Évaluation de différentes stratégies de contrôle des températures ambiantes en engraissement porcin en vue d'optimiser les performances zootechniques et de réduire la consommation d'énergie et les émissions gazeuses

Rapport de recherche

26 octobre 2010

Francis Pouliot[1], ing., M.B.A.

Stéphane P. Lemay[2], ing., P.Eng., Ph. D.

Valérie Dufour[1], M. Sc.

Martin Belzile[2], ing., M. Sc.

John Feddes[2], P.Eng., Ph. D.

Michel Morin[1], agr.

Stéphane Godbout[2], ing., P.Eng., Ph. D., agr.

[1] Centre de développement du porc du Québec inc.
[2] Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

irda Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

CDPQ Centre de développement du porc du Québec inc.

Équipe de réalisation

Répondant :	Francis Pouliot, ing., MBA, CDPQ
Responsable scientifique :	Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., Ph. D., IRDA
Chargés de projet :	Valérie Dufour, M. Sc., CDPQ Martin Belzile, ing., M. Sc., IRDA
Collaborateurs :	Michel Côté, technicien, IRDA Jean-Pierre Larouche, chimiste, IRDA Joël Rivest, Ph. D., CDPQ Marie-Josée Turgeon, agr., M.Sc., CDPQ Andréanne Caron, m. v., CDPQ Lise Potvin, IRDA
Équipe de rédaction :	Valérie Dufour, M. Sc., CDPQ John Feddes, P.Eng., Ph. D., IRDA Martin Belzile, ing., M. Sc., IRDA Michel Morin, agroéconomiste, CDPQ Francis Pouliot, ing., M.B.A., CDPQ Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., Ph. D., IRDA Stéphane Godbout, ing., P.Eng., Ph. D., agr., IRDA

Remerciements

La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce à la contribution financière du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) par l'intermédiaire du Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre du Programme d'appui aux regroupements et aux associations de producteurs désignés, de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), du Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ), de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et d'Alfred Couture ltée.

Un remerciement particulier à Angéline Lacroix et Jacques Lemay d'Alfred Couture ainsi que Francis Simard de Shur-Gain pour leur collaboration. Enfin, l'équipe désire remercier Michel Côté, Jacques Labonté et Christian Gauthier de l'IRDA. Nous tenons également à remercier le personnel du CDPQ pour son implication à ce projet, spécialement Johanne Nadeau et Marie-Pierre Fortier.

© Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-922276-40-4

Résumé

L'objectif de cette étude était de comparer les impacts de trois stratégies de températures de consigne pour les porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques, les émissions de gaz ainsi que les besoins énergétiques en chauffage et ventilation en conditions québécoises. Les trois stratégies ont été définies à partir d'information tirée de la littérature et des pratiques de l'industrie : 1) la stratégie « chaude » (22,2 à 20,0 °C); 2) la stratégie « intermédiaire » (21,7 à 17,2 °C) et 3) la stratégie « froide » (21,1 à 14,4 °C). Deux essais de 11 semaines chacun dans 12 chambres à environnement contrôlé logeant chacune trois castrats à l'engraissement de 36 à 120 kg ont été réalisés. Au total, huit répétitions de chaque stratégie ont été faites. Le poids des porcs, la consommation d'eau et de moulée ont été mesurés chaque semaine. La température ambiante, l'humidité relative, le débit de ventilation et les émissions de gaz ont été suivis en permanence. Les données d'abattage ont été colligées.

Performances
Aucune différence significative de performance ou de composition corporelle n'a été observée entre les stratégies. Le gain moyen quotidien (GMQ), l'ingéré moyen quotidien (IMQ) et la conversion alimentaire (CA) moyenne de cette étude ont été respectivement de 1,09 kg, 2,81 kg et 2,59 kg d'aliment/kg de gain. Les stratégies n'ont eu aucun impact significatif sur les mesures de composition corporelle.

Émissions
Il y a eu une réduction significative de 25 % des émissions d'ammoniac avec la stratégie intermédiaire (0,17 g/jour-kg_{porc}) par rapport à la stratégie chaude (0,22 g/jour-kg_{porc}). Les émissions de méthane ont été réduites significativement de 42 % avec la stratégie froide (0,36 g/jour-kg_{porc} comparativement à 0,62 g/jour-kg_{porc} pour la stratégie chaude).

Chauffage et ventilation
La stratégie froide permet de réduire de 58 à 60 % les besoins en chauffage sur une base annuelle par rapport au traitement chaud. Par contre, le coût d'énergie lié au fonctionnement des ventilateurs double lorsque la stratégie froide est adoptée tout au long de l'année. La ventilation représente alors plus de 96 % du coût d'énergie en considérant le coût en chauffage. Ainsi, l'utilisation de la stratégie froide à longueur d'année ne semble pas la meilleure avenue d'un point de vue énergétique. Toutefois, cette stratégie pourrait être utilisée en période hivernale pour profiter de l'amélioration de la qualité de l'air. Pour le reste de l'année, une stratégie de contrôle permettant un départ plus tardif des seconds paliers de ventilation par un ajustement des différentiels de ventilation pourraient être appliqués afin d'éviter une hausse de la consommation énergétique pour faire fonctionner les ventilateurs.

En résumé, la stratégie froide permet d'améliorer les conditions d'ambiance et de faire des économies en matière de chauffage. Par contre, celles-ci sont annulées par la hausse du coût énergétique de ventilation. En considérant l'ensemble des facteurs mesurés lors de ce projet (performances zootechniques, émissions gazeuses et besoins énergétiques), il semble que la stratégie de température intermédiaire constitue le meilleur compromis entre la stratégie chaude et froide pour l'ensemble des paramètres évalués. Considérant la nature des essais réalisés durant ce projet (petites chambres avec peu d'animaux), une validation de cette stratégie intermédiaire dans des élevages commerciaux est souhaitable avant de la recommander de façon générale.

Table des matières

Résumé v

Table des matières vii

Liste des tableaux ix

Liste des figures x

1 Introduction 1
1.1 Contexte et problématique 1
1.2 Revue de littérature 2
1.2.1 Le porc : un animal homéotherme 2
1.2.2 La zone de thermoneutralité 2
1.2.3 Température et impacts sur les performances zootechniques et le comportement des porcs 3
1.2.3.1 Effet de la température 3
1.2.3.2 Impact de l'humidité relative et de la vitesse de l'air sur les performances zootechniques 4
1.2.3.3 Effet de la température ambiante sur le comportement des porcs 4
1.2.4 Effet de la température sur l'évolution de la génétique 5
1.2.5 Stratégies de contrôle de la température 5
1.2.6 Impact de la température sur la qualité de la carcasse et le gras dorsal 5
1.2.7 Impacts de la température sur les émissions de gaz 6
1.3 Description générale du projet et objectifs 6
1.3.1 But 6
1.3.2 Objectif général 6
1.3.3 Objectifs spécifiques 7

2 Matériel et méthodes 8
2.1 Site expérimental 8
2.2 Contrôle d'ambiance 9
2.3 Animaux et alimentation 10
2.4 Traitements 11
2.5 Dispositif expérimental et analyses statistiques 11
2.6 Collecte des données 12
2.6.1 Performances zootechniques 12
2.6.2 Composition corporelle 12
2.6.3 Programme alimentaire et composition de la moulée 12
2.6.4 Suivi de l'état de santé des animaux 12
2.6.5 Composition du lisier 13
2.6.6 Température, humidité relative et débit de ventilation 13
2.6.7 Concentrations et émissions de gaz 14
2.6.8 Comportement animal et vitesse d'air 15
2.7 Simulation des coûts énergétiques 15
2.7.1 Déviations au protocole en lien avec l'évaluation des besoins énergétiques 15
2.7.2 Production de chaleur par les porcs 16
2.7.3 Calcul des besoins énergétiques en chauffage 17
2.7.4 Calcul des besoins énergétiques en ventilation 18

3 Résultats et discussion 19
3.1 Performances zootechniques 19
3.1.1 Performances globales 19

3.1.2 Performances hebdomadaires par traitement 20
3.1.3 Performances par phase alimentaire et par traitement..... 24
3.2 Composition corporelle..... 26
3.3 Suivi de l'état de santé des animaux 27
3.4 Composition du lisier 27
3.5 Température, humidité relative et débit de ventilation..... 29
3.6 Concentrations et émissions de gaz..... 31
3.7 Comportement animal et vitesse d'air 32
3.8 Simulation des coûts énergétiques..... 34
3.8.1 Production de chaleur par les porcs 34
3.8.2 Calcul du besoin en chauffage et en ventilation 35
3.8.3 Calcul du coût de chauffage et de ventilation..... 36
4 Discussion des résultats..... 39
5 Conclusion et recommandations 41
6 Bibliographie..... 42

Liste des tableaux

Tableau 1-1 Facteur d'ajustement de la température en fonction de la vitesse de l'air 4
Tableau 2-1 Disposition des traitements (sigles) dans chacune des chambres 11
Tableau 2-2 Résistance thermique des murs extérieurs pour les différentes chambres 17
Tableau 2-3 Simulations du modèle 18
Tableau 2-4 Description des ventilateurs utilisés dans le bâtiment type de 1 000 places-porc 18
Tableau 2-5 Coût de l'énergie pour le Québec et la Saskatchewan 18
Tableau 3-1 Performances zootechniques globales (moyenne ± écart-type) 19
Tableau 3-2 Performances zootechniques selon le traitement et la semaine pour les deux essais 20
Tableau 3-3 Performances zootechniques par phase alimentaire selon l'essai et le traitement 25
Tableau 3-4 Résultats d'abattage selon le traitement 26
Tableau 3-5 Caractéristiques des lisiers produits par les différents traitements 28
Tableau 3-6 Charges des différents éléments des lisiers produits durant la dernière semaine de chaque phase d'alimentation et selon les différents traitements 28
Tableau 3-7 Conditions de température, d'humidité relative et de débit de ventilation en fonction des traitements et selon les différentes phases d'essai 29
Tableau 3-8 Émission de gaz en fonction des différents traitements 32
Tableau 3-9 Vitesses d'air moyennes mesurées au niveau des porcs pour les traitements chaud, intermédiaire et froid 33
Tableau 3-10 Nombre d'observations de porcs en position assise ou debout pour les traitements chaud, intermédiaire et froid de l'essai 2 34
Tableau 3-11 Production de chaleur par les porcs en fonction des traitements pour les différentes phases des essais 35
Tableau 3-12 Simulation de l'énergie requise pour le chauffage et la ventilation au cours de la période hivernale 35
Tableau 3-13 Simulation de l'énergie requise pour le chauffage et la ventilation au cours d'une année 36
Tableau 3-14 Coûts de l'énergie par porc-place durant la période hivernale 37
Tableau 3-15 Coûts de l'énergie par porc-place sur une période d'une année 37
Tableau 3-16 Coût énergétique des ventilateurs en fonction de leur dimension et de la pression statique 38

Liste des figures

Figure 1-1 Évolution de la température corporelle et des échanges thermiques en fonction de la température ambiante 3
Figure 2-1 Vue des chambres expérimentales 8
Figure 2-2 Vue d'une chambre expérimentale 9
Figure 2-3 Vue générale de l'aménagement des 12 unités expérimentales 9
Figure 2-5 Circuit de ventilation et de chauffage 10
Figure 2-6 Consignes de température selon le poids des porcs et la stratégie de température 11
Figure 3-1 Gain moyen quotidien (GMQ) lors du premier (a) et du deuxième (b) essais 21
Figure 3-2 Ingéré moyen quotidien lors du premier (a) et du deuxième (b) essais 22
Figure 3-3 Conversion alimentaire lors du premier (a) et du deuxième (b) essais 23
Figure 3-4 Consommation quotidienne d'eau lors du premier (a) et du deuxième (b) essais 24
Figure 3-5 Température de six des douze chambres au cours de l'essai 1 30
Figure 3-6 Débit de ventilation en fonction du traitement durant l'essai 1 30
Figure 3-7 Émission d'ammoniac en fonction des traitements pour l'essai 1 31
Figure 3-8 Relation entre le débit de ventilation des chambres et la vitesse d'air à la hauteur des porcs dans la salle pour les deux essais et les 12 chambres 33

1 Introduction

1.1 Contexte et problématique

La hausse du prix de l'énergie, l'évolution des paramètres d'élevage, le désir d'améliorer les performances zootechniques et le souci de protéger l'environnement justifient l'intérêt de revoir la stratégie de contrôle de la température ambiante en place depuis plusieurs décennies dans les élevages du Québec.

La température de consigne généralement utilisée en élevage au Québec s'inspire davantage des recommandations françaises (Massabie, 2001a) qui sont plus élevées que celles utilisées dans l'Ouest canadien. Par exemple, dans l'Ouest canadien, il est de pratique courante de commencer l'engraissement des porcs à 21-22 °C et de le terminer autour de 15 °C (Chénard et Lemay, 2001), alors qu'au Québec, la température de consigne passe en général de 23 °C à 20 °C, ou 18 °C dans certains cas, pour la même période d'élevage. La stratégie de l'Ouest est donc nettement plus froide que celle utilisée au Québec. De plus, les températures préconisées au Québec sont nettement supérieures aux températures critiques inférieures (TCi) mentionnées par l'IFIP (2006).

Le poids d'abattage actuel de 120 kg de poids vif, après une augmentation récente de plus de 13 kg, justifie davantage l'intérêt de réduire la température dans les bâtiments d'élevage en engraissement. Or, les évaluations de l'IFIP (2006) relativement à la TCi s'arrêtent à un poids de 100 kg et les recommandations françaises ne sont pas adaptées aux conditions d'exploitation du Québec étant donné les différences climatiques importantes. Sur la base des conclusions de la simulation réalisée dans le cadre de l'étude de Chénard et Lemay (2001), la conduite de température préconisée dans l'Ouest ne devrait pas engendrer de différence pour ce qui est des performances zootechniques des porcs. La conclusion de la simulation de Chénard et Lemay (2001) est la suivante :

> « La gestion de la température doit tenir compte du bien-être des animaux, de leur état de santé et de leur productivité. Toutefois, les coûts en chauffage doivent aussi être considérés afin d'assurer la rentabilité de l'entreprise. Avec les résultats des simulations, il est possible de maintenir une consigne de température plus fraîche (22 °C pour 25 kg abaissés à 15 °C pour 70 kg) et obtenir des performances similaires pour des réductions des coûts en chauffage d'environ 60 % au Québec. »

Étant donné que les résultats de Chénard et Lemay (2001) proviennent de simulations, avant de recommander ouvertement une telle réduction des températures d'élevage, il serait de mise de mieux connaître les impacts d'une telle pratique sur les performances zootechniques, les coûts en chauffage, la qualité de la carcasse et sur les émissions gazeuses au bâtiment en réalisant des essais avec des animaux.

Enfin, en conditions commerciales, une stratégie de température plus basse aura pour effet d'augmenter globalement les débits de ventilation durant les périodes d'automne, d'hiver et de printemps. Ceci aura donc pour effet d'améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments, de réduire la pression infectieuse et possiblement de minimiser les risques que les animaux développent des maladies. Par la même occasion, cela améliorera l'ambiance et la qualité d'air pour les travailleurs.

Par conséquent, il apparaît intéressant de vérifier le bénéfice global d'un abaissement des températures de consigne puisqu'aucune expérience en ce sens n'a été conduite dans nos conditions québécoises.

1.2 Revue de littérature

1.2.1 Le porc : un animal homéotherme

Le porc est un animal homéotherme ayant une température corporelle interne de 39 °C (Baxter, 1984). En étant homéotherme (à sang chaud), le porc tente de maintenir sa température corporelle constante de deux manières : par une adaptation comportementale (alimentation, entassement) ou par des adaptations physiologiques (thermorégulation) (Nienaber et Hahn, 1988). Comme la température dans l'environnement du porc est généralement plus faible que sa température corporelle interne, le porc perd de la chaleur vers l'environnement. Cette perte de chaleur s'effectue par plusieurs mécanismes, soit : perte par convection et par évaporation vers l'air ambiant, perte par conduction par les planchers et perte par radiation vers les surfaces environnantes. Par des ajustements physiologiques et comportementaux, le porc modifie sa production de chaleur pour balancer ses pertes dans l'environnement. Ainsi, un mauvais choix de température ambiante peut entraîner une réduction du gain de poids (GMQ) et une augmentation de la conversion alimentaire (CA, quantité de moulée pour produire 1 kg de viande).

Le taux de production de chaleur par l'animal varie selon son espèce, sa race, sa taille, son état de santé, la température ambiante, son activité ainsi que les aliments qu'il consomme (De Ladurantaye et Khelifi, 2007). Il sera également affecté par l'ensemble des paramètres physiques qui influenceront le transfert de chaleur entre l'animal et son environnement par conduction, radiation et convection. Ce qui implique que la vitesse de l'air autour de l'animal, la température équivalente des surfaces l'entourant en ce qui a trait au rayonnement, la surface de l'animal exposée à l'air et en contact avec les matériaux du bâtiment constituent tous des facteurs influençant la production de chaleur du porc. Une production de chaleur accrue aura aussi pour effet d'augmenter le transfert de chaleur entre le porc et son environnement. Règle générale, plus le différentiel de température entre le porc et son environnement sera grand, plus il y aura de transfert de chaleur vers l'environnement.

1.2.2 La zone de thermoneutralité

La zone de thermoneutralité d'un porc est définie par l'étendue thermique pour laquelle la production totale de chaleur de l'animal est à peu près constante pour une ingestion d'énergie donnée (CIGR, 1984). La zone de thermoneutralité est bornée par une limite inférieure et une limite supérieure appelées respectivement la température critique inférieure et la température critique supérieure (Robertshaw, 1981). Dans cette zone, l'énergie disponible pour la croissance de l'animal est optimale (Mount, 1974), c'est-à-dire que c'est la zone où l'aliment est le mieux utilisé pour les dépôts de maigre et de gras (IFIP, 2006). La zone optimale pour l'animal se situe dans la zone de thermoneutralité, entre la température critique inférieure (TCi) et la température critique supérieure (TCs, Figure 1-1). Comme dans le cas de la production de chaleur par les porcs, la température critique inférieure dépend de plusieurs facteurs tels que le poids vif de l'animal, l'ingestion d'aliments, la vitesse de l'air, la température radiante des surfaces environnantes, le type de plancher, la densité animale et la génétique. Par conséquent, la température optimale pour l'élevage dépend de plusieurs critères tels que le poids de l'animal, la prise alimentaire, la vitesse de l'air, le type de sol et les objectifs zootechniques (IFIP, 2006). Également, toutes choses étant égales par ailleurs, plus les porcs sont âgés, plus les températures critiques inférieure et supérieure s'abaissent. L'IFIP (2006) mentionne que la TCi passe de 20 °C, pour les porcs à l'engraissement de 20 kg, à 13 °C pour les porcs de 100 kg.

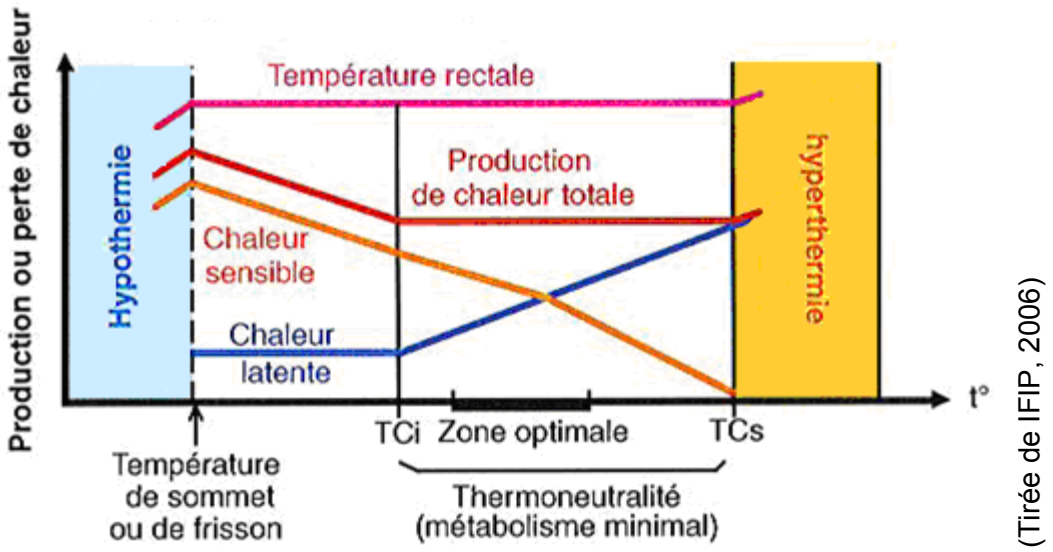


Figure 1-1 Évolution de la température corporelle et des échanges thermiques en fonction de la température ambiante

1.2.3 Température et impacts sur les performances zootechniques et le comportement des porcs

1.2.3.1 Effet de la température

Sous la TCi, le porc utilise une plus grande quantité d'énergie pour le maintien de sa température corporelle. Cette énergie n'est alors plus disponible pour la production de muscle lors de l'engraissement et la consommation d'aliments augmente. Cela a pour effet d'augmenter la conversion alimentaire, affectant significativement le coût de production.

Lorsque la température augmente au-dessus de la zone de thermoneutralité, la température corporelle de l'animal augmente, entraînant aussi une augmentation des pertes de chaleur par évaporation (Robertshaw, 1981). Lorsque la température ambiante se rapproche de celle de la peau (entre 30 et 32 °C), les pertes de chaleur sensible (convection et conduction) diminuent tandis que les pertes de chaleur latente augmentent par l'accroissement du rythme respiratoire (IFIP, 2006). Selon Collin *et al.* (2001), le porc s'acclimate aux hautes températures ambiantes (33 °C) en réduisant sa prise alimentaire de 3 % par degré Celsius au-dessus de 23 °C. Le nombre de repas par jour n'est pas affecté mais il y a une diminution de la durée d'ingestion, donc du temps d'occupation de la trémie. L'appétit et, par conséquent, la consommation d'aliments diminuent, ce qui entraîne une diminution du gain moyen quotidien (GMQ), mais a peu d'impact sur l'indice de conversion alimentaire (IFIP, 2006). Par contre, une diminution du GMQ retardera la sortie des porcs vers l'abattoir engendrant ainsi un problème de logistique, étant donné la diminution du nombre de rotations annuelles et des pertes financières. Cependant, l'effet négatif des températures élevées sur les performances des porcs dépend de l'ampleur et de la durée du stress thermique car il existe une amélioration de la tolérance à la chaleur avec la durée de l'exposition (Renaudeau *et al.*, 2008).

Selon Nichols *et al.* (1982) et Nienaber *et al.* (1987a), lorsque les porcs sont nourris à volonté, le taux maximal de croissance est atteint à des températures ambiantes de 20 °C. Selon ces chercheurs, aucune différence statistique n'est observée pour le gain de poids entre 10 et 20 °C ou pour la conversion alimentaire entre 15 et 25 °C. Par contre, lorsque la température passe de 10 à 5 °C, la réduction du gain de poids des porcs varie de 4 à 21 g/jour °C. Massabie (2001a) mentionne que pour obtenir un indice de conversion alimentaire et une teneur en muscles optimale, la température ambiante doit se situer autour de 24 °C. Le même auteur mentionne qu'en alimentation rationnée, les températures plus froides engendrent une détérioration du gain de poids et de la conversion alimentaire des porcs.

1.2.3.2 Impact de l'humidité relative et de la vitesse de l'air sur les performances zootechniques

Comparativement aux autres animaux de ferme, le porc est moins tolérant aux conditions chaudes et humides en raison de son incapacité à suer, ce qui le rend plus sensible aux changements d'humidité relative (Ingram, 1974; Huynh *et al.*, 2005). Une humidité relative élevée limite la capacité de l'animal à dissiper sa chaleur par évaporation et accentue l'effet de stress thermique (Renaudeau, 2005). L'humidité a peu d'effet sur le stress à la chaleur mais la combinaison d'une température élevée et d'humidité diminue encore plus le GMQ (Huynh *et al.*, 2005). Selon l'IFIP (2006), l'hygrométrie dans un bâtiment devrait être maintenue entre 60 et 80 %.

L'augmentation de la vitesse d'air a un effet sur les pertes de chaleur d'un animal équivalent à une diminution de la température de l'air. Plus la température est basse, plus les pertes sont importantes (Close, 1983). Les pertes sont plus importantes chez un animal plus petit (2,8 kJ/j à 25 kg). Toujours selon les évaluations de Close (1983), une augmentation de la vitesse d'air de 5 cm/s correspond à une hausse de la TCi de 1 °C chez un animal gardé individuellement. Les résultats de Close *et al.* (1981) montrent une hausse de 1 °C par accroissement de la vitesse d'air de 5,3 cm/s lorsque la vitesse d'air se situe entre 33 et 56 cm/s. Pour des groupes d'animaux, la hausse serait plutôt de 1 °C par tranche d'augmentation de 21 cm/s (Verstegen et van der Hel, 1976). Le tableau 1-1 présente le facteur d'ajustement de la température en fonction de la vitesse de l'air proposé par Mount (1975).

Tableau 1-1 Facteur d'ajustement de la température en fonction de la vitesse de l'air

Vitesse d'air (m/s)	Facteur d'ajustement (°C)
0,2	-4
0,5	-7
1,5	-10

1.2.3.3 Effet de la température ambiante sur le comportement des porcs

Lorsque la température est élevée, l'animal augmente sa surface corporelle de contact avec le milieu en s'allongeant, d'où la nécessité de surfaces suffisantes dans les parcs (IFIP, 2006). Il humidifie son corps (effet de rafraîchissement) avec de l'eau ou du lisier (augmentant ainsi les émissions d'ammoniac et d'odeurs). Il accélèrera son rythme respiratoire, ce qui augmentera les pertes de chaleur par évaporation.

1.2.4 Effet de la température sur l'évolution de la génétique

Il a été suggéré que les valeurs standards de production de chaleur pour le porc soient mises à jour (Brown-Brandl *et al.*, 1998; Harmon *et al.*, 1997), étant donné que plusieurs standards actuels sont basés sur des références de Bond *et al.* (1959). En effet, une augmentation de la susceptibilité au stress thermique a été démontrée par les nouvelles lignées de porcs. Brown-Brandl *et al.* (1998) ont démontré que la production de chaleur des porcs provenant de lignées génétiques modernes à haut rendement en maigre était sous-estimée d'environ 26 %. Harmon *et al.* (1997) rapportent que la production de chaleur totale et sensible chez les porcelets sevrés hâtivement était plus élevée respectivement de 55 et 9 % et que la production d'humidité était plus élevée de 135 % comparativement aux standards actuels (ASAE, 1994).

1.2.5 Stratégies de contrôle de la température

Pour les porcs ayant un poids situé entre 60 et 100 kg, les températures recommandées pour l'Amérique du Nord se situent entre 21 et 14 °C (Midwest Plan Service, 1983; Zhang, 1994).

Par ailleurs, selon Zhang (1994), il est recommandé d'augmenter la température de consigne durant la période estivale afin de diminuer les écarts de température entre le jour et la nuit. Par contre, selon Lemay *et al.* (2001) les températures de consigne durant l'été pour les porcs en engraissement ne doivent pas être augmentées afin de diminuer les écarts de température. Selon eux, des porcs en santé peuvent adéquatement gérer de grands écarts de température journalière, soit jusqu'à 14,8 °C en autant que cette variation soit atteinte progressivement.

1.2.6 Impact de la température sur la qualité de la carcasse et le gras dorsal

La température ambiante a une influence sur la qualité commerciale des carcasses en interférant avec le rapport maigre : gras. Le maigre correspond à la masse musculaire et se compose en moyenne de 78 % d'eau et de 22 % de protéines. Le gras se situe principalement sous la peau et dans la cavité abdominale. Il contient 90 % de graisses et 10 % d'eau (Nicks et Dechamps, 1985). Le dépôt de protéine (DP) maximal est atteint à 88 % de l'ingestion volontaire d'aliments peu importe la température. Cependant, pour le même niveau d'ingestion d'énergie métabolisable, le DP est plus élevé à 23 °C qu'à 30 °C (Le Bellego *et al.*, 2002). Par contre, une restriction alimentaire a plus d'impact sur le DP à thermoneutralité qu'à haute température.

La déposition de protéines est moins affectée par la température que la déposition de gras. La baisse de dépôt de protéines diminue entre 0,5 à 2,0 g/j par degré Celsius de baisse de température selon la race, le niveau d'alimentation ainsi que la concentration, la digestibilité et la disponibilité de la protéine de l'aliment. Tandis que le dépôt de gras diminue entre 3 et 8 g/j par baisse de 1 °C (Close, 1983). En plus de la réduction de gras, la température influence la longueur de la carcasse (Holmes et Coey, 1967), le degré de saturation et la stabilité du dépôt de gras (Fuller *et al.*, 1974), le contenu en eau (Hacker *et al.*, 1973) et la capacité de rétention d'eau du muscle.

La compensation du froid par un supplément alimentaire conduit à des carcasses plus grasses, mais la différence ne correspond pas à plus de 1 mm d'épaisseur de graisse sous-cutanée pour un déficit de 4 °C sous la température critique inférieure (Verstegen *et al.*, 1982). Pour un même taux de croissance, la température ambiante serait sans effet sur les caractéristiques de carcasse. Cela suggère qu'en période froide, l'apport alimentaire peut être accru sans inconvénient pour la qualité de la carcasse et, inversement, qu'une température élevée se traduit par une économie d'aliments sans que la carcasse en soit affectée (Le Dividich *et al.*, 1985).

1.2.7 Impacts de la température sur les émissions de gaz

Le lisier entreposé sous les lattes d'un bâtiment subit une dégradation microbienne qui produit des gaz tels que le méthane, le sulfure d'hydrogène et l'ammoniac. Ces gaz font partie intégrante de la contamination de l'air à l'intérieur du bâtiment et, par ricochet, de l'air émis par ce dernier (Donham *et al.*, 1988).

Les émissions gazeuses sont influencées par plusieurs facteurs (Blanes-Vidal *et al.*, 2009), tels que la gestion des déjections, le type de plancher, le type et le débit de ventilation et la température ambiante. Puisque la mesure de tous ces facteurs ne figure pas dans la plupart des publications incluant des mesures d'émission, il est difficile de déterminer l'impact individuel d'un de ces facteurs comme celui de la température de consigne (Jungbluth *et al.*, 2001; Arogo *et al.*, 2003).

Il est reconnu que la température du lisier, celle de la salle et le débit de ventilation associé ont un impact direct sur le transfert de masse par convection de l'ammoniac à partir du liquide vers l'air. En effet, plus grande est la vitesse de l'air à la surface du lisier, plus grande est la volatilisation de l'ammoniac (NH_3). Par contre, cet effet est masqué par le fait que les vitesses d'air plus grandes associées à des débits d'air plus grands augmentent l'effet de dilution des gaz (Ni *et al.*, 2000). Selon Arogo *et al.* (1999), le transfert de masse de l'ammoniac entre le liquide et l'air est à son minimum lorsque, pour une même vitesse d'air à la surface du liquide, la température de celui-ci est réduite et que la température de l'air est élevée.

Hamelin *et al.* (2009) ont fait une évaluation des émissions actuelles de plusieurs contaminants provenant des bâtiments d'élevage porcin à partir de l'information provenant de différentes sources répertoriées dans le monde. Selon la littérature consultée, les émissions moyennes de NH_3 en provenance des élevages de porcs en croissance-finition sont de 6,48 g/jour-porc alors qu'elles sont de 5,54 g/jour-porc pour le méthane (CH_4). Ces mêmes émissions sont respectivement de 1 920 et 0,66 g/jour-porc pour le dioxyde de carbone (CO_2) et le protoxyde d'azote (N_2O).

1.3 Description générale du projet et objectifs

1.3.1 But

Le but de ce projet a consisté à développer une stratégie optimale de contrôle pour laquelle la température de consigne serait le plus près possible de la limite de la température critique inférieure, et ce, en considérant l'augmentation de poids des porcs et en optimisant à la fois les performances zootechniques (GMQ, CA, qualité de la carcasse et mortalité), les émissions gazeuses, la consommation de combustible pour le chauffage du bâtiment et l'émission de gaz à effet de serre. Le tout dans le but de réduire le coût de production ou de pallier les augmentations des coûts en chauffage.

1.3.2 Objectif général

Proposer une stratégie de contrôle de la température optimale dans les engraissements porcins dans un contexte d'agriculture durable et de bien-être des animaux

1.3.3 Objectifs spécifiques

- Évaluer l'impact de trois stratégies de contrôle de la température ambiante sur les performances zootechniques des porcs en croissance-finition
- Effectuer et comparer le bilan énergétique (consommation d'énergie) entourant le besoin de chauffage durant les périodes froides pour chacune des stratégies testées
- Évaluer l'impact des stratégies de contrôle de la température ambiante sur les concentrations et les émissions de gaz
- Évaluer l'impact des stratégies de contrôle sur la qualité de la carcasse
- Calculer les impacts économiques des stratégies de contrôle et indiquer les impacts sur le coût de production
- Déterminer la stratégie optimale en regard des paramètres étudiés
- Diffuser les résultats auprès des conseillers, intervenants et producteurs

2 Matériel et méthodes

2.1 Site expérimental

Les essais se sont déroulés au laboratoire sur le bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage (BABE) de l'IRDA dans le bâtiment DC-137 du Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD).

Le laboratoire BABE est composé de locaux permettant de mener à bien des essais à échelle réduite avec des animaux. Il consiste en 12 chambres expérimentales (figure 2-1) complètement indépendantes les unes des autres et de mêmes dimensions (1,20 m de largeur, 2,44 m de profondeur et 2,44 m de hauteur).

Figure 2-1 Vue des chambres expérimentales

Chacune des chambres est hermétique afin de prévenir l'échange d'air entre les différentes pièces. Le revêtement intérieur des chambres est fait de contreplaqué peint recouvert d'une feuille de polyéthylène sur la demie inférieure du mur pour protéger les surfaces du lisier. Le plancher est entièrement latté. Il est composé de lattes de béton commerciales et chacune des chambres possède son propre système de gestion du lisier, doublé d'un bac (tiroir) pour la récupération du lisier (figure 2-2).

Figure 2-2 Vue d'une chambre expérimentale

Une salle hébergeant les équipements d'acquisition de données et une aire de manutention sont également intégrées au laboratoire. Les différents espaces sont illustrés à la figure 2-3.

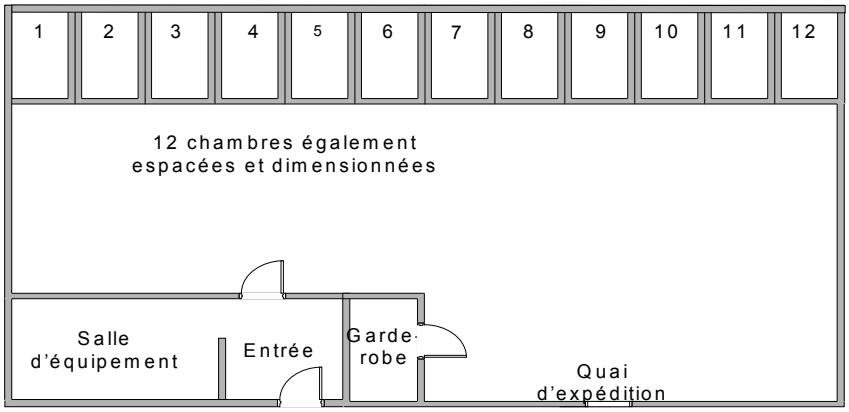


Figure 2-3 Vue générale de l'aménagement des 12 unités expérimentales

Pour le premier essai, les trémies étaient installées à l'intérieur des chambres tel qu'illustré à la figure 2-2. À la suite des recommandations du comité de bien-être des animaux, pour le deuxième essai, les trémies ont été fixées sur un panneau pivotant qui était bloqué vis-à-vis de la porte et à l'intérieur de la chambre. Cette modification avait pour but de permettre aux porcs d'avoir accès à la trémie en conservant une posture longitudinale et ce sans avoir à se retourner.

2.2 Contrôle d'ambiance

Chacune des chambres du laboratoire est ventilée de façon indépendante et possède son propre ventilateur d'extraction à vitesse variable. La capacité de ce ventilateur variable varie entre 14 et 75 L/s. Avant son arrivée aux chambres, l'air d'entrée est conditionné par une unité centrale de chauffage et de climatisation. Une partie du système de ventilation est illustrée à la figure 2-4.

Lors de la saison froide, l'air est chauffé par une unité de chauffage de 20 kW située après l'unité d'air conditionné. Une seconde unité de chauffage, installée dans la conduite de ventilation de chacune des chambres, permet un ajustement optimal de la température des aires expérimentales. L'opération de ces unités individuelles et des ventilateurs d'extraction est commandée par un contrôleur de température (EVS-22HA, Norsol Electronics, Saint-Hubert, QC, Canada). Lors des essais, le débit de ventilation minimum a été ajusté à 14 L/s dans chaque chambre.

Figure 2-4 Circuit de ventilation et de chauffage

Un système d'acquisition de données relié à un ordinateur est utilisé pour enregistrer les données provenant des sondes de température et d'humidité relative ainsi que la différence de pression statique.

Enfin, un système d'éclairage ajuste l'intensité lumineuse à 70 lux dans les chambres. La période d'éclairage est de 12 heures, soit de 7 h à 19 h.

2.3 Animaux et alimentation

Durant l'expérimentation, chacune des chambres contenait trois porcs (castrat). Ces porcs provenaient d'un élevage commercial et ont été engraissés de 35 kg jusqu'au poids du marché, soit environ 116 kg. La superficie de plancher par porc dans chacune des chambres était de 0,98 m^2. Le nombre de porcs logés dans chaque chambre était limité par la largeur de la chambre et non par sa superficie.

Chacun des 36 porcs a été pesé à son arrivée. Ceux-ci ont ensuite été répartis dans chacune des chambres afin d'obtenir un poids total moyen par chambre similaire pour les 12 chambres et en s'assurant de plus que chacun des trois porcs d'une même chambre ait un poids similaire.

Tous les animaux ont ingéré une diète commerciale en trois phases d'aliments. Les animaux de toutes les chambres ont été alimentés *ad libitum* en alimentation sèche. Les moulées début, croissance et finition du premier essai contenaient respectivement de l'auréomycine, de la flavomycine et de la tylosine. Les moulées du deuxième essai ne contenaient aucun facteur de croissance.

La disponibilité de l'eau à volonté a été assurée par un abreuvoir commercial avec tétine (Drink-O-Mat, Egebjerg, Danemark) installé à plus de 40 cm de la trémie pour éviter toute humidification de la ration.

2.4 Traitements

Les stratégies de contrôle évaluées étaient les suivantes :

1. Stratégie chaude (C ou témoin) : 22,2 à 20,0 °C (pratique répandue au Québec)
2. Stratégie intermédiaire (I) : 21,7 à 17,2 °C (pratique présente dans certaines fermes du Québec)
3. Stratégie froide (F) : 21,1 à 14,4 °C (pratique répandue dans l'Ouest canadien)

Pour chacune des stratégies, la température diminuait linéairement avec l'augmentation du poids des porcs pour se stabiliser sur un plateau lorsque ces derniers atteignaient approximativement 75 kg de poids vif. La température de consigne était ajustée chaque mardi. Le détail des consignes de température est présenté à la figure 2-5.

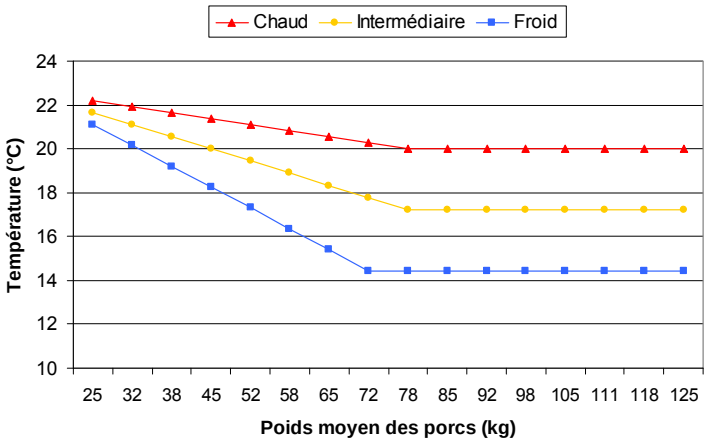


Figure 2-5 Consignes de température selon le poids des porcs et la stratégie de température

2.5 Dispositif expérimental et analyses statistiques

Les essais ont été conduits pendant deux essais. Chaque essai, d'une durée de 11 semaines, comprenait quatre répétitions de chacun des traitements. Ces derniers ont été attribués de façon aléatoire à chacune des chambres et la distribution des porcs a été faite de façon à avoir une répartition des poids semblable dans chaque chambre. L'unité expérimentale (UE) était la chambre. Puisque trois stratégies de température ont été évaluées en parallèle, chacune d'elles a donc été répétée dans quatre chambres sur deux essais (Tableau 2-1).

Tableau 2-1 Disposition des traitements (sigles) dans chacune des chambres

Essai	Chambre											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	F	C	C	I	C	F	I	C	F	I	F	I
2	I	C	C	I	F	F	C	I	C	F	F	I

C = stratégie chaude
I = stratégie intermédiaire
F = stratégie froide

Le premier essai s'est déroulé du 8 janvier au 26 mars 2009 et le deuxième du 8 décembre 2009 au 23 février 2010. Lors du premier essai, les porcelets ont eu deux jours d'acclimatation avant le début du test tandis que pour le deuxième essai ils n'en ont eu qu'un seul. Les essais devaient se dérouler durant la saison froide afin de maintenir les basses températures requises dans certains traitements.

L'analyse de la variance des données a été basée sur un modèle complètement aléatoire avec deux répétitions d'expérience et des mesures répétées dans le temps. Les effets fixes inclus dans le modèle sont le traitement, la semaine et l'interaction semaine*traitement alors que les effets aléatoires sont l'essai et l'interaction essai*traitement.

La procédure « mixed » a été utilisée avec le logiciel SAS (1999). Différentes structures de covariance ont été testées afin de déterminer la meilleure structure à utiliser pour considérer les corrélations entre les mesures répétées. Les comparaisons entre les traitements ont été faites à la suite d'un ajustement de Bonferroni. La normalité et la variance des résidus ont été examinées pour chaque variable.

2.6 Collecte des données

2.6.1 Performances zootechniques

La quantité d'aliments distribués dans chaque chambre a été pesée. Un compteur d'eau (modèle LR, Les Compteurs Lecompte ltée) était installé dans chacune des chambres et la lecture était effectuée tous les sept jours et aussi lors des changements de moulée.

Tous les porcs ont été pesés à leur arrivée et, par la suite, à tous les sept jours jusqu'à la fin de l'essai. Les changements de moulée étaient faits au moment de la pesée. La précision de la balance était de ± 0,23 kg. À partir de l'information compilée, le gain de poids moyen quotidien des porcs (GMQ), l'ingestion moyenne quotidienne (IMQ), la conversion alimentaire (CA) et la consommation d'eau ont été calculés.

2.6.2 Composition corporelle

Les épaisseurs de gras dorsal et de muscle ont été évaluées lors des changements de moulée et à la fin de chaque essai. Les porcs ont été correctement immobilisés et scannés à l'aide d'un appareil à ultrason (mode B) (UltraScan 50, Alliance Médical Inc, Canada; 120 mm, 3,5 MHz) afin de mesurer l'épaisseur de gras et de muscle (*longissimus thoracis*) entre les 3e et 4e avant dernières côtes de l'animal. Finalement, les données provenant de l'abattoir, soit les mesures de qualité de la carcasse (épaisseur de gras dorsal, rendement en viande maigre et l'indice de classement) et les condamnations ont été colligées.

2.6.3 Programme alimentaire et composition de la moulée

Durant l'essai, des échantillons de chacun des aliments ont été prélevés chaque semaine pour ensuite être combinés après plusieurs échantillonnages et acheminés dans un laboratoire aux fins d'analyses chimiques (notamment matière sèche, matière minérale, protéine, matière grasse, cellulose, Ca, P, Na et lysine) pour s'assurer de la conformité de l'aliment.

2.6.4 Suivi de l'état de santé des animaux

Tout problème de santé a été diagnostiqué et noté. Des analyses sanguines ont été effectuées sur un animal par chambre afin de s'assurer que les animaux étaient exempts du syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP).

2.6.5 Composition du lisier

Dans chacune des chambres, lors de chaque essai, une vidange a été effectuée sept jours avant chaque changement de moulée. Le lisier produit dans les chambres lors des sept jours suivant cette première vidange et avant le changement de moulée a été pesé et échantillonné lors d'une autre opération de vidange le jour du changement de moulée. Les échantillons ont été récoltés dans des pots en polyéthylène de 600 ml. Les lisiers échantillonnés ont été acheminés au laboratoire de l'IRDA pour l'analyse des éléments suivants : matière organique (MO), matière sèche (MS)., azote total (N_{tot}), azote ammoniacal (N_{amm}), rapport C/N, densité, pH, phosphore (P), potassium (K), cuivre (Cu), zinc (Zn), manganèse (Mn), calcium (Ca) et magnésium (Mg).

2.6.6 Température, humidité relative et débit de ventilation

La température et l'humidité relative de l'entrée d'air et de l'intérieur des chambres ont été mesurées à l'aide d'une sonde (modèle CS500, Campbell scientific, Logan, UT). La sonde a été calibrée pour la température à l'aide d'un thermomètre de référence (± 0,4) et pour l'humidité relative à l'aide d'une solution saline aqueuse saturée (chlorure de magnésium : 32,5 %; nitrate de magnésium : 52,9 %). L'air d'extraction de chaque chambre a été dirigé vers un orifice muni d'un iris de 204 mm (model 200, Continental Fan Manufacturer Inc., Buffalo, NY). Son exactitude était évaluée à ± 5 %. Une mesure du différentiel de pression aux bornes de l'iris a été effectuée. Le rapport entre la pression et le débit d'air peut être calculé comme suit :

$$Q = A\,[P]\,0.5 \qquad \text{Éqn 1}$$

Dans laquelle Q est le débit de ventilation (L/s), A est le coefficient de l'orifice et P est le différentiel de pression aux bornes de l'orifice (Pa).

Le système de ventilation a été calibré avant les essais. Chacun des douze iris a été installé dans une conduite d'essai de 200 mm montée en aval d'un ventilateur d'extraction. L'emplacement des iris dans les conduites a été choisi à partir des normes établies (ASHRAE, 1997). La calibration des ventilateurs a été réalisée pour une gamme de débit s'étendant de 25 à 70 L/s. Des débits d'air calculés à partir des vitesses anémométriques mesurées à l'intérieur des conduits ont été corrélés avec les différentiels de pression mesurés.

L'ensemble des données mesurées a été enregistré toutes les 15 minutes par un système d'acquisition (modèle CR-7, Campbell scientific, Edmonton, AB).

2.6.7 Concentrations et émissions de gaz

Des mesures de concentration gazeuses ont été prises sans interruption pendant les deux élevages et synchronisées avec la mesure du débit de ventilation. Les gaz analysés étaient l'ammoniac (NH_3), le méthane (CH_4), le sulfure d'hydrogène (H_2S), le gaz carbonique (CO_2) et le protoxyde d'azote (N_2O). Lors des deux essais, à toutes les heures, la concentration des différents gaz a été mesurée à l'entrée d'air et à la sortie de chacune des chambres. L'air a été pompé vers un laboratoire mobile à l'aide d'un tube de téflon. Les concentrations du CH_4, du CO_2 et du N_2O ont été mesurées à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Varian 3600, États-Unis) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) pour la détection et la quantification du CH_4 et d'un détecteur à capture d'électrons (ECD) pour la détection et la quantification du CO_2 et du N_2O. L'ammoniac a été mesuré avec un analyseur non dispersif dans l'infrarouge (NDIR; Ultramat 6E, Siemens, Allemagne) et l'évaluation semi-quantitative du H_2S a été réalisée à l'aide d'un analyseur de fluorescence UV (M101E, Teledyne API, États-Unis). Tous les deux jours, les analyseurs ont effectué une mesure de l'air ambiant et de gaz de calibration certifiés. Des filtres de fibre de cellulose ont été placés à chaque entrée des tubes de Teflon™ (6,4 millimètres OD) pour empêcher les particules de poussière d'endommager les analyseurs de gaz. De plus, afin d'empêcher la condensation dans les tubes, le conduit portant les tubes de prélèvement a été maintenu à une température au-dessus de 35 °C. Finalement, afin de favoriser un écoulement semblable tous les tubes de prélèvement avaient la même longueur.

Les émissions gazeuses ont été obtenues en utilisant l'équation suivante :

$$E_{gaz} = \frac{C_{gaz\ sortie} - C_{gaz\ entrée}}{10^6} X \left(\frac{\beta_{gaz}\ X\ Q}{M_{porc}} \right) x\ 10^6$$

Éqn 2

Dans laquelle E_{gaz} représente l'émission gazeuse (mg_{gaz}/min-kg_{porc}), $C_{gaz\ sortie}$ est la concentration de gaz à la sortie du système (ppm), $C_{gaz\ entrée}$ est la concentration de gaz à l'entrée du système (ppm), β_{gaz} est la masse volumique du gaz (kg_{gaz}/m^3_{air}), Q représente le débit de ventilation (m^3_{air}/min) et M_{porc} est la masse totale des porcs se trouvant dans la salle (kg).

La masse volumique de l'air a été obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$\beta_{gaz} = D_{gaz}\ x\ \rho_{air}$$

Éqn 3

Dans laquelle ρ_{air} est la masse volumique de l'air (1,2 kg_{air}/m^3_{air}), D_{gaz} est la masse spécifique du gaz (kg_{gaz}/kg_{air}; ex. : NH_3 = 0,597 à 21 °C et à 101 kPa). Les masses spécifiques de l'air à 21 °C et à 101 kPa ont été utilisées pour les calculs.

2.6.8 Comportement animal et vitesse d'air

Pendant le premier essai, des observations sporadiques ont indiqué qu'il pourrait y avoir une différence dans le comportement des porcs entre les traitements. Le nombre de porcs se tenant debout ou en position assise devrait normalement être un indicateur du taux d'activité des porcs et donc de leur dépense énergétique. Cette dernière devrait se répercuter sur la performance des porcs (Gonyou, 2010). Il a donc été décidé d'installer des caméras dans les chambres pour le deuxième essai. Une image par chambre a été enregistrée toutes les cinq minutes, chaque lundi (de 6 h à 18 h) des semaines 8 à 11. Les images enregistrées ont été analysées afin de déterminer si les porcs se trouvaient en position assise ou debout. Le nombre de porcs se tenant en position debout sur chacune des images a été enregistré.

Afin de s'assurer que les traitements n'avaient pas d'impact négatif sur le bien-être des animaux, les vitesses anémométriques au niveau des porcs dans chaque chambre ont été mesurées. Un anémomètre à fil chaud (TSI, Shoreview, MN) a été attaché à une corde suspendue dans la chambre. La corde a été actionnée de façon à ce que la sonde de vitesse anémométrique soit introduite de l'extérieur de la chambre sans que les porcs ne soient dérangés pendant la séance de mesure. Des mesures ont été prises à la hauteur des porcs et à la mi-hauteur des chambres. Afin d'effectuer les mesures à la hauteur des porcs, celles-ci ont été effectuées lorsque les porcs dormaient. Ces mesures ont été obtenues lors des semaines 9, 10 et 11 de l'essai 1 et pendant les semaines 8, 9, 10 et 11 de l'essai 2.

2.7 Simulation des coûts énergétiques

2.7.1 Déviations au protocole en lien avec l'évaluation des besoins énergétiques

L'impact des différentes stratégies de contrôle de la température sur les besoins énergétiques des chambres devait initialement être mesuré pendant le projet. La mesure de la consommation énergétique du chauffage central, combinée à celle des unités de chauffage individuelles et à l'estimation des besoins énergétiques de la ventilation permettaient en principe de comparer les différents traitements face à ce facteur. Comme la construction des chambres était théoriquement équivalente, les pertes de chaleur devaient aussi être comparables.

Les instruments de mesure ont été installés pour collecter ces données et une première analyse a été complétée. Selon ces résultats préliminaires, il était clair que les pertes de chaleur des chambres étaient très variables et non uniformes. L'ensemble du système de ventilation a été isolé de nouveau pour pallier à la situation. Par contre, les mesures ultérieures n'ont pas été plus concluantes. Comme la construction des chambres du laboratoire date de plus de dix ans, celles-ci n'ont pas la même perte de chaleur et il n'est pas possible d'établir correctement le bilan de chaleur.

Par conséquent, il a été convenu par l'équipe de recherche d'évaluer l'impact des différentes stratégies sur les besoins énergétiques à l'aide de simulations théoriques.

2.7.2 Production de chaleur par les porcs

La production de chaleur sensible des porcs a été calculée à l'aide de la perte de chaleur par les chambres et la ventilation. La perte de chaleur de la ventilation est en fonction des débits de ventilation mesurés et du changement de l'enthalpie sensible entre l'entrée d'air et l'extraction des chambres. La production de chaleur latente de chacune des chambres a été calculée à partir des débits de ventilation et du changement de l'enthalpie latente entre l'entrée d'air et l'extraction des chambres. Son calcul a donc fait intervenir des mesures d'humidité relative et de température au bulbe sec.

La perte de chaleur de chaque chambre a été estimée. Pour ce faire, les températures ambiantes de chaque côté du mur et du plafond de chaque chambre ont été mesurées lors des essais. La résistance thermique des murs et du plafond a été déterminée à partir d'un essai au cours duquel une unité de chauffage de 600 W a été placée dans chaque chambre en l'absence d'animaux. La perte de chaleur de chaque chambre a été exprimée comme suit :

$$H_{cn} = H_h - H_{vn} \qquad \text{Éqn 4}$$

Dans laquelle H_{cn} est la perte de chaleur de la chambre par conduction (W), H_h est la chaleur produite par l'unité de chauffage (W) et H_{vn} est la perte de chaleur de la chambre par la ventilation (W).

La perte de chaleur des chambres peut être exprimée en termes de surface, de changement de température au travers de chacun des murs et du plafond et de la résistance thermique des différents matériaux.

$$H_{cn} = \frac{\Delta T_{wo} A_{wo}}{R_{wo}} + \frac{\Delta T_c A_c}{R_c} + \frac{\Delta T_1 A_1}{R_1} + \frac{\Delta T_2 A_2}{R_2} + \frac{\Delta T_3 A_3}{R_3} \qquad \text{Éqn 5}$$

Dans laquelle ΔT_{wo} est le gradient de température à travers le mur exposé à l'extérieur (°C), ΔT_c est la différence de température à travers le plafond (°C), ΔT_{wn} est la différence de température au travers les autres murs (°C), A_{wo} est l'aire du mur extérieur (m^2), A_c est l'aire du plafond (m^2), A_{wn} est l'aire des autres murs (m^2), R_{wo} est la résistance thermique du mur extérieur (m^2 °C/W) et R est la résistance thermique des autres surfaces (m^2 °C/W). La valeur de R pour le mur exposé à l'extérieur a été évaluée à un équivalent de 12,5 cm d'isolation.

Immédiatement après que chacun des deux essais ait été complété, les unités de chauffage calibrées ont été placées dans chaque chambre pendant une période de 3 jours. La perte de chaleur de chaque chambre a été calculée toutes les 15 minutes à partir de la différence entre le rendement des unités de chauffage et la perte de chaleur par la ventilation. La perte de chaleur de la ventilation a été calculée à partir de la température de l'air d'entrée et d'extraction ainsi que du taux de ventilation. À partir des pertes de chaleur calculées, la valeur de R pour chaque chambre a pu être calculée. Les valeurs de R calculées par cette méthode sont présentées au tableau 2-2.

Tableau 2-2 Résistance thermique des murs extérieurs pour les différentes chambres

Chambre	Résistance thermique du mur extérieur (m^2 °C/W)	Résistance thermique des autres murs (m^2 °C/W)
1	3	0,5
2	3	0,6
3	3	0,6
4	3	0,3
5	3	0,8
6	3	0,3
7	3	0,5
8	3	0,5
9	3	0,6
10	3	0,9
11	3	0,5
12	3	0,8

2.7.3 Calcul des besoins énergétiques en chauffage

À partir des données de production de chaleur sensible pour chacun des traitements, les conditions de chauffage ont pu être simulées pour un bâtiment typique de production de porcs en croissance-finition. Les données horaires de conditions atmosphériques de Montréal, habituellement utilisées pour déterminer les charges thermiques lors de la conception de bâtiment ont été employées pour simuler les conditions de temps froid du Québec (ASHRAE, 1997).

La perte de chaleur du bâtiment, la perte de chaleur par la ventilation ainsi que la production de chaleur sensible des porcs ont été calculées afin d'estimer les besoins en chauffage nécessaire pour maintenir la température selon la consigne. À titre de comparaison, les données horaires de Saskatoon ont également été employées (ASHRAE, 1997). Avant la simulation, le modèle a été testé de manière exhaustive. La température intérieure a été prédite selon les conditions extérieures, la production de chaleur prévue par les porcs, les pertes de chaleur du bâtiment et les pertes de chaleur par la ventilation. Puisque l'évaluation de la production de chaleur par les porcs s'est révélée être problématique, les taux de production de chaleur sensible, latente et totale par les porcs ont été calculés à partir des algorithmes publiés par la CIGR (2002). Si une portion de chauffage était requise, la température intérieure était alors maintenue à la température de consigne. Si le bilan thermique était positif, le taux de ventilation augmentait jusqu'à ce que la production de chaleur des porcs soit égale à celle des pertes de chaleur du bâtiment et de la ventilation.

Les simulations ont été effectuées pour les mois d'hiver (entre le 1er novembre et le 1er avril) et également pour l'année entière. L'objectif principal était de comparer les coûts de chauffage pour les différentes consignes de température étudiées. Les gammes de température de consigne ont coïncidé avec la variation de la masse des porcs de 25 à 75 kg (Figure 2-5). Les simulations sont présentées au tableau 2-3. Le débit de ventilation minimum, qui assurerait la bonne qualité de l'air, a été estimé à environ 1,5 L/s-porc (Zhang, 1994). Lors des simulations, présentées au tableau 2-3, des valeurs de débits de ventilation minimum se situant au-dessus et en dessous de cette valeur de référence ont aussi été utilisées.

Tableau 2-3 Simulations du modèle

Simulation	Conditions
Température	(C) 22,3 à 20 °C; (I) 21,8 à 17,25 °C; (F): 21,0 à 14,5 °C
Débit de ventilation minimum	(Vmin #1) 1,2 à 2,4 L/s-porc; (Vmin #2) 1,8 à 3,6 L/s-porc

2.7.4 Calcul des besoins énergétiques en ventilation

Dans les simulations préliminaires, la quantité d'énergie de ventilation s'est avérée importante relativement aux coûts de chauffage. Ainsi, de nouvelles simulations incluant les coûts d'opération de la ventilation ont été effectuées. Dans chaque simulation, le volume d'air extrait par chaque ventilateur a été déterminé et converti en énergie par les ratios énergétiques de ventilation publiés (BESS, 2010) (Tableau 2-4). Les coûts énergétiques pour le propane, le gaz naturel et l'électricité ayant été utilisés pour le Québec et la Saskatchewan sont présentés au tableau 2-5.

Tableau 2-4 Description des ventilateurs utilisés dans le bâtiment type de 1 000 places-porc

Stage	Ventilateur	Débit (L/s-ventilateur)	Ration de consommation énergétique (m/kJ)
1	4-45 cm	1 630	4,7
2	4-60 cm	2 767	6,0
3	2-90 cm	4 506	7,5
4	4-90 cm	4 506	7,5

Tableau 2-5 Coût de l'énergie pour le Québec et la Saskatchewan

Province	Gaz $/kWh	Propane $/L	Électricité $/kWh
Québec†	11,63[1]	0,50[3]	0,074[4]
Saskatchewan∗	7,46[2]	-	0,11[5]

[1] Source : Gaz Métro, 2010. www.gazmetro.com
[2] Source : SaskEnergy, 2010. www.saskenergy.com
[3] Source : Propane G.R.G. inc., 2010. Communication personnelle.
[4] Source : Hydro-Québec, 2010. www.hydroquebec.com
[5] Source : SaskPower, 2010. www.saskpower.com

3 Résultats et discussion

3.1 Performances zootechniques

3.1.1 Performances globales

Le poids moyen des animaux à leur entrée et à leur sortie était respectivement de 35,66 et de 119,69 kg (Tableau 3-1). En moyenne, pour les deux essais, le gain moyen quotidien (GMQ) a été de 1,09 kg et la conversion alimentaire (CA) a été de 2,59 kg de moulée par kilo de gain de poids. Le taux de mortalité a été de 1,39 %, soit un porc au cours du 2e essai. Ces résultats indiquent, qu'en moyenne, les animaux ont exprimé des performances zootechniques très élevées et celles-ci sont comparables à celles obtenues dans le laboratoire BABE dans le cadre d'une autre expérience (Godbout *et al.*, 2006) au cours de laquelle les porcs avaient été abattus à 82 kg.

Tableau 3-1 Performances zootechniques globales (moyenne ± écart-type)

Paramètre (unité)	N	Essai 1	N	Essai 2	Moyenne
Performance de croissance					
Poids vif moyen début (kg)[1]	36	36,74 ± 1,96[a]	36	34,58 ± 1,50[b]	35,66
Poids vif moyen fin (kg)	36	122,47 ± 6,94[a]	36	116,94 ± 9,39[b]	119,69
Gain moyen quotidien (kg/j)	36	1,11 ± 0,07	36	1,06 ± 0,08	1,09
Épaisseur de gras ultrasons (mm)	36	19,53 ± 4,00[a]	36	16,54 ± 4,20[b]	18,01
Épaisseur de muscle ultrasons (mm)	36	65,67 ± 5,04	36	66,21 ± 5,00	65,97
Performance de consommation					
Ingéré moyen quotidien (kg/j)	36	2,86 ± 0,11	36	2,76 ± 0,22	2,81
Conversion alimentaire	36	2,57 ± 0,13	36	2,61 ± 0,06	2,59
Consommation quotidienne d'eau (l/j)	36	4,93 ± 0,74	36	5,03 ± 0,91	5,02
Rendement carcasse					
Poids carcasse (kg)	36	97,12 ± 6,17	28	94,94 ± 7,98	95,89
Rendement maigre (%)	31	60,06 ± 3,64[a]	27	61,32 ± 1,85[b]	60,60
Rendement carcasse (%)	31	79,40 ± 4,06	27	81,64 ± 1,12	80,44
Épaisseur de gras Destron (mm)	31	21,35 ± 5,47[a]	27	17,69 ± 4,27[b]	19,55
Épaisseur de muscle Destron (mm)	31	66,61 ± 6,65	27	65,33 ± 5,98	66,17
Indice moyen[2]	31	106,29 ± 8,42	27	107,74 ± 11,04	107,0

[1] Les moyennes avec des lettres différentes indiquent qu'elles sont différentes significativement ($P < 0,05$).

[2] Les indices n'ont pas été attribués selon la même grille de classement.

L'essai n'a pas eu d'impact significatif sur les valeurs de GMQ, IMQ et CA ($P > 0,05$), ce qui signifie que les valeurs des essais 1 et 2 ne sont pas statistiquement différentes. Par contre, les poids vifs moyens au début et à la fin du test étaient statistiquement plus élevés ($P > 0,05$) au premier essai.

La moyenne de la consommation quotidienne en eau a été de 5,02 l/porc/jour et n'est pas statistiquement différente d'un essai à l'autre. La consommation d'eau n'est pas très élevée, car le ratio eau/aliment consommé se situe autour de 1,78 l/kg d'aliments alors que le ratio devrait être autour de 2,5-3 l/kg d'aliments (Almond, 1995; Brumm, 1998; Guimont *et al.*, 2005). Par contre, un ratio similaire a déjà été obtenu dans une autre étude (Dufour *et al.*, 2007). Finalement, à la fin de l'essai, l'épaisseur des muscles sur l'animal vivant n'a pas été différente ($P > 0,05$). Par contre, l'épaisseur de gras a été plus élevée au premier essai ($P < 0,05$). Toutefois, cette différence est due au poids final qui est légèrement plus élevé à la fin du premier essai. En utilisant le poids final comme covariable, la différence n'est plus significative.

Les valeurs de rendement des carcasses par essai n'ont pas été analysées et ne sont présentées ici qu'à titre indicatif. Les contraintes expérimentales ont fait en sorte que tous les animaux ont été abattus le même jour, peu importe qu'ils aient atteint le poids cible ou non alors que normalement il y aurait eu des envois progressifs à l'abattoir en fonction de l'atteinte du poids d'abattage requis. De plus, les données complètes d'abattage de sept porcs du deuxième essai ne sont pas disponibles. Les porcs ont été abattus selon deux grilles de classement différentes.

3.1.2 Performances hebdomadaires par traitement

Les principales valeurs de performance par semaine et par traitement sont présentées en détail au tableau 3-2. Pour l'IMQ, le GMQ, la CA et la consommation d'eau, l'effet semaine ($P < 0,0001$) a été significatif, c'est-à-dire que les valeurs de consommation (IMQ, CA et eau) et de croissance (GMQ) ont augmenté avec l'âge des porcs.

Tableau 3-2 Performances zootechniques selon le traitement et la semaine pour les deux essais

Semaine	Conversion alimentaire (kg d'aliment/kg de gain)			Gain moyen quotidien (kg)			Ingéré moyen quotidien (kg)		
	C	I	F	C	I	F	C	I	F
1	1,98	1,81	1,81	0,97	1,04	1,05	1,85	1,87	1,90
2	2,07	1,96	2,49	0,95	1,03	0,85	1,97	2,00	2,02
3	2,17	2,21	2,26	0,99	0,97	0,96	2,13	2,13	2,09
4	2,16	2,23	2,32	1,13	1,15	1,10	2,42	2,54	2,51
5	2,40	2,39	2,41	1,15	1,17	1,15	2,76	2,74	2,77
6	2,31	2,41	2,35	1,18	1,26	1,15	2,67	3,01	2,55
7	3,24	3,49	3,03	1,04	1,01	1,08	3,21	3,22	3,20
8	2,84	2,81	3,05	1,17	1,25	1,11	3,25	3,42	3,31
9	3,36	3,14	3,17	1,06	1,13	1,08	3,44	3,52	3,35
10	3,03	3,13	3,10	1,15	1,17	1,13	3,43	3,59	3,48
11	3,02	3,62	3,40	1,18	1,02	1,05	3,49	3,58	3,40

L'évolution des performances (IMQ, GMQ, CA et consommation d'eau) au cours des deux essais est présentée aux figures 3-1 à 3-4. Il est à noter que toutes les consommations d'eau de la deuxième semaine du premier essai et celle d'une chambre du traitement chaud de la semaine 8 de l'essai 2 ont dû être éliminées à cause d'un bris d'équipement. L'interaction essai*semaine ($P < 0,05$) a été significative pour le GMQ et l'IMQ (Figures 3-1 et 3-2). Ainsi, l'évolution de la CA et du GMQ au cours des semaines a été différente d'un essai à l'autre mais les valeurs de CA et de GMQ global pour les deux essais ne sont pas différentes.

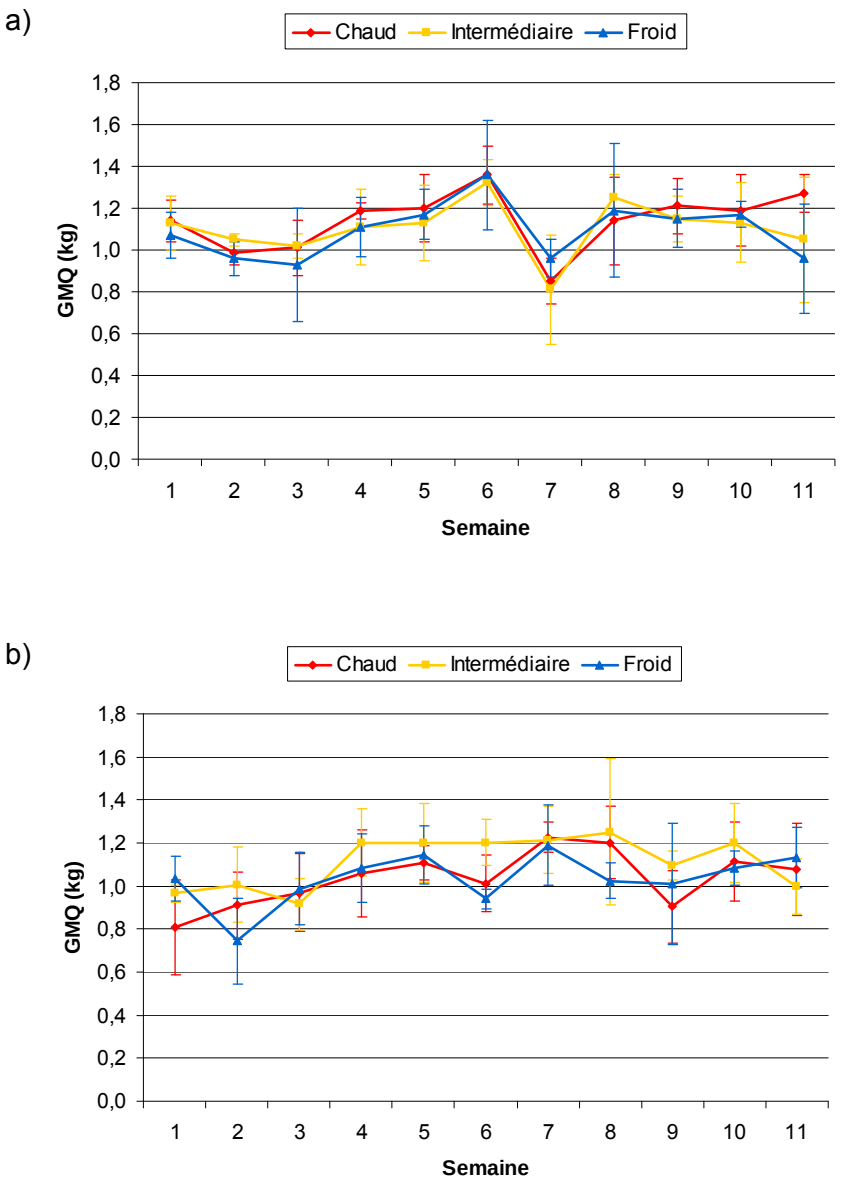
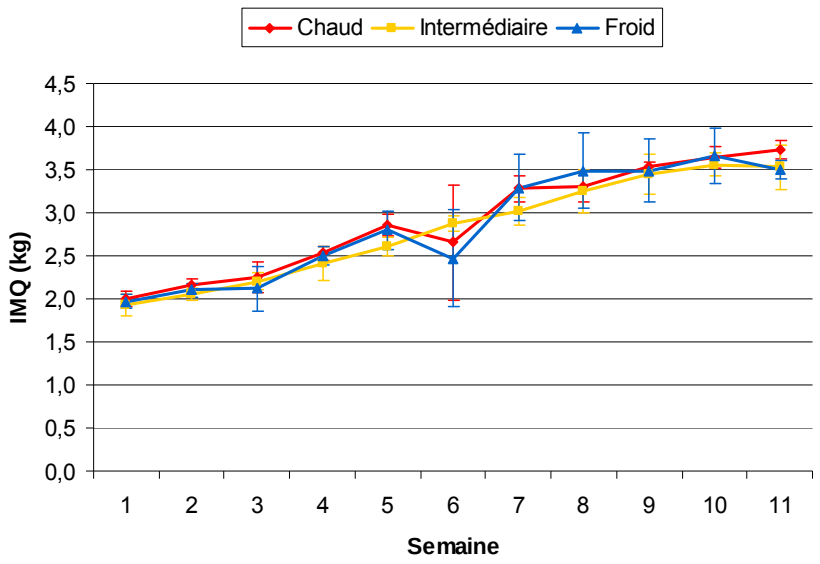


Figure 3-1 Gain moyen quotidien (GMQ) lors du premier (a) et du deuxième (b) essais

a)



b)

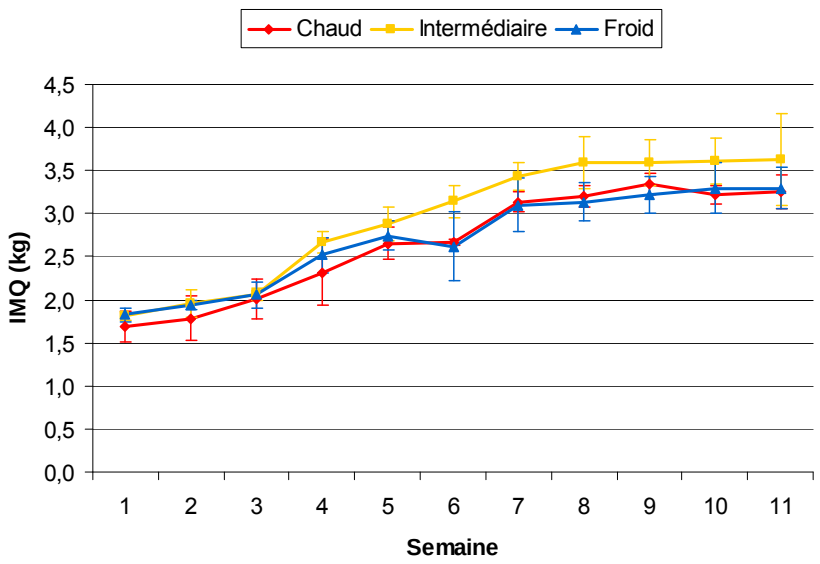
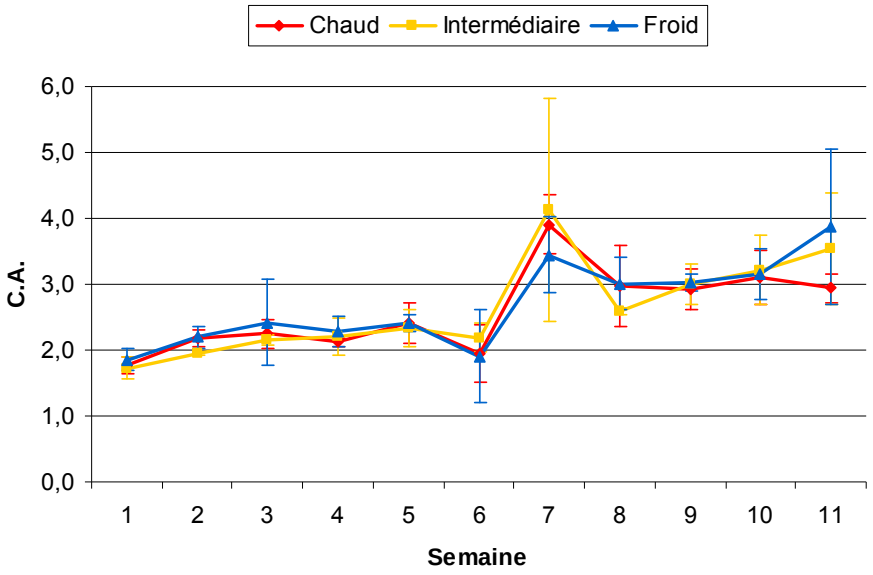


Figure 3-2 Ingéré moyen quotidien lors du premier (a) et du deuxième (b) essais

a)



b)

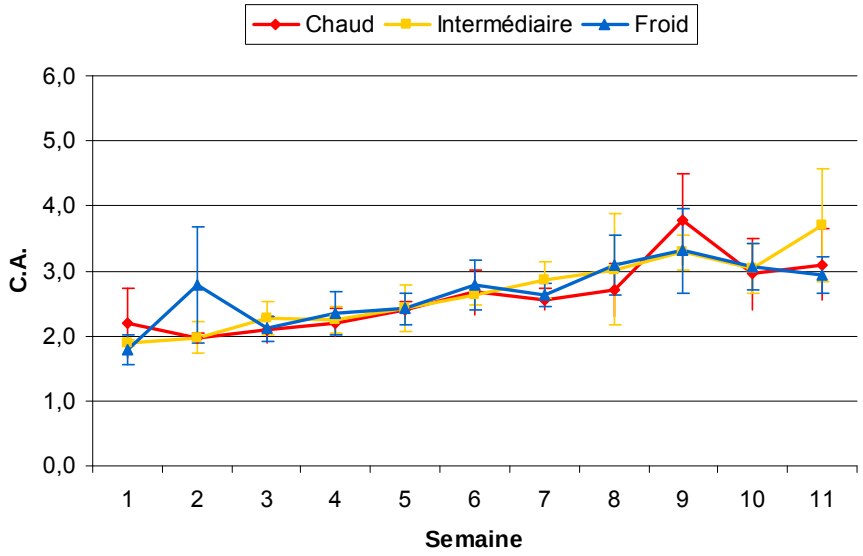
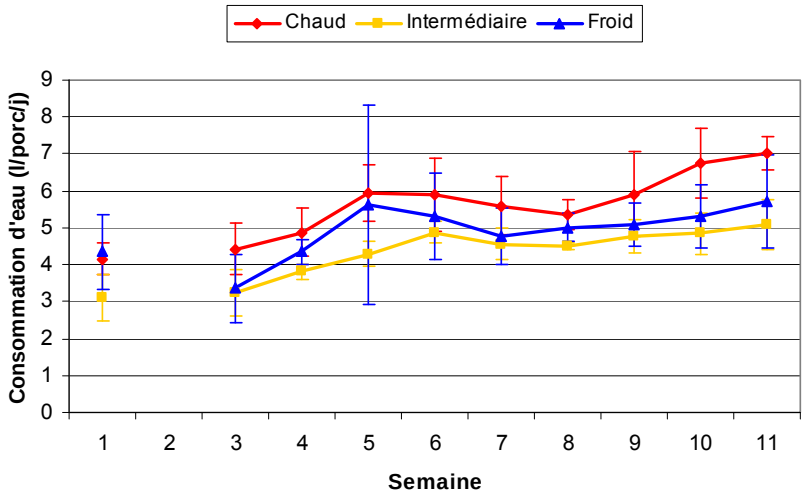


Figure 3-3 Conversion alimentaire lors du premier (a) et du deuxième (b) essais

a)



b)

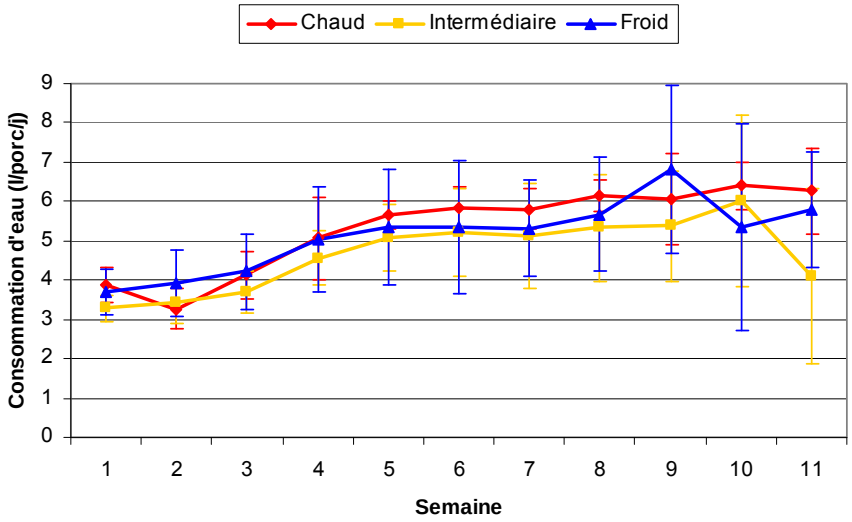


Figure 3-4 Consommation quotidienne d'eau lors du premier (a) et du deuxième (b) essais

3.1.3 Performances par phase alimentaire et par traitement

Le traitement a eu un impact significatif ($P < 0{,}05$) seulement sur les mesures de consommation en eau, et ce, pour toutes les phases alimentaires (Tableau 3-1). Plus la température était élevée au cours des phases alimentaires 2 et 3, plus la consommation d'eau était importante. Au cours de la phase 1, qui n'a duré que sept jours, ce sont les porcs du traitement intermédiaire (4,07 l/j-porc) qui ont présenté la consommation d'eau la plus élevée, suivis par ceux du traitement chaud (3,92 l/j-porc) et par ceux du traitement froid (3,24 l/j-porc). Selon Massabie (2001b), la consommation d'eau augmente avec la température car il y a un accroissement des pertes par la respiration pour assurer la thermorégulation.

Selon Massabie (2001a), la CA maximale s'obtient à 24 °C. Les performances des porcs gardés à 20 et 17 °C étant moins bonnes que celles de porcs gardés à 24 °C. Cependant, dans cette étude la température était stable tout au long de l'essai, même au début alors que les porcs ne pesaient que 25 kg. L'analyse des données de la présente étude démontre que, outre la consommation d'eau, aucune autre performance zootechnique n'a été affectée par la stratégie de température. Les résultats de cette étude semblent donc appuyer les résultats de la simulation de Chénard et Lemay (2001) qui concluaient que la température ambiante pouvait passer de 22 °C pour des porcs de 25 kg à 15 °C pour des porcs de 70 kg sans affecter les performances zootechniques. D'ailleurs, les trois stratégies de température étaient au-dessus des valeurs de TCi indiquées par l'IFIP (2006), soit 20 à 13 °C pour des porcs de 20 à 100 kg. Les résultats sont aussi en accord avec ceux de Nichols *et al.* (1982) et Nienaber *et al.* (1987a) qui n'ont pas observé de différence significative pour le GMQ entre 10 et 20 °C ou pour la CA entre 15 et 25 °C.

La meilleure CA a été obtenue dans le cadre du traitement témoin (2,55 kg d'aliments/kg gain), mais elle n'est pas significativement meilleure que celle des traitements intermédiaire (2,59 kg d'aliments/kg gain) et froid (2,62 kg d'aliments/kg gain). Les meilleurs indices de conversion alimentaire ont été obtenus avec le traitement chaud sauf à la phase 1. Pour ce qui est de cette dernière, le traitement chaud a eu la pire conversion alimentaire. En effet, la CA des stratégies témoin, intermédiaire et froide a été respectivement de 1,98, 1,81 et 1,81 kg d'aliments/kg gain. Cependant, le traitement chaud a été affecté par les très mauvaises performances d'un porc qui est décédé des suites d'un prolapse au cours de l'essai 2. En ne tenant pas compte des résultats de la chambre où était gardé ce porc, la CA du traitement chaud de la phase 1 passerait de 1,98 à 1,85 kg d'aliments/kg gain. L'écart entre les traitements pour cette phase aurait donc été négligeable dans les circonstances (seulement une semaine, faible nombre d'animaux, etc.).

Un effet de l'essai a été observé pour le GMQ des phases 1 et 2, l'IMQ de la phase 1 et la CA des phases 2 et 3. Les résultats sont plus élevés lors du premier essai sauf pour la CA de la phase 2 qui est plus basse que celle du deuxième essai.

Tableau 3-3 Performances zootechniques par phase alimentaire selon l'essai et le traitement

Variable	Phase	Essai		Effet essai	Traitement			Effet traitement	Interaction essai*traitement
		1	2		C	I	F		
Gain moyen quotidien* (kg)	Global	1,114	1,058	0,074	1,084	1,110	1,064	0,454	0,243
	1	1,111[a]	0,937[b]	0,004	0,973	1,045	1,054	0,419	0,108
	2	1,127[a]	1,031[b]	0,008	1,080	1,117	1,042	0,190	0,277
	3	1,100	1,115	0,694	1,119	1,116	1,088	0,767	0,531
Ingérée moyen quotidien (kg)	Global	2,855	2,758	0,134	2,765	2,875	2,780	0,313	0,041
	1	1,969[a]	1,776[b]	<0,001	1,849	1,873	1,897	0,671	0,183
	2	2,441	2,395	0,461	2,380	2,486	2,387	0,306	0,107
	3	3,447	3,336	0,230	3,362	3,465	3,349	0,522	0,063
Conversion alimentaire (kg d'aliment/ kg de gain)	Global	2,570	2,606	0,403	2,553	2,592	2,619	0,450	0,576
	1	1,785	1,952	0,144	1,984	1,806	1,814	0,345	0,203
	2	2,171[a]	2,326[b]	0,008	2,208	2,227	2,310	0,266	0,510
	3	3,142[a]	2,996[b]	0,034	3,010	3,114	3,083	0,410	0,341
Consommation quotidienne d'eau (l/j-porc)	Global	4,928	5,102	0,564	5,451[a]	5,240[ab]	4,355[b]	0,015	0,409
	1	3,873	3,612	0,324	3,919[ab]	4,073[a]	3,236[b]	0,036	0,413
	2	4,668	4,651	0,952	5,081[a]	4,856[ab]	4,042[b]	0,018	0,521
	3	5,348	5,778	0,249	6,096[a]	5,727[ab]	4,866[b]	0,031	0,417

* Les moyennes avec des lettres différentes indiquent qu'elles sont différentes statistiquement (P < 0,05).

3.2 Composition corporelle

Le tableau 3-4 présente les résultats par traitement. Le traitement n'a eu aucun impact significatif ($P > 0,05$) sur les mesures de composition corporelle. Selon Le Dividich *et al.* (1985), à la même vitesse de croissance, la température ambiante serait sans effet sur les caractéristiques de carcasse. Holme et Coey (1967) n'ont pas observé de différence dans le rendement maigre, le rendement de carcasse et l'épaisseur de gras entre des animaux gardés à 12,2 °C contre 22,2 °C. Verstegen *et al.* (1979), qui ont testé l'impact d'un abaissement de 2 et 6 °C sous la température de thermoneutralité n'ont également pas observé de différence significative de gras dorsal. Toutefois, d'après l'étude de Le Dividich *et al.* (1987), le rendement en maigre était significativement plus bas à 12 °C qu'à 20 °C mais ils n'ont pas obtenu de différence de rendement de carcasse. Toujours selon Le Dividich *et al.* (1987), la température ambiante n'a pas d'effet notable sur la masse adipeuse totale de la carcasse mais la distribution de cette dernière est différente; à température froide, le poids et l'épaisseur du gras dorsal augmentent tandis que le poids de la panne diminue. Les résultats du présent projet vont dans ce sens car bien que le traitement n'ait pas eu d'effet significatif, les animaux du traitement froid ont déposé plus de gras dorsal et le rendement en maigre est numériquement moins élevé. Nienaber *et al.* (1987b) ont observé des animaux abattus à environ 87 kg avec moins de tissus maigres et plus de tissus adipeux à 15 °C qu'à 20 °C, mais la différence n'était pas significative.

Tableau 3-4 Résultats d'abattage selon le traitement

Paramètres	C	I	F	E.T.
Poids de carcasse* (kg)	95,31	95,68	96,67	0,71
Épaisseur de muscle Destron (mm)	68,41	66,09	64,02	1,52
Épaisseur de gras Destron (mm)	18,75	19,45	20,46	1,15
Rendement en maigre (%)	61,15	60,51	60,10	0,49
Rendement de carcasse (%)	80,02	80,19	81,34	0,59
Indice de classement	108,17	109,54	103,23	2,21
Indice des porcs dans la bonne strate de poids	110,90	111,71	110,68	0,82
Indice de classement selon la grille actuelle†	110,15	110,88	106,04	1,99
Indice de classement des porcs dans la bonne strate de poids selon la grille actuelle	111,21	113,17	111,60	0,98

* Poids vifs fin des porcs utilisés comme covariable

† Grille standard n° 225 qui était également en vigueur lors de l'abattage du 2e essai.

Tel que mentionné, afin de standardiser les mesures des essais, les animaux n'ont pas été abattus lorsqu'ils avaient atteint le poids cible mais plutôt lorsque le poids moyen de tous les animaux de l'essai était autour de 116 kg. Cela se reflète dans les indices de classement obtenus qui sont respectivement de 108,2, 109,5 et 103,2 pour les traitements chaud, intermédiaire et froid. L'indice est beaucoup plus bas pour les animaux du traitement froid. Lorsque l'on compare l'indice des animaux ayant le bon poids d'abattage, l'écart entre l'indice des différents traitements est beaucoup moins grand. Toujours dans le même ordre d'idées, les indices moyens des porcs ayant le bon poids sont de 110,9, 111,7 et 110,7. Ainsi, l'indice de classement des porcs du traitement froid est similaire à celui du traitement chaud.

3.3 Suivi de l'état de santé des animaux

Le seul problème de santé observé au cours des deux répétitions a été des prolapsus rectaux. Lors de la première répétition, il y a eu trois cas qui ont bien guéri et lors de la deuxième répétition, un seul cas. Cet animal a dépéri et est mort, suite aux séquelles du prolapsus. Cela a été confirmé par la nécropsie. Donc, le taux de mortalité fut de 0 % lors du premier lot et de 2,78 % lors du deuxième lot. Considérant le faible nombre d'animaux, un seul décès a un impact important sur le taux de mortalité en pourcentage. Ce taux de mortalité est malgré tout inférieur au taux moyen de mortalité en engraissement au Québec qui était de 5,7 % en 2007 (FPPQ, 2008).

Au cours des deux répétitions, les animaux ont maintenu un statut négatif au SRRP au cours de l'épreuve. Ils provenaient d'une ferme négative à l'APP sérotypes 1 et 5 et avaient été vaccinés en pouponnière contre *Mycoplasma hyopneumoniae*.

3.4 Composition du lisier

Le tableau 3-5 présente la composition du lisier en fonction des trois traitements de température. En général, les données recueillies démontrent que les éléments mesurés sont en plus grande concentration dans les chambres ayant été exposées au traitement froid en comparaison avec les deux autres traitements. Par exemple, la concentration moyenne en azote pour le traitement froid est de 11 065 mg/kg comparativement à 8 316 et à 8 934 mg/kg, respectivement pour les traitements chaud et intermédiaire. L'azote produit par le traitement chaud serait donc de près de 25 % plus faible que le traitement froid et celui du traitement intermédiaire serait de 19 % plus faible que le traitement froid. Il en est de même pour l'azote ammoniacal pour lequel les réductions par rapport au traitement froid sont de 18 % pour le traitement chaud et de 16 % pour le traitement intermédiaire. Les différents éléments présentent tous des concentrations de 19 à 38 % plus faibles pour le traitement chaud en comparaison avec le traitement froid alors que ces différences sont de 16 à 33 % pour le traitement intermédiaire en comparaison avec le traitement froid. Ces différences de concentration sont, selon toute vraisemblance, associées à une dilution (eau) plus grande des éléments dans les conditions intermédiaire et chaude. Cette dilution se confirme lorsque le pourcentage de matière sèche est analysé. En effet, ce dernier est de 32 % plus faible pour le traitement chaud en comparaison avec le traitement froid et de 22 % plus faible pour le traitement intermédiaire lorsque comparé au traitement froid. Comme la consommation en eau était significativement plus faible pour le traitement froid, il y a probablement eu moins de gaspillage et une plus faible dilution qu'avec les autres traitements.

Tableau 3-5 Caractéristiques des lisiers produits par les différents traitements

Élément	Unité	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Moyenne		
		C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F
pH		7,4	7,4	7,4	7,5	7,3	7,3	7,7	7,5	7,7	7,5	7,4	7,4
Ntotal	mg/kg	8919	9065	11731	7987	9142	11614	8044	8594	9851	8316	8934	11065
N-NH4	mg/kg	2984	3071	3591	3965	4208	5247	4446	4488	5211	3799	3922	4683
M.S.	%	13,9	14,1	19,5	9,3	11,8	15,6	9,1	10,9	12,3	10,7	12,3	15,8
Cendre	%	22,6	22,7	22,2	24,5	24,0	23,7	25,9	24,4	24,7	24,3	23,7	23,6
M.O	%	77,4	77,3	77,8	75,5	76,0	76,3	74,1	75,6	75,3	75,7	76,3	76,5
M.V.	g/cm3	1,03	1,00	1,03	1,04	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,0	1,0	1,0
P	mg/kg	2638	2689	3719	1890	2315	2933	1807	2111	2350	2111	2372	3000
K	mg/kg	5417	5428	6948	4478	4984	6446	4538	4574	5357	4811	4995	6250
Ca	mg/kg	3273	3463	4843	1885	2827	3804	1788	2329	2511	2315	2873	3719
Mg	mg/kg	1370	1434	1889	1097	1328	1678	1078	1239	1411	1182	1334	1659
Al	mg/kg	46,8	44,0	63,3	41,8	55,9	66,0	27,1	33,3	36,4	38,6	44,4	55,2
B	mg/kg	7,3	7,1	9,5	4,8	5,7	6,8	4,5	4,3	4,9	5,5	5,7	7,1
Cu	mg/kg	104,8	110,8	147,3	22,3	29,7	35,5	109,1	125,8	141,5	78,7	88,7	108,1
Fe	mg/kg	196,1	184,1	242,4	119,1	140,6	171,8	86,0	100,4	112,8	133,7	141,7	175,7
Mn	mg/kg	47,0	50,4	63,9	32,2	41,7	51,5	24,1	28,2	32,1	34,4	40,1	49,2
Zn	mg/kg	212,0	212,9	381,6	113,5	134,4	173,0	93,4	107,2	125,2	139,6	151,5	226,6
Na	mg/kg	1676	1653	2143	1179	1309	1669	1745	1732	2030	1533	1565	1947

Les différences retrouvées dans les concentrations des différents éléments sont également présentes lors de l'analyse de la masse totale de ces mêmes éléments (Tableau 3-6). Ces données indiquent que la production totale de lisier dans chacune des chambres est similaire.

Tableau 3-6 Charges des différents éléments des lisiers produits durant la dernière semaine de chaque phase d'alimentation et selon les différents traitements

Élément	Unité	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Moyenne		
		C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F
N_{total}	g	202	206	266	181	207	263	182	195	223	566	608	753
$N\text{-}NH_4$	g	68	70	82	90	95	119	101	102	118	259	267	319
P	g	60	61	84	43	53	67	41	48	53	144	161	204
K	g	123	123	156	102	113	146	103	104	122	327	340	425
Ca	g	74	79	110	43	64	86	41	53	57	158	196	253
Mg	g	31	33	42,8	25	30	38	24	28	32	80	91	113
Al	g	1,1	1,0	1,4	0,9	1,3	1,5	0,6	0,8	0,8	2,6	3,0	3,8
B	g	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,5
Cu	g	2,4	2,5	3,3	0,5	0,7	0,8	2,5	2,9	3,2	5,4	6,0	7,4
Fe	g	4,4	4,2	5,5	2,7	3,2	3,9	2,0	2,3	2,6	9,1	9,6	12,0
Mn	g	1,1	1,1	1,5	0,7	0,9	1,2	0,5	0,6	0,7	2,3	2,7	3,3
Zn	g	4,8	4,8	8,7	2,6	3,0	3,9	2,1	2,4	2,8	9,5	10,3	15,4
Na	g	38	37	49	27	30	38	40	39	46	104	107	133

La différence entre les traitements peut difficilement être associée directement à la hausse de température. En effet, une hausse de température aurait normalement dû provoquer une plus grande évaporation de l'eau contenue dans le lisier et faire en sorte que celui des chambres exposées au traitement chaud soit plus sec. Or, puisque le contraire s'est produit, cet effet doit être associé à un effet collatéral des traitements. Cette différence entre les traitements pourrait être associée à une utilisation plus grande de l'eau par les porcs soumis aux traitements plus chauds. En effet, les données de la consommation d'eau indiquent que les porcs soumis au traitement chaud utilisaient davantage d'eau (5,45 l/j-porc) que les porcs soumis aux traitements intermédiaire (5,24 l/j-porc) et froid (4,36 l/j-porc). Également, des observations visuelles non ordonnées ont permis de constater que les porcs du traitement chaud avaient tendance à jouer dans leur abreuvoir, provoquant un gaspillage d'eau qui a pu contribuer à la dilution du lisier.

3.5 Température, humidité relative et débit de ventilation

Des mesures de température pour chacune des 12 chambres ont été prises à toutes les 15 minutes au cours des 11 semaines des deux essais (tableau 3-7). Un profil de température typique pour l'essai 1 est présenté à la figure 3-5. Le contrôle de la température pour chaque traitement s'est effectué conformément aux attentes. Les trois stratégies ont présenté des différences significatives en en ce qui concerne la température produite. La température pour le traitement chaud a varié entre une moyenne de 21 °C pour la phase 1 et de 19,2 °C pour la phase 3. La température pour le traitement froid a varié entre une moyenne de 19,5 °C et de 14,8 °C pour les mêmes deux phases. Les variations de température visibles sur le graphe se sont produites lorsque les contrôleurs des chambres étaient en mode chauffage. Aucun effet significatif des traitements n'a pu être observé en ce qui a trait à l'humidité relative.

Tableau 3-7 Conditions de température, d'humidité relative et de débit de ventilation en fonction des traitements et selon les différentes phases d'essai

Phase		Température (°C)			Humidité relative (%)			Débit de ventilation (L/s)		
		C	I	F	C	I	F	C	I	F
1	Moyenne	21,0	20,3	19,5	33,4	35,2	35,1	26,1	24,7	27,8
	E.T.	0,1	0,1	0,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
2	Moyenne	20,1	18,7	17,0	39,4	41,0	40,8	27,1	24,6	30,9
	E.T.	0,1	0,1	0,1	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0
3	Moyenne	19,2	16,9	14,8	42,3	44,2	44,0	30,6	32,6	39,4
	E.T.	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5	1,1	1,1	1,1
Global	Moyenne	19,8	18,0	16,2	40,2	41,9	41,7	28,6	28,2	34,5
	E.T.	0,1	0,1	0,1	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0

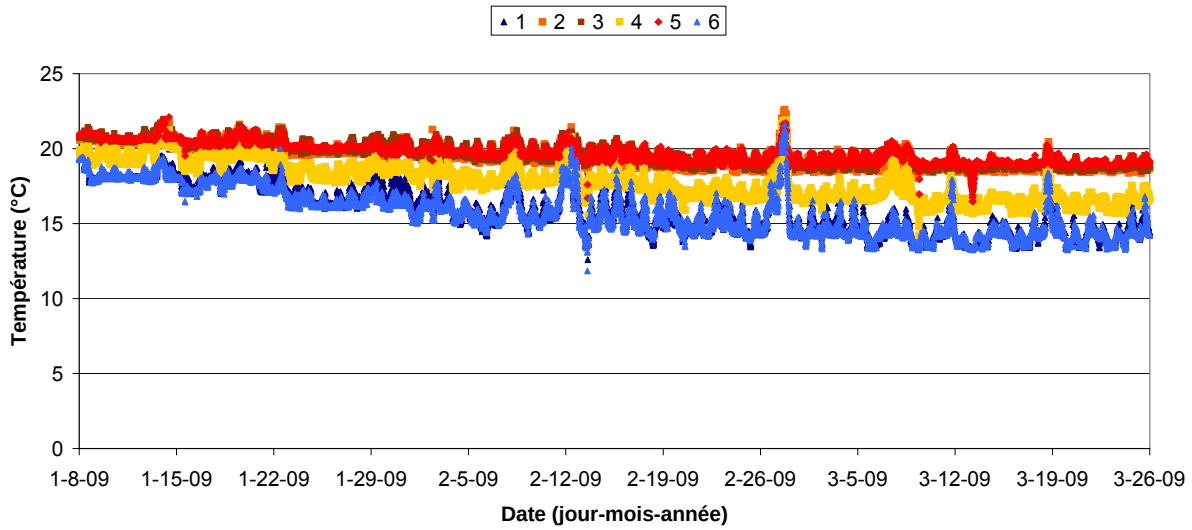


Figure 3-5 Température de six des douze chambres au cours de l'essai 1

Les débits de ventilation pour les traitements chaud, intermédiaire et froid sont présentés à la figure 3-6. Les taux de ventilation ont varié entre 20 et 60 L/s (figure 3-6). Les contrôleurs ont fait en sorte que les débits de ventilation ont maintenu la température de consigne. À quelques occasions, des températures extérieures élevées ont entraîné des températures ambiantes dépassant la température de consigne. Dans ces circonstances, la climatisation de l'air d'entrée a permis de réduire la surchauffe des chambres. En moyenne, les taux de ventilation pour les traitements chaud et intermédiaire étaient similaires (28,6 et 28,2 L/s), mais significativement différents du débit de ventilation du traitement froid (34,5 L/s).

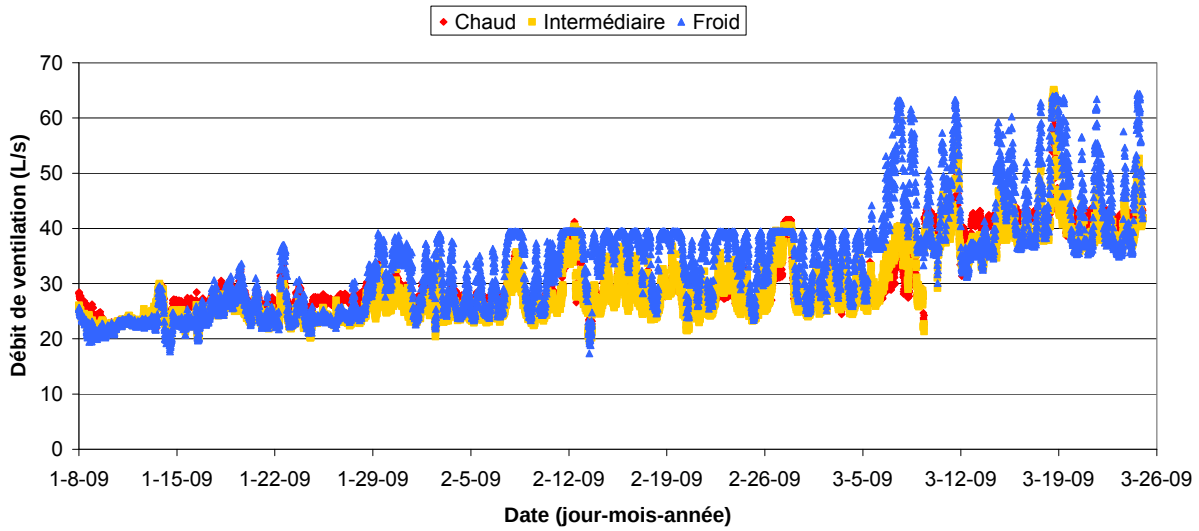


Figure 3-6 Débit de ventilation en fonction du traitement durant l'essai 1

3.6 Concentrations et émissions de gaz

La figure 3-7 présente les émissions d'ammoniac au cours des 11 semaines du premier essai. La stratégie froide semble produire les émissions d'ammoniac les plus faibles en comparaison des autres traitements. Les valeurs pour les trois traitements s'échelonnent entre environ 0,05 et 0,30 g/jour-kg_{porc}. Lors du deuxième essai, les émissions de NH_3 pour les trois traitements étaient semblables.

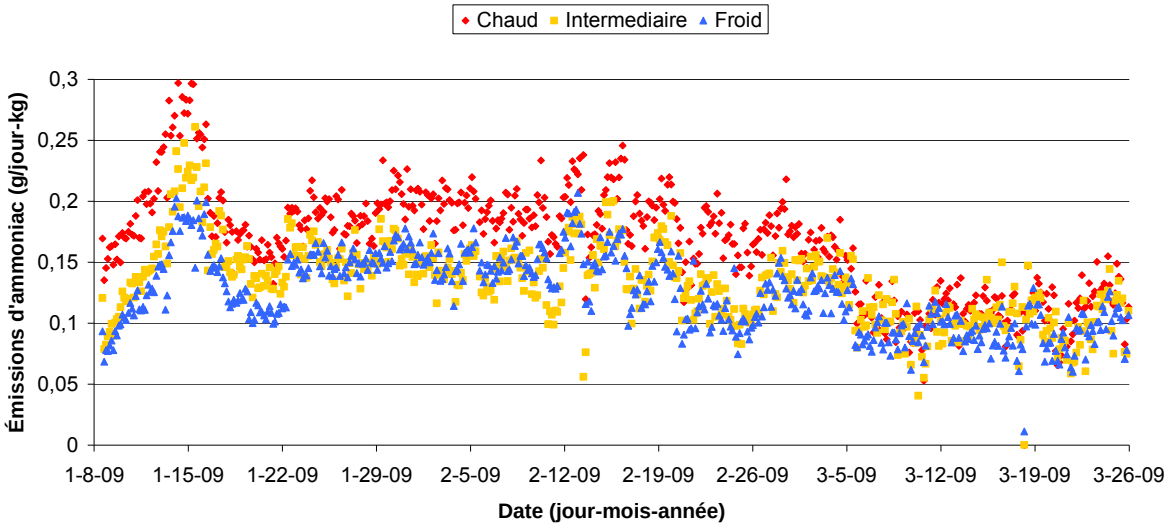


Figure 3-7 Émission d'ammoniac en fonction des traitements pour l'essai 1

Lorsque l'on analyse les émissions d'ammoniac par phase de moulée, la phase 1 ne présente aucun effet significatif des traitements (Tableau 3-8). Lors de la deuxième phase, le traitement intermédiaire est significativement plus faible que le traitement chaud (32 %) alors que la différence avec le traitement froid est non significative. Lors de la troisième phase, le traitement chaud est significativement différent à la fois du traitement intermédiaire (20 %) et du traitement froid (19 %). Globalement, l'analyse statistique des résultats indique que l'émission d'ammoniac la plus faible est obtenue lorsque le traitement intermédiaire est appliqué. Cependant, même si ce dernier produit des émissions d'ammoniac significativement plus faibles de 24 % par rapport à celles produites par le traitement chaud, il ne présente aucune différence significative avec le traitement froid.

Tableau 3-8 Émission de gaz (moyenne (E.T.)) en fonction des différents traitements

Phase	Traitement	Émission de gaz				
		NH_3	CH_4	H_2S	CO_2	N_2O
		(g/jour-kg_{porc})				(mg/jour-kg_{porc})
1	C	0,25 (0,02)	0,062 (0,005)	0,40 (0,08)	34,2 (2,3)	1,09 (0,12)
	I	0,20 (0,02)	0,048 (0,005)	0,43 (0,08)	28,8 (2,3)	1,04 (0,12)
	F	0,20 (0,02)	0,036 (0,005)	0,36 (0,08)	28,8 (2,3)	1,11 (0,12)
2	C	0,27 (0,01)	0,053 (0,007)	0,76 (0,15)	27,4 (1,3)	1,00 (0,13)
	I	0,18 (0,01)	0,043 (0,009)	0,81 (0,15)	22,2 (1,3)	0,83 (0,13)
	F	0,22 (0,01)	0,028 (0,003)	0,60 (0,15)	24,0 (1,3)	1,09 (0,13)
3	C	0,19 (0,01)	0,064 (0,005)	1,01 (0,23)	19,4 (0,9)	0,63 (0,05)
	I	0,16 (0,01)	0,047 (0,005)	0,48 (0,23)	17,7 (0,9)	0,62 (0,05)
	F	0,16 (0,01)	0,040 (0,005)	0,75 (0,23)	18,2 (0,9)	0,83 (0,05)
Moyenne	C	0,22 (0,01)	0,062 (0,005)	0,83 (0,13)	24,2 (1,0)	0,79 (0,07)
	I	0,17 (0,01)	0,048 (0,005)	0,59 (0,13)	21,0 (1,0)	0,73 (0,07)
	F	0,18 (0,01)	0,036 (0,005)	0,70 (0,13)	21,8 (1,0)	0,93 (0,07)

L'absence de différence entre les traitements chaud et froid peut être associée à deux phénomènes ayant des effets opposés. Alors que la température plus élevée dans la chambre exposée au traitement chaud provoque une augmentation des émissions d'ammoniac, le fait que la vitesse d'air dans les chambres exposées au traitement froid soit plus élevée augmente aussi l'émission d'ammoniac. Cette analyse est conforme à ce qui est rapporté dans la littérature et il est donc possible que le traitement intermédiaire présente le meilleur compromis entre les deux phénomènes.

Le CH_4 est le seul autre gaz réagissant de manière significative aux traitements. En effet, les valeurs moyennes pour l'ensemble des essais démontrent que le traitement froid (0,036 g/jour-kg_{porc}) a réduit significativement l'émission de CH_4 de près de 42 % par rapport au traitement chaud (0,062 g/jour-kg_{porc}). Le traitement intermédiaire (0,048 g/jour-kg_{porc}) présente également une réduction par rapport au traitement chaud, mais pas de façon significative. Lors des deux essais, les valeurs obtenues sont du même ordre que celles de la littérature.

L'analyse statistique révèle que les différents traitements n'ont pas eu d'effet significatif sur les émissions des autres gaz. En effet, ni le N_2O, ni le H_2S, ni le CO_2 n'ont été affectés par l'emploi de l'une ou l'autre des stratégies de contrôle de la température. Le N_2O a varié, en moyenne, entre 0,73 mg/jour-kg_{porc} et 0,93 mg/jour-kg_{porc} selon les traitements alors que la plage de variation a été entre 0,59 g/jour-kg_{porc} et 0,83 g/jour-kg_{por}c pour le H_2S et entre 21,0 g/jour-kg_{porc} et 24,2 g/jour-kg porc pour le CO_2. Tout comme dans le cas des deux autres gaz, les valeurs mesurées se situent dans la moyenne des valeurs référencées dans la littérature.

3.7 Comportement animal et vitesse d'air

Les vitesses anémométriques mesurées pour le traitement froid étaient légèrement plus élevées que celles des traitements chaud et intermédiaire. Les vitesses plus élevées sont dues aux débits de ventilation plus élevés dans les chambres recevant le traitement froid pour maintenir la température plus fraîche (Tableau 3-9). Toutes les vitesses d'air mesurées au niveau des porcs peuvent être considérées comme satisfaisantes (< 0,4 m/s, Bruce et Clark, 1979).

Tableau 3-9 Vitesses d'air moyennes mesurées au niveau des porcs pour les traitements chaud, intermédiaire et froid

Essai	Répétition	Vitesse de l'air (m/s)		
		Chaud	Intermédiaire	Froid
1	1	0,21	0,42	0,47
	2	0,25	0,28	0,31
	3	0,21	0,27	0,26
	Moyenne	0,22	0,33	0,35
2	1	0,20	0,32	0,38
	2	0,21	0,27	0,34
	3	0,26	0,35	0,37
	4	0,28	0,30	0,28
	Moyenne	0,24	0,31	0,35

Les vitesses d'air mesurées au centre des chambres étaient plus élevées puisqu'elles étaient plus influencées par le flot d'air provenant de l'entrée d'air. De plus, aucune relation ne peut être effectuée entre les données des débits de ventilation et les vitesses anémométriques aux deux endroits. La taille des chambres semble créer une turbulence suffisante pour s'assurer que le rapport entre la vitesse d'air et le débit de ventilation soit indépendant aux deux endroits (Figure 3-8).

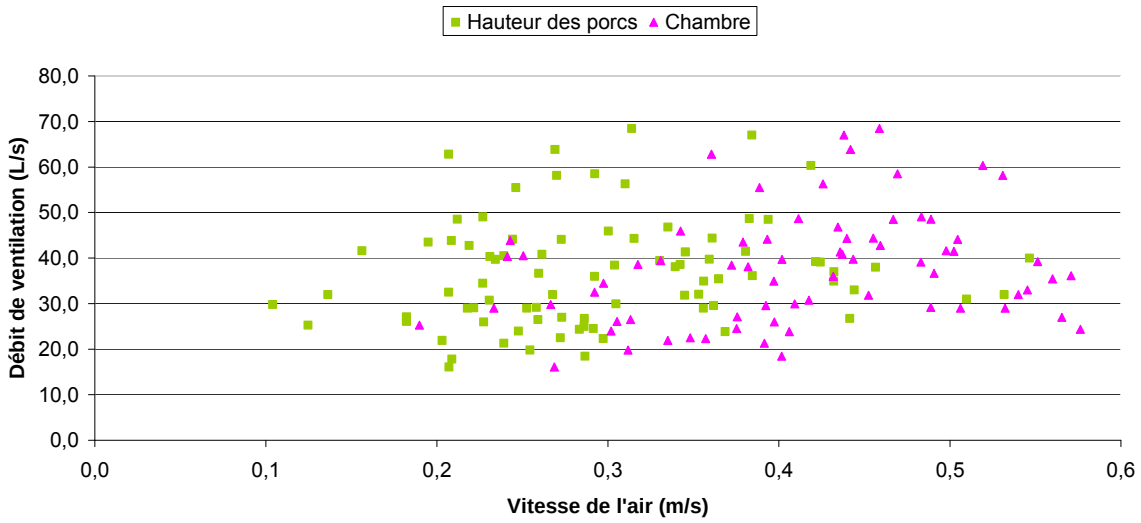


Figure 3-8 Relation entre le débit de ventilation des chambres et la vitesse d'air à la hauteur des porcs dans la salle pour les deux essais et les 12 chambres

Les données de comportement ont été recueillies seulement pour le deuxième essai. Lors de l'essai 1, des observations semblaient indiquer que les porcs soumis au traitement chaud produisaient plus de chaleur sensible. Puisqu'on s'attendait à ce que ce soit les porcs soumis au traitement froid qui produisent plus de chaleur sensible, des observations du comportement des porcs ont été effectuées. Le tableau 3-10 démontre que les porcs du traitement chaud se tenaient en position assise ou debout, plus souvent seuls que les porcs des traitements intermédiaire et froid. Quant aux porcs des traitements froid et intermédiaire, ils se trouvaient plus souvent debout ou assis en groupe de 2 ou 3 porcs. En moyenne, le nombre d'observations en position debout ou assise a été de 78 pour les porcs du traitement chaud alors qu'il a été respectivement de 97 et de 99 pour les porcs des traitements intermédiaire et froid (Tableau 3-10). Toutefois, aucune différence significative n'a pu être détectée pour le comportement des porcs en fonction des trois traitements. Il est donc impossible de déterminer si les stratégies utilisées lors de l'expérience ont eu un impact sur le comportement animal.

Tableau 3-10 Nombre d'observations de porcs en position assise ou debout pour les traitements chaud, intermédiaire et froid de l'essai 2

Nombre de porcs	Nombre d'observations de porcs en position assise ou debout														
	Semaine 8			Semaine 9			Semaine 10			Semaine 11			Moyenne		
	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F
1	35	29	26	35	30	32	36	26	25	32	25	28	34	28	28
2	31	42	45	36	39	43	30	35	46	28	36	35	31	38	42
3	13	32	29	16	30	22	11	29	24	13	35	42	13	32	29
Total	79	103	99	86	99	96	77	90	95	72	96	105	78	97	99

3.8 Simulation des coûts énergétiques

3.8.1 Production de chaleur par les porcs

Les données de production de chaleur calculées à partir du bilan thermique des chambres sont présentées au tableau 3-11. La production de chaleur est en général plus élevée pour le traitement chaud que pour les deux autres traitements. En effet, la production de chaleur totale est de 280 W/porc pour le traitement chaud alors qu'elle est de plus de 239 W/porc pour le traitement intermédiaire et de près de 247 W/porc pour le traitement froid. Cette production de chaleur plus élevée pour les porcs du traitement chaud est inattendue. Normalement, il aurait été attendu que la production de chaleur soit plus élevée pour les porcs en conditions froides (CIGR, 2002). Bien qu'une analyse détaillée ait été effectuée sur l'ensemble des données, et ce tout au long des expérimentations, il n'a pas été possible d'identifier une justification technique pour expliquer ces résultats. Dans ce contexte, et pour le bien du présent projet, les simulations du besoin en chauffage ont donc été effectuées en utilisant les équations du (CIGR, 2002).

Tableau 3-11 Production de chaleur par les porcs en fonction des traitements pour les différentes phases des essais

Phase		Chaleur sensible (W/porc)			Chaleur latente (W/porc)			Chaleur totale (W/porc)		
		C	I	F	C	I	F	C	I	F
1	Moyenne	188,8	154,4	160,7	87,5	76,1	83,0	276,3	230,5	243,6
	E.T.	12,0	12,0	12,0	4,1	4,1	4,1	13,5	13,5	13,5
2	Moyenne	172,0	142,9	159,0	91,5	73,9	73,8	263,5	216,9	232,8
	E.T.	11,0	11,0	11,0	4,2	4,2	4,2	10,9	10,9	10,9
3	Moyenne	199,3	181,4	188,1	97,9	82,2	73,3	297,2	263,6	261,4
	E.T.	7,9	7,9	7,9	5,2	5,2	5,2	8,5	8,5	8,5
Global	Moyenne	186,0	161,5	172,4	94,0	77,9	74,4	280,0	239,4	246,8
	E.T.	9,1	9,1	9,1	4,3	4,3	4,3	8,9	8,9	8,9

3.8.2 Calcul du besoin en chauffage et en ventilation

Les conditions de chauffage et de ventilation pour les porcs des traitements chaud, intermédiaire et froid ont été simulées en utilisant les données atmosphériques de Montréal et de Saskatoon normalement utilisées pour la conception des bâtiments (ASHRAE, 1997). Tel que présenté au tableau 3-12, l'énergie prévue pour les trois traitements au cours de la période hivernale québécoise représente respectivement 15, 16 et 19 MWh. La stratégie froide est celle qui requiert le plus d'énergie. Ce phénomène est directement lié au fait qu'une ventilation supérieure est nécessaire pour maintenir les températures de consigne. Au cours de la période d'hiver, en Saskatchewan, l'énergie prévue pour les mêmes traitements était respectivement de 30, 26 et 25 MWh. Presque deux fois plus d'énergie a été employée pour le maintien des consignes pour les bâtiments de la Saskatchewan. Il est toutefois intéressant de noter qu'une plus grande quantité d'énergie est employée pour la ventilation dans les bâtiments situés au Québec. Toujours dans le cas du Québec, la quantité d'énergie requise pour le chauffage et celle pour la ventilation seraient approximativement les mêmes si une stratégie chaude était employée (7,3 vs 8,0 MWh). Pour un bâtiment de 1 000 porcs, cette analyse suggère qu'il y a peu de différence du coût énergétique entre les trois traitements. Il est à noter que l'énergie de ventilation augmente du traitement chaud vers le traitement froid alors que l'énergie de chauffage décroît du traitement chaud au traitement froid.

Tableau 3-12 Simulation de l'énergie requise pour le chauffage et la ventilation au cours de la période hivernale

Simulation	Énergie de ventilation (kWh)		Énergie de chauffage (kWh)		Énergie totale (kWh)	
	QC	SK	QC	SK	QC	SK
C	7 304	4 682	7 983	25 212	15 287	29 894
I	10 312	6 520	5 260	19 559	15 572	26 079
F	15 293	9 978	3 306	15 490	18 599	25 468
Vmin #1*	7 295	4 632	1 553	10 452	8 848	15 085
Vmin #2†	7 356	4 769	19 690	47 260	27 046	52 029

* Vmin #1 = 1,2 à 2,4 L/s-porc
† Vmin #2 = 1,8 à 3,6 L/s-porc

Le débit de ventilation minimum pour maintenir une bonne qualité d'air exerce un effet important sur l'utilisation d'énergie. En ajustant la plage de ventilation minimum à la baisse jusqu'à une valeur située entre 1,2 à 2,4 L/s-porc (Vmin #1) et pour des porcs entre 25 et 100 kg, la consommation d'énergie est environ réduite de moitié (50 %). À l'opposé, si le débit de ventilation minimum est augmenté à une valeur située entre 1,8 à 3,6 L/s-porc (Vmin #2) pour les mêmes écarts de poids, la consommation d'énergie du traitement chaud est doublée.

L'énergie de chauffage et de ventilation utilisée sur une base annuelle est présentée au tableau 3-13. Encore une fois, le taux de ventilation minimal est critique. L'énergie utilisée double lorsque le débit de ventilation minimum le plus élevé est utilisé (Tableau 3-13). L'énergie totale consommée (ventilation et chauffage) au cours de l'année par le traitement froid (116 MWh pour le Québec et 92 MWh pour la Saskatchewan) était plus élevée que celle du traitement chaud (65 MWh pour le Québec et 69 MWh pour la Saskatchewan), et ce, même si moins de chauffage était nécessaire. Suivant les données des simulations hivernales, l'énergie requise pour la ventilation est supérieure au Québec alors que l'énergie pour le chauffage est supérieure en Saskatchewan.

Tableau 3-13 Simulation de l'énergie requise pour le chauffage et la ventilation au cours d'une année

Simulation	Énergie de ventilation (kWh)		Énergie de chauffage (kWh)		Énergie totale (kWh)	
	QC	SK	QC	SK	QC	SK
C	56 419	37 137	8 122	32 205	64 540	69 342
I	82 611	56 050	5 267	22 448	87 878	78 498
F	112 250	75 279	3 306	16 259	115 556	91 538
Vmin #1*	56 411	37 074	1 553	11 279	57 964	48 353
Vmin #2†	56 478	37 269	22 380	65 314	78 858	102 583

* Vmin #1 = 1,2 à 2,4 L/s-porc
† Vmin #2 = 1,8 à 3,6 L/s-porc

3.8.3 Calcul du coût de chauffage et de ventilation

Les besoins en énergie obtenus lors des simulations ont été utilisés pour estimer les coûts d'énergie (chauffage et ventilation). Ces besoins en énergie sont estimés pour un bâtiment type. Les coûts énergétiques pour le chauffage et la ventilation, à la fois pour l'hiver et pour l'année complète, sont présentés aux tableaux 3-14 et 3-15. Pour la simulation du Québec, il a été présumé que le propane était utilisé pour les unités de chauffage et que l'électricité était utilisée pour la ventilation. Pour la simulation de la Saskatchewan, le gaz naturel a remplacé le propane pour le chauffage alors que l'électricité est demeurée pour la ventilation. Au cours de la période hivernale, le coût énergétique par porc-place au Québec sont respectivement de 1,11 et de 1,38 $ pour les traitements chaud et froid en utilisant un chauffage au propane et de 1,15 à 1,39 $ pour les mêmes traitements, mais en utilisant un chauffage électrique (Tableau 3-14).

Tableau 3-14 Coûts de l'énergie par porc-place durant la période hivernale

Simulation	Coût de chauffage ($/porc-place)						Coût de ventilation ($/porc-place)		Scénario 1 + 4 ($/porc-place)	Scénario 3 + 4 ($/porc-place)	Scénario 2 + 4 ($/porc-place)
	Propane (scénario 1)		Gaz (scénario 2)		Électricité (scénario 3)		Électricité (scénario 4)				
	QC	SK	QC	SK	QC	SK	QC	SK	QC	QC	SK
C	0,56	1,78	0,33	0,68	0,60	2,70	0,55	0,50	1,11	1,15	1,18
I	0,37	1,38	0,22	0,53	0,39	2,09	0,77	0,70	1,14	1,17	1,23
F	0,23	1,09	0,14	0,42	0,25	1,66	1,15	1,07	1,38	1,39	1,49
Vmin #1*	0,11	0,74	0,06	0,28	0,12	1,12	0,55	0,50	0,66	0,66	0,78
Vmin #2†	1,39	3,33	0,82	1,27	1,48	5,06	0,55	0,51	1,94	2,03	1,78

* Vmin #1 = 1,2 à 2,4 L/s-porc
† Vmin #2 = 1,8 à 3,6 L/s-porc

Sur une base annuelle, les coûts de chauffage et de ventilation par porc-place au Québec pour les traitements chaud et froid sont respectivement de 4,80 et de 8,65 $ pour le propane (Tableau 3-15). Si l'énergie utilisée pour le chauffage est l'électricité, les coûts passent à 4,84 et à 8,67 $ respectivement. Toujours pour les traitements chaud et froid, les coûts relatifs au fonctionnement des ventilateurs sont respectivement de 4,23 et de 8,42 $/porc-place. En comparaison avec le traitement chaud, le traitement froid abaisse le coût de chauffage au cours de la période d'hiver tandis qu'il augmente le coût énergétique des ventilateurs. Globalement, pour le Québec et sur une base annuelle, le traitement froid se traduirait par une hausse des coûts d'énergie d'environ 3,85 $ par porc-place (scénario 1 + 4) par rapport au traitement chaud, alors que les coûts d'énergie pour le traitement intermédiaire seraient environ 1,77 $ plus élevés que le traitement chaud. Cependant, si seule la période hivernale est considérée, l'impact du traitement froid (scénarios 1 + 4) est plus limité et conduit à des coûts supplémentaires d'environ 0,27 $/porc-place par rapport au traitement chaud. Quant au traitement intermédiaire, toujours pour la période hivernale, son écart par rapport au traitement chaud est encore plus faible (0,03 $/porc-place).

Tableau 3-15 Coûts de l'énergie par porc-place sur une période d'une année

Simulation	Coût de chauffage ($/porc-place)						Coût de ventilation ($/porc-place)		Scénario 1 + 4 ($/porc-place)	Scénario 3 + 4 ($/porc-place)	Scénario 2 + 4 ($/porc-place)
	Propane (scénario 1)		Gaz (scénario 2)		Électricité (scénario 3)		Électricité (scénario 4)				
	QC	SK	QC	SK	QC	SK	QC	SK	QC	SK	QC
C	0,57	2,27	0,34	0,86	0,61	3,45	4,23	3,97	4,80	4,84	4,83
I	0,37	1,58	0,22	0,60	0,40	2,40	6,20	6,00	6,57	6,60	6,60
F	0,23	1,15	0,14	0,44	0,25	1,74	8,42	8,05	8,65	8,67	8,49
Vmin #1*	0,11	0,80	0,06	0,30	0,12	1,21	4,23	3,97	4,34	4,35	4,27
Vmin #2†	1,58	4,60	0,94	1,75	1,68	6,99	4,24	3,99	5,82	5,92	5,74

* Vmin #1 = 1,2 à 2,4 L/s-porc
† Vmin #2 = 1,8 à 3,6 L/s-porc

Si seulement les coûts de chauffage sont considérés, les traitements froids et intermédiaires amènent des économies par rapport au traitement chaud. Cependant, des coûts de ventilation importants annulent ces économies malgré le fait que les tarifs pour l'électricité soient faibles au Canada. Or, il est intéressant de voir l'impact de la taille des ventilateurs et de la pression statique sur le coût énergétique. Comme présenté au tableau 3-16, le coût d'opération d'un ventilateur pendant une année n'est que légèrement influencé par une pression statique de 1,2 à 2,5 mm d'eau, mais il l'est beaucoup plus par la taille du ventilateur. Le coût d'opération d'un ventilateur fonctionnant à 1,2 mm d'eau et de grandeur entre 10 et 50 pouces de diamètre se situerait entre 110 et 688 $/an. Cela soutient l'hypothèse selon laquelle les systèmes de ventilation centralisée pourraient présenter un avantage.

Tableau 3-16 Coût énergétique des ventilateurs en fonction de leur dimension et de la pression statique

	Pour 1,2 mm d'eau de pression statique			Pour 2,5 mm d'eau de pression statique		
Grosseur (mm)	Débit L/s	REV[1] L/s-W	Coût à 0,07 $/kWh $/an	Débit L/s	REV[1] L/s-W	Coût à 0,07$/kWh $/an
254	499	2,8	110	476	2,6	114
305	725	4,0	112	679	3,7	114
356	952	4,3	136	897	4,0	138
406	1 342	4,8	171	1 283	4,5	174
457	1 716	5,0	210	1 629	4,7	215
508	2 169	5,1	259	2 083	4,9	263
610	2 928	6,5	277	2 767	6,0	284
914	4 928	8,5	355	4 506	7,5	371
1 220	9 294	9,3	613	8 631	8,3	639
1 270	10 642	9,5	688	9 891	8,4	721

1 REV Ratio d'énergie de ventilation

4 Discussion des résultats

Les performances zootechniques pour la stratégie froide et intermédiaire obtenues dans cette étude ont été très bonnes et non significativement différentes de celles de la stratégie chaude. Même s'il n'y a pas eu de différences statistiques entre les traitements, des écarts peuvent être observés entre les traitements et ceux-ci soulèvent des questionnements sur le plan technique. Comme les résultats ne permettent pas de conclure si ces observations sont réelles ou simplement le fruit du hasard, d'autres essais en conditions commerciales devront être faits afin de s'assurer de la répétabilité des résultats zootechniques.

Considérant l'absence de différences significatives et les écarts observés, nous pouvons conclure qu'un nombre supplémentaire de répétitions aurait été préférable pour répondre correctement à la question de recherche. Par contre, comme l'unité expérimentale est la chambre où le volume d'air de la pièce constitue le traitement, le protocole expérimental était déjà puissant en incluant huit répétitions du même traitement. Pour évaluer la même question en conditions réelles, il aurait fallu huit bâtiments identiques, gérés de la même façon et soumis exactement aux mêmes conditions d'ambiance. Qu'une chambre renferme 50 ou 500 animaux, elle ne constitue qu'une seule mesure. Le niveau de variation anticipé laissait croire qu'un tel nombre de répétitions était suffisant pour identifier des différences entre les traitements. En rétrospective, avec les mêmes ressources humaines et financières, l'évaluation de seulement deux traitements aurait donné plus de puissance au plan d'expérimentation et aurait pu conduire à des réponses plus claires.

De plus, à première vue, il semble que le fait de choisir une stratégie de contrôle de la température impliquant des températures plus froides n'ait pas d'impact positif sur la balance énergétique. En effet, les résultats démontrent que l'énergie liée à la ventilation est importante et la diminution de l'énergie requise pour le chauffage ne contrebalance pas l'augmentation liée à la ventilation. Cependant, à des fins de comparaison, les stratégies impliquées dans les simulations ont été appliquées tout au long de l'année, et ce, sans modification. Pour la gestion de son système de ventilation, un producteur porcin pourrait très bien décider d'utiliser une stratégie froide pour la période hivernale afin de profiter des impacts de cette stratégie sur la qualité de l'air et poursuivre le reste de l'année avec une autre stratégie.

Par conséquent, sur la base du coût de production et des résultats du présent projet, quant au choix d'une stratégie de température, le critère à prioriser serait l'impact sur les performances zootechniques avant celui sur le coût énergétique.

Finalement, les données de simulation font également ressortir un autre élément. La conception et l'entretien des ventilateurs typiquement retrouvés dans les porcheries devraient augmenter leur efficacité. En effet, quelques pistes doivent être évaluées telles que l'utilisation de ventilateurs plus efficaces et plus gros, l'utilisation d'un système centralisé de ventilation ou encore d'un système hybride permettant d'utiliser une ventilation passive durant l'été, moment pendant lequel les coûts de ventilation sont à leur maximum.

D'autres éléments sont à prendre en compte avant de transposer l'une de ces stratégies de température en conditions d'essai commercial. En voici une brève description :

1) Les porcs (castrats seulement) utilisés dans le projet étaient indemnes de toutes maladies et ont été très performants. Il faudra évaluer l'impact de ces stratégies de température avec des porcs de moins bon statut sanitaire et ayant des performances zootechniques inférieures (GMQ et IMQ en particulier);

2) Dans le cadre du projet, il y avait seulement trois porcs par groupe et une superficie par animal de 0,98 m^2/porc alors qu'en milieu commercial il peut y avoir jusqu'à 25-30 porcs par parc à 0,7 m^2/porc, ce qui aurait pour effet de réduire leur perte de chaleur car ils peuvent se rapprocher davantage lors des périodes de repos;

3) Dans les engraissements commerciaux munis de planchers semi-bétonnés, des problèmes de propreté surviennent lorsque la température est trop élevée, occasionnant ainsi des émissions d'humidité et d'ammoniac supérieures;

4) Les essais ont été réalisés avec des porcs d'un type de génétique donné. Il faudra considérer le type de génétique dans l'élaboration de la stratégie de contrôle. Entre autres, il est possible que les génétiques plus grasses soient moins affectées par les températures plus froides;

5) Du point de vue du coût de production, le choix de la stratégie de température doit être basé sur les performances zootechniques avant le coût de chauffage;

6) La stratégie de température optimale devrait tenir compte de l'impact sur les performances zootechniques et la qualité de l'ambiance dans la pièce (ammoniac et humidité). En effet, de mauvaises conditions d'ambiance augmentent les risques de malpropreté, d'inconfort pour les travailleurs et les animaux, de même que le risque de maladies pouvant avoir un impact important sur les coûts. Dans le cas des stratégies de températures plus chaudes, afin de maintenir un bon niveau d'humidité et d'ammoniac, il faut être prêt à augmenter le débit de ventilation minimum en hiver et donc, à augmenter le besoin en chauffage;

En considérant l'ensemble des facteurs mesurés lors de ce projet (performances zootechniques, émissions gazeuses et besoins énergétiques), il semble que la stratégie de température intermédiaire constitue le meilleur compromis entre la stratégie chaude et la froide pour l'ensemble des paramètres évalués.

Considérant la nature des essais réalisés durant ce projet (petites chambres avec peu d'animaux), il est clair qu'une validation de cette stratégie intermédiaire dans des élevages commerciaux sera nécessaire avant de la recommander de façon générale.

5 Conclusion et recommandations

L'impact de trois stratégies de contrôle de la température à l'intérieur de bâtiments porcins a été évalué au cours de deux essais de 11 semaines. Les stratégies utilisées ont simulé à la fois les conditions retrouvées au Québec et dans l'Ouest canadien. Les paramètres mesurés durant l'expérimentation touchaient autant les performances animales, la qualité de l'air que la consommation énergétique.

Selon les résultats obtenus, les constats suivants peuvent être faits :

- Les performances animales n'ont pas été statistiquement affectées par les stratégies de température. Par contre, des écarts ont été obtenus sur des paramètres d'une importance économique tels que la conversion alimentaire, le classement à l'abattoir et le rendement de carcasse.
- L'ammoniac et le méthane sont significativement affectés par la réduction des températures globales à l'intérieur des bâtiments. Dans le cas de l'ammoniac, la stratégie la plus efficace était la stratégie intermédiaire (0,17 g/jour-kg_{porc}), ayant réduit les émissions de 24 % par rapport à la stratégie chaude (0,22 g/jour-kg_{porc}). Dans le cas du méthane, la stratégie froide s'est avérée la plus efficace, réduisant les émissions de 42 % (0,36 g/jour-kg_{porc} par rapport 0,62 g/jour-kg_{porc} pour la stratégie chaude);
- Comparativement à la stratégie chaude, ni la stratégie intermédiaire, ni la stratégie froide n'ont eu d'impact négatif sur le comportement des animaux. En effet, aucune différence significative n'a pu être observée pour les porcs soumis aux différents traitements;
- Contrairement à ce qui avait été anticipé, la stratégie la plus froide est celle qui demande le plus d'énergie totale. En effet, la ventilation demande une part importante de l'énergie requise. Alors que la stratégie froide réduit de façon importante la consommation énergétique liée au chauffage, entre 56 et 60 % pour le Québec, cette baisse est atténuée par une augmentation de l'énergie liée à la ventilation. Ce phénomène de balancier fait en sorte que la différence entre les traitements est moins marquée. Pour une année complète au Québec, la stratégie froide (19 MWh) demande plus d'énergie totale que la stratégie chaude (15 MWh) ou la stratégie intermédiaire (16 MWH);
- Puisque la ventilation a un impact important dans le bilan énergétique, le choix du débit minimum devient important;
- En considérant l'ensemble des facteurs mesurés lors de ce projet (performances zootechniques, émissions gazeuses et besoins énergétiques), il semble que la stratégie de température intermédiaire constitue le meilleur compromis entre la chaude et la froide pour l'ensemble des paramètres évalués;
- Considérant la nature des essais réalisés durant ce projet (petites chambres avec peu d'animaux), une validation de cette stratégie intermédiaire dans des élevages commerciaux serait souhaitable avant de la recommander de façon générale.

6 Bibliographie

Almond, G.W. 1995. How much water do pigs need? Proceedings of the North Carolina healthy hogs seminar. North Carolina State University. [En ligne]. http://www.ncsu.edu/project/swine_extension/healthyhogs/book1995/almond.htm

Arogo, J., Westerman, P.W. et A.J. Heber. 2003. A review of ammonia emissions from confined swine feeding operations. Transaction of the ASAE, 46(3) : 805-817.

Arogo, J., Zhang, R.H., Riskowski, G.L., Christianson L.L. et D.L. Day. 1999. Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. Journal of Agricultural Engineering Research, 73(1) : 77-86.

ASHRAE. 1997. Standard methods for laboratory airflow measurement. Atlanta, GA.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Baxter, S. 1984. The pig's response to the thermal environment. In: Intensive pig production: environmental management and design. London: Granada Publishing, p. 35-54.

Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Adamsen, A.P.S., Feilberg, A., Peterson S.O. et B.B. Jensen. 2009. Characterization of odor released during handling of swine slurry : Part I. Relationship between odorants and perceived odor concentrations. Atmospheric Environment, 43(18) : 2997-3005.

Bioenvironmental and Structural Systems Laboratory (BESS). 2010. Agricultural ventilation fans. [En ligne]. http://bess.illinois.edu/type.asp

Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J.A. et L.W. Turner. 1998. Acute heat stress effects on heat production and respiration rate in swine. Transactions of the ASAE, 41(3) : 789-793.

Bruce, J.M. et J.J. Clark. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. Animal Production, 28 : 353–369.

Brumm, M.C. 1998. 25% water savings with Drink-O-Mat. Progressive Pork, June : 5.

Chénard, L. et S. Lemay. 2001. Le porc en hiver : comment le tempérer? Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 22e Colloque sur la production porcine : Comment faire face au changement, Saint-Hyacinthe, Québec, 31 octobre : 116-136.

CIGR, 1984. Climatization of animal houses. Report of working group on climatisation of animal houses, International Commission of Agricultural Engineering. Scotland: Scottish Farm Build.Investigation Unit, 72 p.

CIGR. 2002. 4th report of working group on climatization of animal houses : heat and moisture production at animal and house levels. International Commission of Agricultural Engineering, Section II. Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, 46 p.

Close, W.H., Heavens, R.P. et D. Brown. 1981. The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. Animal Production, 32 : 75-84.

Close, W.H. 1983. Interaction of environment on pig production. Pork Symposium Guelph, April 12-13 : 12-21.

Collin, A., van Milgen, J., Dubois, S. et J. Noblet. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. British Journal of Nutrition, 86(1) : 63-70.

De Ladurantaye, Y. et M. Khelifi. 2007. GAE-12358 : systèmes environnementaux. Québec: Université Laval, chapitre I.

Donham, K.J., Yeggy, J. et R.R. Dague. 1988. Production rates of toxic gases from liquid swine manure : health implications for workers and animals in swine confinement building. Biological Wastes, 24 : 161-173.

Dufour, V., Hamel, D., Pouliot, F., Leblanc, R., Godbout, S., von Bernuth, R.D. et J. Hill. 2007. Évaluation technico-économique d'un système de séparation liquide-solide des déjections à la source dans un bâtiment porcin et les impacts sur l'environnement : rapport final. Québec: Centre de développement du porc du Québec inc., 127 p.

Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ). 2008. Résultats technicoéconomiques 2007 et Évolution 2005-2007 des entreprises porcines participantes au projet « Étude coût de production de la FPPQ ». Québec: FPPQ, 65 p.

Fuller, M.F., Duncan, W.R.H. et A.W. Boyne. 1974. Effect of environmental temperature on the degree of unsaturation of depot fats of pigs given different amounts of food. Journal of the science of food and agriculture, 25(2) : 205-210.

Godbout, S., Belzile, M., Lachance, I., Lemay, S.P., Turgeon, M.J., Dufour, V., Pouliot, F. et A. Marquis. 2006. Évaluation technico-économique d'un système de séparation liquide/solide des déjections à la source dans un bâtiment porcin et les impacts sur l'environnement - Volet II : rapport final. Québec: Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc., 69 p.

Gonyou, H. 2010. Communication personnelle. Saskatoon, Saskatchewan: Prairie Swine Centre.

Guimont, H., Turgeon, M.J., Pouliot, F., Godbout, S., et R. Leblanc. 2005. Abreuvoirs économiseurs d'eau pour porcs en engraissement : comparaison de la consommation d'eau et des performances zootechniques de différents types d'abreuvoirs utilisés au Québec : rapport final. Québec: Centre de développement du porc du Québec inc., 67 p.

Hacker, R.R., Stefanovic, M.P. et T.R. Batra. 1973. Effects of cold exposure on growing pigs : growth, body composition and 17-ketosteroids. Journal of Animal Science, 37(3) : 739-744.

Hamelin, L., Godbout, S. et S.P. Lemay. 2009. Baseline scenario for gas, odor, dust and particulate matter emissions from swine buildings in Québec. Part 1: emissions inventory. CSBE Paper No. 09-512. Winnipeg, MB: CSBE.

Harmon, J.D., Xin, H. et J. Shao. 1997. Energetics of segregated early weaned pigs. Transaction of the ASAE, 40(6) : 1693-1698.

Holmes, C.W. et W.E. Coey. 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. Animal Production, 9 : 209-218.

Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.W., Kemp, B. et T.T. Canh. 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. Journal of Animal Science, 83(6) : 1385-1396.

Ingram, D.L. 1974. Heat loss and its control in pigs. In : Heat loss from animals and man : assessment and control. London : Butterworths, p. 233-254.

Institut du porc (IFIP). 2006. Manuel de chauffage et de ventilation pour les bâtiments d'élevage porcin. Paris: IFIP, 54 p.

Jungbluth, T., Hartung, E. et G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60(1-3) : 133–145.

Le Bellego, L., van Milgen, J. et J. Noblet. 2002. Effects of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs. Animal Science, 75 : 85–96.

Le Dividich, J., Desmoulin, B. et J.Y. Dourmad 1985. Influence de la température ambiante sur les performances du porc en croissance-finition en relation avec le niveau alimentaire. Journées de la Recherche Porcine en France, 17 : 275-282.

Le Dividich, J., Noblet, J. et T. Bikawa. 1987. Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed to equal rate of gain. Livestock Production Science, 17(3) : 235-246.

Lemay, S.P., Guo, H., Barber, E.M. et L. Chenard. 2001. Performance and carcass quality of growing-finishing pigs submitted to reduced nocturnal temperature. Transactions of the ASAE, 44(4) : 957-965.

Massabie, P. 2001a. Incidence des paramètres d'ambiance sur les performances zootechniques du porc charcutier : effet de la température ambiante. Paris: Institut technique du porc, 16 p.

Massabie, P. 2001b. L'abreuvement des porcs. Techni-Porc, 24(6) : 9-14.

Midwest Plan Service. 1983. Swine housing and equipment handbook. Ames, Iowa: Iowa State University, 112 p.

Mount, L.E. 1974. The concept of thermal neutrality. In : Heat loss from animals and man. Heat loss from animals and man : assessment and control. London: Butterworths, p.425-439.

Mount, L.E. 1975. The assessment of thermal environment in relation to pig production. Livestock Production Science, 2 : 381–392.

Mount, L.E. et D.L. Ingram. 1965. The effects of ambient temperature and air movement on localized sensible heat-loss from the pig. Research in Veterinary Science, 6 : 84-90.

Ni, J-Q., Heber, A.J., Lim, T.T., Diehl, C.A., Duggirala, R.K., Haymore, B.L. et A.L. Sutton. 2000. Ammonia emission from a large mechanically-ventilated swine building during warm weather. Journal of Environmental Quality, 29 : 751-758.

Nichols, D.A., Ames, D.R., et R.H. Hines. 1982. Effect of temperature on performance and efficiency of finishing swine. Livestock Environment II. Proceedings of the second International Livestock Environment Symposium. Ames, Iowa: ASAE, p. 376-379.

Nicks, B. et P. Dechamps. 1985. Choix de la température et calcul des besoins de chauffage en porcherie d'engraissement. Annales de médecine vétérinaire, 129 : 413-418.

Nienaber, J.A., Hahn, G.L. et J.T. Yen. 1987a. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part I—Growth, feed intake and heat production. Transactions of the ASAE, 30 : 1772–1775.

Nienaber, J.A., Hahn, G.L. et J.T. Yen. 1987b. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part II—Carcass composition and organ weights. Transactions of the ASAE, 30 : 1776–1779.

Nienaber, J. A. et G.L. Hahn. 1988. Enviromental temperature influences on heat production of ad-lib-fed nursery and growing-finishing swine. Environmental Livestock III. Proceedings of the third International Livestock Environment Symposium. Ames, Iowa: ASAE, p. 73-78.

Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively fed growing pigs. Animal Research, 54 : 43–54.

Renaudeau, D., Kerdoncuff, M., Anais, C. et J.L. Gourdine. 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. Animal, 2(11) : 1619-1626.

Robertshaw, D. 1981. The environmental physiology of animal production. In: Environmental aspects of housing for animal production. London: Butterworths, p. 3-17.

SAS. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Verstegen, M.W.A., Brandsma, H.A. et G. Mateman. 1982. Feed requirement of growing pigs at low environmental temperatures. Journal of Animal Science, 55(1) : 88-94.

Verstegen, M.W.A., Mateman, G., Brandsma, H.A. et P.I. Haartsen. 1979. Rate of gain and carcass quality in fattening pigs at low ambient temperatures. Livestock Production Science, 6(1) : 51-60.

Verstegen, M.W.A. et W. van der Hel. 1976. Energy balances in groups of pigs in relation to air velocity and ambient temperature. Energy metabolism of farm animals. EAAP Symposium, 19 : 347-350.

Zhang, Y. 1994. Swine building ventilation: A guide for confinement swine housing in cold climates. Saskatoon: Prairie Swine Centre Inc., 136 p.