ab}	4.0	0.025	0.019	
GTT ² (°C)	39.7 ^a	39.6 ^a	39.1 ^b	39.1 ^b	39.0 ^b	39.2 ^b	0.02	0.404	0.024	
Standing (%)	21.4 ^a	13.8 ^a	8.9 ^a	49.6 ^b	14.2 ^a	14.3 ^a	9.3	<0.001	0.047	
Lying (%)	49.8 ^a	67.1 ^a	76.7 ^a	16.6 ^b	62.3 ^a	68.9 ^a	10.2	<0.001	<0.001	

*: Analyzed using non parametric statistics

1: Heart rate; ² Gastrointestinal tract temperature

P1: period 1; P2: period 2; PA1: pre-arrival 1

^{a,b} Means, within a row and for each factor, with different superscripts differ ($P < 0.05$)

There were no significant interactions between S and C

4.3.8 Comparisons across periods in pigs transported for 18h

In summer, pigs had a greater ($P < 0.05$) heart rate during P1 than Pre-arrival 1 and a lower ($P < 0.05$) GTT in Pre-arrival 1 than in P1 and P2 (Table 4.6). There were no significant period effects in winter for either variable. In winter, pigs stood more and lay down less in P1 than in P2 and Pre-arrival 1 ($P < 0.05$; Table 4.6). There were no significant period effects of behavioural variables during the summer trials.

4.4 DISCUSSION

Transport duration effects were found for heart rate and gastrointestinal tract temperature before the different transport duration treatments were applied (loading, pre- and initial travel periods). The greater heart rates at loading in pigs on the 18 h treatment in winter may be explained by the fact that those pigs were loaded during the day, in contrast to those on the 12 and 6 h treatment which were loaded after sunset. Pigs can be reluctant to move forward during the day because of bright lights and shadows on the way to the truck, whereas at night, lights are effective for attracting pigs into trucks or trailers (Grandin, 1990). The differences in heart rate found at loading in the summer or during pre-travel or initial travel in both seasons remain unexplained. Results regarding body temperature indicate that during the beginning of the transport process (loading, pre and initial travel periods), pigs on the 12 h transport treatment always had the highest GTT in summer, while there were no effects in winter. The results may be explained by circadian rhythms of body temperature and heart rate (Ingram and Dauncey, 1985) along with loading and fasting time differences. The difference observed between the pigs on the 6 h transport treatment and those on the 12 h transport treatment may be due to the greater GTT measured on the truck at loading and during pre-travel and initial travel periods. It is unclear why pigs on the 18 h transport treatment, which had been fasted for a shorter time before loading compared to those on the 12 and 6 h transport treatment, did not have the highest gastrointestinal tract temperature due to an increased metabolism (Van Milgen et al., 2000). Several other factors such as diurnal changes in metabolism (Verstegen et al., 1986), fatigue of handler (Hill, 2005; Ritter et al., 2005) and individual driver differences (Peeters et al., 2008), may help to

explain initial variations between transport duration treatments. While the differences between treatment groups towards the end of transport were no longer the same as those in the initial periods, potential carry over effects can not be entirely ruled out.

Results on pig behavior on the truck show that pigs may have suffered from exposure to cold temperatures. During the initial travel and the pre-arrival 2 periods, a lower percentage of pigs was observed lying down in winter than in summer (19 vs. 31% and 46 vs. 68% respectively). This observation is similar to those made by Peeters et al. (2008) and Torrey et al. (2013a), who found that pigs spent more time standing during transport at low temperatures. Quantification of lying behavior is often used as a diagnostic tool to assess thermal conditions (Randall et al., 1983; Geers et al., 1986). In winter, pigs adopt postures which tend to reduce the functional surface area for heat loss (Montieth and Mount, 1974; Mount, 1975; Schmidt-Nielsen, 1983). In the present experiment, the aluminum floor may have been too cold in winter for the pigs to be able to comfortably lie down, despite the presence of wood shavings. Anecdotally in this study, pigs with frost bites and marks on their body were noted at the slaughterhouse when the carcass scoring was performed. It may be assumed that those pigs were not able to rest properly and may have suffered greater physical stress and fatigue, due to standing for a prolonged time (Knowles and Warris, 2000). A lower percentage of pigs lying down was observed in pigs transported for 18 h in P1 than in P2 and pre-arrival 1 in winter. This result shows that, in spite of the cold floor, pigs progressively lay down.

The lower proportion of pigs lying down in winter than in summer may be associated with the greater heart rate measured during the pre-arrival 2 period as changes in posture have been associated with changes in heart rate. In sheep for instance, Baldock et al. (1988) showed that heart rate was $8 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ lower when lying than when standing. In addition, standing is a very costly exercise in pigs compared to other farm animals. Noblet et al. (1993) reported that the energy requirement for the standing posture in pigs is 2 times greater than for lying down. At unloading, heart rate was also found to be greater in winter than in summer, possibly due to a carry over effect from the preceding period. However, the reason why heart rate

measured in winter was not different from heart rate measured in summer during the initial travel period remains unclear.

In addition to their effect on postures, cold temperatures may have also increased pig's metabolism. Like heat stress (Kadzere et al., 2002; Huynh et al., 2004), cold stress has been found to induce an increase in metabolism (Holmes and Mount, 1967; Freund and Young, 1995; Van Ooijen et al., 2004). Temperatures encountered in winter were below the thermo-neutral zone of market weight pigs (10-21 °C, Agriculture and Agri-Food Canada, 1993) and greater GTT were found in pigs transported for 18 h in winter compared to those transported for 6 and 12 h in the same season, while there were no effects in summer. Pigs transported for 18 h in winter were exposed to cold for a longer time than the other treatments. Indeed, the interaction between season and transport duration suggests that a long exposure to cold may have induced an increase in thermogenesis. Supporting our results, Tamminga et al. (2009) also found that pigs had a greater gastrointestinal tract temperature during transport in winter.

Looking specifically at pigs within the 18 h treatment, summer transport heart rates were greater at the beginning of transport than at the end. This may be explained by the greater internal trailer temperatures encountered early in the transport process during summer. This difference in trailer temperature may also explain why the GTT of these pigs was lower at the end of transport. In addition, pigs had been fasting for a longer period of time, which may have decreased the GTT (Bertol et al., 2005).

During the pre-travel period, pigs loaded into C4 showed the highest heart rates, and this may be due to the extra handling required to access this compartment, as pigs were required to climb a ramp and make a 90° turn. Later on (initial travel), pigs in C4 did not seem to have settled down yet during the initial travel period since they lay down less and had a greater heart rate than those in C5 and C1. This may be explained by the loading order since pigs loaded in C4 were the last group loaded among the compartments of interest and thus these pigs were still under the effects of loading

stress at the time of departure. At unloading, pigs unloaded from C10 took longer to exit the truck than those unloaded from C5 and C1. It may be assumed that unloading from C10 was more difficult than from the 2 others compartments, because of the ramp leading to this compartment (Goumon et al., 2011).

In lairage, pigs transported for 18 h in winter drank more than any other group. These animals spent 9% of the time drinking, while the other groups spent between 1 and 4% (6 and 12 h), respectively. Greater drinking behavior may reflect a greater state of thirst as there is evidence that pigs become dehydrated after a prolonged transport (Warriss et al., 1983; Brown et al., 1999a). An increase in water intake has also been reported in other animals (i.e. rats) exposed to cold (Fregly and Waters, 1966; Fregly et al., 1976). Several factors may be responsible for dehydration during cold exposure. Cold air contains significantly less water than warmer air at an even or a lower humidity level and may cause respiratory water losses through breathing (Brebbia et al., 1957; Freund and Young, 1995). An increase in metabolism in winter may have also contributed to dehydration since respiratory water losses increase with metabolic rate (Freund and Young, 1995). Cold exposure has also been reported to increase diuresis and reduce blood and plasma volume (Bazett et al., 1940; Young, 2007) in a number of mammalian species, including rats (Itoh, 1954; Broman et al., 1998) and humans (Hynynen et al., 1993). The greater drinking behavior observed in pigs transported for 18 h in winter may have also been stimulated by food deprivation (24 h), which might have been more challenging since pigs were put off feed in the early morning and for 4 extra hours. A higher drinking rate in long-term fasted pigs (24 h) was also reported by Brown et al. (1999a) and Saucier et al. (2007). Beattie et al. (2002) showed that pigs which were deprived of food for 20 h were hungry. In contrast to warm temperatures, cold temperatures usually stimulate appetite and the increase reflects the metabolic demands of the animal (Holmes and Mount, 1967; Jensen et al., 1969). Thus, the higher drinking rate may be related to hunger (Yang et al., 1981, 1984).

In lairage, pigs transported for 18 h were found to lie down less than those transported for 6 or 12 h. In addition, in winter, those pigs took more time to rest than the

other groups. Increases in physical activity due to reduced feeding level (Cariollet and Dantzer, 1984; Susenbeth and Menke, 1991) and cold exposure (Gordon et al., 2000) have been reported. The lower percentage of lying behavior and the greater latency to rest is likely to be directly due to their drinking behavior. Since they spent more time drinking than the other groups, they were not observed lying down.

4.5 CONCLUSIONS

The results of the present study show that, under western Canadian climatic conditions, exposure to cold temperatures can make pigs reluctant to lie down on trucks and lead to an increase in metabolism and a greater state of thirst, which are accentuated during long transports. Further analyses of the related hormonal and meat quality data will shed more light on this hypothesis. The present study highlights the importance of using appropriate bedding and ventilation in winter and providing adequate water access after unloading. Further research is needed to improve the design of Canadian trucks with the objective of protecting pigs from cold stress during long distance transportation.

4.6 ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge with gratitude the financial support of NSERC, Alberta Pork, Sask Pork, Manitoba Pork and Ontario Pork. The authors also wish to acknowledge the technical assistance of F. Lang, M. Bergoli Scheeren and M. Bouvier.

**CHAPITRE 5. Effet de la période de repos sur la
récupération suite à un exercice répété chez le
porc d'abattage**

Ce chapitre a fait l'objet d'un article intitulé : « Effect of rest interval on recovery from repeated exercise in near market-weight pigs » soumis pour publication dans « Journal of Animal Science ». Les auteurs sont : Sébastien Goumon (candidat au doctorat : planification et réalisation des travaux expérimentaux, analyse des résultats et rédaction de l'article), Jennifer Brown (collaboratrice scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Luigi Faucitano (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Renée Bergeron (directrice de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit), Trever Crowe (collaborateur scientifique du projet : correction et révision du manuscrit), Laurie Connor (collaboratrice scientifique du projet : correction et révision du manuscrit) et Harold Gonyou (co-directeur de thèse : supervision scientifique de l'étudiant, correction et révision du manuscrit).

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est d'évaluer l'effet de la durée de repos (35, 75 ou 150 min) après une première exposition à un agent stressant (manipulation et exercice), sur la réponse au stress et l'état de récupération (rythme cardiaque et respiratoire, la température corporelle et postures) après une nouvelle exposition au même agent stressant chez le porc d'abattage. Lorsque les animaux ont eu le temps de récupérer (période de 75 min), une seconde exposition au stress n'a généralement pas d'effets négatifs sur les animaux. Alors que doubler la période de récupération n'a pas eu plus d'effets bénéfiques, la réduire de moitié a contribué à rendre les animaux plus sensibles au stress pendant le second exercice et période de récupération. Ces résultats montrent l'importance de la durée de la période de repos et soulignent que si les animaux ne peuvent pas se reposer de manière appropriée après une période de stress, alors une prochaine exposition à ce même stress conduira à une réponse physiologique et comportementale plus importante.

Mots-clés: exercice physique, exposition successive, porc, récupération, stress

Effect of rest duration on recovery from repeated exercise in near market-weight pigs

S. Goumon, J. A. Brown, L. Faucitano, R. Bergeron, T. Crowe, M. L. Connor and H. W. Gonyou

ABSTRACT

The process of transportation can be seen as a succession of stressors, from which pigs may not have time to recover before slaughter. The aim of this study was to determine the extent to which the duration of the resting time given to near-market weight pigs after an initial exposure to exercise affected their recovery from subsequent exercise. Eighteen groups of 3 gilts were exercised (Ex_1) through a standard handling course, including two 19° ramps, and then held in a holding pen for either 35 (RT_{35}), 75 (RT_{75}) or 150 (RT_{150}) min (rest period 1, RP_1). Afterwards, pigs were exercised a second time (Ex_2) and left to rest for 150 min. Recovery from Ex_2 (rest period 2, RP_2) was assessed using measures of heart rate (HR), respiratory rate (RR), skin temperature (ST) and posture. Repeated measures and regression analysis were used to analyze the data. For RT_{75} pigs, there were no detrimental effects of Ex_2 on HR, RR and handling time ($P > 0.05$, for all) during the exercise and recovery periods. ST during Ex_2 was greater than ST during Ex_1 ($P < 0.001$), while ST during RP_1 did not differ from ST during RP_2 ($P > 0.05$). Doubling the resting period did not provide any more beneficial effects in regards to RR and HR ($P > 0.05$ for both) during Ex_2 and RP_2 compared to RT_{75} pigs, as shown by the similar latencies to recover for these 2 variables. However, ST did not increase between exercises and RT_{150} pigs required less time to complete the handling course during Ex_2 . The results show that a lack of rest after an initial exposure to exercise made pigs more susceptible to stress during Ex_2 and RP_2 as demonstrated by greater ($P < 0.001$; for all) HR, RR and ST during RP_2 compared to RP_1 and Ex_2 compared to Ex_1 . When given more than 35 min to rest during RP_2 , RT_{35} pigs eventually recovered. Latencies of recovery for HR, ST, RR and posture were all greater ($P < 0.05$ for HR, ST and RR, and $P < 0.001$ for posture) than those obtained for RT_{75} and RT_{150} pigs. This study highlights that if pigs are not initially given enough rest to recover from exercise, a subsequent exposure to the same exercise will cause an increase in these physiological stress during exercise and recovery. Further research is needed to investigate factors contributing to the quality of rest, with a particular focus on conditions not allowing a proper rest on the truck or in lairage.

Key words: exercise, pigs, successive exposure, recovery, stress

5.1 INTRODUCTION

Giving pigs the opportunity to recover from transport stress is crucial from meat quality and welfare standpoints (Warriss, 2003). Loading has been shown to be one of the most stressful steps of the transport process (Grandin, 1997a). After loading, animals are exposed to additional stressors associated with transport, such as vibrations (Perremans et al., 2001), careless driving (Peeters et al., 2008) and crowding (Warriss, 1998b), which may affect the quality of rest during transit. Afterwards, the positive effects of any recovery during transport may be counteracted by the stress of unloading (Torrey et al., 2013b). Ritter et al. (2009b) have demonstrated that concurrent stressors occurring during transport had an additive effect on body and carcass temperature, blood acid-base balance and lactate values in market-weight pigs. Inadequate recovery times from the stress of loading at the farm (Chevillon, 2001b), on the truck (Pilcher et al., 2006) or at the abattoir (Warriss, 2003) have been shown to have a negative impact on pig meat quality and welfare. The issue of the lack of recovery during transport may be illustrated by the case of fatigued pigs, which represent a significant portion of transport losses (Benjamin, 2005). Although the majority of fatigued pigs will recover if given enough time to rest (2-3 h), further exposure to stressful events may lead to death in these animals (Ritter et al., 2009b). The extent to which the physiology and behavior of pigs subjected to multiple stressors is affected by rest duration is still unclear. The objective of this study was, therefore, to investigate the effects of the duration of recovery time from an initial exposure to stress (i.e. handling and exercise) on the subsequent stress response and recovery of near-market weight pigs to a second stress exposure. The hypothesis is that an appropriate resting period will help pigs cope better with the succession of stressors to which they are exposed during transport.

5.2 MATERIALS AND METHODS

All experimental procedures performed in this study were approved by the University of Saskatchewan's Animal Research and Ethics Board and adhered to the Canadian

Council on Animal Care guidelines for humane animal use (Canadian Council on Animal Care, 2009).

5.2.1 Animals and treatments

This study was undertaken at the Prairie Swine Centre Inc. (Saskatoon, SK, Canada). Over 6 replicates, 18 groups of 3 gilts ($n = 54$; cross between a L-42 sow and a 337 boar, PIC line), weighing approximately 110 kg, were randomly allocated to one of 3 treatments, consisting of resting periods of either 35 min (RT_{35}), 75 min (RT_{75}) or 150 min (RT_{150}). Within each replicate, the 3 treatments were randomly distributed over 3 consecutive days. The resting durations, respectively, corresponded to 0.5, 1 or 2 times the duration of a full recovery time (FRT, 75 ± 11.4 min) from exposure to a standard handling course (Figure 5.1). Durations were chosen to expose the animals to a lack (35 min) of recovery or a full recovery (75 min). A duration of 150 min was chosen to verify if a longer duration of rest would help pigs cope with a second exercise period. The FRT was determined in a preliminary study (at an ambient temperature ranging from 18.5 to 21.9 °C, data not shown), in which it was determined that, for pigs exposed to our handling course, cardiac, respiratory, thermal and behavioral (posture) variables returned to baseline levels after resting periods of 18, 15, 75 and 55 min, respectively. Before testing, pigs were not subjected to any handling besides weighing, or previously exposed to a ramp. Gilts were housed in groups of 12 animals at a space allowance of 0.72 m²/ 100 kg.

5.2.2 Procedures

Before each test, pigs were moved out of their home pen into a hallway. Pigs had been fasted for approximately 6 h before being tested. Each test pig was restrained between 2 gates, shaved, fitted with a heart rate monitor belt and marked on the back using spray paint. Test pigs were selected using an Open Door Test (adapted from Brown et al., 2009) a week before the trial. This test was used in order to assess heart rate across various coping strategies (proactive, intermediate and reactive). Just before performing

the test, a person entered the home pen to mark the pigs from one to ten in order to identify them during the test. The pen door was then opened by the observer from a distance of 1 m away from the pen entrance. Over a 3-min period, pigs were free to leave the pen and go into a hallway. For each pig, the latency to get out of the pen (hind feet crossing the entrance of the pen) was recorded. Pigs received a rank (from one to ten) according to their latency to exit. Pigs that did not exit the pen got the maximum latency (180 s), and scored as last (rank 10). The first, fifth and the last pig were selected to be fitted with the heart rate monitors.

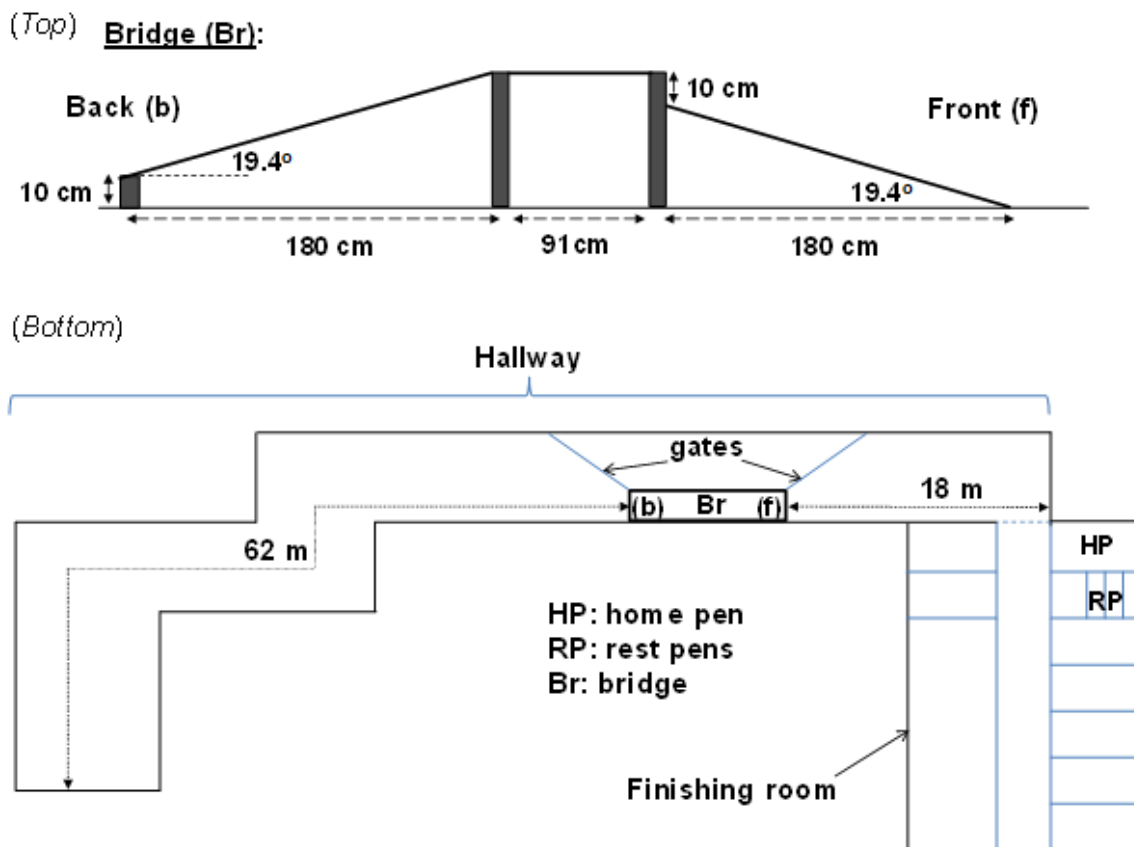
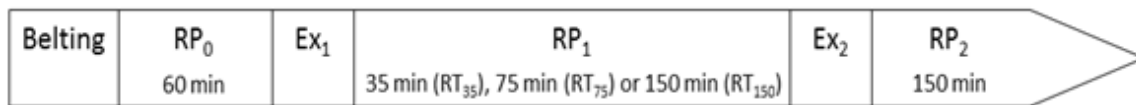


Figure 5.1 Diagram of the bridge (top) and the standard handling course (bottom)

After being fitted with the monitor on the experiment day, the 3 test pigs were returned to the room and housed for 1 h in 3 individual rest pens (1.95 x 0.6 m) adjacent to each other (Figure 5.1) to recover from handling associated with belting (initial rest period, RP_0). The 3 pens were also adjacent to the home pen containing the remaining pen mates, to provide a familiar environment to the test pigs. The purpose of isolating pigs was to prevent their recovery from being disturbed by other pigs chewing the heart rate monitors. Pigs were assigned to the same individual pens throughout the study to reduce any novelty effects later on. After 1 h of recovery, the tests began by moving the group of pigs out of the room and exercising them (exercise 1: Ex_1) in the hallway. A session of exercise consisted of walking at a moderate pace in the standard handling course, up and down a bridge (6 times each) over a total distance of 500 m (Figure 5.1). The bridge was made of aluminum and consisted of 2 ramps (slope: 19.4°) joined by a horizontal platform. Pigs were moved according to a standard handling protocol. The same handler walked each group of 3 pigs using a paddle to hit the floor 3 times every 15 s and using the voice every 5 s. On the bridge, a handling board was used to push reluctant pigs up, or to block pigs trying to turn back. Each pig was slapped with a paddle, twice on the back on the way up and twice on the way down. After completing the course, pigs were returned to their individual pens. Pigs were then given a resting period (rest period 1, RP_1) of either 35, 75 or 150 min. Afterwards, all pigs were moved a second time (exercise 2, Ex_2) through the handling course, returned to their pens, and then given a resting period of 150 min (rest period 2, RP_2 ; Figure 5.2).



RP_0 : initial rest period; Ex_1 : first exercise; RP_1 : rest period 1 with duration of 35 min (RT_{35}), 75 (RT_{75}) or 150 (RT_{150}) min; Ex_2 : second exercise; RP_2 : rest period 2

Figure 5.2 Timeline of the experiment

5.2.3 Data collection

5.2.3.1 Heart rate. Heart rate (HR) was recorded at 5-s intervals, using Polar[®] heart rate monitors (Team Polar, Polar Electro Canada, Quebec, QC, Canada), during rest and exercise periods. Average heart rate was calculated over the entire period of exercise, while it was only calculated over the last 5 min only during the rest periods. The cardiac baseline was defined as the average HR measured from the 30th min to the 40th min during RP₀. Video recordings (Sony HandyCam DCR-SR68, Mississauga, ON, Canada) were used to make sure that the pigs were resting and not in activity during this period, which was the case for all the tested animals in this experiment.

5.2.3.2 Respiratory rate. The respiratory rate (RR) was only monitored during the rest periods, using video cameras (Sony HandyCam DCR-SR68, Mississauga, ON, Canada) and analyzed by counting rib cage movements over 1 min at 3-min intervals during the resting periods. Average respiratory rate was calculated over the entire period of exercise, while it was calculated over the last 6 min only during the rest periods. Respiratory baseline was defined as the average RR monitored during 1 min periods at 3 min intervals from the 30th min to the 40th min of RP₀.

5.2.3.3 Skin temperature. Skin temperature (ST) was assessed on the sternal area using iButton data loggers (High Resolution Thermochron iButton DS1921H, 0.5 °C accuracy, Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, CA, USA) attached with Velcro to the belt used for heart rate monitoring. iButtons recorded temperature at 1-min intervals throughout the experiment. Average skin temperature was calculated over the entire period of exercise, while it was calculated over the last 5 min only during the rest periods. Temperature baseline was determined as the average ST recorded over the last 10 min of RP₀. Pigs were considered as recovered when their physiological variables returned to the respective baselines.

5.2.3.4 Posture. Using video recording (Sony HandyCam DCR-SR68, Mississauga, ON, Canada), posture (standing, sitting and lying) and activity (drinking, exploring environment) were noted for each pig, every minute of the resting periods, using the scan sampling method. Pigs were considered recovered when they resumed activity for at least 3 min after lying and being inactive for at least 3 min.

5.2.3.5 Environmental conditions. Environmental temperature was monitored at 1-min intervals throughout the experiment using iButtons (DS1923 Hygrochron Temperature/Relative Humidity Logger, Maxim Integrated Products, Inc., Sunnyvale, CA, USA) suspended at a height of 1 m in the room and 1.5 m in the hallway.

5.2.4 Statistical analysis

The experiment was designed as a randomized complete block design. Each group of 3 pigs tested together on a given treatment was considered as the experimental unit. Normality and homogeneity of variance (Shapiro-Wilk test) were tested before the analysis. For each treatment, the effect of exposure to exercise on the stress responses was analyzed by repeated measures ANOVA with PROC MIXED procedure in SAS (SAS, 2010), with the period (rest and exercise periods) treated as the repeated effect, and replicate as the random effect. Environmental temperature during the resting and exercise periods was also analyzed by repeated measures ANOVA with PROC MIXED. The model included the fixed effects of treatment and period, repeated effect of period, and the random effect of replicate. Recovery times during RP₂ were compared across treatments by ANOVA using PROC MIXED with resting duration treated as a fixed effect, and replicate as the random effect. Tukey-Kramer adjustments were used to compare treatment means. Least Square means and standard error of the mean (SEM) are reported. Regression analyses, where the number of exposures to the handling course (0, 1 or 2), or number of resting periods (0, 1 or 2) was the independent variable, were conducted using PROC REG in SAS to determine if the stressors had an additive effect on the dependant variables: heart rate, respiratory rate and skin temperature. A probability level of $P < 0.05$ was chosen as the limit for statistical significance in all tests.

5.3 RESULTS

5.3.1 Heart rate

For all 3 treatments (Figures 5.3 a, b, c), average HR measured during Ex₁ and Ex₂ did not differ ($P > 0.05$) but was greater ($P < 0.001$ and $P < 0.001$, respectively) than HR measured during the baseline period and RP₁. Heart rate recorded during RP₂ was lower than HR recorded during Ex₁ and Ex₂ ($P < 0.001$ for both), while it was greater than HR recorded during baseline and RP₁, but only for RT₃₅ pigs ($P < 0.001$ for both). The HR during RP₂ was not different ($P > 0.05$) from baseline and RP₁ for RT₇₅ and RT₁₅₀ pigs. The effect of the number of exercise bouts and resting periods on HR was not linear ($P > 0.05$; Table 5.1) for all 3 treatments. The latency to return to a baseline HR was greater ($P = 0.024$) for RT₃₅ pigs compared to RT₇₅ or RT₁₅₀ pigs, respectively (Table 5.2).

5.3.2 Skin temperature

The ST measured during the baseline period was lower ($P < 0.001$) than the ST during the other periods for RT₃₅ (Figure 5.4a), or RT₇₅ (Figure 5.4b) pigs, while it was not different from the ST in RP₁ and RP₂ for RT₁₅₀ pigs ($P > 0.05$; Figure 5.4c). For RT₃₅ pigs, ST recorded during Ex₁ and RP₁ were not different from each other ($P > 0.05$; Figure 4a), but both were significantly lower ($P < 0.001$) than ST recorded during Ex₂ and RP₂, which did not differ from each other ($P > 0.05$). For RT₇₅ pigs, ST recorded during Ex₁, RP₁ and RP₂ did not differ ($P > 0.05$) from each other, while ST during Ex₁ was lower ($P = 0.006$) than temperature during Ex₂ (Figure 5.4b). However, ST recorded during RP₁, Ex₂ and RP₂ were not significantly different ($P > 0.05$). For RT₁₅₀ pigs, the ST recorded during Ex₁ did not differ from ST recorded during Ex₂ ($P > 0.05$; Figure 5.4c), but was greater than the ST recorded during RP₁ and RP₂ ($P = 0.028$ and $P = 0.035$, respectively), which did not differ from each other ($P > 0.05$). Skin temperature recorded during Ex₂ did not differ from RP₂ ($P > 0.05$) but was greater ($P = 0.039$) than the ST recorded during RP₁. The effect of the number of resting periods on ST tended to be linear for RT₃₅ or RT₁₅₀ pigs ($P = 0.064$ and $P = 0.078$, respectively; Table 5.1), while

it was not linear for RP₇₅ pigs ($P > 0.05$). The effect of the number of exercise bouts on ST was linear for RT₃₅ and RT₇₅ pigs ($P = 0.003$ and $P = 0.038$, respectively; Table 5.1), while it was not linear for RT₁₅₀ pigs ($P > 0.05$). It took more time for the ST of RT₃₅ pigs to return to baseline compared to RT₇₅ or RT₁₅₀ pig ($P = 0.021$; Table 5.2).

5.3.3 Respiratory rate

The RR of RT₃₅ pigs was greater ($P < 0.001$) during RP₂ compared to the baseline and RP₁, which did not differ from one another (Figure 5.5a). There were no differences ($P > 0.05$) in RR between the baseline, RP₁ and RP₂ for pigs given either RT₇₅ or RT₁₅₀ (Figures 5.5b and 5.5c). The effect of the number of exercise bouts on RR was not linear ($P > 0.05$; Table 1) for RT₃₅ and RT₇₅ pigs, while it tended to be linear ($P = 0.061$) for RT₁₅₀ pigs. The latencies of the RR and posture to return to baseline were greater for RT₃₅ pigs compared to RT₇₅ or RT₁₅₀ pigs ($P < 0.001$ and $P = 0.038$, respectively; Table 5.2).

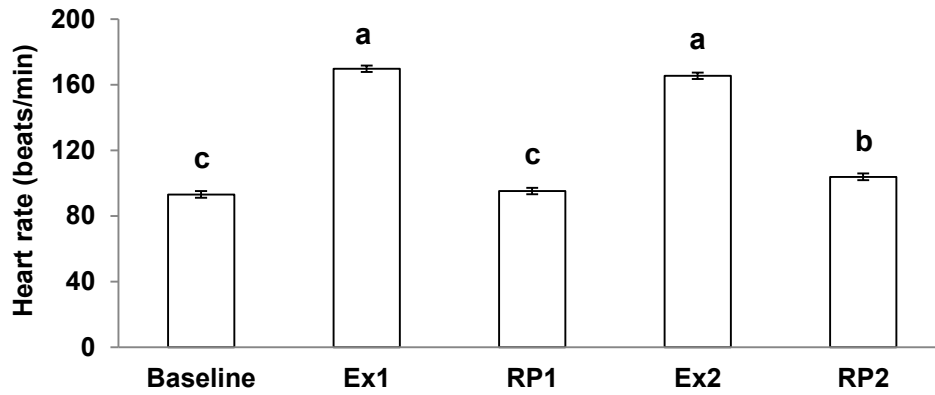
5.3.4 Handling time

Pigs given half of the FRT after Ex₁ required more time to complete the handling course during Ex₂ compared to Ex₁ (20.4 ± 1.8 and 16.6 ± 0.6 min, respectively; $P = 0.039$; data not shown) and RT₁₅₀ pigs took more time to complete Ex₁ compared to Ex₂ (17.5 ± 1.3 vs. 14.4 ± 0.9 min; respectively; $P = 0.036$; data not shown). No differences in handling time between Ex₁ and Ex₂ were observed for RT₇₅ pigs (16.4 ± 1.3 vs. 15.8 ± 0.7 min; respectively; $P > 0.05$; data not shown).

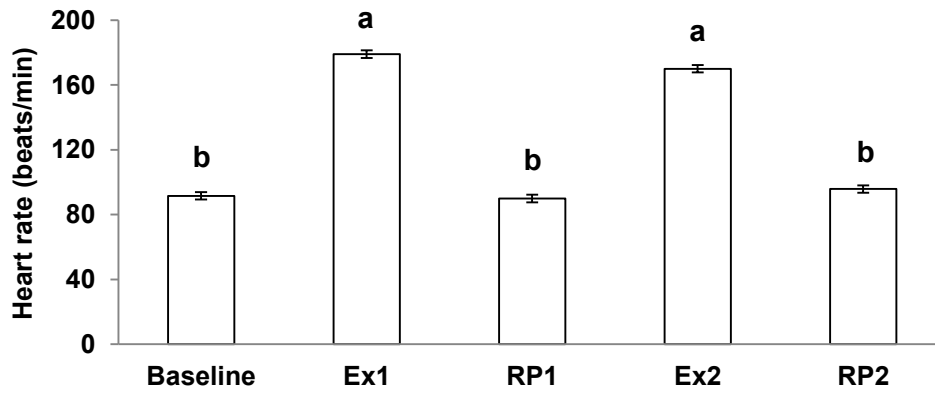
5.3.5 Ambient temperature

Ambient temperatures recorded during Ex₁ and Ex₂ (21.2 and 22.1 °C, respectively) were greater ($P = 0.006$) than those recorded during RP₀ and RP₁ (18.6 and 21.2 °C, respectively), while the temperature measured during RP₂ (20.8 °C) was not different ($P > 0.05$; data non shown) from the temperatures recorded during the other periods.

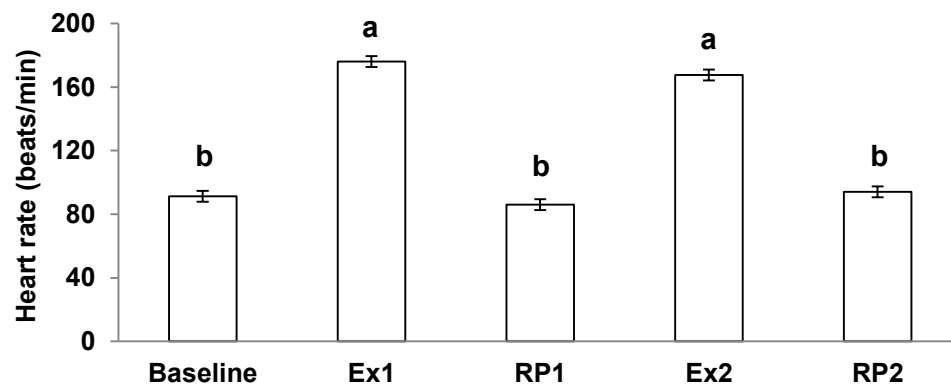
a)



b)



c)



^{a,b} Means with different superscripts differ ($P < 0.05$)

Ex₁: exercise 1; RP₁: resting period 1; Ex₂: exercise 2; RP₂: resting period 2

Figure 5.3 Comparison of the heart rate response throughout the experiment of a) RT_{35} pigs ($P < 0.001$), b) RT_{75} ($P < 0.001$) or c) RT_{150} ($P < 0.001$) pigs.

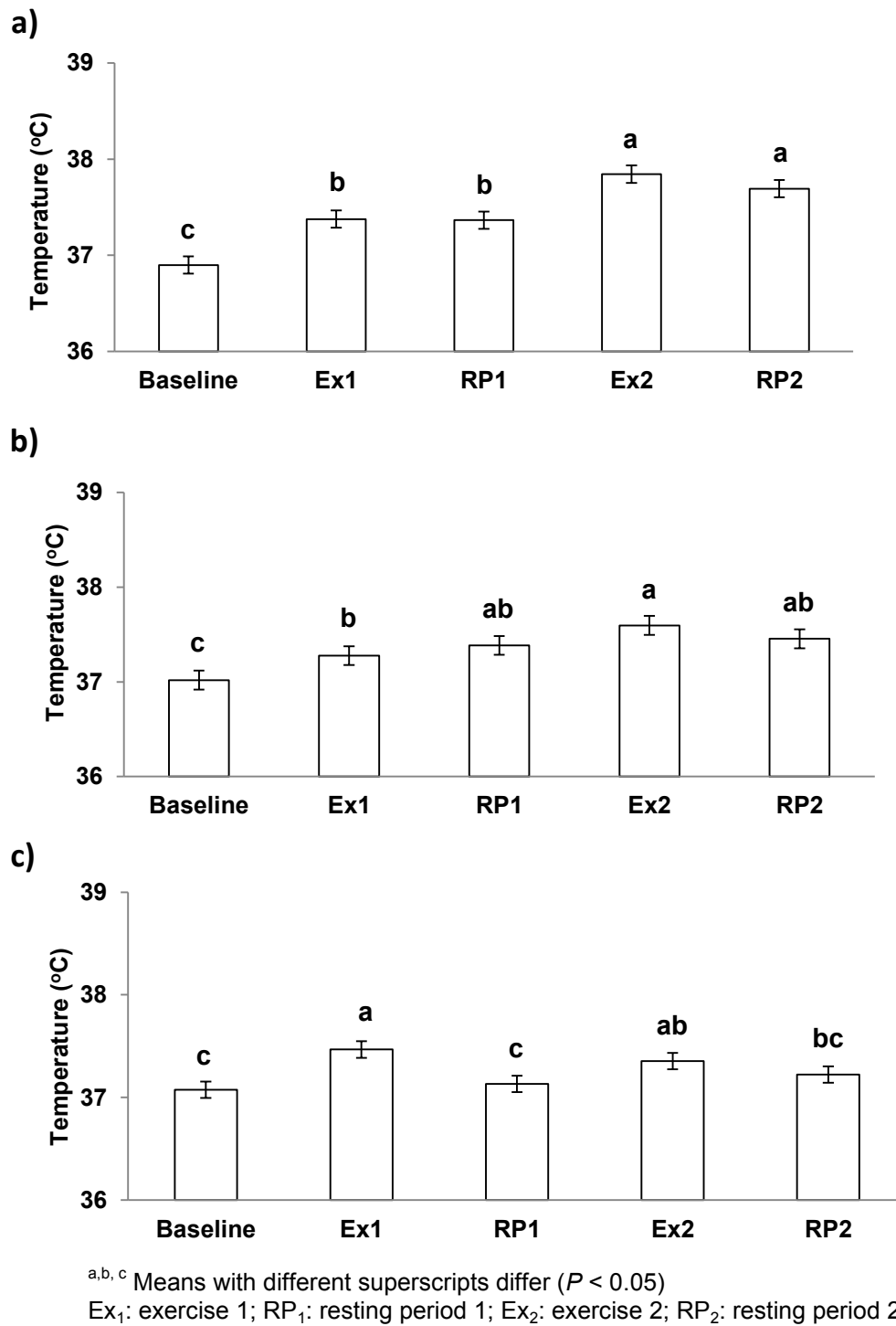


Figure 5.4 Comparison of the skin temperature response throughout the experiment of a) RT_{35} ($P < 0.001$), b) RT_{75} (< 0.001) or c) RT_{150} ($P = 0.012$) pigs.

Table 5.1 Regression analysis of the number of resting (RP) and exercise (Ex) periods on heart and respiratory rates and temperature for each treatment

Variables	Periods	RT ₃₅ ¹		RT ₇₅ ²		RT ₁₅₀ ³	
		r ²	P	r ²	P	r ²	P
Heart rate	RP	0.41	0.217	0.03	0.509	0.77	0.779
	Ex	0.51	0.366	0.33	0.393	0.34	0.391
Temperature	RP	0.98	0.064	0.74	0.238	0.97	0.078
	Ex	0.99	0.003	0.99	0.038	0.05	0.515
Respiratory rate ⁴	RP	0.29	0.406	0.71	0.25	0.98	0.061

¹ RT₃₅: pigs given 35 min rest; ² RT₇₅: pigs given 75 min rest; ³ RT₁₅₀: pigs given 150 min rest; ⁴: non monitored during exercise

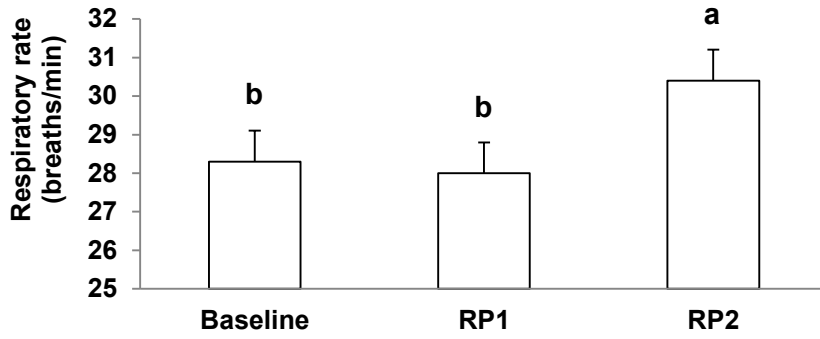
Table 5.2 Comparison of the latencies (min) for heart and respiratory rates, temperature and posture to return to baseline values during the full RP2 (150 min) among the 3 treatments RT₃₅, RT₇₅ and RT₁₅₀

	Treatments			SEM	P-value
	RT ₃₅ ¹	RT ₇₅ ²	RT ₁₅₀ ³		
Heart Rate	39.0 ^a	20.1 ^b	19.3 ^b	4.5	0.024
Respiratory Rate	38.2 ^a	18.3 ^b	17.8 ^b	3.4	<0.001
Temperature	112.1 ^a	89.3 ^b	82.6 ^b	7.7	0.021
Posture	89.9 ^a	70.9 ^b	71.5 ^b	5.1	0.038

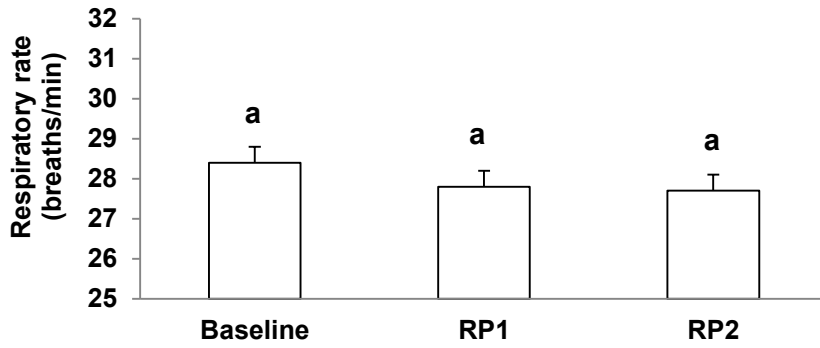
^{a,b} Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹RT₃₅: pigs given 35 min rest; ²RT₇₅: pigs given 75 min rest; ³RT₁₅₀: pigs given 150 min rest

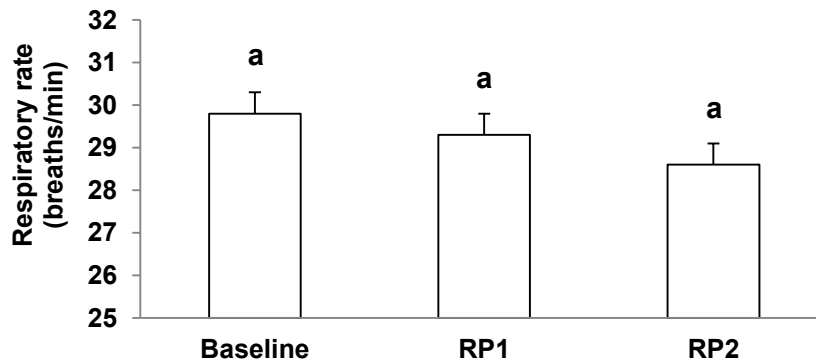
a)



b)



c)



^{a,b} Means with different superscripts differ ($P < 0.05$)

Figure 5.5 Comparison of the respiratory response of pigs for a) RT_{35} ($P < 0.001$), b) RT_{75} ($P = 0.331$) or c) RT_{150} ($P = 0.225$) pigs during the resting periods 1 (RP_1) and 2 (RP_2).

5.4 DISCUSSION

The aim of this study was to determine the extent to which the duration of the resting time given to near-market weight pigs after an initial exposure to exercise affected their recovery from subsequent exercise. The results show that when pigs are given the appropriate duration of rest allowing a full recovery (RT₇₅ treatment), there are no detrimental effects of a second exposure to exercise on cardiac and respiratory responses, or on handling time. Exposure to exercise resulted in similar increases in heart rate to those found during loading under commercial conditions in other studies (Geverink et al., 1998a; Correa et al., 2010, 2012). Both heart and respiratory rates returned to their respective baseline levels during RP₁. This result was expected, because the duration of RP₁ was greater than the heart rate and respiratory recovery times (18 and 15 min, respectively) measured during the aforementioned preliminary study. The baseline values obtained in the present study were similar to the resting cardiac values found by Correa et al. (2012; approximately 100 beats/ min) in commercial farms or the average resting respiratory rate reported by the AVMA (2012; 25-30 breaths/ min), demonstrating that the animals were indeed at rest before the first exercise. A return to baseline was also found for these same variables in RP₂. Differently from cardiac and respiratory responses, skin temperature, after an initial rise during handling, most likely associated with physical stress (Betley and Bayley, 1988), did not return to baseline by the end of RP₁. This result is surprising, based on the results of the preliminary study showing that 75 min were necessary for thermal recovery. This may lead us to reconsider the validity of the recovery time of ST and consequently FRT, which was supposed to give pigs enough time to recover with regard to all variables. The inability to achieve thermal recovery after 75 min could not be explained by differences in ambient temperature between the pilot and the present study, because the experimental temperatures were within the range of the pilot temperatures. However, it may be attributed to differences in reactivity to exercise between groups of pigs. In the present study, there was an additive increase in skin temperature during the second exercise period compared to the first one suggesting that the second exposure to exercise was more challenging than the first one. Similar results

and conclusions were found by Brown et al. (2005) who recorded a greater skin temperature during unloading compared to loading. The increase in skin temperature during Ex₂ is most likely due to the fact that RT₇₅ pigs did not recover with regard to the thermal response during RP₁. Indeed, the combination of the remaining body heat from Ex₁, which was not dissipated, and the heat produced during the second exercise must have contributed to the greater temperature in Ex₂ compared to Ex₁. The second exposure to exercise did not have a detrimental effect on the recovery of the animals, as shown by the absence of difference in skin temperature during RP₁ and RP₂. The fact that the temperature during these two resting periods was greater than the baseline confirms that the heat could not be dissipated within the resting time given to the animals.

Contrary to RT₇₅ pigs, RT₁₅₀ pigs had time to fully recover from both exposures to exercise. Doubling the resting period did not provide any more benefits with regards to the respiratory and cardiac responses during exercise and recovery periods, compared to RT₇₅ pigs, as shown by the similar latencies to recover for these 2 variables. However, RT₁₅₀ pigs had similar skin temperature during each exercise and required less time to complete the handling course during the second exercise. Although pigs in all treatments may have become more familiar with the standard handling course during the second exercise, the novelty reduction effect was only shown for RT₁₅₀ pigs. These pigs were likely in a similar physiological state during both exercise periods, while for the other pigs, fatigue may have overcome the positive effect of familiarization. These results are consistent with the literature showing that, if pigs are kept in lairage for a long time (> 4 h), they have time to physiologically recover (Marchant-Forde and Marchant-Forde, 2009). Most of the studies on this subject also show that pigs may begin to fight with penmates once they recover from unloading stress (Nanni Costa et al., 2002; Warriss 2003; Guàrdia et al., 2009). However, in the present study, pigs were individually penned to preclude this confounding factor.

Finally, the results of this study show that a lack of rest after an initial exposure to exercise makes pigs more susceptible to stress during the second exercise and resting

periods. Although the cardiac and respiratory responses of RT₃₅ pigs returned to the baselines during RP₁, skin temperature did not. As expected, the animals were not in a physiological state of recovery, which may explain the increase observed in all variables during Ex₂ and RP₂ compared to Ex₁ and RP₁, respectively. These observations suggest that the second exercise was more challenging for pigs not given enough time to recover from the exercise. This is confirmed by the fact that those pigs completed the handling course more slowly the second time. Because pigs were more familiar with the handling course the second time around, the challenge was likely more physical than psychological. Chevillon (2001b) reported that the lack of rest between exiting the finishing pen and loading contributed to a more physically challenging handling and demonstrated that holding pigs in resting areas before loading could decrease heart rate compared to immediate loading (110 vs. 170 beats/min, respectively) into the truck. It is unlikely that the ambient temperature played a role in the greater responses observed during Ex₂ and RP₂, because there were no differences in this variable between the exercise or rest periods. The measure of additional variables, such as indicators of muscle fatigue (i.e. lactate), could have helped explain the potential mechanism(s) underlying the greater response observed for RT₃₅.

The greater physiological responses observed after exposure to the second exercise confirm the detrimental effect of a lack of rest found by studies looking at the time needed by pigs in lairage to recover from transport stress. It has been reported that short lairage times (< 1-2 h) do not give pigs sufficient time to recover from the stressors experienced during transport. Pigs may then become harder to handle (Milligan et al., 1998) and have increased concentrations of cortisol, CPK and lactate (Warriss et al., 1998a,b; Pérez et al., 2002b; Hambrecht et al., 2005), indicating fatigue and stress. The effect of the number of exposures to exercise on heart rate was additive, while the effect of the number of resting periods on the same variable tended to be additive. These results agree with other studies reporting additive effects of exposures to concurrent stressors on production and health variables (McFarlane et al., 1989 a,b; Hyun et al., 1998) or metabolic stress responses (Ritter et al., 2009b). In the present study, RT₃₅ pigs during RP₁ did not recover from the second exposure to exercise when given the

same resting time during RP₂. However, when given more than 35 min to rest, they eventually recovered. Their latencies of recovery were all significantly greater than those obtained for RT₇₅ or RT₁₅₀ pigs. Indeed, the latencies of the cardiac and respiratory responses doubled compared to the 2 other groups of pigs, while for skin temperature and posture, the latencies were approximately 25 and 36%, and 27 and 26% longer compared to RT₇₅ or RT₁₅₀ pigs, respectively. These observations support studies suggesting that fatigued pigs, when given more time to rest, may physiologically recover from this condition and return to normal appearance and mobility (Benjamin, 2005; Ritter et al., 2009a).

5.5 CONCLUSIONS

The results of this study show the importance of the length of the resting period and highlight that if pigs are not initially given enough rest to recover from the exposure to exercise, there will be a detrimental effect on the recovery from subsequent exposure to the same exercise. Thus, giving pigs an appropriate time to recover during transport or lairage will help them cope with further exposures to stressors, and ultimately improve meat quality and animal welfare. More research needs to be conducted on factors contributing to the quality of rest, and a particular focus on conditions that do not allow a proper rest on the truck or in lairage (high and low stocking density, short journey, mixing, noise, vibration).

5.6 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge with gratitude the financial support of the Alberta Livestock Meat Agency, Sask Pork, Alberta Pork, Manitoba Pork Council and the Saskatchewan Agriculture Development Fund. The authors also wish to acknowledge the technical assistance of M. Bouvier and T. Muller.

CHAPITRE 6. Discussion générale et conclusions

Le transport est un processus complexe car il est constitué d'une succession de situations qui sont à l'origine d'une multitude de sources de stress. Tout d'abord, déplacé de son parc de finition vers la zone de chargement, le porc est ensuite chargé dans le camion. Cette étape du transport, tout comme le déchargement, s'est révélée être l'une des étapes les plus stressantes, d'une part à cause de l'effort physique requis et d'autre part à cause du stress psychologique lié principalement à la manipulation des animaux. Une fois dans le camion et pendant le transit, le porc va être exposé à d'autres facteurs, tels que la température ou la durée du transport, avant d'être à nouveau manipulé lors du déchargement. Enfin, après cette succession d'expositions à des facteurs de stress, les animaux sont le plus souvent mis en parcs d'attente afin qu'ils se reposent avant d'être abattus. Néanmoins, la capacité de repos peut être influencée par les conditions physiques pendant le transit.

Bien que l'abattage à la ferme semble prometteur, les contraintes sanitaires, environnementales, techniques, économiques et financières font que cette méthode n'est pas encore prête à être mise en pratique, et reste à être développée. La nécessité d'étudier et d'améliorer les conditions de transport actuelles reste donc une priorité afin de combler les besoins des porcs en période pré-abattage. Un grand nombre de travaux ont porté sur l'impact des conditions pré-abattage chez le porc en se concentrant sur les conséquences en termes de qualité de la viande (Leheska et al., 2002; Pérez et al., 2002a). Cependant, de plus en plus de recherches s'intéressent au bien-être animal en se concentrant sur la façon dont les animaux perçoivent leur environnement pendant le transport. Cette thèse s'inscrivait dans cette thématique et avait pour objectifs d'identifier et de mieux comprendre les facteurs de stress à l'origine des réactions physiologiques et comportementales des porcs d'abattage pendant la manipulation et le transport, ainsi que de développer des moyens de réduire ces réactions de stress.

Les travaux regroupés dans cette thèse ont tout d'abord permis de préciser l'effet de facteurs liés à l'environnement du camion (configuration des rampes internes et isolation thermique) et à la manipulation (expérience de l'animal et gestion du temps de repos), sur le stress des porcs pendant le transport, et suggèrent que des modifications

aux conditions de transport actuelles peuvent être apportées afin d'améliorer le bien-être des porcs d'abattage.

6.1 Facteurs associés à la configuration du véhicule de transport

6.1.1 Amélioration des rampes d'accès aux compartiments problématiques

6.1.1.1 Rappel des résultats

Il a souvent été suggéré (Torrey et al., 2013b; Schwartzkopf-Genswein et al., 2012) que la rampe pouvait être un facteur de stress responsable de la manipulation difficile des animaux lors des mouvements dans le camion. Les résultats expérimentaux issus de l'étude présentée au chapitre 2 appuient la littérature et ont permis de mettre en évidence que certaines caractéristiques de la rampe pouvaient contribuer au stress associé au mouvement des porcs dans le camion. Ainsi, cette étude permet de recommander que le déchargement des animaux du compartiment « bedaine » se fasse avec une rampe de pente qui soit égale à 21° , en l'absence de marche en bas de la rampe et que l'angle d'entrée à la rampe soit inférieur ou égal à 30° . Ces résultats ont aussi permis de souligner que même si la pente de la rampe est modérée (16°), elle n'est pas forcément la plus appropriée à cause d'un effet potentiellement négatif de la longueur sur la perception de la rampe par l'animal.

6.1.1.2 Discussion et perspectives

Des alternatives aux rampes de chargement et de déchargement, comme l'élévateur hydraulique (Brown et al., 2005), ont été suggérées afin de limiter le stress associé à ces procédures. Cependant, de tels équipements sont impossibles à mettre en place lors du mouvement des animaux dans le véhicule de transport, qui se fait via des rampes internes dans le cas de véhicules à étages multiples tels que le camion à « bedaine ». Les résultats du second chapitre de cette thèse ont montré qu'une rampe au sol (pente de 0°) était la configuration contribuant au meilleur déchargement pour le

manipulateur et l'animal. Dans le cas du compartiment « bedaine » et ce, du fait de sa position (niveau inférieur du camion localisé entre les essieux), il est physiquement impossible de charger ou décharger les animaux avec une rampe dont la pente est nulle. Comme une multitude d'études le conseillent, il est préférable d'utiliser une rampe avec une pente aussi faible que possible. En accord avec les résultats de la littérature (Warriss et al., 1991; Grandin, 1997b), les travaux de cette thèse ont montré qu'une rampe avec une pente élevée (26°) n'était pas recommandée. Dans un sondage sur la configuration des camions, effectué auprès de compagnies transportant des porcs en Saskatchewan (Annexe 1, Tableau 1), il a été relevé que les configurations des rampes étaient différentes entre et au sein de ces compagnies (Annexe 1, Tableau 2). Les pentes mesurées dans ces camions variaient de $17,3^{\circ}$ à $41,2^{\circ}$. Ces valeurs sont en accord avec celles rapportées dans la littérature (Schwartzkopf-Genswein et al., 2012; Weschenfelder et al., 2012) et soulignent que la configuration de certains véhicules n'est pas appropriée.

Dans ce sondage, nous avons également noté que les configurations les plus courantes étaient des rampes avec 1 ou 2 marches (haut et bas), associées le plus souvent avec une extension de la rampe dans le compartiment. L'utilisation d'une marche permet de diminuer la pente de la rampe mais, comme montré dans la présente étude, la présence de cet élément en bas de la rampe peut rendre le déchargement plus difficile. Lors de la construction de nouveaux camions, il serait recommandable de ne ajouter ce type de marche. Serait-il possible d'utiliser une marche en haut de la rampe ? L'ajout de ce type de marche pourrait avoir des conséquences différentes du fait de son emplacement. En effet, lors du chargement, les animaux ne voient pas la marche avant d'être sur la rampe et lors du déchargement, les animaux sont déjà sur la rampe avant de devoir franchir la marche. De futures recherches restent à mener pour étudier ce facteur.

L'extension de la longueur de la rampe dans le compartiment peut également contribuer à diminuer la pente de la rampe. Cependant, l'espace dans la « bedaine » est limité, et une extension de la rampe peut constituer une perte d'espace, entraînant une

perte économique pour le transporteur et le producteur ne pouvant pas transporter autant d'animaux à la fois. Il pourrait être alors envisagé d'utiliser une rampe avec extension pliable qui, pendant le transport, serait pliée sur la rampe et lors du déchargement serait dépliée au sol. Il pourrait également être suggéré d'utiliser une extension qui serait déployée en la glissant par-dessus la rampe principale et ce, dans le compartiment. L'utilisation de ces types d'extensions pourrait également remédier à la présence d'une marche en bas de la rampe, qui serait couverte lors du mouvement des animaux. Dans ce cas, l'extension ne diminuerait pas la pente de la rampe mais pourrait facilement éviter l'utilisation de la marche. Cette option présente tout de même quelques inconvénients. En effet, il reste à s'assurer que le repliement lors du chargement et le déploiement lors du déchargement de la rampe soit physiquement possible avec les animaux dans le compartiment et que cette manipulation ne crée pas de peur ou de panique. De plus, comme la présente étude l'a montré, la longueur de la rampe semble être l'un des facteurs contribuant à la difficulté de déchargement dans la « bedaine ». Ainsi, augmenter la longueur de la rampe pourrait ne pas être la meilleure modification à adopter.

D'après notre étude, une rampe de 21°, même si sa pente n'est pas inférieure à 20° comme le suggère la littérature, pourrait être un bon compromis en termes de facilité de mouvement et de taille de la rampe dans la « bedaine ». Dans la présente étude, la pente de la rampe a été modifiée en changeant sa longueur. En effet, contrairement à certaines études sur le sujet (Van Putten et Elshof, 1978; Warriss et al., 1991), il avait été convenu de garder la hauteur de la rampe constante afin de conserver la configuration observée dans le compartiment d'intérêt. Ainsi, les effets de la pente et de la longueur de la rampe étaient confondus. Il est certes possible qu'il y ait une interaction entre la pente et la longueur de la rampe, mais il serait intéressant d'étudier l'effet isolé de la pente ou de la longueur de la rampe.

La seule option afin de diminuer la pente de la rampe tout en conservant une longueur appropriée et ce, sans utilisation d'une marche, est d'abaisser la hauteur de la rampe en réduisant la hauteur du compartiment constituant l'entrée du camion.

Néanmoins, il est probable que la position des essieux ne permette pas une telle modification. L'alternative serait alors d'élever l'ensemble des compartiments du véhicule. Il reste à vérifier que cette élévation ne cause pas de problèmes lors de manœuvres telles que le stationnement à l'abattoir ou le passage sous les ponts (hauteur limite de la remorque 4,15 m, Transport Québec, 2013), et ne modifie pas significativement l'accès aux autres compartiments, la distribution d'air dans les compartiments ou la stabilité du camion.

Contrairement aux 2 autres variables, la modification de l'angle d'entrée pour qu'elle soit inférieure à 30° ne nécessiterait pas de changements importants au sein du compartiment. Elle peut être faite par l'ajout d'un panneau sur l'une des parois latérales du compartiment. Ce panneau pourrait être mobile dans le cas où le camion est utilisé à la fois pour le transport de bovins et porcins. Il ne semble pas envisageable de penser à ajouter et retirer le panneau quand les animaux sont dans le compartiment, car cela pourrait entraîner de la peur et de la confusion. Ainsi, la contrainte principale de cette modification est que l'ajout du panneau induirait une perte d'espace disponible dans le compartiment. Dans la présente étude, le même nombre d'animaux a été utilisé pour tous les traitements (angles de 90°, 60°, 30° et 0°) en modifiant la taille du compartiment. Si elle se fait sans modification de la taille du compartiment et sans extension de la rampe, l'application de la modification de l'angle d'entrée qui serait conseillée (angle de 30°) causerait une diminution de l'espace disponible d'environ 0,6 m², équivalent à 2 porcs selon nos estimations.

Les recommandations qui viennent d'être suggérées peuvent potentiellement constituer des modifications difficilement applicables aux camions à « bedaine » actuellement en usage. Néanmoins, ces recommandations sont à garder à l'esprit lors de la conception de nouveaux véhicules. Des études financières et en conditions commerciales devraient donc être envisagées afin d'évaluer la faisabilité et l'efficacité de ces suggestions.

Des études futures pourraient être conduites sur l'effet d'autres caractéristiques de la rampe telles que la largeur de la rampe. Il est conseillé de bouger les porcs en petits groupes mais en laissant la possibilité à au moins 2 porcs de marcher l'un à côté de l'autre (Grandin, 1990; Lambooij, 2000). La rampe serait-elle perçue différemment si elle était plus large ? En effet, de par leur comportement grégaire, les porcs préfèrent rester ensemble dans une situation stressante (Van Putten et Elshof, 1978) et le phénomène de facilitation sociale va ainsi motiver les animaux à se suivre. Il serait alors intéressant d'étudier l'effet de la largeur de la rampe sur la manipulation lors des mouvements des porcs.

Dans l'étude présentée dans le chapitre 2, la configuration de la rampe menant au compartiment "bedaine" a été utilisée comme modèle d'étude de cas spécifique. Cette rampe est différente des rampes utilisées pour bouger les animaux dans ou hors du camion, voire même de la rampe menant à l'étage supérieur du camion à « bedaine ». Plus précisément, la rampe menant à la « bedaine » est courte, centrée et possède un angle droit de chaque côté de sa partie basse. Cependant, les différents types de rampes (externes ou internes) sont-ils alors perçus de la même façon par les animaux? En d'autres mots, les résultats obtenus dans la présente étude concernant la configuration de la rampe, peuvent-ils être appliqués/généralisés à tous les types de rampes ?

6.1.2. Amélioration de l'isolation thermique du camion

6.1.2.1 Rappel des résultats

Les résultats de l'étude en milieu commercial, présentés dans le chapitre 4, ont montré que l'exposition au froid (hiver) pendant 18h (long transport) avait des conséquences négatives sur le comportement et la physiologie des porcs. En effet, les animaux ont plus souffert de l'exposition au froid en hiver que de celle à la chaleur en été. De plus, lors de longs transports (18 h) dans des conditions climatiques canadiennes, l'exposition au froid a rendu les animaux moins enclins à s'allonger au sol dans le camion (sol trop

froid) et a causé une augmentation du métabolisme (lutte contre le froid) ainsi qu'un état de soif plus important. Ces résultats soutiennent la littérature (Correa et al., 2012; Faucitano et al., 2009; Brown et al., 2011) en suggérant que l'insuffisante isolation thermique, et probablement sa distribution, serait la cause majeure des réponses physiologiques et comportementales au froid observées dans cette étude.

6.1.2.2 Discussion et perspectives

Ce travail avait été conduit de façon à être représentatif des conditions expérimentées par les animaux dans l'ouest canadien. Ainsi, il semble peu envisageable de ne pas transporter les animaux en hiver ou sur de longues distances. Ce travail suggère donc que de futures recherches devraient se concentrer sur l'amélioration des configurations des véhicules de transport canadiens afin de protéger les porcs du froid, notamment dans le cas où la durée de transport ne peut être réduite. Le moyen le plus simple serait d'ajouter une couche de litière plus importante. Cependant, les porcs ont tendance à fouiller et à repousser la litière sur les bords des compartiments (observations personnelles) ce qui pourrait contrebalancer son effet bénéfique. De plus, il serait pertinent de vérifier si la température à l'intérieur du camion n'augmente pas trop en conséquence de cette modification. Une ventilation réduite et une mauvaise isolation sont observées dans le camion à « bedaine » (Ritter et al, 2008b; Brown et al., 2011). Ainsi, dans le cas de l'utilisation d'une ventilation naturelle, une évaluation de la bonne herméticité des panneaux pourrait être conduite, tout en s'assurant que l'air puisse circuler et être renouvelé au sein de la remorque afin de permettre aux animaux de respirer un air acceptable et d'éviter une chaleur excessive dans la remorque. L'ajout d'un nouveau revêtement au sol et sur les parois du véhicule pourrait diminuer les conséquences négatives du froid. Pour satisfaire des contraintes sanitaires, techniques et de bien-être, ce revêtement doit être facile à nettoyer et anti-dérapant, afin de permettre un mouvement sans risques pour les animaux (Grandin, 2008). Ainsi, un revêtement mince en caoutchouc pourrait être conseillé et son efficacité testée.

La présente étude a aussi montré que les animaux transportés pendant une longue durée en hiver étaient les plus assoiffés. Il serait donc recommandable que les porcs aient accès à de l'eau immédiatement après l'arrivée en salle d'attente. Qu'en est-il dans le camion ? Il a été montré que les animaux boivent peu pendant le transport (Lambooy et al., 1985; Frotin et al., 2002) à cause du stress du transport mais aussi de la nature des abreuvoirs (Frotin et al., 2002). Des recherches sur le développement de nouvelles formes d'approvisionnement qui soient attractives, tout en étant sanitaires acceptables (éviter la perte d'eau dans le camion), pourraient être conduites afin de fournir un accès à de l'eau aux animaux. De plus, elles pourraient par la même occasion être utilisées comme éléments d'enrichissement du milieu. Des blocs hydratants stériles existent présentement sur le marché pour les petits animaux. Il serait ainsi intéressant d'adapter cette technologie pour les porcs et de placer de tels blocs dans le camion afin de distraire les animaux et de les tenir hydratés.

6.1.3 Standardisation de la configuration des camions

Les procédures pendant le transport et l'abattoir sont maintenant le plus souvent standardisées, notamment aux États-Unis où les entreprises sont régulièrement auditées (Grandin, 1998). Dans la section « conditions de la remorque » des formulaires d'audit, il est mentionné que, dans le camion, la température, le caractère non glissant des sols, la densité de chargement, la présence de litière pour isolation ou la configuration des entrées d'air en hiver doivent être inspectés. Les résultats des chapitres 2 et 4 suggèrent que les caractéristiques des rampes ou d'isolation du camion sont des facteurs ayant un impact significatif. Des critères relatifs à l'isolation du véhicule en hiver sont présents, mais comme les résultats de la présente étude le montrent, ces moyens ne sont pas toujours efficaces, notamment lors des longs transports. Ainsi, des critères relatifs à la configuration des rampes devraient être ajoutés et ceux relatifs à l'isolation du camion changés afin de réaliser un audit plus approprié. L'impact de ces audits s'est montré très significatif en termes d'amélioration du bien-être animal (Grandin, 2000c). Ainsi, une standardisation plus complète de la configuration des véhicules de transport permettrait de limiter la variation observée entre les compagnies de transport et d'assurer un meilleur bien-être des porcs.

6.2 Facteurs associés à la manipulation de l'animal

6.2.1 Préparation avant le transport: importance de l'expérience antérieure de l'animal

6.2.1.1 Rappel des résultats

Dans le chapitre 3, une autre voie d'amélioration des conditions de transport a été envisagée en cherchant à faciliter l'adaptation de l'animal à son environnement par le biais de son expérience antérieure. Plusieurs travaux montrent qu'en intervenant sur l'expérience de l'animal, il est possible de moduler sa perception et son évaluation d'une situation donnée. Par exemple, des porcs ayant eu l'opportunité de sortir hors de leur parc (Abbott et al., 1997), de subir une simulation de transport (Geverink et al., 1998c) ou d'être exposés à des rampes (Lewis et al., 2008) quelques jours ou semaines avant d'être envoyés à l'abattoir, étaient plus enclins à sortir de leurs parcs et faciles à bouger. Les résultats du chapitre 3 appuient cette littérature et confirment l'hypothèse de départ en montrant que la modification de l'expérience antérieure pouvait réduire la réaction de stress chez le porc pendant le transport. Plus particulièrement, l'expérience visait à déterminer si le stress associé au chargement était causé par l'effort physique (déplacement vers la zone de chargement, franchissement de la rampe) ou plutôt par une peur qui pourrait être associée à la présence de la rampe dans l'environnement particulier du compartiment « bedaine ». Tout d'abord, il a été observé que des porcs qui avaient été régulièrement soumis à de l'exercice physique étaient plus faciles à charger et présentaient une plus faible réponse cardiaque. Cependant, dans le cadre de cette expérience, il n'a pas été possible de déterminer si l'effet observé chez les animaux soumis à l'entraînement physique a été dû à une habituation à la manipulation lors de l'exercice ou à une amélioration des capacités physiques de l'animal. Il est probable que les 2 processus y aient contribué. Il a également été observé que les porcs qui avaient été exposés à la rampe n'avaient pas été plus faciles à manipuler et avaient présenté les mêmes réponses physiologiques que les animaux témoins. Comme mentionné dans le chapitre 3, la difficulté de déchargement observée chez les animaux préalablement exposés à la rampe est vraisemblablement à associer au fait que l'objet présent lors de

l'entraînement, probablement perçu comme un élément d'enrichissement et de jeu, ne l'était plus pendant le test.

6.2.1.2 Discussion et perspectives

Afin d'identifier plus précisément le facteur contribuant à l'amélioration du chargement, il serait pertinent de soumettre les animaux à de l'exercice sans qu'ils s'habituent au stress de manipulation. L'étude la réaction de l'animal sans que ce dernier soit soumis à de l'anxiété (liée à la nouveauté de la procédure), refléterait le stress physique plutôt que psychologique. Ceci pourrait nécessiter l'utilisation de substances chimiques comme des anxiolytiques ne sédatant pas l'animal (antagonistes des récepteurs à la cholécystokinine, sans benzodiazépines), ou des substances telles que des vitamines, acides aminés ou éléments minéraux, économiquement plus abordables et causant moins d'effets secondaires, qui auraient le potentiel de réduire le stress pendant le transport (Jacobson et Cook, 1998; Ali et Al-Qarawi, 2002; Srinongkote et al., 2003). Il est à noter que seules des substances dont les résidus ne sont pas néfastes pour la consommation, seraient à conseiller dans le cadre d'une approche chimique visant à réduire le stress psychologique associé au transport. Grâce à l'utilisation d'anxiolytiques, Jacobson et Cook (1998) ont suggéré que le stress initial observé pendant le transport de jeunes bovins était dû à une réaction à la nouveauté de la procédure et que la demande physique associée au transport ne contribuait pas à l'augmentation de la réponse cardiaque. Ils proposent alors que l'habituation pourrait être une option intéressante afin de diminuer le stress du transport. Dans le cas d'une prévalence de la manipulation des animaux, des interactions fréquentes, sous forme de marches régulières dans le parc d'engraissement, comme proposées par Grandin (1987, 2010) pourraient être recommandées. Cette méthode n'est pas trop demandante en termes de temps et pourrait être facilement couplée à une vérification quotidienne de l'état de santé des animaux.

Dans le cas d'une prévalence de l'amélioration physique, l'entraînement physique subi par les animaux dans notre étude n'est pas applicable en conditions commerciales.

En effet, les animaux ont été activement entraînés pendant approximativement 30 min par jour et ce, pendant 9 jours. D'autres études ont montré que bouger les animaux 3 à 10 fois dans les semaines précédant le chargement pouvait contribuer à améliorer le mouvement des animaux (Abbott et al., 1997; Geverink et al., 1998c; Lewis et al., 2008). Dans tous les cas, il semble techniquement impossible pour un producteur de consacrer autant de temps à ses animaux, notamment si les animaux sont logés dans de très grands parcs. Il est intéressant de noter que, bien qu'il soit possible que seule l'habituation à la manipulation ait eu un effet positif lors du chargement, il semble peu probable qu'il y ait eu une contribution unique de l'amélioration des capacités physiques de l'animal. En effet, il est difficile de justifier la facilité de manipulation des animaux exposés à l'entraînement physique quotidien par la simple amélioration de la condition physique des animaux.

Sur la base de ces résultats, il a été conclu que, lorsqu'elle était associée à un objet d'enrichissement, la rampe ne contribuait pas à faciliter la manipulation des animaux lors du chargement. Néanmoins, il n'est pas possible d'affirmer qu'une exposition à une rampe avant chargement ne soit d'aucune utilité. De futures recherches pourraient être conduites à ce sujet en changeant le contexte dans lequel la rampe est présentée aux animaux. Afin de ne cibler que la composante psychologique associée à la rampe, cette dernière pourrait être présentée comme dans l'étude du chapitre 3, mais en présence ou en l'absence de l'objet afin de confirmer son effet. Néanmoins, dans ce dernier cas, il faudrait s'assurer que les animaux soient motivés à explorer la rampe, ce qui pourrait représenter un défi pour la réalisation d'une telle expérience.

Enfin, comme l'a souligné le Dr Ron Kilgour (cité par Harold Gonyou, communication personnelle), il faut « adapter la ferme aux animaux et non les animaux à la ferme ». Nous suggérons de modifier l'expérience de l'animal afin de réduire le caractère stressant de la procédure. Cependant, il ne s'agit pas de rendre les animaux moins réactifs dans le but de pouvoir les placer dans des conditions inadaptées. Cette

méthode doit être utilisée comme outil complémentaire aux modifications environnementales suggérées dans le chapitre 2.

6.2. 2 Gestion du temps de repos

6.2.2.1 *Rappel des résultats*

Dans cette thèse, l'influence de l'état de récupération comportemental et physiologique comme un moyen de réduire la réaction au stress du transport a aussi été considérée. De nombreux travaux ont montré qu'une absence de repos ou un repos insuffisant, que ce soit à la ferme (Chevillon, 1998), dans le camion (Pilcher et al., 2006) ou à l'abattoir (Warriss, 2003), peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité de la viande et la réaction au stress des animaux. Les résultats du chapitre 5 corroborent la littérature et fournissent une nouvelle information dans le contexte de la multiplicité des expositions au stress. Ils ont permis de montrer l'importance de la durée de la période de repos sur la capacité d'adaptation au stress. Les résultats valident l'hypothèse de départ en soulignant le fait que si les porcs ne peuvent pas suffisamment se reposer après un exercice, alors la récupération suite à une nouvelle exposition à l'exercice sera négativement affectée.

6.2.2.2 *Discussion et perspectives*

Les travaux qui ont porté sur l'effet du temps passé dans les parcs d'attente à l'abattoir ont principalement utilisé des variables relatives à la qualité de la viande, à la fatigue (lactate) et au stress (cortisol) de l'animal en obtenant ces mesures après la mort de l'animal (Pérez et al., 2002b; Hambrecht et al., 2005). Dans le cadre du présent travail sur les facteurs de récupération, il aurait été intéressant d'échantillonner des hormones de stress ou témoignant de la fatigue physique de l'animal. Ce type d'échantillonnage car nous pensions que cela aurait interféré avec les mesures que nous souhaitions étudier. Un échantillonnage invasif, même de courte durée, tel que la prise de sang peut déranger l'animal pendant sa récupération et ainsi rendre les résultats non utilisables.

Les résultats de la présente étude pourraient avoir des répercussions sur la durée pendant laquelle les animaux sont gardés en salle d'attente à l'abattoir. En effet, ils suggèrent que des animaux étant transportés pendant des temps courts ne leur permettant pas de se reposer, pourraient être plus sensibles au déchargement et nécessiter plus de temps de repos à l'abattoir que des animaux ayant subi des transports longs. Cela peut avoir un impact potentiellement significatif compte tenu du temps de transport des porcs. Même si les transports sur de longues distances ont tendance à être plus fréquents (Carlsoon et al., 2004; Marchant-Forde et Marchant-Forde, 2009), les transports des porcs se font majoritairement sur des durées relativement courtes (< 3 h). Aux États-Unis, 51,8% des transports se faisaient sur moins de 161 km (Scanga et al., 2003). Au Canada, la majorité des porcs sont transportés pendant moins de 3 h (Aalhus et al., 1992). En Europe, dans un rapport effectué au début des années 90, Christensen et al. (1994) ont rapporté que la majorité des transports durait moins de 2 h, avec une distance moyenne de 100 km ou moins. Similairement, au Royaume-Uni, le temps moyen rapporté de transport est de 2 à 3 h (Riches et al., 1996). La question est alors de savoir si, dans la pratique, les abattoirs peuvent moduler le temps de repos en salle d'attente, car cela nécessiterait une organisation un peu plus importante et un suivi plus précis.

Enfin, de futures recherches pourraient s'attarder sur les facteurs qui réduisent les capacités de récupération dans le camion ou à l'abattoir, tels que les faibles et hautes densités de chargement, les transports de courte durée, les bruits et les vibrations ou encore le regroupement d'individus non familiers.

Annexe 1. Sondage réalisé auprès de 5 entreprises de transport en Saskatchewan sur la configuration de la rampe utilisée dans le compartiment « bedaine » lors du chargement et déchargement

Tableau A.1 Informations sur le déroulement des procédures de chargement et déchargement dans la « bedaine »

Questions	Entreprises ¹				
	1	2	3	4	5
Taille de l'entreprise (en camions)	5	3	22	32	70
Nombre d'essieux/camion	3	3	2 ou 3	2 ou 3 (voire 4 vers USA)	2 ou 3
Nombre de porcs chargés	23 à 26	22 à 24	23 à 25	20 à 24	26 à 32
Nombre de porcs bougés en même temps	6 à 10 plus de 10	6 à 10 plus de 10	6 à 10	1 à 5	6 à 10 6 à 10
Porcs les plus difficiles à bouger	les 10 premiers les 10 derniers	les 10 derniers les 10 premiers	les 10 premiers les 10 premiers	les 10 premiers les 10 premiers	tous les animaux les 10 premiers
Comparaison de la manipulation des animaux dans la bedaine comparée aux autres compartiments	identique	plus difficile	identique	plus difficile	plus difficile
Principal problème de la « bedaine »	angle de 90° à l'entrée de la rampe et largeur trop étroite	compartiment trop chaud en été	marche rend le mouvement difficile	monter la rampe pendant le déchargement	diriger les animaux vers la rampe
Procédure la plus difficile dans la « bedaine »	Dé	Ch	Ch et De ne sont pas difficiles	Dé	Dé

Ch : chargement – Dé : Déchargement ; ¹ : entreprises basées en Saskatchewan

Tableau A.2 Caractérisation de la configuration de la rampe utilisée dans le compartiment « bedaine » lors du chargement et du déchargement

Configuration	Entreprise				
	1	2	3	4	5
Configuration	1	1	1	1 2	1 2 3
Hauteur ¹	46	61	nd	71 67	67 67 67
Longueur ¹	61	91	nd	131 131	131 131 141
Largeur ¹	76	91	nd	91 91	91 91 91
Pente ²	28,2	41	nd	19,8 17,3	19,2 18,3 17,7
Extension ¹	36	a	20	35 abs	39 47 np
Marche en haut ¹	a	a	a	8 8	11 11 12
Marche en bas ¹	a	a	a	7 21	a a a 12

¹ : m ; ² : °
: ; .

nd : non disponible ; a : absent

Bibliographie

Aalhus, J. L., A. C. Murray, S. D. M. Jones, and A. K. W. Tong. 1992. Environmental conditions for swine during marketing for slaughter-A national review. Technical Bulletin 1992-6E. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada.

Aaslyng, M. D. and P. Barton Gade. 2001. Low stress pre-slaughter handling effect of lairage time on the meat quality of pork. *Meat Sci.* 57:87-92.

Abbott, T. A., E. J. Hunter, J. H. Guise, and R. H. C. Penny. 1997. The effect of experience of handling on pigs' willingness to move. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54:371-375.

Adzitey, F. and H. Nurul. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences - a mini review. *Int. Food. Res. J.* 18:11-20.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1993. Recommended code of practice for the care and handling of farm animals – pigs. Agriculture and Agri-Food Canada Publ. 1898/E. 56 pages. Ottawa, ON, Canada

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2012.
http://www.agr.gc.ca/redmeat/rpt/11tbl32_eng.htm [dernier accès le 29 novembre 2012]

Ali, B. H. and A. A. Al-Qarawi. 2002. An Evaluation of drugs used in the control of stressful stimuli in domestic animals: A review. *Acta. Vet. Brno.* 71:205-216

Allison, C. P., A. L. Marr, N. L. Berry, D. B. Anderson, D. J. Ivers, L. F. Richardson, K. Keffaber, R. C. Johnson, and M. E. Doumit. 2006. Effects of halothane sensitivity on mobility status and blood metabolites of HAL-1843-normal pigs after rigorous handling. *J. Anim. Sci.* 84:1015-1021.

Alm, P. A. 2004. Stuttering, emotions, and heart rate during anticipatory anxiety: a critical review. *J. Fluency Disord.* 29(2):123-133.

Appleby, M. C. and B. O. Hughes. 1997. Introduction. In *Animal Welfare*. M. C. Appleby and B. O. Hughes, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Asala, O. O., J. O. Ayo, P. I. Rekwot, N. S. Minka, and A. Y. Adenkola. 2010. Rectal temperature responses of pigs transported by road and administered with ascorbic acid during the hot-dry season. *J. Cell. Anim. Biol.* 4(3):51-57.

Astruc T., C. Terlouw, E. Haye, A. Berne, and A. Heyer. 2005. Intérêt d'une unité mobile pour abattre sur site de production : bien-être des animaux et qualité technologique des viandes. *Journées Recherche Porcine*. 37:113-118.

Atkinson, S. 2000. Farm animal transport, welfare and meat quality. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Environment and Health. Master thesis.

Averós, X., A. Herranz, R. Sánchez, and L. F. Gosálvez. 2009. Effect of the duration of commercial journeys between rearing farms and growing finishing farms on the physical stress response of weaned piglets. *Livest. Sci.* 122:339-344.

Averós, X., T. G. Knowles, S. N. Brown, P. D. Warriss, and L. F. Gosálvez. 2008. Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. *Vet. Rec.* 163:386-290.

AVMA, American Veterinary Medical Association. 2012. Recommendations for Risk Management at Swine Exhibitions and for Show Pigs. <http://ce.ingham.org/Portals/CE/4HDocs/Tabs/Member%20Resources/Projects/Animals/Swine/Recommendations%20for%20Risk%20Management%20at%20Swine%20Exhibitions%20and%20for%20Show%20Pigs%20-%202008%2015%2012.pdf> [dernier accès le 29 novembre 2012].

Bahnson, P. B., P. J. Fedorka-Cray, S. R. Ladely, and N. E. Mateus-Pinilla. 2006. Herd-level risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* in U.S. market pigs. *Prevent. Vet. Med.* 76:249-262.

Baldock, N. M., R. M. Sibly, and P. D. Penning. 1988. Behaviour and seasonal variation in heart rate in domestic sheep, *Ovis aries*. *Anim. Behav.* 36:35-43.

Baltussen, W. H. M, H. A. M. Spoolder, E. Lambooj, and G.B.C. Backus. 2009. Sustainable production: transporting animals or meat? Pages 635-648 in *Proc. 17th International Farm Management Congress*, Bloomington/Normal, Illinois, USA.

Barton Gade, P. A. 1997. The effect of pre-slaughter handling on meat quality of pigs. Pages 100-123 In *Manipulating pig production VI*. P. D. Cranwell, ed. S.R. Frankland. Melbourne, Australia.

Barton-Gade, P. A., L. Blaabjerg, and L. Christensen. 1992. New lairage system for slaughter pigs: effect on behaviour and quality characteristics. Pages 161-164 in *Proc. 38th Int. Congr. Meat Sci. Technol.* Clermont-Ferrand, France.

Barton-Gade, P. A., and L. Christensen. 1998. Effect of different stocking densities during transport on welfare and quality in Danish slaughter pigs. *Meat Sci.* 48:237-247.

Barton-Gade, P. A., L. Christensen, M. Baltzer, and J. Valentin Petersen. 2007. Causes of preslaughter mortality in Danish slaughter pigs with special emphasis on transport. *Anim. Welf.* 16:459-470.

Barton-Gade, P. A., L. Christensen, S. N. Brown, and P.D. Warriss. 1996. Effect of tier and ventilation during transport on blood parameters and meat quality in slaughter pigs. *Landbauforschung Volkenrode Suppl.* 166:101-116.

Bazett, H. C., F. W. Sunderman, J. Dupe, and J. C. Scott. 1940. Climatic effects on the volume and composition of blood in man. *Am. J. Physiol.* 129:69-83.

Beattie, V. E., M. S. Burrows, B. W. Moss, and R. N. Weatherup. 2002. The effect of food deprivation prior to slaughter on performance, behaviour and meat quality. *Meat Sci.* 62(4):413-418.

Beattie, V. E., N. Walker, and I. A. Sneddon. 1995. Effect of rearing environment and change of environment on the behaviour of gilts. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 46:57-65.

Becker, B. A., H. F. Mayes, G. L. Hahn, J. A. Nienaber, G. W. Jesse, M. E. Anderson, H. Heymann, and H. B. Hedrick. 1989. Effect of fasting and transportation on various physiological parameters and meat quality of slaughter hogs. *J. Anim. Sci.* 67:334-341.

Becker, B. A., J. A. Nienaber, R. K. Christenson, R. C. Manak, J. A. DeShazer, and G. L. Hahn. 1985. Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. *Am. J. Vet. Res.* 46:1034-1038.

Bench, C., A. Schaefer, and L. Faucitano. 2008a. The welfare of pigs during transport. Pages 161-195 in *Welfare of Pigs from Birth to Slaughter*. L. Faucitano, and A. Schaefer, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Bench, C., J. Rushen, and A. Schaefer. 2008b. Welfare implications of pigs transport-loading density- scientific background of current international standards. Agriculture and Agri-Food Canada. 30 pages.

Bench, C., J. Rushen, and A. Schaefer. 2008c. Welfare implications of pigs transport-journey duration- scientific background of current international standards. Agriculture and Agri-Food Canada. 22 pages.

Benefalk, C., M. Edström, Q. Geng, F. Gunnarsson, K. Lindgren, and Å. Nordberg. 2002. Mobile abattoirs for beef and pigs. Report no. 300. Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Uppsala. Sweden.

Benjamin, M. E. 2005. Pig trucking and handling-Stress and fatigued pig. *Adv. Pork Prod.* 16: 57-66.

Benjamin, M. E., H. W. Gonyou, D. J. Ivers, L. F. Richardson, D. J. Jones, J. R. Wagner, R. Seneriz, and D. B. Anderson. 2001. Effect of animal handling method on the incidence of stress response in market swine in a model system. *J. Anim. Sci.* 79(suppl. 1):279. (Abstr.)

Berg, E.P. 1999. Critical points affecting fresh pork quality within the packing plant. Pages 1-8 in *Facts: National Pork Producers Council*; Des Moines, IA, USA.

Berry, N. L., M. Ritter, E. Brunton, W. Stremsterfer, B. Hoag, J. Wolfe, N. Fitzgerald, M. Porth, D. Delaney, and T. Weldon. 2009. Effects of moving market weights pigs in different group sizes during loading on stress responses and transport losses at the packing plant. Page 5 in *Proc Midwest Am. Soc. Anim. Sci.* Des moines, IA, USA.

Bertol, T. M., M., Ellis, D. N., Hamilton, and F. K. McKeith. 2002. Effect of handling intensity on blood acid-base balance in slaughter weight pigs. *J. Anim. Sci.* 80(2):86. (Abstr.)

Bertol, T. M., M. Ellis, M. J. Ritter, and F. K. McKeith. 2005. 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.

Betley, M. P., and H. S. Bayley 1988. Exercise and postexercise energy expenditure in growing pigs. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 66:721-730.

Bidner, B., M. Ellis, and F. McKeith. 1997. Time Off-Feed Before Slaughter. *Illini porknet papers*.
<http://www.livestocktrail.illinois.edu/porknet/paperDisplay.cfm?ContentID=487>
[Dernier accès le 29 novembre 2012]

Bouchard, C. 1997. Physical activity and prevention of cardiovascular diseases: potential mechanisms. Pages 48-56 in *Physical Activity and Cardiovascular Health*. A. S. Leon, ed. Champaign, IL, USA

Boughton, C., J. Egan, G. Kelly, B. Markey, and N. Leonard. 2007. Rapid infection of pigs following exposure to environments contaminated with different levels of *Salmonella typhimurium*. *Foodborne Pathogens and Disease* 4:33-40.

Bradshaw, R. H., R. F. Parrott, J. A. Goode, D. M. Lloyd, R. G. Rodway, and D. M. Broom. 1996a. Behavioural and hormonal responses of pigs during transport: effect of mixing and duration of journey. *Anim. Sci.* 62:547-554.

Bradshaw, R. H., R. F. Parrott, M. L. Forsling, J. A. Goode, D. M. Lloyd, R. G. Rodway, and D. M. Broom. 1996b. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. *Anim. Sci.* 63:507-516.

Bradshaw, R. H., S. J. G. Hall, and D. M. Broom. 1996c. Behavioural and cortisol responses of pigs and sheep during transport. *Vet. Rec.* 138:233-234.

Brebbia, D. R., R. F. Goldman, and E. R. Buskirk. 1957. Water vapor loss from the respiratory tract during outdoor exercise in the cold. *J. Appl. Physiol.* 11:219-222.

Breinekova, K., M. Svoboda, M. Smutna, and L. Vorlova. 2007. Markers of Acute Stress in Pigs. *Physiol. Res.* 56:323-329.

Broman, M., O. Källskog, K. Nygren, and M. Wolgast. 1998. The role of antidiuretic hormone in cold-induced diuresis in the anaesthetized rat. *Acta. Physiol. Scand.* 162:475-480.

Broom, D. M. 1996. Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment. *Acta Agriculturae Scandinavica section A., Animal Science Supplement.* 27:22-28.

Broom, D. M. 2000. Welfare assessments and welfare problem areas during handling and transport. Pages 43-62 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.

Broom, D. M. 2008. The welfare of livestock during road transport. Pages 157-181 in *Long distance transport and welfare of farm animals*. Appleby, M.C. and L. Garces, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Broom, D. M., J. A. Goode, S. J. G. Hall, D. M. Lloyd, and R. F. Parrott. 1996. Hormonal and physiological effects of a 15 hour road journey in sheep: comparison with the responses to loading, handling and penning in the absence of transport. *Brit. Vet. J.* 152:593-604.

Broom, D. M. and K. G. Johnson. 1993. Assessing welfare: short-term response. Pages 87-110 in *Stress and animal welfare*. Springer, ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.

Brown, S. N., T. G. Knowles, J. L. McKinstry, J. E. Edwards, M. H. Anil, and P. D. Warriss. 1993. Patterns of responses of some physiological indices of stress in pigs negotiating loading ramps. *Anim. Prod.* 56:439. (abstr.)

Brown, S. N., T. G. Knowles, J. E. Edwards, and P. D. Warriss. 1999a. Behavioural and physiological responses of pigs to being transported for up to 24 hours followed by six hours recovery in lairage. *Vet. Rec.* 145:421-426.

Brown, S. N., T. G. Knowles, J. E. Edwards, and P. D. Warriss. 1999b. Relationship between food deprivation before transport and aggression in pigs held in lairage before slaughter. *Vet. Rec.* 145:630-634.

Brown, S. N., T. G. Knowles, L. J. Wilkins, S. A. Chadd, and P. D. Warriss. 2005. The response of pigs to being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. *Vet. J.* 170:91-100.

Brown, J. A., C. Dewey, C. F. M. Delange, I. B. Mandell, P. P. Purslow, J. A. Robinson, E. J. Squires, and T. M. Widowski. 2009. Reliability of temperament tests on finishing pigs in group housing and comparison to social tests. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 118:28-35.

Brown, J. A., T. S. Samarakone, T. Crowe, R. Bergeron, T. Widowski, J. A. Correa, L. Faucitano, S. Torrey and H. W. Gonyou. 2011. Temperature and humidity conditions in trucks transport pigs in two seasons in eastern and western Canada. *Transactions of the ASABE.* 54:2311-2318.

Brown, J. A., M. B. Scheeren, L. Faucitano, R. Bergeron, T. M. Widowski, T. Crowe and H. W. Gonyou. 2012. Truck compartment and trip duration affect pork quality of pigs transported under Canadian conditions Pages 18-21 in *Proc. 38th Annual Meeting of the Animal Transportation Association.* Vancouver, BC, Canada. (Abstr.)

Brown-Brandl, T. M., J. A. Nienaber, and L. W. Turner. 1998. Acute heat stress effects on heat production and respiration rate in swine. *Transactions of the ASAE* 41:789-793.

Brown-Brandl, T. M., R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber, and S. D. Kachman. 2001. Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pigs. *Liv. Prod. Sci.* 71:253-260.

Bruce, J. M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. Pages 197-217 in *Environmental aspects of housing for animal production.* J. A. Clark, ed. Butterworths, London, UK.

Brundige, L., T. Oleas, M. Doumit, and A. J. Zanella. 1998. Loading techniques and their effect on behavioural and physiological responses of market weight pigs. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 1):99. (Abstr.)

Busse, C. S., and M. M. Shea-Moore. 1999. Behavioural and physiological responses to transportation stress. *J. Anim. Sci. (Suppl.1):*77:147. (Abstr.)

Canadian Council on Animal Care. 2009. Guidelines on: the care and use of farm animals in research, teaching and testing. Canadian Council on Animal Care. Ottawa, ON, Canada. 162p.

Cannon W. B., H. T. Newton, E. M. Bright, V. Menkin, and R. M. Moore. 1929. Some aspect of the physiology of animals surviving complete exclusion of the sympathetic nerve impulse. *Am. J. Physiol.* 89: 84-107.

CARC. 2001. Recommended code of practice for the care and handling of farm animals - Transportation. Canadian Agri-Food Research Council.

Cariollet, R. and R. Dantzer. 1984. Motor activity of tethered sows during pregnancy. *Ann. Rech. Vet.* 15:257-261.

Carlsson, F., P. Frykblom, and C. J. Lagerkvist. 2004. Consumer willingness to pay for farm animal welfare - transportation of farm animals to slaughter versus the use of mobile abattoirs Working Papers in Economics no. 149. Department of Economics, Gothenburg University, Sweden.

Carpenter, J. D., J. A. Hoehne, and H. F. Mayes. 1993. Corral systems for handling and sorting hogs. Agricultural publication G01165 - Reviewed October 12, 1993. <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agenqin/g01165.htm>. [Dernier accès le 29 novembre 2012]

CEC. 2005. Regulation No 1/2005 relative to the protection of animals during transportation. The Council of the European Communities. December 22, 2004. Amends Directives 64/432/EEC and 93/119/EC and Regulation (EC) No. 1255/97.

Chambers, Ph. G., and T. Grandin. 1991. Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, RAP Publication 2001/4.

Chevillon, P. 1994. Le contrôle des estomacs de porcs à l'abattoir: miroir de la mise à jeun en élevage. *Techni-Porc.* 17:23-30.

Chevillon, P. 1998. Taux de mortalité lors du transport et bien-être du porc. *Techni-Porc.* 21:13-18.

Chevillon, P. 2001a. Bien-être des porcs lors des opérations de pré-abattage et d'anesthésie. *Techi-porc.* 24(6):15-22.

Chevillon, P. 2001b. Pig welfare during pre-slaughter and stunning. Pages 145-158 in Proc. 1st Int. Virtual Conf. on Pork Quality, Concordia, Brazil.

Chevillon, P. and B. Griot. 1997. Méthode d'appréciation du niveau de stress et/ou efforts du porc charcutier par la mesure des battements cardiaques. *Techni-porc.* 2:7-15.

Chevillon, P., P. Frotin, et P. Rousseau. 2002. Influence du type de sol et de la litière sur le bien-être pendant le transport. *Techni-porc.* 25:27-34.

Chorbajian, T. 1971. Nomographic approach for the estimation of heart rate recovery time after exercise. *J. Appl. Physiol.* 31: 962-964.

Christensen, L. and P. Barton-Gade. 1997. Heart rate and environmental measurements during transport and experience from the routine transports with the experimental vehicle. Report no. 02.674 in the AIR Project. Danish research Institute, Frederiksberg, Danemark.

Christensen, L. and P. Barton Gade. 1999. Temperature profile in double-decker transporters and some consequences for pig welfare during transport. *Occ. Pub. Brit. Soc. Anim. Sci.* 23:125-128.

Christensen, L., P. Barton-Gade, and L. Blaabjerg. 1994. Investigation of transport conditions in participating countries in the EC-project PL 920262. *Proc. 40th Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, The Hague, The Netherlands.

Cockram, M. S. 2007. Criteria and potential reasons for maximum journey times for farm animals destined for slaughter. *App. Anim. Behav. Sci.* 106:234-243.

Cockram, M. S., J. E. Kent, P. J. Goddard, N. K. Waran, I. M. McGilp, R. E. Jackson, G. M. Muwanga, and S. Prytherch. 1996. Effect of space allowance during transport on the behavioral and physiological responses of lambs during and after transport. *Anim. Sci.* 62:461-477.

Colleu, T. et P. Chevillon 1999. Intérêt pour la qualité de la viande et le bien-être du douchage dans le camion des porcs à l'embarquement. *Techni-porc.* 22(2):23-30.

Colleu T., P. Chevillon et P. Rousseau 1998. Enquête sur les niveaux et les évolutions des paramètres d'ambiance au cours du transport. *Techni-porc.* 21(6):27-31.

Cook, N., A. Schaefer, P. Lepage, and S. Jones. 1996. Salivary vs. serum cortisol for the assessment of adrenal activity in swine. *Can. J. Anim. Sci.* 76:329-335.

Cooper, T. R., H. R. Trunkfield, A. J. Zanella, and W. O. Booth. 1989. An enzyme-linked immunosorbent assay for cortisol in the saliva of man and domestic farm animals. *J. Endocrinol.* 123:13-16.

Correa, J. A. 2011. Effets de la manipulation à la ferme et du transport sur le bien-être animal et la qualité de la viande de porc. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, QC, Canada. 135 pages.

Correa, J. A., H. W. Gonyou, S. Torrey, N. Devillers, J.-P. Laforest, and F. Faucitano. 2008. Effect of different moving devices at loading on incidence of downers, and carcass and meat quality in market weight pigs. Joint Annual Meeting of the ADSA - ASAS, Indianapolis, IN, USA.

Correa, J. A., H. W. Gonyou, S. Torrey, T. Widowski, R. Bergeron, C. Dewey, T. G. Crowe, J. P. Laforest, and L. Faucitano. 2012. Welfare and carcass and meat quality of pigs being transported for two hours using two vehicle types during two seasons of the year. *Can. J. Anim. Sci.* (accepted for publication)

Correa J. A., S. Torrey, N. Devillers, J. P. Laforest, H. W. Gonyou and L. Faucitano. 2010. Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. *J. Anim. Sci.* 88(12):4086-4093.

Crome, P., F. K. McKeith, T. R. Carr, D. J. Jones, D. H. Mowrey, and J. E. Cannon. 1996. Effect of ractopamine on growth performance, carcass composition and cutting yields of pigs slaughtered at 107 kg and 125 kg. *J. Anim. Sci.* 74:709-716.

Dalla Costa, O. A., L. Faucitano, A. J. Coldebella, V. Ludke, J. V. Peloso, D. Dalla Roza, and M. J. R. Paranhos da Costa. 2007. Effects of the season of the year, truck type and location on truck on skin bruises and meat quality in pigs. *Livest. Sci.* 107:29-36.

Dantzer R., F. Lévy et I. Veissier 2003. Les recherches sur le bien-être animal à l'INRA: Bilan et perspectives du réseau AgriBEA 1999-2002. 16 pages.

Dawkins, M. S., 1983. *La souffrance animale*. Editions du Point Vétérinaire, Maisons-Alfort, France, 152p.

Dawkins, M. S. 2004. Using behaviour to assess welfare. *Anim. Welf.* 13:3-7.

De Jong, I. C., E. D. Ekkel, J. A. Van de Burgwal, E. Lambooi, S. M. Korte, M. A. W. Ruis, J. M. Koolhaas, and H. J. Blokhuis. 1998. Effects of strawbedding on physiological responses to stressors and behavior in growing pigs. *Physiol. Behav.* 64:303-310.

De Jong I. C., I. T. Prella, J. A. Burgwal, E. Lambooi, S. M. Korte, and H. J. Blokhuis. 2000a. Effects of environmental enrichment on behavioural responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. *Physiol. Behav.* 68:571-578.

De Jong I. C., A. Sgoifo A, E. Lambooi, S. M. Korte, H. J. Blokhuis, J. M. Koolhaas. 2000b. Effects of social stress on heart rate and heart rate variability in growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 80:273-280.

De Jong I. C., I. T. Prella, J. A. Burgwal, E. Lambooi, S. M. Korte, H. J. Blokhuis, and J. M. Koolhaas. 2000c. Effects of rearing conditions on behavioural and physiological responses of pigs to pre-slaughter handling and mixing at transport. *Can. J. Anim. Sci.* 80:451-458.

De Jonge, F. H., E. A. M. Bokkers, W. G. P. Schouten, and F. A. Helmond. 1996. Rearing piglets in a barren environment: developmental aspects of social stress in pigs. *Physiol. Behav.* 60:389-396.

De Smet, S. M., H. Pauwels, S. De Bie, D. I. Demeyer, J. Callewier, and W. Eeckhout. 1996. Effect of halothane genotype, breed, feed withdrawal and lairage on pork quality of Belgian slaughter pigs. *J. Anim. Sci.* 74:1854-1863.

Désautés, C., J. P. Bidanel, and P Mormède. 1997. Genetic study of behavioral and pituitary-adrenocortical reactivity in response to an environmental challenge in pigs. *Physiol. Behav.* 62:337-345.

Désiré, L., A. Boissy, and L. Veissier. 2002. Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. *Behav. Proc.* 60:165-180.

Dewey, C. E., C. Haley, T. Widowski, R. M. Friendship. 2004. Factors associated with in-transit losses. *Proc. London Swine Conference*, 1-2 April, London, ON, Canada.

Dewey, C. E., C. Haley, T. Widowski, R. M. Friendship. 2006. In-transit mortality in finisher pigs in Ontario swine. Page 603 in *Proc. Int. Pig Vet. Soc. Congr.* July 16 to 19. Copenhagen, Denmark.

Dewey, C., C. Haley, T. Widowski, R. Friendship, J. Sunstrum, and K. Richardson. 2009. Using data collected for production or economic purposes to research production animal welfare: an epidemiological approach. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 12:105-113.

Directive 95/29/EC, 1995. On the protection of animals during transport and amending Directive 91/628/EEC. *Off. J.Eur. Communities*, L 148, 52-63.

Driessen, B. and R. Geers. 2000. Stress during transport and quality of pork - a European view. Pages 39-51 in *Proc. 1st Int. Virtual Conf. on Pork Quality*, Concordia, SC, Brazil.

D'Souza, D. N., F. R. Dunshea, R. D. Warner, and B. J. Leury. 1998a. The effect of handling pre-slaughter and carcass processing rate post-slaughter on pork quality. *Meat Sci.* 50:429-437.

D'Souza, D. N., R. D. Warner, F. R. Dunshea, and B. J. Leury. 1998b. Effect of on-farm and pre-slaughter handling of pigs on meat quality. *Aus. J. Agri. Res.* 49:1021-1025.

Duncan, I. J. H. 1996. Animal welfare in terms of feelings. *Acta Agriculturae Scandinavica section A., Animal Science Supplement.* 27:29-35.

EC N°1/2005. 2005. Council Regulation (EC) No 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations and amending Directives 64/432/EEC and 93/119/EC and Regulation (EC) No 1255/97 OJ L 3, 5.1.2005, p. 1.

EC, 2012. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupModifyTableLayout.do> [dernier accès le 29 novembre 2012]

Eikelenboom, G., A. H. Bolink, and W. Sybesma. 1991. Effects of feed withdrawal before delivery on pork quality and carcass yield. *Meat Sci.* 29:25-30.

Ellis, M., and M. Ritter. 2006. Impact of season on production: Transport losses. Pages 205-207 in Proc. Allen D. Lemay Swine Conf., St. Paul, MN, USA.

Ellis, M., F. McKeith, D. Hamilton, T. Bertol, and M. Ritter, 2003. Analysis of the current situation: what do downers cost the industry and what can we do about it? Pages 1-3 in Proc. 4th Am. Meat Sci. Assoc. Pork Quality Symp. Columbia, MO, USA.

Ellis, M., F. McKeith, and M. Ritter. 2004. Handling non-ambulatory pigs. Proc. Int. Meat Anim. Welfare Res. Conf., Kansas City, MO, USA.

European Council. Council Regulation (EC) No. 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations and amending Directives 64/432/EEC and 93/ 119/EC and Regulation (EC) No. 1255/97. Official Journal of the European Union L3 2005, 1-44.

Fabrega E., X. Manteca, J. Font, M. Gispert, D. Carrion, A. Velarde, J. L. Ruiz de la Torre, and A. Diestre 2002. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Sci.* 62:463-472.

Faucitano, L. 1998. Preslaughter stressors effects on pork: a review. *J. Muscle Foods.* 9:293-303.

Faucitano, L. 2001. Causes of skin damage to pig carcasses. *Can. J. Anim. Sci.* 81:39-45.

Faucitano, L., L. Marquardt, M. S. Oliveira, H. Sebastiany Coelho, and N. N. Terra. 1997. Effects of different slaughter handling systems on the carcass and meat quality in pigs. Page 347 in Proc. 48th Europ. Assoc. Anim. Prod. Vienna, Austria.

Faucitano, L., L. Marquardt, M. S. Oliveira, H. Sebastiany Coelho, and N. N. Terra. 1998. The effects of two handling and slaughter systems on skin damage, meat acidification and colour in pigs. *Meat Sci.* 50:13-19.

Faucitano, L., J. A. Correa, S. Torrey, R. Bergeron, N. Lewis, E. Tamminga, T. Widowski, J. P. Laforest, T. Crowe, and H. W. Gonyou. 2009. Effects of handling procedures and transport vehicle design on the welfare and meat quality of pigs under Canadian conditions. Final report submitted to Quebec Pork Producers' Board, Animal Compassion Foundation and F. Ménard, 74 pages.

Faucitano, L., P. Chevillon, and M. Ellis. 2010a. Effects of feed withdrawal prior to slaughter and nutrition on stomach weight, and carcass and meat quality in pigs. *Livest. Sci.* 127(2-3):110-114.

Faucitano, L., S. Torrey, R. Bergeron, T. Widowski, J. P. Laforest, J. A. Correa, E. Tamminga, and H. W. Gonyou. 2010b. Effects of vehicle design on the welfare and meat quality of pigs under Canadian transport conditions. *J. Anim. Sci.* 88 (E-Suppl.-2):802. (Abstr.)

FAWC, 1992. FWAC updates the five freedoms. *Vet. Rec.* 131:357.

Fernandez, X., M. C Meunier-Salaun, P. Ecolan, and P. Mormede. 1995. Interactive effects of food deprivation and agonistic behaviour on blood parameters and muscle glycogen in pigs. *Physiol. Behav.* 58:337-345.

Fischer, K., C. Augustini, and R. McCormick. 1989. Effect of fasting time before slaughter on the quality of pigmeat. *Fleischwirtschaft.* 68:485-488.

Fisher., P., F. D. Mellet, and L. C. Hoffman. 2000. Halothane genotype and pork quality. 1. Carcass and meat quality characteristics of three halothane genotypes. *Meat sci.* 54:97-105.

Fitzgerald, R. F., K. J. Stalder, J. O. Matthews, C. M. Schultz Kaster, and A. K. Johnson. 2009. Factors associated with fatigued, injured and dead pig frequency during transport and lairage at a commercial abattoir. *J. Anim. Sci.* 87:1156-1166.

Forsling, M. L., D. F. Sharman, and D. B. Stephens. 1984. Vasopressin in the blood plasma of pigs and calves exposed to noise and vibration comparable with that experienced during transport. *J. Physiol.* 357:96. (Abstr.)

Fraqueza, M. J., L. C. Roseiro, J. Almeida, E. Matias, C. Santos, and J. M. Randall. 1998. Effects of lairage temperature and holding time on pig behaviour and on carcass and meat quality. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 60:317-330.

Fraser D., D. M. Weary, E. A. Pajor, and B. N. Milligan 1997. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Anim. Welf.* 6(3):187-205.

Fregly, M. J., and I. W. Waters. 1966. Water intake of rats immediately after exposure to a cold environment. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 44:651-652.

Fregly, M. J., B. J. Kaplan, J. G. Brown, E. L. Nelson, and P. E. Tyler. 1976. Effect of water temperature during cold exposure on thermogenic drinking in rats. *J. Appl. Physiol.* 41:497-501.

Freund, B. J. and A. J. Young. 1995. Environmental Influences on Body Fluid Balance During Exercise - Cold Exposure. Technical note. U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA, USA.

Frotin, P., P. Chevillon, et P. Rousseau. 2002. Systèmes d'abreuvement et comportement des porcs lors d'un transport de 24h. *Techniporc.* 25:15-24.

Fujii J., K. Otsu , F. Zorzato, S. de Leon, V. K. Khanna, J. E. Weiler, P. J. O'Brien, and D. H. MacLennan. 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science.* 253:448-451.

Geers, R., V. Goedseels, G. Parduyns, and G. Vercruysse. 1986. The group postural behaviour of growing pigs in relation to air velocity, air and floor temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16:353-362.

Geers, R., E. Bleus, T. Van Schie, H. Ville, H. Gerard, S. Janssens, G. Nackaerts, E. Decuypere, and J. Jourquin, 1994. Transport of pigs different with respect to the halothane gene: Stress assessment. *J. Anim. Sci.* 72:2552-2558.

Geers, R., G. Janssens, H. Ville, E. Bleus, H. Gerard, S. Janssens, and J. Jourquin. 1995. Effect of human contact on heart rate of pigs. *Anim. Welf.* 4:351-359.

Gentry, J. G., A. K. Johnson, and J. J. McGlone. 2008. The welfare of growing-finishing pigs. Pages 133-161 in *Welfare of pigs from birth to slaughter*. L. Faucitano and A. L. Schaefer).ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.

Gesing, L. M., A. K. Johnson , J. T. Selsby , C. Feuerbach , H. Hill , M. Faga ,A. Whiley , R. Bailey , K. J. Stalder , P. A. S and M. J. Ritter. 2010. Effects of presorting on stress responses at loading and unloading and the impact on transport losses from market-weight pigs. *The Professional Animal Scientist.* 26:603-610.

Geverink, N. A., and E. Lambooi. 1994. Treatment of slaughter pigs during lairage in relation to behaviour and skin damage. In *Proc. 40th Int. Congr. Meat Sci. Technol.* The Hague, The Netherlands.

Geverink, N. A., B. Engel, E. Lambooi, and V. M. Wiegant. 1996. Observations on behaviour and skin damage of slaughter pigs and treatment during lairage. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 50:1-13.

Geverink, N. A., A. Buhemann, J. A. Van de Burgwal, E. Lambooj, H. J Blokhuis, and V. M. Wiegant. 1998a. Responses of slaughter pigs to transport and lairage sounds. *Physiol. Behav* 63:667-673.

Geverink, N. A., R. H. Bradshaw, E. Lambooj, V. M. Wiegant, and D. M. Broom. 1998b. Effects of simulated lairage conditions on the physiology and behavior of pigs. *Vet. Rec.* 143:241-244.

Geverink N. A., A. Buhemann, J. A. Van de Burgwal, E. Lambooj, H. J Blokhuis, and V. M. Wiegant. 1998c. Effects of regular moving and handling on the behavioral and physiological responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for subsequent meat quality. *J. Anim. Sci.* 76:2080-2085.

Geverink, N. A., I. C. Jong, E. Lambooj, H. J. Blokhuis, and V. M. Wiegant. 1999. Influence of housing conditions on responses of pigs to preslaughter treatment and meat quality. *Can. J. Anim. Sci.* 79:285-291.

Gifford, A. K., S. Cloutier, and R. C. Newberry. 2007. Objects as enrichment: Effects of object exposure time and delay interval on object recognition memory of the domestic pig. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 107:206-217.

Giroux, V. 2002. Le statut juridique de l'animal. *Conjoncture.* 33/34, 31-51.

Gispert, M., M. D. Guàrdia, and A. Diestre. 1996. Mortality during transport and rest time for slaughter pigs. *Eurocarne.* 45:73-79.

Gispert, M., L. Faucitano, M. A. Oliver, M. D. Guardia, C. Coli, K. Siggens, K. Harvey, and A. Diestre. 2000. A survey of pre-slaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in five Spanish pig commercial abattoirs. *Meat Sci.* 55:97-106.

Gonyou, H. W., P. H. Hemsworth, and J. L. Barnett. 1986. Effects of frequent interactions with humans on growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16:269-278.

Gordon, C. J., P. Becker, and B. Padnos. 2000. Comparison of heat and cold stress to assess thermoregulatory dysfunction in hypothyroid rats. *Am. J. Physiol. Reg. Integ. Comp. Physio.* 279:2066-2071.

Gosálvez, L. F., X. Averós, J. J. Valdelvira, and A. Herranz. 2006. Influence of season, distance and mixed loads on the physical and carcass integrity of pigs transported to slaughter. *Meat Sci.* 73:553-558.

Goumon, S., J. A. Brown, L. Faucitano, R. Bergeron, T. M. Widowski, T. Crowe, L. Connor, and H. W. Gonyou. 2012 Effects of season and transport duration on behaviour, heart rate and body temperature of market weight pigs. In Proc. 38th annual meeting of the Animal Transportation Association. Vancouver, BC, Canada.

Goumon, S., R. Bergeron, and H.W. Gonyou 2011. The effect of ramp configuration on heart rate, handling and behaviour of market pigs at unloading. Page 119. in proc 45th International congress of the International Society for Applied Ethology. Indianapolis, Indiana, USA.

Grandin, T. 2010. Welfare during transport of livestock and poultry. Page 117 in Improving Animal Welfare: A Practical Approach. T. Grandin, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Grandin, T. 2008. Engineering and design of holding yards, loading ramps and handling facilities for land and sea transport of livestock. *Vet. It.* 44(1):235-245.

Grandin, T. 2001. Perspectives on transportation issues; the importance of having physically fit cattle and pigs. *J. Anim. Sci.* 79(E. Suppl.):E201-E207.

Grandin, T. 2000a. Introduction: Management and economic factors of handling and transport. Pages 1-14 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Grandin, T. 2000b. Handling and welfare of livestock in slaughter plants. Pages 409-441 In *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Grandin, T. 2000c. Effect of animal welfare audits of slaughter plants by a major fast food company on cattle handling and stunning practices. *J. Am. Vet. Assoc.* 216:848-851.

Grandin, T. 1998. Objective scoring of animal handling and stunning practices in slaughter plants. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 212:36-39.

Grandin, T. 1997a. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 75:245-257.

Grandin, T. 1997b. The design and construction of facilities for handling cattle. *Livest. Prod. Sci.* 49:103-119.

Grandin, T. 1996. Factors that impede animal movement at slaughter plants. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 209:757-759.

Grandin, T. 1994. Solving livestock handling problems. *Vet. Med.* 89:989-998.

Grandin, T. 1991. Principles of abattoir design to improve animal welfare. Pages 279-304 in *Progress in Agricultural Physics and Engineering*. J. Matthews, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Grandin, T. 1990. Design of loading facilities and holding pens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 28: 187-201.

Grandin, T. 1989. Behavioral principles of livestock handling. In *Professional Animal Scientist*. 1-11.

Grandin, T. 1982. Pig behavior studies applied to slaughter-plant design. *Appl. Anim. Ethol.* 9:141-151.

Grandin, T. 1980. Designs and specifications for livestock handling equipment in slaughter plants. *Int. J. Stud. Anim. Probl.* 1:178-200.

Grandin, T. 1979. Designing meat packing plant handling facilities for cattle and hogs. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22:912-917.

Grandin, T. 1978. Transport from the animal's point of view. *Am. Soc. Agric. Eng. Paper No.* 78-6013.

Grandin, T., S. E. Curtis, and I. A. Taylor. 1987. Toys, mingling and driving reduce excitability in pigs. *J. Anim. Sci.* 65(Suppl. 1):230. (Abstr.)

Grandin, T., T. Widowski, and P. Lawlis. 2002. Practical tips and guidelines for the handling and transport of market hogs. London Swine Conference - Conquering the Challenges, 11-12 April.

Gregory, N. G. 1998. *Animal welfare and meat science*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Grunert, K. G. 2006. Future trends and consumer lifestyles with regard to meat consumption. *Meat Sci.* 74:149-160.

Guàrdia, M. D., J. Estany, S. Balasch, M. A. Oliver, M. Gispert, and A. Diestre. 2009. Risk assessment of skin damage due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.* 81:745-751.

Guàrdia, M. D., J. Estany, S. Balasch, M. A. Oliver, M. Gispert, and A. Diestre. 2005. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.* 70:709-716.

Guàrdia, M. D., M. Gispert, and A. Diestre. 1996. Mortality rates during transport and lairage in pigs for slaughter. *Meat Focus Int.* 5:362-365.

Guise, H. J., and R. H. Penny. 1989. Factors influencing the welfare and carcass and meat quality of pigs. 2. Mixing unfamiliar pigs. *Anim. Prod.* 49:517-521.

Guise, H. J., and P. D. Warriss. 1989. A note on the effect of stocking density and temperature on meat quality in pigs. *Anim. Prod.* 48:480-482

Guise, H. J., R. H. C. Penny, P. J. Baynes, T. A. Abbott, E. J. Hunter, and A. M. Johnston. 1995. Abattoir observations of the weights of stomachs and their contents in pigs slaughtered at known times after their last feed. *Brit. Vet. J.* 151:659-670.

Hahn, G. L. 1997. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77:10-20.

Haley, C. 2005. The factors associated with transport loss of market weight swine in Ontario. PhD Thesis, University of Guelph.

Haley, C., C. E. Dewey, T. Widowski, and R. Friendship. 2008. Association between in-transit losses, internal trailer temperature, and distance travelled by Ontario market hogs. *Can. J. Vet. Res.* 72:385-389.

Hall, S. J. G., and R. H. Bradshaw. 1998. Welfare aspects of transport by road of sheep and pigs. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 1:235-254.

Hambrecht, E., J. J. Eissen, D. J. Newman, C. H. M. Smits, L. A. Den Hartog, and M. W. A. Verstegen. 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.

Hamilton, D. N., M. Ellis, T. M. Bertol, and K. D. Miller. 2004. Effects of handling intensity and live weight on blood acid-base status in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2405-2409.

Hay, M., and P. Mormède. 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 symphatoadrenal axis activity. *Vet. Res.* 29:119-128.

Hayne, S. M., D. L. Whittington, and H. W. Gonyou. 2009. Handling Stress During Marketing of Pigs from Large Groups. Proc 28th Centralia Swine Research Update, January 28th. Kirkton, ON, Canada.

Hemsworth, P. H. 2000. Transport of pigs. Pages 255-274 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Hemsworth, P. H., and J. L. Barnett. 1992. The effects of early contact with humans on the subsequent level of fear of human in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 35(1):83-90.

Hemsworth, P. H., J. L. Barnett, and C. Hansen. 1986. The influence of handling by humans on the behavior, reproduction and corticosteroids of male and female pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 15:303-314.

Hemsworth, P. H. and G. J. Coleman. 1998. Human-animal interactions and animal productivity and welfare. Pages 47-84 in Human-livestock interactions: the stockperson and the productivity and welfare of intensively farmed animals. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Hemsworth, P. H., G. J. Coleman, M. Cox, and J. L. Barnett. 1994. Stimulus generalization: the inability of pigs to discriminate between humans on the basis of their previous handling experience. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 40:129-142.

Hemsworth, P. H., J. Verge, and G. J. Coleman 1996. Conditioned approach-avoidance responses to humans: the ability of pigs to associate feeding and aversive social experiences in the presence of humans with humans. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 50:71-82.

Hemsworth, P. H., J. L. Barnett, C. Hofmeyr, G. J. Coleman, S. Dowling, and J. Boyce. 2002. The effects of fear of humans and pre-slaughter handling on the meat quality of pigs. *Aus. J. Agri. Res.* 53:493-501.

Hill, J. 2005. Animal transport and handling. Premium Standard Farm, Princeton, MO. Proc. Animal handling and Care Conference, 9-10 February. American Meat institute. Kansas City, MO, USA.

Hollands, C. 1980. Compassion is the bugler. The struggle for animal rights. Edinburgh: Macdonald Publishers.

Holmes, C. W., and L. E. Mount. 1967. Heat loss from groups of growing pigs under various conditions of environmental temperature and air movement. *Anim. Prod.* 9:435-452.

Holtcamp, A. 2000. Gotedema: Clinical signs, diagnosis and control. Pages 337-339 in Proc. Am. Assoc. of Swine Pract. Perry, IA, USA.

Honkavaara, M. 1995. Factors affecting the microbial quality of meat. Disease status, production methods and transportation of the live animal. Eds M. H. Hinton, C. Rowlings. Report on Concerted Action Project CT94-1456. Bristol, University of Bristol Press. 111 pages.

Houpt, K. A. 2010. Domestic animal behavior for veterinarians and animal scientiststs. 5th Edition, John Wiley & Sons, Eds. 416 pages

Hughes, B. O. 1976. Behaviour as an index of welfare. Pages 1005-1018 in Proc. 5th European Poultry Conference. Malta.

Hunter, E. J., C. M. Weeding, H. J. Guise, T. A. Abbott, and R. H. C. Penny. 1994. The effect of season and stocking density on pig welfare during transport. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 41: 274. (Abstr.)

- Hurd, H. S., J. K. Gailey, J. D. McKean, and M. H. Rostagno. 2001. Rapid infection in market-weight swine following exposure to a Salmonella Typhimurium-contaminated environment. *Am. J. Vet. Res.* 62:1194-1197.
- Hurd, H. S., J. D. McKean, R. W. Griffith, I. V. Wesley, M. H. Rostagno. 2002. Salmonella enterica infections in market swine before and after transport and holding. *App. Env. Microbiol.* 68:2376-2381.
- Hurnik, J. F. 1988. Welfare of farm animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 20:105-117.
- Hyun, Y., M. Ellis, G. Riskowski, and R. W. Johnson. 1998. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. *J. Anim. Sci.* 76:721-727.
- Huynh, T. T., A. J. Aarnink, W. J. Gerrits, M. J. Heetkamp, and T. T. Canh. 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91:1-16.
- Huynh, T. T. T., A. J. Aarnink, M. W. A. Verstegen, W. J. J. Gerrits, M. J. W. Heetkamp, B. Kemp and T. T. Canh. 2004. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.* 83:1385-1396.
- Hynynen, M., R. Ilmarinen, I. Tikkanen, and F. Fyhrquist. 1993. Plasma atrial natriuretic factor during cold-induced diuresis. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67:286-289.
- Ingram, D. L., and M. J. Dauncey 1985. Circadian rhythms in the pig. *Comp. biochem. Physiol.* 82:1-5.
- Itoh, S. 1954. The release of antidiuretic hormone from the posterior pituitary body on exposure to heat. *Jpn. J. Physiol.* 4:185-190.
- Ivers, D. J., L. F. Richardson, D. J. Jones, L. E. Watkins, K. D. Miller, J. R. Wagner, R. Seneriz, A. G. Zimmermann, K. A. Bowers, and D. B. Anderson. 2002. Physiological comparison of downer and non-downer pigs following transportation and unloading at a packing plant. *J. Anim. Sci.* 80(suppl. 2):39.(Abstr.)
- Jacobson, L. H. and C. J. Cook. 1998. Partitioning psychological and physical sources of transport-related stress in young cattle. *Vet. J.* 155: 205-208.
- Jensen, A. H., D. E. Kuhlman, D. E. Becker, and B. G. Harmon. 1969. Response of growing-finishing swine to different housing environments during winter seasons. *J. Anim. Sci.* 29:451-456.
- Jones, S. D. M., R. E. Rompala, and C. R. Haworth. 1985. Effects of fasting and water restriction on carcass shrink and pork quality. *Can. J. Anim. Sci.* 65:613-618.

Jongman, E. C., J. L. Barnett, and P. H. Hemsworth. 2000. The aversiveness of carbon dioxide stunning in pigs and a comparison of the CO₂ stunner crate vs. the V-restrainer. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 67:67-76.

Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77:59-91

Kanitz, E., W. Otten, and M. Tuchscherer. 2005. Central and peripheral effects of repeated noise stress on hypothalamic–pituitary–adrenocortical axis in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 94:213-224.

Kasa, I. W., M. K. Hill, C. J. Thwaites, and N. D. Baillie. 1995. Effects of treadmill exercise on physiological responses in Saanen Goats. *Small Ruminant Research.* 16:129-132

Kavanagh, L. 2010. The Interaction of group size and alley width on the movement of near-market pigs. Master Thesis. Guelph University. 30 pages.

Kelley, K. W. 1985. Immunological consequences of changing environmental stimuli. Pages 193-223 in *Animal Stress*. G.P. Moberg, ed. American Physiological Association. Bethesda, MD, USA.

Kephart, K. B., M. T. Harper, and C. R. Raines. 2010. Observations of market pigs following transport to a packing plant. *J. Anim. Sci.* 88:2199-2203.

Kettlewell, P. J., R. P. Hoxey, R. L. Hartshorn, I. R. Meeks, and P. Twydell. 2001. Controlled ventilation system for livestock transport vehicles. Pages 556-563 in *Livestock Environment VI: Proc. of the 6th Int. Symp.* St. Joseph, MI, USA.

Khansari, D. N., A. J. Murgo, and R. E. Faith. 1990. Effects of stress on the immune system. *Immunol. Today.* 11:170. (Abstr.)

Kim, Y. S., S. W. Kim, M. A. Weaver and C. Y. Lee. 2005. Increasing the pig market weight: world trends, expected consequences and practical considerations. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:590-600.

Kim, D. H., J. H. Woo and C. Y. Lee. 2004. Effects of stocking density and transportation time of market pigs on their behaviour, plasma concentrations of glucose and stress associated enzymes and carcass quality. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 17:116-121.

Klont, R. E., B. Hulsegge, A. H. Hoving-Bolink, M. A. Gerritzen, E. Kurt, H. A. Winkelman- Goedhart, I. C. de Jong, and R. W. Kranen. 2001. Relationships between behavioral and meat quality characteristics of pigs raised under barren and enriched housing conditions. *J. Anim. Sci.* 79:2835-2843.

Knowles, T. G., and P.D. Warris. 2000. Stress physiology of animals during transport. Pages 385-407 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Krebs, N., and J. J. McGlone. 2009. Effects of exposing pigs to moving and odors in a simulated slaughter chute. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116:179-185.

Lambooij, E. 2000. Transport of pigs. Pages 275-296 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Lambooij, E. 1988. Road transport of pigs over a long distance: some aspects of behaviour, temperature and humidity during transport and some effects of the last two factors. *Anim. Prod.* 46:257-263.

Lambooij, E. 1983. Watering pigs during road transport through Europe. *Fleischwirtsch.* 63:1456-1458.

Lambooij, E. and Engel, B. 1991. Transport of slaughter pigs by truck over a long distance: some aspects of loading density and ventilation. *Livest. Prod. Sci.* 28: 163-174.

Lambooij, E., G. J. Garssen, P. Walstra, F. Mateman, and G. S. M. Merkus. 1985. Transport of pigs by car for two days: some aspects of watering and loading density. *Livest. Prod. Sci.* 13:289-299.

Lambooij, E., B. Hulsegge, R. E. Klont, H. A. Winkelman-Goedhart, H. G. M. Reimert, and R. W. Kranen. 2004. Effects of housing conditions of slaughter pigs on some post mortem muscle metabolites and pork quality characteristics. *Meat Sci.* 66:855-862.

Lambooij, E., and G. van Putten. 2000. Transport of pigs. Pages 228-244 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Lammens, V., E. Peeters, H. De Maere, E. De Mey, H. Paelinck, J. Leyten, and R. Geers. 2007. A survey of pork quality in relation to pre-slaughter conditions, slaughterhouse facilities, and quality assurance. *Meat Sci.* 75:381-387.

Lawrence, A. B., E. M. C. Terlouw, and A. W. Illius. 1991. Individual differences in behavioural responses of pigs exposed to non-social and social challenges. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 30:73-86.

Lay, D. C., T. H. Friend, C. L. Bowers, K. K Grissom, and O. C. Jenkins. 1992. A comparative physiological and behavioral study of freeze and hot-iron branding using dairy cows. *J. Anim. Sci.* 70:1121-1125.

Leach, L. M., M. Ellis, D. S. Sutton, F. K. McKeith, and E. R. Wilson. 1996. The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of Halothane carrier and negative pigs. *J. Anim. Sci.* 74:934-943.

Lee, J. R., D. H. Kim, T. Y. Hur, J. I. Lee, S. T. Joo, and G. B. Park. 2000. The effect of stocking density in transit on the meat quality and blood profile of the slaughter pig. *Kor. J. Anim. Sci. Tech.* 42:669-676.

Leheska, J. M., D. M. Wulf, and R. J. Maddock. 2002. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J. Anim. Sci.* 80:3194-3202.

Lensink, B. J., X. Fernandez, G. Cozzi, L. Florand, and I. Veissier. 2001. The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *J. Anim. Sci.* 79:642-652.

Lewis, N. J., and R. J. Berry. 2006. Effect of season on the behaviour of early-weaned piglets during and immediately following transport. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100:182-192.

Lewis, C. R. G., and J. J. Mcglone. 2007. Moving finishing pigs in different group sizes: Cardiovascular responses, time and ease of handling. *Livest. Sci.* 107:86-90.

Lewis, C. R. G., L. E. Hulbert, and J. J. McGlone. 2008. Novelty causes elevated heart rate and immune changes in pigs exposed to handling, alleys, and ramps. *Livest. Sci.* 116:338-341.

Lippmann, J., D. Schaffer, and R. B. Laube. 1999. Noise at slaughter plants - behavioural adaptation of slaughter pigs to different noise situations. *KTBL – Schrift.* 382:181-188.

Malena, M., E. Voslářová, A. Kozák, P. Bělobrádek, I. Bedáňová, L. Steinhauser, and V. Večerek, 2007. Comparison of mortality rates in different categories of pigs and cattle during transport for slaughter. *Acta Vet.* 76:109-116.

Manteca, X. 1998. Neurophysiology and Assessment of Welfare. *Meat Sci.* 49:205-218.

Marchant-Forde, J. N., and R. M. Marchant-Forde. 2009. Welfare of pigs during transport and slaughter. Pages 301-330 in *The welfare of pigs*. J. N. Marchant-Forde, ed. Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht, The Netherlands.

Marchant-Forde, J. N., D. C. Lay, E. A. Pajor, B. T. Richert, and A. P. Schinckel. 2003. The effects of ractopamine on the behaviour and physiology of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:416-422.

Marg, H., H. C. Scholz, T. Arnold, U. Rosler and A. Hensel. 2001. Influence of long-time transportation stress on reactivation of Salmonella Typhimurium DT 104 in experimentally infected pigs. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 114:385-388.

Matteri, R. L., J. A. Carroll, and C. J. Dyer. 2000. Neuroendocrine responses to stress. Pages 43-76 in *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*. G. P. Moberg and J. A. Mench, ed. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Mayes, H. F., and G. W. Jesse. 1980. Heart rate data of feeder pigs. *Am. Soc. Agric. Eng. St. Joseph, MI, Tech. Pap.* 80-402:1-8.

Mayes, H. F., G. L. Hahn, B. A. Becker, M. E. Anderson, J. A. Nienaber, H. B. Hedrick, and G. W. Jesse. 1988. A report on the effect of fasting and transportation on live weight losses, carcass weight losses and heat production measures of slaughter hogs. *Appl. Eng. Agric.* 4:254.

McCann, J. S., J. C. Heird, R. W. Bell, and L. O. Lutherer. 1998. Normal and more highly reactive horses. Heart rate, respiration rate and behavioral observations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 19:201-214.

McFarlane, J. M., S. E. Curtis, R. D. Shanks, and S. G. Carmer. 1989a. Multiple concurrent stressors in chicks. 1. Effect on weight gain, feed intake, and behavior. *Poult. Sci.* 68:501-509.

McFarlane, J. M., S. E. Curtis, R. D. Shanks, and S. G. Carmer. 1989b. Multiple concurrent stressors in chicks. 3. Effect on plasma corticosterone and heterophil:lymphocyte ratio. *Poult. Sci.* 68:522-527.

McGlone, J. J. 2006. Fatigued pigs: the transportation link. *Pork*. February: 14-16.

McGlone, J. J., and W. Pond. 2003. Applied anatomy and physiology related to blood sampling, hematology and immunology. Pages 34-51 in *Pig production, Biological principles and applications*. Thomson/Delmar Learning. Clifton Park, NY. USA.

McGlone, J. J., R. L. McPherson, and D. L. Anderson. 2004. Case study: moving devices for finishing pigs: efficacy of electric prod, board, paddle, or flag. *Prof. Anim. Sci.* 20:518-523.

McGlone J. J., J. L. Salak, E. A. Lumpkin, R. I. Nicholson, M. Gibson, and R.L. Norman. 1993. Shipping stress and social status effect on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity, and leukocyte numbers. *J. Anim. Sci.* 71:888-896.

McPhee, C. P., L. J. Daniels, H. L. Kramer, G. M. Macbeth, and J. W. Noble. 1994. The effects of selection for lean growth and halothane allele on growth performance and mortality of pigs in a tropical environment. *Livest. Prod. Sci.* 38:117-123.

Mellor D. J., and L. Murray 1989. Effects of tail docking and castration on behaviour and plasma cortisol concentrations in young lambs. *Res. Vet. Sci.* 46:387-91.

Milligan, S. D., C. B. Ramsey, M. F. Miller, C. S. Kaster, and L. D. Thompson. 1998. Resting pigs and hot fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *J. Anim. Sci.* 76:74-86.

Minero, M., E. Canali, V. Ferrante, and C. Carezzi. 2001. Measurement and time domain analysis of heart rate variability in dairy cattle. *Vet Rec.* 149:772-774.

Minton, J. E. 1994. Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *J. Anim. Sci.* 72: 1891-1898.

Montieth, J. L., and L. E. Mount. 1974. *Heat Loss from Animals and Man.* Butterworths, London. UK.

Mormède, P., H. Courvoisier, A. Ramos, N. Marissal-Arvy, O. Ousova, C. Désautés, M. Duclos, F. Chaouloff, and M. P. Moisan. 2002. Molecular genetic approaches to investigate individual variations in behavioral and neuroendocrine stress responses. *Psychoneuroendocrinology.* 27(5):563-83.

Mormède, P., A. Foury, and M. C. Meunier-Salaün. 2006. Pig welfare: the animal point of view, biological and behavioural approaches. *Bull. Acad. Vét. France.* 159:191-204.

Mota-Rojas, D., M. Becerril, C. Lemus, P. Sanchez, M. Gonzalez, S. A. Olmos, R. Ramirez, and M. Alonso-Spilsbury. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre-and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci.* 73:404-412

Mota-Rojas, D., M. Becerril Herrera , M. E. Trujillo-Ortega , M. Alonso-Spilsbury, S. C. Flores-Peinado, and I. Guerrero-Legarreta. 2009. Effects of Pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles. *J. Anim. Vet. Adv.* 8(2):246-250

Mount, L. E. 1975. The assessment of thermal environment in relation to pig production. *Livest. Prod. Sci.* 2:381-392.

Murburg, M. M., C. W. Wilkinson, M. A. Raskind, R. C. Veith, and D. M. Dorsa. 1993. Evidence for two differentially regulated populations of peripheral beta-endorphin releasing cells in humans. *J. Clin. End. Metab.* 77:1033-1040.

Murray, A. C., 2001. Reducing losses from farm gate to packer. A Canadian perspective. Pages 72-84 in Proc. 1st International Virtual Conference on Pork Quality. Embrapa, Concordia, Brazil.

Murray, A. C., S. D. M. Jones, and A. P. Sather. 1989. The effects of preslaughter feed restriction and genotype for stress susceptibility on pork lean quality and composition. *Can. J. Anim. Sci.* 69:83-91.

Murray, A. C., and C. P. Johnson. 1998. Impact of halothane gene on muscle quality and pre-slaughter deaths in Western Canadian pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 78:543-548.

Murray, A. C., W. Robertson, F. Nattress, and A. Fortin. 2001. Effect of pre-slaughter overnight feed withdrawal on pig carcass and muscle quality. *Can. J. Anim. Sci.* 81:89-97.

Nanni Costa, L. 2009. Short-term stress: the case of transport and slaughter. *It. J. Anim. Sci.* 8:241-252.

Nanni Costa, L., D. P. Lo Fiego, A. De Grossi, and V. Russo. 1996. Effect of loading method, stocking density and temperature on carcass and meat quality in heavy pigs. Pages 89-93 in Proc. EU-Seminar New Information on Welfare and Meat Quality of Pigs as Related to Handling, Transport and Lairage Conditions; Volkenrode, L.; Ed. Marienensee, Germany.

Nanni Costa, L., D. P. Lo Fiego, S. Dallolio, R. Davoli, and V. Russo. 1999. Influence of loading method and stocking density during transport on meat and dry-cured ham quality in pigs with different halothane genotypes. *Meat Sci.* 51:391-399.

Nanni Costa, L., D. P. Lo Fiego, S. Dallolio, R. Davoli, and V. Russo. 2002. Combined effects of pre-slaughter treatments and lairage time on carcass and meat quality in pigs of different halothane genotype. *Meat Sci.* 61:41-47.

National Pork Board. 2008. Transport quality assurance handbook. Pork chekoff. USA. 52p. <http://www.pork.org/filelibrary/TQA/manual.pdf>. [Dernier accès le 19 mars 2013].

Neubert, E., H. Gurtler, and G. Vallentin. 1996. Effect of acute stress on plasma levels of catecholamines, cortisol and metabolites in stress-susceptible growing pigs. *Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift.* 109:381-384.

Niewold, T. A., G. J. van Essen, M. J. A. Nabuurs, N. Stockhofe-Zurwieden, and J. van der Meulen 2000. A review of Porcine Pathophysiology: A different approach to disease. *Vet. Quart.* 22:209-212.

Noblet, J., X. S. Shi, and S. Dubois. 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livest. Prod. Sci.* 34:127-136.

Nyberg L., K. Lundström, I. Edfors-Lilja, and M. Rundgren. 1988. Effects of transport stress on concentrations of cortisol, corticosteroid-binding globulin and glucocorticoids receptors in pigs with different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 66:1201-1211.

O'Connell, N. E., and V. M. Beattie. 1999. Influence of environmental enrichment on aggressive behaviour and dominance relationships in growing pigs. *Anim Welf.* 8:269-279.

Oliver, M. A., M. Gispert, and A. Diestre. 1993. The effect of breed and halothane sensitivity on pig meat quality. *Meat Sci.* 35:105-118.

Olsson, I. A. H., F. H. De Jonge, T. Schuurman, and F. A. Helmond. 1999. Poor rearing conditions and social stress in pigs: repeated social challenge and the effect on behavioural and physiological responses to stressors. *Behav. Proc.* 46:201-215.

Otten, W., E. Kanitz, B. Puppe, M. Tuchscherer, K. P. Brüssow, G. Nürnberg and B. Stabenow. 2004. Acute and long term effects of chronic intermittent noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympatho-adreno-medullary axis in pigs. *Anim. Sci.* 78:271-283.

Otten, W., B. Puppe, B. Stabenow, E. Kanitz, P. C. Schön, K. P. Brüssow, and G. Nürnberg. 1997. Agonistic interactions and physiological reactions of top- and bottom-ranking pigs confronted with a familiar and an unfamiliar group: preliminary results. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55:79-90.

Ouedraogo, A. P. 1998. Les représentations sociales de l'élevage des animaux de rente en France. Document de travail, CORELA, INRA-Ivry/Seine.

Palacio J., S. Garcia-Belenguer, F. M. Gascon, F. Liste, C. Ortega, B. Lobera, I. Martin-Maestro, J. A. Angel, J. C. Lles, and F. Bayo. 1996. Mortalidad durante el transporte a un matadero en ganado porcino. *Investigacion Agraria: Produccion y Sanidad Animal.* 11:159-169.

Parrott, R. F., S. J. G. Hall, and D. M. Lloyd. 1998. Heart rate and stress hormone responses of sheep to road transport following two different loading procedures. *Anim. Welf.* 7:257-267.

Parrott, R. F., D. M. Lloyd, and D. Brown. 1999. Transport stress and exercise hyperthermia recorded in sheep by radiotelemetry. *Anim. Welf.* 8:27-34

Parrott, R. F., B. H. Misson, and B. A. Baldwin. 1989. Salivary cortisol in pigs following adrenocorticotrophic hormone stimulation: comparison with plasma levels. *Brit. Vet. J.* 145:362-366.

Peeters, E., K. Deprez, F. Beckers, J. De Baerdemaeker, A. E. Aubert, and R. Geers. 2008. Effect of driver and driving style on the stress responses of pigs during a short journey by trailer. *Anim. Welf.* 17(2):189-196.

Peishi, Y., and I. Toshio. 2001. Variation of resting position of miniature pigs by environmental temperature and food intake. *J. Anim. Sci.* 72:62-68.

Pérez, M. P., J. Palacio, M. P. Santolaria, M. C. Aceña, G. Chacón, M. Gascon, J. H. Calvo, P. Zaragoza, S. Beltran, and S. Garcia-Belenguer. 2002a. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. *Meat Sci.* 61:425-433.

Pérez, M. P., J. Palacio, M. P. Santolaria, M. C. Aceña, G. Chacón, M. T. Verde, J. H. Calvo, P. Zaragoza, M. Gascón, and S. García-Belenguer. 2002b. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. *Vet. Res.* 33:239-250.

Perremans, S., J. M. Randall, L. Allegaert, M. A. Stiles, G. Rombouts, and R. Geers. 1998. Influence of vertical vibration on heart rate in pigs. *J. Anim. Sci.* 76:416-420.

Perremans, S., J. M. Randall, G. Rombouts, E. Decuypere, and R. Geers. 2001. Effect of whole body vibration in the vertical axis on cortisol and adrenocortical hormone levels in piglets. *J. Anim. Sci.* 79:975-981.

Phillips, P. A., B. K. Thompson, and D. Fraser. 1988. Preference tests of ramp designs for young pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 68:41-48.

Phillips, P. A., B. K. Thompson, and D. Fraser. 1989. The importance of cleat design spacing in ramp design for young pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 69:483-486.

Pilcher, C. M., M. Ellis, A. Rojo-Gómez, S. E. Curtis, B. F. Wolter, C. M. Peterson, B. A. Peterson, M. J. Ritter, and J. Brinkmann. 2006. Effects of floor space during transport and journey time on indicators of stress and transport losses of market-weight pigs. *J. Anim. Sci.* 84:2856-2864.

Rabaste, C., L. Faucitano, L. Saucier, D. Foury, P. Mormède, J. A. Correa, A. Giguère, and R. Bergeron. 2007. The effects of handling and group size on welfare of pigs in lairage and its influence on stomach weight, carcass microbial contamination and meat quality variation. *Can. J. Anim. Sci.* 87:3-12.

Rademacher, C., and P. R. Davies. 2005. Factors associated with the incidence of mortality during transport of market hogs. Pages 186-191 in Proc. Allen D. Leman Swine Conference. Sept 17th. St Paul, MN, USA

Randall, J. M., A. W. Armsby, and J. R. Sharp. 1983. Cooling gradients across pen in finishing piggery. *J. agric. Eng. Res.* 28:247-259.

Randall, J. M., M. A. Stiles, R. Geers, A. Schütte, L. Christensen, and R. H. Bradshaw. 1996. Vibrations on pig transporters: implications for reducing stress. Pages 143-159 in Proc. EU Seminar 'New Information on Welfare and Meat Quality of Pigs as Related to Handling, Transport and Lairage Conditions. Völkenrode, Germany.

Randall, J. M., and R. H. Bradshaw. 1998. Vehicle motion and motion sickness in pigs. *Anim. Sci.* 66:239-245.

Reefman, N., F. Butikofer Kaszas, B. Wechester, and L. Gygax. 2009. Physiological expression of emotional reactions in sheep. *Physiol. Behav.* 98:235-241.

Riches, H. L., H. J. Guise, R. H. C. Penny, T. Jones, and A. Cuthbertson. 1996. A national survey of transport conditions for pigs. *Pig J.* 38:8-18.

Ritter, M. J., M. Ellis, J. Brinkman, K. K. Keffaber and B. F. Walter. 2005. Relationship between transport conditions and the incidence of dead and non-ambulatory finishing pigs at the slaughter plant. *J. Anim. Sci.* 82 (suppl.1):259. (Abstr.)

Ritter, M. J., M. Ellis, J. Brinkmann, J. M. DeDecker, K. K. Keffaber, M. E. Kocher, B. A. Peterson, J. M. Schlipf, and B. F. Wolter. 2006. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. *J. Anim. Sci.* 84: 2856-2864.

Ritter, M. J., M. Ellis, C. R. Bertelsen, R. Bowman, J. Brinkmann, J. M. Dedecker, K. K. Keffaber, C. M. Murphy, B. A. Peterson, J. M. Schlipf, and B. F. Wolter. 2007. Effects of distance moved during loading and floor space on the trailer during transport on losses of market weight pigs on arrival at the packing plant. *J. Anim. Sci.* 85:3454-3461.

Ritter, M. J., M. Ellis, R. Bowman, J. Brinkman, S. E. Curtis, J. M. DeDecker, O. Mendoza, C. M. Murphy, D. G. Orellana, B. A. Peterson, A. Rojo, J. M. Schlipf, and B. F. Wolter. 2008a. Effects of season and distance moved during loading on transport losses of market-weight pigs in two commercially available types of trailer. *J. Anim. Sci.* 86:3137-3145.

Ritter, M. J., X. Wang, T. Funk, B. Wolter, C. Murphy, A. Lenkaitis, Y. Sun, and C. Pilcher. 2008b. Development of improved trailer designs and transport management practices that create the optimum environment for market weight pigs during transport and minimize transport losses. Pork checkoff report. National Pork Board, 5-192.

Ritter, M. J., M. Ellis, N. L. Berry, S. E. Curtis, L. Anil, E. Berg, M. Benjamin, D. Butler, C. Dewey, B. Driessen, P. DuBois, J. D. Hill, J. N. Marchant-Forde, P. Matzat, J. J. McGlone, P. Mormede, T. Moyer, K. Pfalzgraf, J. Salak-Johnson, M. Siemens, J. Sterle, C. Stull, T. Whiting, B. Wolter, S. R. Niekamp, and A. K. Johnson. 2009a. Transport Losses in Market Weight Pigs: A review of Definitions, Incidence, and Economic Impact. *Prof. Anim. Sci.* 2:404-414.

Ritter, M. J., M. Ellis, D. B. Anderson, S. E. Curtis, K. K. Keffaber, J. Killefer, McKeith, F. K., C. M. Murphy, and B. A. Peterson. 2009b. Effects of multiple concurrent stressors on rectal temperature, blood acid-base status, and longissimus muscle glycolytic potential in market-weight pigs. *J. Anim. Sci.* 87:351-362.

Rollin, B. E. 1993. Animal welfare, science and value. *J. Agri. Env. Ethics.* 6(2):44-50.

Rostagno, M. H., H. S. Hurd, J. D. McKean, C. J. Ziemer, J. K. Gailey, and R. C. Leite. 2003. Preslaughter holding environment in pork plants is highly contaminated with salmonella enterica. *Appl. Env. Microbiol.* 69:4489-4494.

Rostagno, M. H., H. S. Hurd, and J. D. McKean. 2005. Resting pigs on transport trailers as an intervention strategy to reduce Salmonella enterica prevalence at slaughter. *J. Food Protect.* 68:1720-1723.

Rousseau, P. 2000. Incidence des paramètres d'ambiance sur les performances zootechniques. *Mémento de l'éleveur de porc.* ITP. 49-53.

Roussel, S. 2004. Effets d'agents stressants répétés pendant la gestation des brebis et des chèvres sur la réactivité comportementale et physiologique de la progéniture. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris – Grignon. 239 pages.

Roozen, A. W., V.T. Tsuma, and U. Magnusson. 1995. Effects of short-term restraint stress on plasma concentrations of catecholamines, beta-endorphin, and cortisol in gilts. *Am. J. Vet. Res.* 1995 56(9):1225-7.

Ruis, M. A. W., J. De Groot, J. H. A. Te Brake, E. D. Ekkel, J. A. Van de Burgwal, J. H. F. Erkens, B. Engel, W. G. Buist, H. J. Blokhuis, and M. Koolhaas, 2001. Behavioural and physiological consequences of acute social defeat in growing gilts: effects of the social environment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 70:201-225.

SAS. 2010. Statistical Analysis System, Release 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC.

Santos, C., J. M. Almeida , E. C. Matias , M. J. Fraqueza , C. Roseiro, and L. Sardina. 1997. Influence of lairage environmental conditions and resting time on meat quality in pigs. *Meat Sci.* 45:253-262.

Saucier, L., D. Bernier, R. Bergeron, S. Méthot, A. Giguère, and L. Faucitano. 2007. Effect of feed texture, meal frequency and pre-slaughter fasting on behaviour, stomach weight and microbial carcass contamination in pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87:479-486.

SCAHAW, Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. 1999. Standards for the microclimate inside animal transport road vehicles (Report No. Sanco/B3/AW/R13/1999). European Commission, Health and Consumer Protection. Brussels, Belgium. 33 pages.

SCAHAW, Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. 2002. The welfare of animals during transport (details for horses, pigs, sheep and cattle). European Commission, Health and Consumer Protection. Brussels, Belgium. 130 pages.

Scanga, J. A., F. K. McKeith, J. W. Savell, K. E. Belk, D. B. Griffin, L. I. Wright, A. J. Stetzer, R. C. Person, S. M. Lonergan, T. H. Powell, D. J. Meisinger, and G. C. Smith. 2003. Benchmarking value in the pork supply chain: Quantitative strategies and opportunities to improve quality. Final Report to the National Pork Board by Colorado State Univ., Univ. of Illinois at Urbana, Texas A & M Univ., and Iowa State Univ. to the Am. Meat Sci. Assoc., Savoy, IL.

Schaefer, A. L., P. L. Dubeski, J. L. Aalhus, and A. K. W. Tong. 2001. Role of nutrition in reducing antemortum stress and meat quality aberrations. *J. Anim. Sci.* 79:E91-E101

Schäffer, D., V. Marquardt, G. Marx, and E. von Borell. 2001. Noise in animal housing - a review with emphasis on pig housing. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift.* 108:60-66.

Schleicher, R. L., R. K. Chawla, P. A. Coan, D. Martino-Saltzman, and D. C. Collins. 1987. Beta-endorphin-induced hyperglycemia in rabbits: Effects of a glucose or arginine challenge. *Am. J. Physiol.* 252(2 Pt 1):E255-259.

Schmidt, A., E. Mostl, C. Wehnert, J. Aurich, J. Muller, and C. Aurich. 2009. Cortisol release and heart rate variability in horses during road transport. *Horm. Behav.* 57(2):209-215.

Schmidt-Nielsen, K. 1983. Page 8 in *Animal Physiology: Adaptation and Environment* (3rd ed. 1983, 5th ed. 1997). Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.

Schön, P. C., B. Puppe, and G. Manteuffel. 2004. Automated recording of stress vocalizations as a tool to document impaired welfare in pigs. *Anim. Welf.* 13:105-110.

Schwartzkopf-Genswein, K. S., L. Faucitano, S. Dadgar, P. Shand, L. A. González, and T. G. Crowe. 2012. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Sci.* 92:227-243.

Seddon, Y. M., J. Brown, T. Crowe, R. Bergeron, T. M. Widowski, J. A. Correa, L. Faucitano, and H. W. Gonyou. 2012. Truck compartment and trip duration affect stress of pigs transported under Canadian conditions. *J. Anim. Sci.* 90 (Suppl. 3): 255. (Abstr.)

Selye, H. 1951. The general adaptation syndrome. *Annu. Rev. Med.* 2:327-342.

Shea-Moore, M. 1998. The effect of genotype on behavior in segregated early weaned pigs tested in an open field. *J. Anim. Sci.* 74(supl. 1):100. (Abstr.)

Siegel, P. B., and W. B. Gross. 2000. General principles of stress and well-being. Pages 27-42 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Simon, L. 2008. Le système arginine vasopressine et sa modulation pharmacologique chez les carnivores domestiques. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. 95 pages.

Skinner, B.F. 1969. *Contingencies of reinforcement: A theoretical analysis*. Ed. Appleton-Century-Crofts, New-York, USA. 319 pages.

Spensley, J. C., C. M. Wathes, N. K., Waron, and J. A. Lines. 1995. Behavioural and physiological responses of piglets to naturally occurring sounds. *Appl. Anim. Beh. Sci.* 44:277. (abstr.)

Srinongkote, S., M. Smriga, K. Nakagawa, and Y. Toride. 2003. A diet fortified with L-lysine and L-arginine reduces plasma cortisol and blocks anxiogenic response to transportation in pigs. *Nutr. Neurosci.* 6:283-289.

Stephens, D. B., and G. C. Perry. 1990. The effects of restraint, handling, simulated and real transport in the pig (with reference to man and other species). *Appl. Anim. Behav. Sci.* 28:41-55.

Steptoe, A. 2000. Stress effects, overview. Pages 510-511 in *Encyclopedia of Stress*, vol. 3. G. Fink, ed. Academic Press. San Diego, CA, USA.

Stewart, M., A. L. Schaefer, D. B. Haley, J. Colyn, N. J. Cook, K. J. Stafford, and J. R. Webster. 2008. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to different handling procedures. *Anim. Welf.* 17:387-393.

Stoier, S., M. D. Aaslyng, E. V. Olsen, and P. Henckel. 2001. The effect of stress during lairage and stunning on muscle metabolism and drip loss in Danish pork. *Meat Sci.* 59:127-131.

Sunstrum, J., C. Dewey, and C. Haley. 2006. Clinical signs of stress in finisher pigs transported to market in the summer. Page 45 in *Proc. Am. Assoc. Swine Vet.* Orlando, FL, USA.

Susenbeth, A., and K. H. Menke. 1991. Energy requirements for physical activity in pigs. Pages 416-419 in *Proc. 12th Symp. Eur. Assoc. Anim. Prod. C.* Zurich, Switzerland.

Sutherland, M. A., A. McDonald, and J. J. McGlone. 2009. Effects of variations in the environment, length of journey and type of trailer on the mortality and morbidity of pigs being transported to slaughter. *Vet. Rec.* 165:13-18.

Swanenburg, M., P. J. van der Wolf, H. A. P. Urlings, J. M. A. Snijders, and F. van Knapen. 2001. Salmonella in slaughter pigs: The effect of logistic slaughter procedures of pigs on the prevalence of salmonella in pork. *Int. J. Food Microbiol.* 70:231-242.

Talling, J. C., N. K. Waran, C. M. Wathes, and J. A. Lines. 1995. Behavioural and physiological responses of pigs to sound. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 48:187-202.

Talling, J. C., J. A. Lines, C. M. Wathes, and N. K. Waran. 1998a. The acoustic environment of the domestic pig. *J. Ag. Eng. Res.* 71:1-12.

Talling, J. C., N. K., Waran, C. M., Wathes, and J. A. Lines. 1998b. Sound avoidance by domestic pigs depends upon characteristics of the signal. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 58:255-266.

Tamminga, E., R. Bergeron, J. A. Correa, T. Crowe, C. Dewey, L. Faucitano, H. W. Gonyou, N. Lewis, S. Torrey, and T. Widowski. 2009. Core body temperatures of market swine transported to slaughter. *Can. J. Anim. Sci.* 89:176. (Abstr.)

Tanida, H., A. Miura, T. Tanaka, and T. Yoshimoto. 1994. The role of handling in communication between humans and weanling pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 40:219-228.

Tanida, H., A. Miura, T. Tanaka, and T. Yoshimoto. 1996. Behavioral responses of pig to darkness and shadows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 49:173-183

Tarrant, P. V. 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs - A review. *Irish J. Food Sci. Tech.* 13:79-107.

Tarrant, P. V. 1993. An overview of production, slaughter and processing factors that effect pork quality. General review. Pages 1-21 in *Pork Quality: Genetic and Metabolic Factors*. E. Puolanne, D. I. Demeyer, M. Ruusunen, S. Ellis, ed. CAB International: Wallingford, Oxon, UK.

Tarrant, V., and T. Grandin. 2000. Cattle Transport. Pages 151-173 in *Livestock Handling and Transport*. T. Grandin, ed. CAB International. Wallingford, Oxon, UK.

Terlouw, E. M. C. 2005. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience: A brief review of recent findings. *Livest. Prod. Sci.* 94:125-135.

Terlouw, E. M. C., C. Arnould, B. Auperin, C. Berri, E. Le Bihan-Duval, F. Lefevre, J. Lensink, and L. Mounier. 2007. Impact des conditions de pré-abattage sur le stress et le bien-être des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 20:93-100.

Terlouw, E. M., C. Arnould, B. Auperin, C. Berri, E. Le Bihan-Duval, V. Deiss, F. Lefevre, B. J. Lensink and L. Mounier. 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal.* 2(10):1501-1517

Terlouw, E. M. C., and P. Rybarczyk. 2008. Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter: The case of Large White and Duroc pigs. *Meat Sci.* 79(4):795-805.

Theweathernetwork, 2012. <http://www.theweathernetwork.com/> [dernier accès le 29 novembre, 2012]

Torrey, S., R. Bergeron, L. Faucitano, T. Widowski, N. Lewis, T. Crowe, J. A. Correa, J. Brown, S. Hayne, and H. W. Gonyou. 2013a. Transportation of market-weight pigs 2. Effect of season and location within truck on behavior with an 8-h transport1. *J. Anim. Sci.* In press. Doi:10.2527/jas.2012-6006.

Torrey, S., R. Bergeron, T. Widowski, N. Lewis, T. Crowe, J. A. Correa, J. Brown, H. W. Gonyou, and L. Faucitano. Transportation of market-weight pigs 1. Effect of season, truck type, and location within truck on behavior with a 2-h transport. 2013b. *J. Anim. Sci.* In press. Doi:10.2527/jas.2012-6005.

Transport Québec. 2013. Règlement sur les normes de charges et de dimensions applicables aux véhicules routiers et aux ensembles de véhicules routiers http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=%2F%2FC_24_2%2FC24_2R31.htm [derniers accès le 1^{er} avril 2013]

Trunkfield, H. R., and D. M. Broom. 1990. The welfare of calves during handling and transport. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 28:135-152.

Turgeon, M. J. 2003. Évaluation de différents scénarios de mise à jeun avant l'abattage sur les performances zootechniques, le comportement et la qualité de la viande. Thèse de maîtrise. Université Laval, Quebec. 160 pages.

Turner, S. P., M. J. Farnworth, I. M. S. White, S. Brotherstone, M. Mendl, P. Knap, P. Penny, and A. B. Lawrence. 2006. The accumulation of skin lesions and their use as a predictor of individual aggressiveness in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 96:245-259.

United Nations conference, 2012. Rio+20 to galvanize new commitments towards a more sustainable world. Rio+20 United Nations conference on sustainable development. 20-22 June 2012, Rio de Janeiro, Brazil.
http://www.un.org/en/sustainablefuture/pdf/Rio+20_PressRelease.pdf. [Dernier accès le 29 novembre 2012].

Van de Perre, V., A. Ceustermans, J. Leyten, and R. Geers. 2010. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham - Effects of season and lairage time. *Meat Sci.* 86:391-397

Van der Wal, P. G., B. Engel, and H. G. M. Reimert. 1999. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci.* 53:101-106.

Van de Weerd, H. A., C. M. Docking, J. E. L. Day, P. J. Avery, and S. A. Edwards. 2003. A systematic approach towards developing environmental enrichment for pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 84:101-118.

Van Logtestijn, J. G., A. M. T. C. Romme, and G. Eikelenboom, 1982. Losses caused by transport of slaughter pigs in Netherlands. In: Moss, R. (Ed) *Transport of animals intended for breeding, production and slaughter.* *Curr. Topics Vet. Med. Anim. Sci.* 18:105-114.

Van Milgen, J., J. Noblet, et S. Dubois. 2000. Modélisation des composantes de la dépense énergétique chez le porc. *J. Rech. Porc. en France.* 32:235-240.

Van Ooijen, A. M. J., W. D. van Marken Lichtenbelt, A. A. van Steenhoven, and K. R. Westerterp. 2004. Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiol. Beh.* 82:545-553.

Van Putten, G., and W. J. Elshof. 1978. Observations on the effect of transport on the well-being and lean quality of slaughter pigs. *Anim. Reg. Study.* 1:247-271.

Vandenheede, M. 2003. Bien-être animal : les apports de l'Éthologie. *Annales de Médecine Vétérinaire.* 147:17-22.

- Vanelli Weschenfelder, A., S. Torrey, N. Devillers, L. Saucier, and L. Faucitano. 2010. Effects of vehicle design on blood stress indicators and meat quality in pigs of three genotypes for two different travel distances. *J. Anim. Sci.* 88:E-Suppl.2:464. (Abstr.)
- Vecerek, V., M. Malena, M. Jr. Malena, E. Voslarova, and P. Chloupek. 2006. The impact of the transport distance and season on losses of fattened pigs during transport to the slaughterhouse in the Czech Republic in the period from 1997 to 2004. *Vet. Med.* 51:21-28.
- Veissier, I., C. Beaumont, and F. Levy 2007. Les recherches sur le bien-être animal: buts, méthodologie et finalité. *INRA Prod. Anim.* 20(1):3-10.
- Veissier, I., C. Sardignac, and J. Capdeville. 1999. Les méthodes d'appréciation du bien-être des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 12(2):113-121.
- Verstegen, M. W. A, W. van der Hel, R. Duijghuisen, and R. Geers. 1986. Diurnal variation in the thermal demand of growing pigs. *J. Therm. Biol.* 11:131-135.
- Von Borell, E. H. 2001. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment. *J. Anim. Sci.* 79(E. Suppl.):260-267.
- Von Borell, E., and J. Ladewig. 1992. Relationship between behaviour and adrenocortical response pattern in domestic pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 34:195-206.
- Von Borell, E., and D. Schäffer, 2005. Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Livest. Prod. Sci.* 97:81-87.
- Von Borell, E., J. Langbein, G. Despres, S. Hansen, C. Leterrier, J. Marchant-Forde, R. Marchant-Forde, M. Minero, E. Mohr, A. Prunier, D. Valance, and I. Veissier. 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals - A review. *Physiol. Behav.* 92:293-316
- Warriss, P. D. 1994. Antemortem handling of pigs. Pages 425-432 in *Principles of Pig Science*. D.J.A. Cole, T. J. Wiseman, and V. A. varley, ed. Nottingham University Press. UK.
- Warriss, P. D. 1995. Pig handling-guidelines for the handling of pigs antemortem. *Meat Foc. Int.* 4:491-494.
- Warriss, P. D. 1998a. The welfare of slaughter pigs during transport. *Anim. Welf.* 7(4):365-381.

Warriss, P. D. 1998b. Choosing appropriate space allowances for slaughter pigs transported by road: a review. *Vet. Rec.* 142:449-454.

Warriss, P. D. 2003. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. *Vet. Rec.* 153:170-176.

Warriss, P. D., and E. A. Bevis. 1987. Liver glycogen in slaughtered pigs and estimated time of fasting before slaughter. *Brit. Vet. J.* 143:354-360.

Warriss, P. D., C. P. Dudley, and S. N. Brown. 1983. Reduction of carcass yield in transported pigs. *J. Sci. Food Agric.* 34(4):351-356.

Warriss, P. D., S. N. Brown, M. A. Francombe, and J. A. Higgins. 1987. Effect of preslaughter fasting on the characteristics of pig livers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22:255-263.

Warriss, P. D., E. A. Bevis, J. E. Edwards, S. N. Brown, and T. G. Knowles. 1991. Effect of the angle of slope on the ease with which pigs negotiate loading ramps. *Vet. Rec.* 128:419-421

Warriss, P. D., S. N. Brown, T. G. Knowles, and Edwards, J. E. 1992. Influence of width and bends on the ease of movement of pigs along races. *Vet. Rec.* 130:202-204.

Warriss, P. D., S. N. Brown, and M. Adams. 1994. Relationships between subjective and objective assessments of stress at slaughter and meat quality in pigs. *Meat Sci.* 38:329-340.

Warriss, P. D., S. N. Brown, T. G. Knowles, J. E. Edwards, P. J. Kettlewell, and H. J. Guise. 1998a. The effect of stocking density in transit on the carcass quality and welfare of slaughter pigs: 2. Results from the analysis of blood and meat samples. *Meat Sci.* 50:447-456.

Warriss, P. D., S. N. Brown, J. E. Edwards, and T. G. Knowles. 1998b. Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. *Anim. Sci.* 66:255-261.

Warriss, P. D., S. N. Brown, T. G. Knowles, L. J. Wilkins, S. J. Pope, S. A. Chadd, P. J. Kettlewell, and N. R. Green. 2006. Comparison of the effects of fan-assisted and natural ventilation of vehicles on the welfare of pigs being transported to slaughter. *Vet. Rec.* 158(17):585-588.

Weaver S. A., W. T. Dixon, and A. L. Schaefer, 2000. The effects of mutated skeletal ryanodine receptors on hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in boars. *J. Anim. Sci.* 78:1319-1330.

Werner, C., K. Reiners, and M. Wicke. 2007. Short as well as long transport duration can affect the welfare of slaughter pigs. *Anim. Welf.* 16:385-389.

Weschenfelder, A. V., S. Torrey, N. Devillers, T. Crowe, A. Bassols, Y. Saco, M. Piñeiro, L. Saucier, and L. Faucitano. 2012. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a long distance. *J. Anim. Sci.* 90:3220-3231.

White, R. G., J. A. DeShazer, C. J. Tressler, G. M. Borchert, S. Davey, A. Warninge, A. M. Parkhurst, M. J. Milanuk, and E. T. Clems. 1995. Vocalizations and physiological response of pigs during castration with and without anesthetic. *J. Anim. Sci.* 73:381386.

Wiepkema, P. R., and J. M. Koolhaas 1992. The emotional brain. *Anim. Welf.* 1:13-18.

Williams, J. L. 2006. Host-pathogen interactions and behavioral benefits of lairage during prolonged transport of 18-kilogram pigs. Master Thesis. Purdue University, 104 pages.

Wittman, W., P. Ecolan, P. Levasseur, and X. Fernandez. 1994. Fasting-induced glycogen depletion in different fibre types of red and white pig muscles-Relationship with ultimate pH. *J. Sci. Food Agric.* 66:257-266.

Yan, P. 2002. Influence of environmental temperature on day-night variation of some thermoregulatory behaviors of piglet. *Anim. Sci.* 73(1):87-94.

Yang, T. S., B. Howard, and W. V. MacFarlane. 1981. Effects of food on drinking behaviour of growing pigs. *Appl. Anim. Ethol.* 7:259-270.

Yang, T. S., M. A. Price, and F. X. Aherne. 1984. The effect of level of feeding on water turnover in growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 12:103-109.

Young, A. J. 2007. Overview in human physiological responses to environmental extremes. Pages 73-75 in *Proc. of the 8th conference for trace element research in humans*. Hersonissos, Crete, Greece.

Zanella, A. J. and O. Duran. 2001. Pig welfare during loading and transportation: a North American perspective. Pages 20-31 in *Proc. 1st Int. Virtual Conference on Pork Quality*. Embrapa, Concordia, Brazil.