

Développer des concepts de ventilation permettant de minimiser les débits d'air requis durant la période estivale en maternité et en engraissement



Juillet 2012

Rapport

Francis Pouliot¹, ing., M.B.A.
Valérie Dufour¹, M. Sc.
Sébastien Turcotte¹, agr.
Michel Morin¹, agr.
Marie-Aude Ricard¹, ing. jr
Julie Ménard², agr., D.M.V.
Benoît Laplante², M. Sc.

¹ Centre de développement du porc du Québec inc.

² F. Ménard inc.



© Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2012
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-92276-59-6

Équipe de réalisation

Répondant :	Francis Pouliot, ing., M.B.A. (CDPQ)
Responsable scientifique :	Valérie Dufour, M. Sc. (CDPQ)
Chargée de projet :	Valérie Dufour, M. Sc. (CDPQ)
Collaborateurs :	Benoît Laplante, M. Sc. (F. Ménard) Patrick Massabie, ing. (IFIP – Institut du Porc) Guy Maynard, assistant de recherche (F. Ménard) Julie Ménard, agr., D.M.V. (F. Ménard) Sarah Provencher-Bordeleau, étudiante d'été (CDPQ) Joël Rivest, Ph. D. (CDPQ)
Équipe de rédaction :	Sébastien Turcotte, agr. (CDPQ) Valérie Dufour, M. Sc. (CDPQ) Michel Morin, agr. (CDPQ) Marie-Aude Ricard, ing. jr (CDPQ) Francis Pouliot, ing., M.B.A. (CDPQ)

Remerciements

Une partie du financement de ce projet a été fournie par l'entremise des conseils sectoriels du Québec, de l'Ontario et du Manitoba qui gèrent le Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA) pour le compte d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Cette étude a également été financée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre du Programme d'appui financier aux regroupements et aux associations de producteurs désignés, F. Ménard et le Centre de développement du porc du Québec inc.

Un remerciement spécial à la Fédération des producteurs de porcs du Québec qui a agi à titre de requérant auprès du MAPAQ.

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec



Résumé

L'objectif de cette étude était de développer et de tester des concepts de ventilation en maternité et en engraissement afin de minimiser les débits d'air requis durant les périodes chaudes sans affecter les performances zootechniques et le bien-être des animaux. Et cela dans le but de réduire les coûts liés à l'implantation de systèmes de filtration d'air à l'intérieur de bâtiments porcins de type naisseur et naisseur-finiisseur.

Les essais en maternité ont été conduits dans une maternité d'une capacité de 1 000 truies constituée de deux bâtiments, reliés par un corridor, soit un bâtiment comprenant quatre salles de gestation et un autre ayant dix salles de mise bas et une salle de gestation pour cochettes. Un autre essai a été réalisé dans un engraissement de 990 places avec quatre salles distinctes dans lesquelles une stratégie différente de ventilation et de refroidissement a été testée. L'essai en engraissement est résumé dans cette section à la suite de l'essai en maternité.

La température extérieure a été supérieure à 30 °C, 1,32 % du temps durant l'été, soit l'équivalent de 50,64 h. La seule canicule durant l'été est survenue du 20 au 23 juillet (facteur humidex atteignant 48 °C).

Maternité

Traitements expérimentaux

En maternité, cinq stratégies de ventilation ont été évaluées en gestation et quatre dans les salles de mise bas. En gestation, les stratégies étaient les suivantes : 1) DR (Recirculation débit réduit) : 178 m³ d'air/h/place et 6 ventilateurs de recirculation (0,76 m de diamètre); 2) GG (Goutte à goutte) : 178 m³ d'air/h/place, 6 ventilateurs de recirculation et un système de goutte à goutte; 3) T (Témoin) : 246 m³ d'air/h/place; 4) B (Brumisation) : 178 m³ d'air/h/place, 9 ventilateurs de recirculation et un système de brumisation à haute pression et 5) R (Recirculation) : 246 m³ d'air/h/place et ventilateurs de recirculation. Les ventilateurs de recirculation étaient disposés à un intervalle de 14 m l'un de l'autre et se mettaient en fonction lorsque la température ambiante atteignait 23,9 °C et augmentaient graduellement de vitesse jusqu'à 26,7 °C.

Le système de goutte à goutte se mettait en fonction pendant 45 s lorsque la température de la salle était supérieure à 28,9 °C et il s'arrêtait pendant 15 min. Lorsqu'il faisait plus de 32,2 °C, le temps d'arrêt était de 10 min. Tandis que le système de brumisation fonctionnait de son côté une minute toutes les 4 min à une température ambiante supérieure à 29,4 °C ou 1 min sur 2, lorsqu'il faisait plus de 32,2 °C.

Les stratégies testées en mise bas ont été : 1) T (Témoin; 3 salles) : 560, 637 ou 756 m³ d'air/h/place; 2) DR (Recirculation; 4 salles) : 357 m³ d'air/h/place et 2 ventilateurs de recirculation; 3) GGR (Goutte à goutte avec débit réduit; 2 salles) : 357 m³ d'air/h/place, 2 ventilateurs de recirculation et un système de goutte à goutte et 4) GG (Goutte à goutte; 1 salle) : 493 m³ d'air/h/place et un ventilateur de recirculation et un système de goutte à goutte. Les systèmes de goutte à goutte ont été installés au plafond et les buses ont été installées au bout de longues pailles descendant jusqu'à environ 40 cm au-dessus des cages. Le système se mettait automatiquement en fonction pour 45 s lorsque la température de la pièce atteignait 28,9 °C et il repartait 20 min plus tard. À 32,2 °C ou plus, il fonctionnait 45 s toutes les 10 min.

Méthodologie

La température et l'humidité relative de l'air ambiant ont été mesurées en continu ainsi que la consommation électrique des ventilateurs d'extraction et de recirculation. La consommation d'eau de chaque salle (porcs et système de refroidissement) a également été mesurée. Des mesures ponctuelles de concentration en poussière, en CO_2 et en NH_3 ont été prises.

En maternité (mise bas et gestation), à huit reprises durant l'essai, la température rectale et le rythme respiratoire ont été mesurés deux ou trois fois durant la journée sur dix truies par salle lorsque la température extérieure était au-dessus de 28 °C.

Résultats

Température et humidité

En gestation, la diminution du débit de ventilation a eu pour effet d'augmenter la fréquence de T_{int} (température intérieure) plus chaude que dans le traitement T lorsque la T_{ext} (température extérieure) était entre 16 et 26 °C. Par contre, l'écart de température entre les T_{int} des différents traitements et la salle témoin a quasiment (>97,9 %) toujours été inférieur à 2 °C, et ce, pour toutes les T_{ext} . D'ailleurs, plus il a fait chaud, plus les ΔT (delta de température) avec l'extérieur ($T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$) étaient petits, voire négatifs, ce qui veut dire qu'il faisait plus froid dans les salles qu'à l'extérieur. Ceci peut s'expliquer par l'inertie thermique du bâtiment et du sol. Par conséquent, malgré la réduction importante du débit d'air, il n'y a pas eu d'augmentation de température importante dans les salles.

Le système de refroidissement du traitement GG n'a pas eu d'influence sur la T_{int} , car lorsqu'il se mettait en fonction, les T_{int} ne diminuaient pas. Toutefois, l'objectif du système de goutte à goutte était de mouiller les animaux pour les rafraîchir et non d'abaisser la T_{int} . Le débit d'air n'a pas eu d'effet sur le taux humidité relative, car dans plus de 95 % du temps, l'humidité des traitements en débit réduit (DR, GG et B) se situait dans l'intervalle de ± 5 % de la valeur de la salle témoin. Par contre, lorsque les systèmes de refroidissement par l'eau se mettaient en fonction (GG et B), l'humidité dans ces salles était supérieure de 10 % ou plus à la salle témoin de 2 à 17 % du temps.

En mise bas, dans tous les traitements, la T_{int} n'a jamais été supérieure de plus de 2 °C par rapport à la T_{ext} lorsque celle-ci dépassait 32 °C. De plus, les températures des traitements DR, T et GG ont été similaires, le système de goutte à goutte n'a pas permis d'abaisser la T_{int} des salles lorsqu'il était en fonction, ce qui est normal. La réduction du débit air (DR et GGR) a eu un léger effet d'augmentation des T_{int} lorsque la T_{ext} se situait entre 22 et 28 °C, mais ce n'était aucunement problématique.

Vitesse d'air

Dans la section de gestation, dans les traitements avec recirculation d'air, la vitesse moyenne de l'air à 0,40 m du sol était environ quatre fois plus élevée (0,42 vs 0,09 m/s), mais elle variait beaucoup selon la distance par rapport aux ventilateurs de recirculation. En mise bas, la vitesse d'air mesurée au niveau des porcelets était deux fois plus élevée lorsqu'il y avait recirculation d'air (0,12 vs 0,06 m/s), mais elle est demeurée faible malgré la présence de brasseurs d'air. Ce niveau de vitesse d'air n'était pas problématique pour les porcelets, mais l'effet de refroidissement sur les truies était relativement faible. Il y a énormément d'obstacles dans cette section qui dévient et ralentissent l'air, donc nuisent au refroidissement des truies. Aussi, d'autres solutions devront être trouvées afin d'augmenter la vitesse d'air à l'aide de la recirculation à l'intérieur des cages, tout en ne nuisant pas au confort des porcelets.

Gaz et poussières

La concentration en CO₂ a varié entre 800 et 950 ppm dans les différents traitements en débit réduit (DR, GG, B et R) et celle en NH₃, se situait entre 4 et 7,5 ppm. Ces valeurs sont en dessous des limites acceptables et n'étaient pas problématiques. La concentration en poussière dans les traitements DR, GG et R était aussi en dessous de la concentration moyenne dans les fermes porcines (130 000 particules (P) par litre d'air) de 25 000 à 37 000 P/l.

Énergie et eau

La salle témoin en gestation est celle qui a consommé le moins d'énergie avec une moyenne de 0,39 KWh/truie/j et le traitement R est celui qui en a consommé le plus (0,89 KWh/truie/j). Ces deux traitements avaient le même débit d'air, mais il y avait quatre ventilateurs de recirculation en plus dans le traitement R. Les traitements GG et B ont consommé environ 0,50 KWh/truie/j et le traitement DR (0,67 KWh/truie/j) est supérieur aux traitements GG et B, et ce, même si le débit d'air par truie gestante est identique pour ces trois traitements.

Contrairement aux attentes, la consommation d'eau d'abreuvement dans la salle témoin en gestation (15,2 l/truie/j) a été inférieure à celle des traitements (21,9 à 24,4 l/truie/j) avec recirculation d'air fort probablement parce que cette salle était occupée par des truies en attente de saillie et que la consommation d'eau de celles-ci auraient été plus basse que celle de truies gestantes ou dont la gestation est plus avancée. Les quantités d'eau utilisées par les systèmes de refroidissement pendant l'été ont été, respectivement, de 0,5 et 0,3 l/truie/j pour le système goutte à goutte et la brumisation, ce qui est infime par rapport à la consommation des truies. La consommation totale d'eau est semblable pour les traitements DR, B et R (21,9 à 23,7 l/truie/j) et légèrement supérieure pour le traitement GG (24,9 l/truie/j).

En mise bas, la consommation totale d'eau, incluant l'eau de refroidissement, était semblable pour les quatre traitements (25,6 à 26,7 l/truie/j). Aucune autre analyse n'a été possible, les données quotidiennes de température et d'humidité ne pouvant pas être comparées entre elles, puisque dans chacune des salles à un moment donné, les truies ne sont pas au même stade (nombre de jours péripartum) et les consignes de température ne sont pas les mêmes.

De plus, le stade physiologique des truies influence grandement les données de référence du rythme respiratoire et de la température rectale des truies et puisque celles qui étaient dans les différents traitements n'étaient pas au même stade lors des journées chaudes, aucune tendance claire ne peut être dégagée.

Finalement, durant la canicule, les truies gestantes des traitements T, DR et B ont dû, tour à tour, être arrosées à l'aide d'un boyau d'arrosage, car elles étaient en détresse respiratoire. Par exemple, le rythme respiratoire des truies de la salle T est passé de 60 à 42 respirations par 30 s après l'arrosage. Ce qui indique que l'arrosage des truies lorsqu'elles sont en stress thermique est très efficace pour les refroidir rapidement. Cependant, le rythme respiratoire des truies du traitement GG a été assez stable et le plus bas de tous les traitements. La combinaison « goutte à goutte et courant d'air » s'est avérée très efficace. La température rectale des truies des différents traitements a suivi les mêmes tendances que le rythme respiratoire.

Coûts des investissements en maternité

Pour la gestation, les coûts en équipements des traitements DR, GG, D et R ont été, respectivement, de 15,04, 17,04, 20,89 et 6,80 \$/place. Cependant, la configuration « tête-à-tête » des cages (plutôt que « dos à dos ») a permis de limiter le nombre de ventilateurs de recirculation nécessaire dans la salle du traitement R.

Dans la mise bas, l'installation du débit réduit a nécessité les investissements les moins élevés, soit 24,40 \$/place. Des trois traitements, le système goutte à goutte s'est révélé le plus cher, à 45,57 \$/place. Les petites salles de mise bas augmentent considérablement le coût par place, car l'équipement est sous-utilisé par rapport à sa capacité. Les coûts de la filtration d'air diminuent de près de la moitié avec un débit réduit, avec des économies annuelles de 13 à 19 \$/place truie par année en coûts de filtration et des économies supplémentaires liées à la réduction du débit d'air (la diminution du nombre de volets anti-retour d'air et des coûts d'installation des filtres et d'adaptation du bâtiment pourrait s'y ajouter). Ces économies sont supérieures aux coûts d'installation et d'énergie des traitements à débit réduit en gestation et en mise bas, de même que les coûts des traitements « goutte à goutte » en gestation. Cela suggère que, dans le cas de l'installation d'un système de filtration, l'ajout de certains systèmes pour réduire le débit de ventilation pourrait se financer à même les économies réalisées sur les coûts d'investissement et de fonctionnement du système de filtration.

Engraissement

Traitements expérimentaux

Les stratégies de ventilation et de refroidissement testées étaient : 1) T (témoin) : taux de ventilation de 136 m³/h/porc sans système de refroidissement; 2) DM (débit d'air moyen) : 102 m³ d'air/h/porc combinées à des ventilateurs de recirculation; 3) BR (brumisation) : 76,5 m³/h/porc combinées à des ventilateurs de recirculation et un système de brumisation à haute pression; 4) AS (aspersion) : 76,5 m³/h/porc combinées à des ventilateurs de recirculation et un système d'aspersion à basse pression habituellement utilisé pour détremper les salles avant de les laver. Dans chaque salle, il y avait 220 porcs répartis dans 22 parcs (7 m² chacun) de 10 porcs. Les porcs ont été engraisés de 23,5 à 125 kg.

Pour les traitements équipés de ventilateurs de recirculation (DM, BR et AS), six ventilateurs de recirculation (0,76 m de diamètre) reliés à des contrôleurs électroniques se mettaient automatiquement en fonction lorsque la température dépassait de 4,44 °C, la température de consigne. Le système de brumisation était cyclé comme suit : au-dessus de 29,4 °C, il était actif pendant 1 min et éteint pendant 3 min et, au-dessus de 32,2 °C, il était actif pendant 1 min et hors fonction pendant 1 min. Le système d'aspersion travaillait pendant 1 min, suivi d'un temps d'arrêt de 15 min lorsque la température était au-dessus de 29,4 °C et d'un temps d'arrêt de 10 min, au-dessus de 32,2 °F.

Méthodologie

Le poids des porcs a été mesuré à quatre reprises et les données d'abattage ont été colligées. Leurs consommations d'eau et de moulée ont été mesurées chaque jour. La température ambiante, l'humidité relative et la consommation d'énergie ont été suivies en permanence. La quantité d'eau utilisée par les systèmes de brumisation et d'aspersion a également été enregistrée.

Résultats

Au-delà de 14 °C, l'écart entre la température dans les salles des différents traitements et la salle témoin a toujours été inférieur à 4 °C. Le traitement DM n'a eu quasiment eu aucun ΔT supérieur à 2 °C. Dans les traitements avec recirculation d'air, la vitesse d'air à la hauteur des porcs (0,4 m du sol; 0,39 à 0,49 m/s) était de 4 à 5 fois plus élevée que dans la salle témoin (0,09 m/s) et de 8 à 9 fois plus élevée au niveau des sondes de température (1,6 m; 1,70 à 1,87 vs 0,19 m/s).

La réduction du taux de ventilation a fait en sorte que la concentration en poussière a augmenté de 6 à 26 % comparativement à celle de la salle témoin, mais elle est demeurée bien en dessous de la limite acceptable. Et même avec le plus faible débit d'air (76,5 m³/h/porc), les concentrations en ammoniac (NH₃) et en dioxyde de carbone (CO₂) sont demeurées à des niveaux très satisfaisants.

Le GMQ (gain moyen quotidien) et l'IMQ (ingéré moyen quotidien) ont été numériquement plus élevés dans les trois traitements avec un taux de ventilation réduit, en raison des ventilateurs de recirculation, par rapport au traitement témoin. L'ajout d'un système de refroidissement par l'eau (BR et AS) a permis d'augmenter le GMQ de 75 % comparativement au traitement muni seulement des ventilateurs de recirculation (45 vs 26 g). La consommation d'eau d'abreuvement dans les trois traitements expérimentaux a aussi été réduite de 1,9 à 2,8 l/j-porc. L'IMQ et la consommation d'eau sont des indicateurs démontrant, dans ce cas-ci, que les porcs avaient moins chaud.

Le système d'aspersion a consommé trois fois plus d'eau que celui de brumisation dont les consommations d'eau respectives ont été de 9 400 et 3 000 litres par salle. Malgré l'utilisation d'eau pour rafraîchir les animaux, l'utilisation totale d'eau a été inférieure à celle de la salle témoin.

Des trois traitements, le débit moyen (DM) requiert l'investissement le moins élevé, soit 11,20 \$/place, suivi par l'aspersion à 13,56 \$/place. La brumisation commande les investissements les plus élevés, soit 20,01 \$/place. Par rapport au traitement témoin pour la période d'été, les trois traitements se sont traduits par une hausse de la consommation d'électricité qui correspond à 45 % pour le débit moyen, et à 55 % pour la brumisation et l'aspersion. Pour le reste de l'année, l'équipement (ventilateur de recirculation, brumisation, aspersion) risque d'être peu sollicité ou pas du tout.

Compte tenu des coûts supplémentaires en électricité, les dépenses annuelles reliées aux trois traitements varient de 2,76 \$/place pour le débit moyen (DM) à 4,69 \$/place pour la brumisation (BR) lorsque les équipements sont amortis sur 5 ans. Ce coût sera moindre si amorti sur 10 ans.

Toutefois, d'autres éléments pourraient permettre d'abaisser les dépenses. Entre autres, l'augmentation du GMQ pourrait permettre d'augmenter le poids moyen d'envoi à l'abattoir (ou d'augmenter le nombre de lots produits) et les revenus. Il y a également la diminution de la consommation d'eau qui devrait se traduire par une diminution du lisier produit et des frais d'épandage. Pour les bâtiments neufs, l'économie sur le nombre de ventilateurs muraux lors de la construction permet de rentabiliser les trois systèmes visant à réduire le débit d'air. Il serait donc important d'évaluer cette possibilité lors de tout projet de construction de bâtiments neufs. Pour ce qui est des coûts de filtration d'air, ils sont réduits de moitié avec la réduction du débit d'air et d'environ 25% pour le débit médian; des économies supplémentaires liées à la réduction du débit d'air sont aussi possibles (ex. : volets anti-retour d'air, installation des filtres). Ces économies sont supérieures aux coûts d'installation et d'énergie des trois traitements. Bref, dans le cas de l'installation d'un système de filtration, l'ajout d'un système pour réduire le débit de ventilation devrait se financer à même les économies réalisées sur les coûts d'investissement et de fonctionnement du système de filtration.

En conclusion, l'augmentation de la vitesse d'air au niveau des animaux, l'obtention d'un écart de température inférieur à 4 °C avec la salle témoin et le maintien des performances zootechniques confirment qu'il est possible d'optimiser et de réduire les débits de ventilation en ajoutant des ventilateurs de recirculation et, si désiré, un système de refroidissement par l'eau.

Table des matières

Résumé.....	i
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
1 Introduction.....	1
1.1 Problématique, mise en contexte et revue de littérature	1
1.2 Objectifs	4
1.2.1 Objectif général	4
1.3 Objectifs spécifiques.....	4
1.4 Plan de travail.....	5
2 Bilan de chaleur.....	6
2.1 Méthodologie.....	6
2.1.1 Production de chaleur par les animaux.....	7
2.1.2 Débit de ventilation pour contrôler la température.....	8
2.2 Résultats	9
Maternité	11
3 Matériel et méthodes (bâtiment de maternité).....	13
3.1 Bâtiment et animaux.....	13
3.1.1 Description du site expérimental.....	13
3.1.2 Animaux et alimentation	13
3.1.3 Contrôle des paramètres d'ambiance	13
3.1.4 Traitements expérimentaux	14
3.2 Méthodologie.....	21
3.2.1 Dispositif expérimental et analyse statistique.....	21
3.2.2 Collecte des données	22
3.2.3 Consommation d'eau et d'énergie	23
3.2.4 Concentration de gaz et poussière	23
3.2.5 Bien-être des animaux et des travailleurs	23

4	Résultats et discussion	24
4.1	Gestation	24
4.1.1	Conditions d'ambiance	24
4.1.2	Impact de la canicule sur les animaux et la température ambiante dans les salles	24
4.1.3	Température et humidité	28
4.1.4	Distribution et vitesse d'air	32
4.1.5	Concentration de gaz et poussière	33
4.1.6	Consommation d'énergie et d'eau	34
4.2	Mise bas	35
4.2.1	Conditions d'ambiance	35
4.2.2	Rythme respiratoire et température corporelle de truies	37
4.2.3	Consommation d'énergie et eau	39
4.3	Coûts des investissements en maternité	40
4.4	Impacts sur le coût de systèmes de filtration de l'air en maternité	41
	Engraissement	43
5	Matériel et méthodes	45
5.1	Bâtiment et animaux	45
5.1.1	Description du site expérimental	45
5.1.2	Animaux et alimentation	45
5.1.3	Contrôle des paramètres d'ambiance	46
5.2	Traitements	46
5.3	Dispositif expérimental et analyses statistiques	49
5.4	Collecte des données	49
5.4.1	Température et humidité	49
5.4.2	Mesure des concentrations de gaz et poussière	49
5.4.3	Distribution et vitesse d'air	49
5.4.4	Consommation d'électricité et d'eau par les systèmes de refroidissement....	50
5.5	Performances zootechniques	50
6	Résultats et discussion	51
6.1	Conditions d'ambiance	51
6.1.1	Température et humidité	51
6.1.2	Distribution et vitesse d'air	56
6.1.3	Concentration en gaz et poussière	58

6.2	Performances zootechniques et données d'abattages.....	59
6.2.1	Performances zootechniques globales	59
6.2.2	Expédition	61
6.3	Consommation d'énergie et d'eau	62
6.4	Coûts en engraissement.....	63
6.4.1	Coûts des investissements en engraissement (bâtiment d'essai)	63
6.4.2	Coûts d'énergie pour les traitements en engraissement (bâtiment d'essai) ..	64
6.5	Analyse économique de l'investissement en engraissement	65
6.5.1	Coûts annuels des traitements (bâtiment d'essai)	65
6.5.2	Hypothèses de performances, coûts et revenus en engraissement	65
6.5.3	Analyse de rentabilité des différents traitements (bâtiment d'essai).....	67
6.6	Discussion sur l'analyse économique	68
6.6.1	Optimisation de bâtiments existants	68
6.6.2	Bâtiments neufs.....	69
6.6.3	Épandage et économie d'eau	70
6.6.4	Impact sur le coût de systèmes de filtration de l'air.....	70
7	Recommandations.....	73
7.1	Maternité	73
7.1.1	Gestation.....	73
7.1.2	Mise bas.....	74
7.2	Engraissement	74
7.2.1	Recirculation.....	74
7.2.2	Système de brumisation	75
7.2.3	Aspersion	75
8	Conclusion.....	76
9	Bibliographie.....	77
Annexe		80

Liste des tableaux

Tableau 1	Débits de ventilation maximum (m ³ /h/animal) en période estivale recommandés en France et au Québec selon le stade de production	2
Tableau 2	Paramètres ayant servi au calcul du bilan selon le type d'animal	7
Tableau 3	Production de chaleur et besoin de ventilation pour le contrôle de la température selon le type d'animal	9
Tableau 4	Description des traitements expérimentaux.....	15
Tableau 5	Ajustement des paramètres de fonctionnement des systèmes de brumisation et de goutte à goutte	19
Tableau 6	Fréquence d'observation (%) de différentes catégories de température extérieure (T _{ext}) selon les mois à la maternité de Sainte-Brigide (2 juin au 15 novembre 2011).....	24
Tableau 7	Fréquence d'observation (%) de la différence de température (ΔT) entre les quatre traitements expérimentaux et le traitement témoin en fonction de la température extérieure (T _{ext}) durant l'élevage ¹	29
Tableau 8	Fréquence d'observation (%) de différence d'humidité relative (ΔHR) entre les traitements et la salle témoin en gestation	31
Tableau 9	Fréquence d'observation (%) des écarts de température (ΔT) entre la température intérieure dans les salles des différents traitements et la température extérieure (T _{ext}).....	31
Tableau 10	Différence de température et de vitesse d'air entre 0,40 et 1,15 m du sol avec et sans recirculation d'air	32
Tableau 11	Concentration de particules (P) de poussière selon les traitements et la taille des poussières.....	34
Tableau 12	Consommation moyenne quotidienne d'énergie et d'eau par truie du 11 juillet au 30 septembre selon les traitements.....	35
Tableau 13	Fréquence d'observation (%) des écarts de température (ΔT) entre l'intérieur (T _{int}) et l'extérieur (T _{ext}) selon les traitements dans la section mise bas	36
Tableau 14	Température et vitesse d'air à différentes hauteurs au-dessus du sol avec et sans recirculation d'air	37
Tableau 15	Nombre de jours post-partum des truies en mise bas lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011.	38
Tableau 16	Consommation moyenne quotidienne d'énergie et d'eau des différents traitements en mise bas du 11 juillet au 30 septembre	40
Tableau 17	Coût du matériel en maternité	40
Tableau 18	Évaluation des économies potentielles liées au débit réduit pour la filtration en maternité	41
Tableau 19	Ventilateurs présents dans chacune des salles (nombre, dimension, marque).....	46
Tableau 20	Description des quatre traitements	46
Tableau 21	Ajustement des écarts et des différentiels de ventilation selon les traitements	48
Tableau 22	Ajustement du système de brumisation et d'aspersion	48
Tableau 23	Fréquence d'observation (%) de différentes catégories de température extérieure (T _{ext}) selon les mois durant le lot (26 mai au 22 septembre 2011).....	51
Tableau 24	Fréquence d'observation (%) des différences de température (ΔT) entre chaque traitement expérimental et le traitement témoin selon la température extérieure (T _{ext}) durant l'élevage ¹	54
Tableau 25	Fréquence d'observation (%) de la différence de température (ΔT) entre les traitements et la température extérieure (T _{ext}) durant l'élevage	55

Tableau 26	Fréquence d'observation (%) des différences d'humidités relatives (ΔHR) entre les traitements et la salle témoin (T).....	55
Tableau 27	Différence de température (°C) entre deux niveaux avec ou sans recirculation d'air	56
Tableau 28	Vitesse moyenne d'air (m/s) mesurée à 0,4 et 1,6 m de hauteur dans chacune des salles.....	56
Tableau 29	Particules (P) de poussière moyenne par litre d'air selon les traitements et la taille des poussières	58
Tableau 30	Performances zootechniques des porcs selon le traitement.....	59
Tableau 31	Équivalent-jours des différentes températures extérieures (T_{ext}) selon les périodes	60
Tableau 32	Effet des traitements sur les performances zootechniques selon les périodes	61
Tableau 33	Effet des traitements sur l'expédition des porcs à l'abattoir selon les traitements.....	62
Tableau 34	Consommation d'énergie (kWh) des ventilateurs muraux et de recirculation selon les traitements ¹	63
Tableau 35	Utilisation d'eau par les porcs et par les systèmes de refroidissement durant l'élevage selon les traitements	63
Tableau 36	Coût du matériel en engraissement (bâtiment d'essai)	64
Tableau 37	Coûts d'électricité reliés aux traitements	64
Tableau 38	Engraissement : coûts totaux annuels des traitements.....	65
Tableau 39	Hypothèse « Hausse du poids du lot d'été » : coûts et revenus (bâtiment d'essai).....	66
Tableau 40	Engraissement - Rentabilité de l'investissement (bâtiment d'essai).....	68
Tableau 41	Engraissement typique « 2 rangées » : coûts et profits	68
Tableau 42	Engraissement neuf « 2 rangées » : coûts et profits (bâtiment typique).....	69
Tableau 43	Engraissement : consommation d'eau et épandage	70
Tableau 44	Évaluation des économies potentielles reliées au débit réduit pour la filtration en engraissement.....	71
Tableau 45	Comparaison entre les coûts d'installation des systèmes de recirculation et les économies pour la filtration d'air	71

Liste des figures

Figure 1	Entrée d'air latérale avec ventilateurs sur le mur opposé	3
Figure 2	Plan de plancher de la maternité	13
Figure 3	Schéma de l'aménagement des ventilateurs de recirculation	16
Figure 4	Système goutte à goutte du traitement GG	16
Figure 5	Plan d'aménagement des équipements dans les salles de gestation	17
Figure 6	Plan d'aménagement des salles de mise bas.....	18
Figure 7	Système de brumisation du traitement B installé sur un ventilateur de recirculation.....	19
Figure 8	Système de goutte à goutte dans les salles du traitement GGR et GG en mise bas.....	20
Figure 9	Anémomètre à fil chaud et boîte utilisée pour mesurer la vitesse d'air au ventilateur	21
Figure 10	Mesure de la vitesse d'air à l'entrée d'air.....	22
Figure 11	Température intérieure dans les salles de gestation et température extérieure lors de la canicule du 20 au 24 juillet	25
Figure 12	Évolution du rythme respiratoire de truies gestantes selon le traitement lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011	26
Figure 13	Évolution de la température rectale de truies gestantes selon le traitement lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011	27
Figure 14	Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée chaude et sèche (a) et d'une journée chaude et humide (b) lorsque les systèmes de refroidissement (BR et AS) sont en fonction	28
Figure 15	Répartition de la production de chaleur des truies selon la température extérieure	28
Figure 16	Évolution typique des températures	29
Figure 17	Vitesses d'air mesurées à 0,40 m (en noir) et à 1,15 m du sol (en rouge).	33
Figure 18	Évolution du rythme respiratoire des truies des quatre traitements en mise bas lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011	38
Figure 19	Évolution de la température rectale des truies des quatre traitements en mise bas lors de la canicule du 21 juillet 2011.....	39
Figure 20	Plan de l'engraissement Petite Barbue.....	45
Figure 21	Vue d'un parc d'engraissement	45
Figure 22	Localisation des équipements de refroidissement et de prise de mesure	47
Figure 23	Système de brumisation du traitement	48
Figure 24	Températures intérieure et extérieure enregistrées lors de la canicule (20 au 24 juillet).....	51
Figure 25	Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée chaude et sèche (a) et d'une journée chaude et humide (b) lorsque les systèmes de refroidissement (BR et AS) sont en fonction	52
Figure 26	Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée fraîche (11 juin).....	53
Figure 27	Vitesse d'air mesurée à 1,6 m (en rouge) et 0,4 m (en noir) de hauteur dans la salle du traitement BR.....	57
Figure 28	Orientation des ventilateurs de recirculation avec des divisions de parc pleines	57
Figure 29	Évolution de la marge sur coût alimentaire selon le prix du porc et la moulée en finition pour les traitements « brumisation » et « aspersion »	67

1. Introduction

1.1 Problématique, mise en contexte et revue de littérature

Le syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP) cause annuellement plus de 150 millions de dollars de pertes aux producteurs de porcs canadiens (FMV, 2007). Le SRRP engendre des pertes économiques majeures pouvant aller jusqu'à 250 \$ US par truie et 6 à 15 \$ US par porc produit en engraissement (Dee *et al.*, 1997).

Il a été prouvé, dans des conditions expérimentales, que la transmission par voie aérienne du virus du SRRP est possible entre les élevages (Torremorell *et al.*, 1997; Willis *et al.*, 1997; Lager et Mengeling, 2000; Kristensen *et al.*, 2004). Il existe aussi d'autres virus comme l'influenza qui peuvent contaminer les troupeaux par l'air. Ainsi, il apparaît primordial de considérer la filtration de l'air entrant dans les bâtiments porcins afin d'éviter la contamination des troupeaux par la voie aérienne.

À l'heure actuelle, en mode laboratoire, différents systèmes de filtration d'air ont déjà été évalués avec succès, quant à leur efficacité à réduire la transmission aérienne du virus du SRRP, par les chercheurs Dre Laura Batista de l'Université de Montréal et du Centre de développement du porc du Québec inc. (Batista *et al.*, 2008; 2009) et Dr Scott Dee de l'Université du Minnesota (Dee *et al.*, 2005; 2006a, b; 2009; 2010).

Au Québec, malheureusement, certaines fermes porcines commerciales munies de systèmes de filtration d'air ont été contaminées de 2009 à 2011 par le virus du SRRP malgré le fait que l'air soit filtré. Par conséquent, bien qu'il soit prouvé en laboratoire que certains filtres sont efficaces, il apparaît évident en milieu commercial qu'il faille trouver des solutions afin de réduire les risques de contamination et surtout les risques financiers, entre autres, par la réduction des coûts liés à l'implantation et au fonctionnement des systèmes de filtration de l'air.

Depuis les deux dernières décennies, les débits de ventilation n'ont cessé de croître à l'intérieur des bâtiments d'élevage porcin nord-américain. Une question se pose : est-ce que l'investissement dans l'augmentation du débit d'air a été optimal? Il apparaît que ces débits d'air n'ont pas été remis en question. Il y a un fort paradigme dans l'industrie qui favorise l'augmentation des débits d'air afin de réduire les pertes de performances durant la saison chaude. Toutefois, il existe aujourd'hui plusieurs méthodes permettant une réduction du débit d'air sans affecter les performances zootechniques et la qualité des paramètres d'ambiance.

Au Québec et en Amérique du Nord, les débits d'air préconisés pour ventiler les bâtiments porcins durant la saison estivale sont deux fois plus élevés que ceux utilisés dans les élevages porcins français, où le climat ressemble à celui du Québec et est même plus chaud que le nôtre dans le sud de la France. Ces débits sont inférieurs dans tous les ateliers d'élevage (mise bas, gestation, pouponnière et engraissement; Tableau 1). En Amérique du Nord, les débits de ventilation plus élevés font que la superficie de filtres requise pour une perte de charge donnée est proportionnellement plus élevée qu'en France, tout comme le coût en filtres (coût d'achat initial et de remplacement).

Tableau 1 Débits de ventilation maximum (m³/h/animal) en période estivale recommandés en France et au Québec selon le stade de production

	France ¹	Québec ²
Mise bas	250	680
Gestation	150	380
Pouponnière	30	70
Engraissement	65	170

¹ Jégou *et al.*, 2008

² Pouliot, 2011. Communication personnelle

De plus, avec des débits de ventilation plus élevés, un plus grand nombre de ventilateurs est requis, ce qui engendre une augmentation du risque d'infiltration d'air parasite par les volets des ventilateurs arrêtés. Pour pallier à ce problème, il faut installer des volets anti-retour étanches dans le cas de bâtiments ventilés sous pression négative, ce qui rajoute des coûts supplémentaires. Dans le cas des bâtiments ventilés en pression positive, la réduction du débit d'air aura pour impact de réduire les coûts d'adaptation des bâtiments existants ainsi que la taille des conduites de distribution de l'air. Ainsi, l'optimisation des systèmes de ventilation en vue de réduire les débits d'air aura pour avantage de favoriser l'implantation de bâtiments filtrés et ventilés sous pression positive par la réduction des coûts. Ce type de bâtiment aurait pour avantage de réduire grandement les risques d'infiltration d'air parasite par rapport à un bâtiment ventilé sous pression négative.

Ainsi, avec l'implantation de systèmes de filtration d'air, l'évolution des techniques, des connaissances et des expériences acquises dans les élevages français, il paraît judicieux de chercher à diminuer les débits d'air au Québec et au Canada afin de réduire significativement les coûts liés aux systèmes de filtres et les risques d'infiltration d'air parasite, et ce, sans affecter négativement les performances zootechniques et le confort des travailleurs et des animaux.

Depuis 2005, les coûts des bâtiments sous air filtré n'ont cessé de décroître en Amérique du Nord. Malgré cela, étant donné le contexte économique morose qui prévaut depuis les dernières années dans le secteur porcin, les coûts liés aux systèmes de filtration d'air demeurent tout de même élevés. Malgré tout, environ 12 élevages au Québec se sont installés sous air filtré depuis 2008. Par conséquent, la réduction du coût d'implantation de ce type de système permettra de le rendre accessible à davantage de producteurs et favorisera l'émergence de bâtiments sous air filtré en pression positive; bâtiments qui sont encore moins à risque de contamination par voie aérienne.

Ainsi, jumelée à un protocole de biosécurité global appliqué efficacement, la filtration de l'air offre la possibilité de réduire significativement le risque de contamination des fermes dans les zones à haute densité porcine. Plus il y aura de fermes protégées dans une région donnée, moins il y aura de risque de contamination entre les troupeaux grâce à la baisse de la pression d'infection. Ceci aura pour effet de réduire les pertes économiques importantes liées aux contaminations récurrentes. Également, en améliorant la protection sanitaire des troupeaux, l'éradication de maladies, comme le SRRP, à l'intérieur des troupeaux dans les zones à haute densité porcine devient envisageable, ce qui aurait un impact économique positif significatif. Par conséquent, l'amélioration de la protection sanitaire des troupeaux en filtrant l'air qui entre dans les bâtiments favorisera l'implantation de stratégies d'éradication régionales de certaines maladies dont le SRRP et le mycoplasme dans les zones à haute densité porcines. Ce qui n'était pas le cas avant l'apparition des systèmes de filtration d'air, car la contamination par voie aérienne n'était pas contrôlable et que le risque de contamination était trop élevé. Au global, la compétitivité de nos éleveurs en sera augmentée significativement.

L'objectif principal de la ventilation durant les périodes chaudes est de maintenir un certain écart (2 à 3 °C) entre la température intérieure et la température extérieure en évacuant la chaleur produite par les animaux, et autres sources de chaleur, à l'extérieur du bâtiment. Ainsi, s'il fait 30 °C à l'extérieur, le débit d'air doit être suffisant pour maintenir une température intérieure inférieure à 32-33 °C. Avec le temps, les débits d'air ont augmenté afin d'augmenter la vitesse de l'air au niveau des animaux pour les rafraîchir par effet de convection. Malheureusement, pour bien des systèmes de ventilation, l'augmentation de la vitesse d'air au niveau des animaux n'est pas proportionnelle à l'augmentation du débit d'air. Ainsi, même si le débit d'air est doublé, la vitesse d'air au niveau des animaux ne l'est pas nécessairement. Dans la plupart des systèmes de ventilation, la vitesse d'air est surtout augmentée au plafond, et non à la hauteur des animaux comme souhaité en été pour les rafraîchir (peu efficient; Figure 1). Idéalement, il faut obtenir une vitesse d'air plus élevée au niveau des animaux en été.

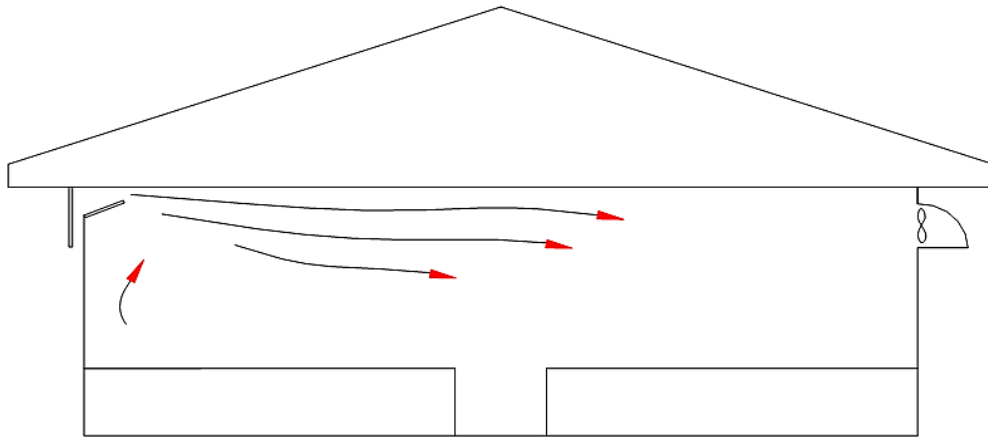


Figure 1 Entrée d'air latérale avec ventilateurs sur le mur opposé

Ainsi, Massabie (2001) démontre qu'à une température se situant entre 24 °C et 28 °C dans le bâtiment, une vitesse d'air moyenne de 1 m/s (200 pi/min) permettait de réduire la température ressentie par les porcs de 5 à 6 °C. Massabie (2001) a également démontré qu'à une température ambiante de 28 °C, l'ajout d'une vitesse d'air moyenne de 1 m/s permettait d'augmenter le gain moyen quotidien (GMQ) de 100 g/jour, ce qui est important. La problématique principale durant la saison chaude vient de la réduction de la consommation d'aliment par les animaux qui ont chaud afin de se thermoréguler. Ceci a pour effet de réduire le GMQ en engraissement, la production laitière en mise bas et le taux de fécondité en gestation.

À titre d'exemple afin de démontrer l'impact de la vitesse de l'air et de l'humidification des porcs, selon Dong *et al.* (2001), pour une température ambiante de 31,5 °C, l'ajout d'un courant d'air de 0,5 m/s (100 pi/min) au niveau des truies en section de mise bas jumelé à l'utilisation d'un système d'aspersion d'eau au goutte à goutte sur la nuque des truies permet de réduire significativement la température corporelle de celles-ci de 0,5 °C (39,5 °C vs 39,0 °C) et leur rythme respiratoire de 42 % (79 vs 46 respirations/min) comparativement à la même vitesse d'air, mais sans système goutte à goutte. Cet article n'indiquait toutefois pas la comparaison entre l'ajout de la vitesse d'air jumelé au système goutte à goutte et une vitesse d'air générée seulement par les entrées d'air (sans système goutte à goutte) au-dessus des truies.

Typiquement, la vitesse d'air au niveau des truies est d'environ 0,1 à 0,3 m/s (20 à 60 pi/min) en été avec la plupart des systèmes de ventilation utilisés au Québec. Ainsi, dans les conditions québécoises, l'augmentation de la vitesse d'air jumelée à l'utilisation de l'eau pour humidifier les animaux offre un potentiel de refroidissement très intéressant pour la période estivale allant

jusqu'à permettre la réduction du débit d'air. Il y a également d'autres travaux démontrant l'effet de refroidissement des animaux par l'augmentation de la vitesse d'air et leur l'humidification sur le confort de ces derniers tant dans le domaine porcin que le domaine du bovin laitier (Frazzi *et al.*, 2000; Smith *et al.*, 2006; Haeussermann *et al.*, 2007). En bref, plusieurs travaux démontrent le potentiel de refroidir les animaux efficacement, ce qui amène à penser qu'il est possible de réduire les débits d'air sans impact sur le confort des animaux en été. De plus, un essai préliminaire réalisé, l'été dernier, dans une salle de gestation a démontré qu'il semble possible de passer de 680 à 170 m³/h/truie sans avoir une augmentation de plus de 1 à 2 °C dans la salle pour une température extérieure d'environ 28 °C. Bien que ce résultat soit encourageant, il faut davantage de données avant de faire des recommandations qui peuvent avoir un impact important sur la santé des porcs.

Le présent projet mettra donc l'accent sur l'amélioration de l'efficacité des concepts de ventilation afin de refroidir les animaux en mise bas, en gestation et en engraissement durant l'été, ces sections de bâtiment représentant un grand pourcentage du débit de ventilation dans le cas d'un élevage de type naisseur-finiisseur. Ainsi, le projet s'adressera tant aux élevages de type naisseur que ceux de type naisseur-finiisseur. Jusqu'à maintenant, peu de travaux ont été effectués en fonction des élevages naisseur-finiisseur afin de réduire les coûts liés à l'implantation de systèmes de filtration d'air en milieu commercial.

Dans le cadre du projet, diverses méthodes (utilisées indépendamment ou jumelées) ont été considérées afin de minimiser les débits d'air, dont les suivantes :

- recirculation d'air (augmentation de la vitesse d'air sur les animaux);
- brumisation d'eau dans l'air;
- humidification des animaux.

Selon les auteurs du présent document, le principal obstacle à surmonter sera la résistance au changement au sein de l'industrie. En effet, il y a un paradigme tenace visant à augmenter le débit d'air à l'intérieur des élevages. Cependant, selon l'information contenue dans la littérature, il semble fort probable de pouvoir réduire les débits d'air sans affecter le confort des animaux. Basée sur les normes de débits d'air utilisées en France, l'hypothèse principale du projet est qu'il est possible de réduire les débits d'air jusqu'à 50 % des normes utilisées actuellement au Québec (Tableau 1) et permettre ainsi de réduire de 30 à 50 % les coûts liés à la filtration de l'air selon le cas.

1.2 Objectifs

1.2.1 Objectif général

Développer et tester des concepts de ventilation en maternité et en engraissement afin de minimiser les débits d'air requis durant les périodes chaudes sans affecter les performances zootechniques et le bien-être des animaux. Au final, le but est de réduire les coûts liés à l'implantation de systèmes de filtration d'air à l'intérieur de bâtiments porcins de type naisseur et naisseur-finiisseur.

1.3 Objectifs spécifiques

- 1) Concevoir et évaluer l'efficacité de différents concepts de ventilation permettant d'optimiser les débits d'air et le refroidissement des porcs durant la saison chaude;
- 2) Évaluer l'impact des différents concepts de ventilation à débit d'air réduit durant les périodes chaudes en maternité et en engraissement sur :
 - a) Les paramètres d'ambiance (température, humidité et vitesse d'air) dans les bâtiments;

- b) Les performances zootechniques et le bien-être des animaux;
 - c) Les coûts liés à l'implantation d'un système de filtration de l'air;
 - d) Les coûts liés à l'implantation des systèmes de ventilation;
 - e) La consommation d'énergie;
 - f) La consommation d'eau liée au fonctionnement de systèmes de refroidissement.
- 3) Diffuser les résultats du projet.

1.4 Plan de travail

Le projet s'est déroulé à l'intérieur de deux fermes situées dans la région de la Montérégie, soit une ferme de type « naisseur » et un engraissement. Le suivi en maternité a débuté le 1^{er} juin 2011 et s'est terminé le 15 octobre 2011. Un lot complet en engraissement a été testé, soit du 26 mai 2011 au 22 septembre 2011. Les résultats de l'étude menée sur ces deux fermes sont présentés à l'intérieur de deux sections distinctes dans le présent document.

2. Bilan de chaleur

Plusieurs variables entrent en jeu dans les calculs de production de chaleur et des débits de ventilation. Ces deux concepts seront affectés, entre autres, par le nombre d'animaux, le stade physiologique (poids) et le type d'animaux présents dans la section (trouie gestante, trouie allaitante, porc à l'engrais, etc.), les conditions d'ambiance à l'intérieur et à l'extérieur de la salle ainsi que la quantité de chaleur perdue par le bâtiment.

Le bilan de chaleur d'une salle d'élevage est représenté par l'équilibre entre les apports et les pertes de chaleur :

$$\text{Apport de chaleur par les animaux (chaleur sensible)} + \text{Chauffage éventuel} = \text{Pertes de chaleur par les parois} + \text{Pertes de chaleur par la ventilation}$$

(Source : IFIP, 2006)

La chaleur sensible est la perte de chaleur par la peau et elle contribue au réchauffement du milieu où se trouve l'animal (Jégou et *al.*, 2008). La quantité de chaleur dégagée par l'animal dépend de l'écart entre sa température corporelle et la température ambiante; plus il fait froid, plus les pertes par la peau sont élevées et plus il fait chaud, moins elles le sont.

La chaleur qui n'est pas perdue par la peau, sous forme de chaleur sensible, doit être perdue par la respiration, sous forme de chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau (Jégou et *al.*, 2008). En effet, la chaleur latente est utilisée pour vaporiser de l'eau dans les poumons. Le changement d'état de l'eau nécessite de l'énergie (chaleur), ce qui contribue au refroidissement de l'animal. L'énergie qui a permis à l'eau de passer de l'état liquide à celui de vapeur est contenue dans la vapeur d'eau et sera libérée sous forme de chaleur lorsque la vapeur se condensera. Lorsque la température est élevée, le rythme respiratoire de l'animal s'accroît pour augmenter l'évaporation d'eau dans ses poumons et ainsi compenser la diminution des pertes de chaleur par la peau. Plus la température ambiante sera élevée, plus la production de chaleur sensible se verra diminuée et plus la production de chaleur latente sera importante.

Les pertes de chaleur par le bâtiment dépendront de l'épaisseur et du type de matériaux qui constituent la paroi, de la différence de température entre les deux surfaces et de la surface d'échange (IFIP, 2006). Chaque matériau d'une paroi possède une résistance thermique (m^2K/W) qui lui est propre. La résistance thermique totale d'une paroi est obtenue en additionnant la résistance thermique de chaque matériau compris dans cette paroi.

Finalement, le système de ventilation doit pouvoir fournir une ventilation suffisante en période estivale. Dans les bâtiments d'élevage ventilés mécaniquement, le changement d'air doit être suffisant afin de maintenir la température intérieure à peine plus élevée que la température extérieure (ASAE, 2003). Au Québec, en pratique, il est recommandé que la température intérieure d'une salle ne soit pas supérieure à la température extérieure de plus de 2 à 3 °C (donc un différentiel de température de 2 à 3 °C) en période chaude. Selon l'IFIP (2006), en France, un différentiel de température de 3 ou 4 °C est généralement utilisé pour les reproducteurs supportant mal les températures élevées (en zone tempérée ou en zone chaude l'été), tandis qu'un différentiel de 5 à 6 °C est considéré pour les porcelets et porcs charcutiers (selon la zone considérée).

2.1 Méthodologie

Étant donné que le bilan est effectué pour une température extérieure chaude (le différentiel de température est faible entre l'intérieur et l'extérieur), le transfert de chaleur par les parois du bâtiment (plafond, plancher, périmètre, murs) a été considéré comme négligeable puisque cette

perte de chaleur est faible. Seules, les productions de chaleur totale et sensible ont été calculées afin de déterminer le besoin de ventilation.

Plusieurs auteurs proposent des équations permettant de calculer la production de chaleur par les animaux. La Commission internationale du génie rural (CIGR) présente dans le *Report of working group on climatization of animal house* (CIGR, 1984) les équations de différents auteurs pour le calcul de la production de chaleur par les porcs à différents stades physiologiques (truies gestantes, porcs à l'engrais, etc.). Dans le cadre du présent projet, à la suite d'une revue de littérature et des recommandations d'experts en la matière, les équations de Strøm ont été retenues pour les calculs (production de chaleur et facteur de correction).

2.1.1 Production de chaleur par les animaux

2.1.1.1 Production de chaleur totale

La production de chaleur totale par les animaux selon le poids et le stade physiologique de l'animal a été calculée selon les équations 1 à 3. Le poids et les caractéristiques utilisées sont présentés au tableau 2.

Truie gestante :	$Q_T = 4,85m^{0,75} + 8 \times 10^{-5} p^3$	(éq. 1)
Truie allaitante :	$Q_T = 4,85m^{0,75} + 26Y$	(éq.2)
Porc à l'engrais :	$Q_T = 29(m + 2)^{0,5} - 40$	(éq.3)

Où Q_T = chaleur totale produite par l'animal (W)

m = masse moyenne de l'animal (kg)

p = nombre de jours de gestation

Y = production laitière (kg/j)

Tableau 2 Paramètres ayant servi au calcul du bilan selon le type d'animal

	Truie gestante	Truie allaitante	Porc à l'engrais
Poids moyen (kg)	225	250	100
Durée de gestation (j)	114		
Production laitière (kg/j)		11 ¹	
ΔT standard	3	1,5 et 2	3
ΔT réduit	4	3	4,5 et 5,5

¹ La production laitière de la truie variera probablement entre 10 et 12 kg/j (Bussières, 2008). Une valeur moyenne de 11 kg/j a été consid r e.

2.1.1.2 Facteur de correction pour la chaleur totale en fonction de la température ambiante

Afin de corriger la production de chaleur totale en fonction de la température ambiante, la production de chaleur totale obtenue par les équations 1 à 3 a été multipli e par ce facteur de correction afin de tenir compte de l'effet de la température intérieure de la salle.

$$F = 4 \times 10^{-5} (20 - t)^3 + 1 \quad (\text{ q. 4})$$

Où F = facteur de correction selon la température

t = température intérieure de la salle ( C)

Comme mentionné précédemment, il est normalement recommandé que la température intérieure d'une salle ne soit pas supérieure à la température extérieure de plus de 2 à 3 °C en période chaude. Par contre, puisque l'objectif du projet était de refroidir les animaux par d'autres moyens que la ventilation, les besoins de ventilations pour les traitements ont été calculés en fonction d'écart de température de 3 à 5,5 °C. Le bilan a été effectué en considérant que la température extérieure est de 17 °C, puisque la température optimale pour les animaux est de 20 °C et que le ΔT standard est de 3 °C.

2.1.1.3 Production de chaleur sensible

La quantité de chaleur sensible produite a été obtenue en multipliant la chaleur totale produite et corrigée selon la température, par un facteur de chaleur sensible. Ce facteur tient compte de la température intérieure de la salle dans laquelle se trouve l'animal, puisque la production de chaleur sensible est affectée par la température.

$$Q_s = Q_T [0,8 - 1,85 \times 10^{-7} (t + 10)^4] \quad (\text{éq. 5})$$

Où Q_s = chaleur sensible produite par l'animal (W)

Q_T = chaleur totale produite par l'animal et corrigée selon la température intérieure (W)

t = température intérieure de la salle (°C)

2.1.2 Débit de ventilation pour contrôler la température

La quantité de chaleur à évacuer par la ventilation (Q_v) a été obtenue par le bilan de chaleur :

$$Q_v = Q_s - Q_b \quad (\text{éq. 6})$$

Où Q_v = chaleur évacuée par la ventilation (W)

Q_s = chaleur sensible produite par les animaux (W)

Q_b = chaleur évacuée par les parois du bâtiment (W)

Par la suite, le débit maximum de ventilation requis a été déterminé à l'aide de l'équation 7.

$$m_a = \frac{Q_v}{C_p \Delta T} \quad (\text{éq. 7})$$

Où m_a = débit massique de l'air de ventilation (kg/s)

C_p = chaleur massique de l'air (kJ/kg d'air sec K)

ΔT = différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C)

Q_v = chaleur évacuée par la ventilation (W)

Afin d'obtenir le débit de ventilation volumique, le débit massique (m_a) a été multiplié par le volume massique de l'air (m^3/kg d'air sec) déterminé à partir du diagramme psychrométrique de l'ASAE (2003) pour les conditions d'ambiance à l'intérieur de la salle (température et humidité relative).

2.2 Résultats

Les besoins en ventilation pour les deux fermes expérimentales sont présentés au tableau 3. Les débits de ventilation utilisés pour les différents traitements sont basés sur ces valeurs.

Tableau 3 Production de chaleur et besoin de ventilation pour le contrôle de la température selon le type d'animal

	Gestation		Mise bas			Engraissement		
Différentiel de température (°C)	3	4	1,5	2	3	3	4,5	5,5
Chaleur totale (W/animal)	400	400	591	591	591	253	253	253
Chaleur sensible (W/animal)	260	252	401	395	384	164	156	150
Débit de ventilation (m ³ /h/animal)	262	191	803	596	387	166	106	83

Maternité

3. Matériel et méthodes (bâtiment de maternité)

3.1 Bâtiment et animaux

3.1.1 Description du site expérimental

La maternité d'une capacité de 1 000 truies est constituée de deux bâtiments reliés entre eux par un corridor (Figure 2). Elle comporte un bâtiment d'élevage comprenant quatre salles de gestation et un autre ayant dix salles de mise bas, une salle de gestation pour les cochettes et une salle de quarantaine.

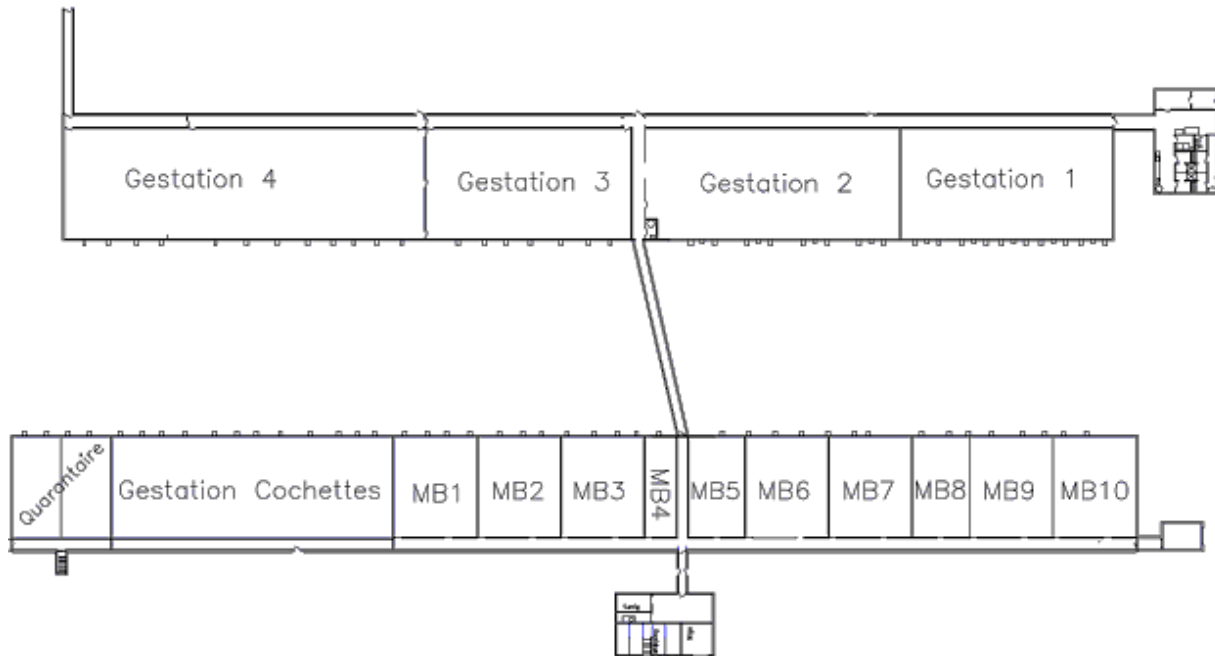


Figure 2 Plan de plancher de la maternité

Les salles de gestation 1, 2, 3 et 4 comptent respectivement 136, 182, 135 et 260 places. Quant à la salle de gestation pour les cochettes, elle peut contenir 230 femelles. Les salles de mise bas contiennent 21 cages chacune sauf dans le cas des salles 5 et 8 qui en contiennent 14 et pour la salle 4 qui en a seulement sept. Cette dernière est utilisée comme salle tampon.

3.1.2 Animaux et alimentation

Les truies ont été déplacées d'une section à l'autre selon la routine habituelle de la ferme. Aucune sélection d'animaux en fonction des traitements n'a été effectuée.

Les truies en gestation étaient restreintes alors que celles de toutes les salles de mise bas ont été alimentées *ad libitum*, en alimentation sèche. L'eau était disponible à volonté dans l'ensemble de la ferme.

3.1.3 Contrôle des paramètres d'ambiance

Les cinq gestations de la ferme sont ventilées de façon indépendante (DVS-23HA, Norsol, Saint-Hubert, QC, Canada). La consigne de température était de 18,9 °C pendant toute la durée du projet. Les paliers de ventilation 1 et 2 étaient variables. Les ventilateurs du premier palier atteignaient leur vitesse maximale à 19,7 °C. Le palier 2 démarrait à 20 °C et il atteignait sa pleine puissance à 21,1 °C. Les paliers 3 et 4 étaient de type marche/arrêt. Les ventilateurs du

troisième palier entraient en fonction à 21,1 °C et ceux du quatrième à 21,7 °C. Donc, lorsque la température ambiante était supérieure à 21,7 °C, la ventilation murale était à son maximum.

Dans les salles de mise bas, les ventilateurs étaient contrôlés indépendamment (DVS-22HA; Norsol, Saint-Hubert, QC, Canada) et les consignes de température variaient selon l'âge des porcelets. Lorsque les truies étaient déménagées dans les salles de mises bas, soit quelques jours avant la date prévue de parturition, la consigne était de 18,9 °C comme dans les salles de gestation. Pendant la mise bas, la température demandée était de 22,8 °C. Par la suite, elle était diminuée graduellement jusqu'au moment du sevrage des porcelets pour atteindre 20 °C.

Dans les salles de mise bas, il y avait que deux paliers de ventilation variable par salle. Les ventilateurs du premier palier variaient sur 0,8 °C. Le départ du deuxième palier se faisait à 0,3 °C après que le palier 1 ait atteint sa vitesse maximale. Ce dernier variait sur 1,4 °C. Ainsi, le débit d'air était à son maximum dans ces salles lorsque la température dépassait de 2,5 °C la température de consigne. Le troisième palier du contrôleur servait à contrôler les deux lampes infrarouges qui étaient installées sur chacune des cages de mise bas. Les lampes infrarouges s'éteignaient automatiquement lorsque la température ambiante était supérieure à la consigne de température de 4,72 °C.

3.1.4 Traitements expérimentaux

En maternité, cinq stratégies de ventilations ont été évaluées en gestation et quatre traitements différents étaient à l'essai dans les mises bas (Tableau 4).

Tableau 4 Description des traitements expérimentaux

Traitement	Sigle	Salle	Description
Gestation			
Débit réduit	DR	1	178 m ³ d'air/h/truie* (105 pi ³ /min/truie) et ventilateurs de recirculation
Goutte à goutte	GG	2	178 m ³ d'air/h/truie, ventilateurs de recirculation et système de goutte à goutte [†]
Témoin	T	3	246 m ³ d'air/h/truie (145 pi ³ /min/truie)
Brumisateurs	B	4	178 m ³ d'air/h/truie, ventilateurs de recirculation et brumisateurs à haute pression
Recirculation	R	5 [‡]	246 m ³ d'air/h/truie et ventilateurs de recirculation
Mise bas			
Témoin	T	1	637 m ³ d'air/h/place (375 pi ³ /min/place)
Débit réduit	DR	2	357 m ³ d'air/h/place et ventilateurs de recirculation (210 pi ³ /min/place)
Goutte à goutte et débit réduit	GGR	3	357 m ³ d'air/h/place, ventilateurs de recirculation et un système de goutte à goutte [†]
Témoin	T	4	756 m ³ d'air/h/place (445 pi ³ /min/place)
Goutte à goutte	GG	5	493 m ³ d'air/h/place (290 pi ³ /min/place) et ventilateurs de recirculation et un système de goutte à goutte [†]
Débit réduit	DR	6	357 m ³ d'air/h/place, ventilateurs de recirculation
Débit réduit	DR	7	357 m ³ d'air/h/place et ventilateurs de recirculation
Témoin	T	8	560 m ³ d'air/h/place (330 pi ³ /min/place)
Débit réduit	DR	9	357 m ³ d'air/h/place, ventilateurs de recirculation
Goutte à goutte et débit réduit	GGR	10	357 m ³ d'air/h/place, ventilateurs de recirculation et un système de goutte à goutte [†]

* selon l'inventaire moyen

† au niveau de la nuque des truies

‡ cochetterie

3.1.4.1 Gestation

Le traitement témoin (T) a été assigné à la salle 3. Aucune modification n'a été faite à cette section. Le débit d'air dans cette salle était de 246 m³/h/place.

Dans les traitements DR (salle 1) et GG (salle 2), le débit de ventilation était de 178 m³/h/place. De plus, six ventilateurs de recirculation de 760 mm de diamètre à vitesse variable (CA30AG-GV11, Canarm LFI, Brockville, ON, Canada) ont été installés dans ces salles. Ces derniers étaient disposés sur trois rangées de cages au nombre de deux par rangée, à un intervalle de 14 m l'un de l'autre et orienté vers la tête des truies (Figure 3). Ces ventilateurs de recirculation étaient automatisés (contrôles CVS, Norsol, Saint-Hubert, QC, Canada) et se mettaient en fonction lorsque la température ambiante atteignait 23,9 °C et augmentaient graduellement de vitesse jusqu'à 26,7 °C.

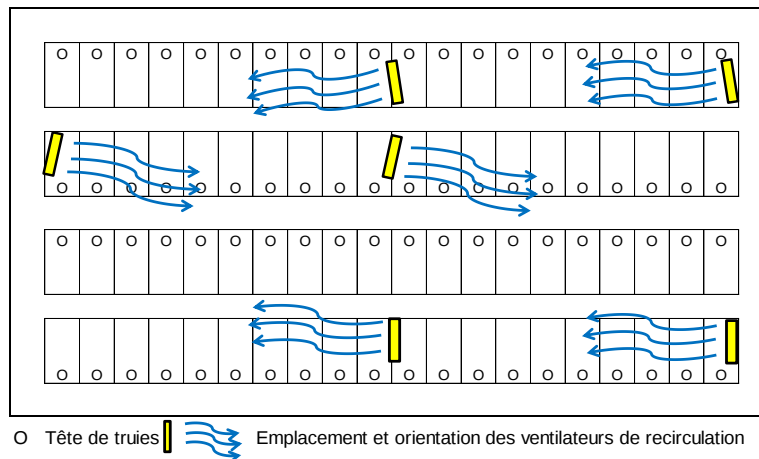


Figure 3 Schéma de l'aménagement des ventilateurs de recirculation

Dans la salle du traitement GG, un système de goutte à goutte de fabrication maison a été installé. Il s'agissait d'un tuyau à eau en plastique noir de 19 mm de diamètre qui a été installé vis-à-vis de la nuque des truies sur le dessus des cages de gestation. Des buses à basse pression (PC-10-SP-B, Rainbird, Glendora, CA, ÉU) ont été installées au-dessus de chacune des truies (Figure 4). Ce système était actionné par un contrôle automatique et une valve électrique.



Figure 4 Système goutte à goutte du traitement GG

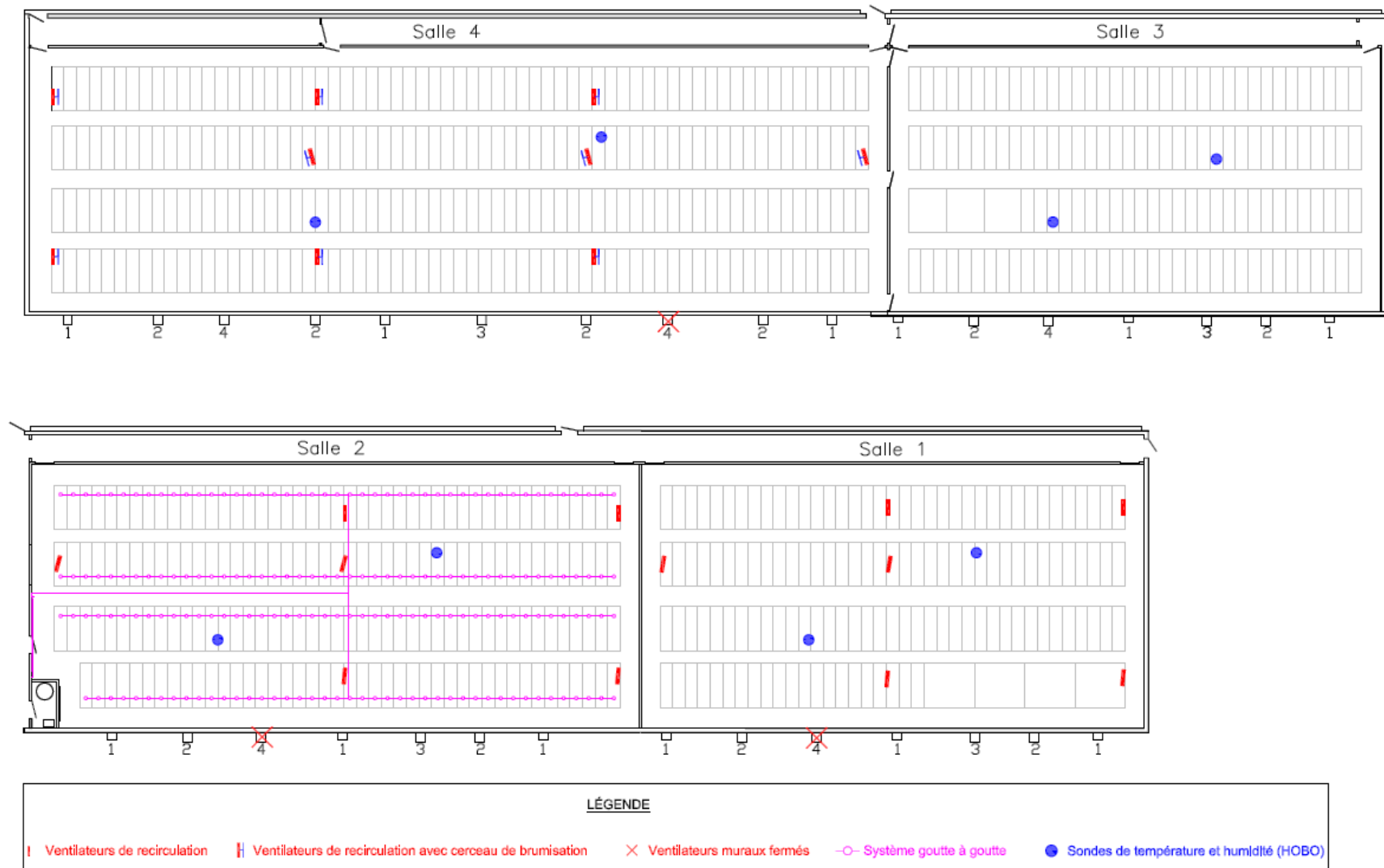


Figure 5 Plan d'aménagement des équipements dans les salles de gestation



Figure 6 Plan d'aménagement des salles de mise bas

Le système de goutte à goutte se mettait en fonction pendant 45 s lorsque la température de la salle était supérieure à 28,9 °C et il s'arrêtait pendant 15 min. Le temps de marche était suffisant pour permettre de remplir d'eau tous les tuyaux du système. La vidange se faisait alors par gravité et les gouttes tombaient sur la nuque des truies pendant environ 10 min avant d'arrêter complètement. Lorsqu'il faisait plus de 32,2 °C, le temps d'arrêt était de seulement 10 min, ce qui faisait que les gouttes tombaient sans arrêt sur les truies (Tableau 5). Cette programmation de temps de marche et de temps d'arrêt avait pour but de contourner une problématique de débit d'eau trop élevé aux buses. Idéalement, il aurait fallu choisir un type de buse permettant un débit d'eau convenable adapté à la pression dans le tuyau.

Tableau 5 Ajustement des paramètres de fonctionnement des systèmes de brumisation et de goutte à goutte

	Brumisation	Goutte à goutte Gestation	Goutte à goutte Mise bas
Température de mise en marche #1	29,4 °C	28,9 °C	28,9 °C
Temps de marche #1	1 minute	45 secondes	45 secondes
Temps d'arrêt #1	3 minutes	15 minutes	20 minutes
Température de mise en marche #2	32,2 °C	32,2 °C	32,2 °C
Temps de marche #2	1 minute	45 secondes	45 secondes
Temps d'arrêt #2	1 minute	10 minutes	15 minutes

Dans la salle 4 (B), puisqu'elle était plus grande que les autres, neuf ventilateurs de recirculation à vitesse variable ont été installés (trois ventilateurs sur trois rangées à intervalle de 14 m). Le débit de ventilation dans cette salle était de 178 m³/h/place. Le système de brumisation, de fabrication maison, était installé directement sur les ventilateurs de recirculation (Figure 7). Chaque cerceau de brumisation comportait six buses à haute pression (3001-B, FIBI Green Industrie LTD, Taoyuan Hsien, Taiwan) actionnées par une pompe à pression (56B17F5584E P, Marathon Electric, Wausau, WI, États-Unis). À une température ambiante supérieure à 29,4 °C, le système fonctionnait une minute toutes les quatre minutes. Lorsqu'il faisait plus chaud, soit plus de 32,2 °C, il fonctionnait plutôt une minute sur deux (Tableau 5).



Figure 7 Système de brumisation du traitement B installé sur un ventilateur de recirculation

La salle 5 (R) contenait 230 cochettes et le débit de ventilation était de 246 m³/h/place (Figure 5). Elle avait été équipée de quatre ventilateurs de recirculation, car les femelles sont logées tête à tête plutôt que dos à dos (deux rangées de têtes ayant deux ventilateurs de recirculation).

3.1.4.2 Mise bas

Quatre traitements différents ont été évalués en mise bas. Le traitement témoin (T) a été assigné aux salles 1, 4 et 8. Aucune modification n'a été apportée à ces salles. Le débit moyen de ces salles était de 637 m³/h/place.

Le traitement DR (débit réduit) a été attribué aux salles 2, 6, 7 et 9. Dans ces salles, le débit de ventilation était de 637 m³/h/place. De plus, deux ventilateurs de recirculation de 609 mm de diamètre de type marche/arrêt (CA24W-C, Canarm LFI, Brockville, ON, Canada) dirigés vers la tête des truies ont été installés sur le mur extérieur (Figure 5). Ces derniers étaient contrôlés à l'aide de thermostats mécaniques (Double L Group LTD, TH415, Dyersville, IA, États-Unis) et se mettaient en fonction lorsque la température de la pièce était supérieure à 26,7 °C.

Le traitement goutte à goutte avec débit d'air réduit (GGR) a été testé dans les salles 3 et 10. Ces salles ont été modifiées comme le traitement DR, sauf qu'en plus un système de goutte à goutte a été installé au-dessus de la nuque des truies. Contrairement à la gestation, ce système a été installé au plafond et une buse (PC-10-SP-B, Rainbird, Glendora, CA, ÉU) a été installée au bout d'une longue paille qui descend jusqu'à chaque cage de mise bas (Figure 8). Le système se mettait automatiquement en fonction pendant 45 s lorsque la température de la pièce atteignait 28,9 °C et il repartait seulement 20 minutes plus tard. À température ambiante de 32,2 °C ou plus, il fonctionnait 45 s toutes les dix minutes (Tableau 5).



Figure 8 Système de goutte à goutte dans les salles du traitement GGR et GG en mise bas

Finalement, un dernier traitement a été testé dans la salle 5, une salle de 14 cages de mise bas. Il s'agit du goutte à goutte (GG). Un ventilateur de recirculation et un système de goutte à goutte ont été installés. Le débit de ventilation dans cette salle était de 493 m³/h/place.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Dispositif expérimental et analyse statistique

Le débit réel de ventilation de chaque salle a été mesuré selon trois méthodes différentes afin de valider ces mesures, soit par la vitesse d'air aux ventilateurs, par la vitesse d'air à l'entrée d'air et finalement par la différence de pression entre l'intérieur de la salle et l'extérieur du bâtiment.

La première méthode a consisté à mesurer le débit réel de chaque ventilateur de la salle. Pour ce faire, une boîte de 76 cm de longueur par 76 cm de largeur et 45 cm de profondeur a été installée autour de deux ventilateurs de chaque type (marque, modèle, diamètre, nombre de pales, etc.; Figure 9). Cette boîte permettait de créer un effet tunnel qui diminuait la turbulence et facilitait la prise de mesure de débit d'air.



Figure 9 Anémomètre à fil chaud et boîte utilisée pour mesurer la vitesse d'air au ventilateur

Pour chaque ventilateur sélectionné, 16 mesures de vitesse d'air en quadrillant toute la surface de la boîte ont été prises lorsque le ventilateur fonctionnait à sa vitesse maximale avec un anémomètre à fil chaud (Model 8360, Velocicalc Plus TSI Inc, Saint-Paul, MN, États-Unis). Le débit du ventilateur a été calculé en multipliant la vitesse moyenne de l'air par la superficie de la boîte.

$$\text{Débit du ventilateur} \left(\frac{\text{p}^3}{\text{min}} \right) = \text{Vitesse moyenne au ventilateur} \left(\frac{\text{p}}{\text{min}} \right) * \text{surface de la boîte} (\text{p}^2)$$

Le débit réel de chaque catégorie de ventilateur a été déterminé plus précisément en utilisant la vitesse moyenne des deux ventilateurs sélectionnés. Le débit de chacune des salles a été calculé en additionnant le débit de chacun des ventilateurs présents.

La deuxième méthode pour calculer le débit d'air dans chaque salle a consisté à mesurer la vitesse d'air directement à l'entrée d'air lorsque la ventilation fonctionnait à plein régime. La vitesse d'air était mesurée à trois hauteurs différentes, soit au centre de l'ouverture de l'entrée d'air, au quart inférieur et au quart supérieur de l'ouverture, et ce, tous les 2,4 m sur toute la longueur de l'entrée d'air avec l'anémomètre à fil chaud (Model 8360, Velocicalc Plus TSI Inc., Saint-Paul, MN, États-Unis; Figure 10).



Figure 10 Mesure de la vitesse d'air à l'entrée d'air

Le débit d'air de la salle est déterminé en multipliant la surface d'ouverture de l'entrée d'air par la vitesse d'air moyenne selon l'équation suivante :

$$\text{Débit de la salle} \left(\frac{\text{p}^3}{\text{min}} \right) = \text{Vitesse moyenne à l'entrée d'air} \left(\frac{\text{p}}{\text{min}} \right) * \text{surface de l'entrée d'air} (\text{p}^2)$$

La dernière méthode utilisée pour calculer le débit d'air d'une salle était selon la différence de pression entre la salle et l'extérieur du bâtiment. La différence de pression permet par calcul de trouver la vitesse d'air à l'entrée d'air pour une température extérieure de 25 °C et une humidité relative de 65 %. La formule suivante permet de déterminer la vitesse d'air à l'entrée d'air :

$$v = C_d \sqrt{2\Delta P / \rho}$$

Dans laquelle le coefficient de perte d'énergie (C_d) utilisé est celui d'une fente étroite avec des restrictions envoyant les jets d'air au plafond et est égal à 0,5; P équivaut à la différence de pression en Pa, et ρ correspond à la masse volumique de l'air, en kg/m^3 .

En maternité, cette dernière méthode n'a pu être utilisée, car la ferme était sous air filtré, donc il était impossible d'envoyer le tube à l'extérieur par les entrées d'air.

3.2.2 Collecte des données

3.2.2.1 Température et humidité relative

La température et l'humidité relatives ont été mesurées grâce à des appareils d'acquisition de données (HOBO U10-003; Onset, Bourne, MA, États-Unis) installés dans chacune des salles. Deux appareils ont été installés dans chaque salle de gestation et un seul par salle de mise bas. Un dernier a été placé à l'extérieur du bâtiment, côté nord, pour pouvoir comparer les données des traitements avec celles de l'extérieur. L'acquisition des mesures s'est effectuée toutes les cinq minutes, et ce, du 2 juin au 15 novembre.

3.2.2.2 Distribution et vitesse d'air

Durant l'été, des mesures de vitesse d'air et de température ressenties par les truies ont été prises avec un anémomètre à fil chaud (Model 8360, Velocicalc Plus TSI Inc, Saint-Paul, Mn, États-Unis) lorsque les ventilateurs muraux et de recirculation fonctionnaient au maximum. Dans les gestations, la vitesse d'air a été mesurée devant et derrière les truies, à toutes les cinq cages de gestation et à deux hauteurs différentes, soit à 0,40 et 1,15 m du sol. Des mesures de température ont également été prises aux mêmes endroits afin de vérifier s'il y avait une stratification de la température.

Dans les mises bas, quatre mesures par cage de mise bas ont été effectuées; soit à la hauteur de l'épaule de chaque côté de la truie, une autre mesure au centre de la cage à 0,15 m au-dessus de la truie lorsqu'elle est debout et finalement une dernière mesure dans l'allée devant la trémie de la truie à 0,45 m du sol.

Des tests ponctuels de fumée ont également été effectués pour observer la distribution d'air et ajuster l'angle des ventilateurs de recirculation. De plus, des banderoles de papier ont été fixées au plafond afin d'observer la distribution de l'air en tout temps.

3.2.3 Consommation d'eau et d'énergie

La consommation électrique des ventilateurs d'extraction et de recirculation a été mesurée quotidiennement à l'aide de moniteur d'énergie (MTP-3000, Les Instruments MTP, Montréal, QC, Canada), et ce, pour toutes les salles. De plus, dans les salles de mise bas, la consommation des lampes infrarouges a aussi été enregistrée.

La consommation d'eau d'abreuvement a été mesurée à l'aide de compteurs d'eau (C-700, Les Compteurs Lecompte, Saint-Hyacinthe, QC, Canada) et notée quotidiennement, et ce, pour chacune des salles. De plus, les quantités d'eau utilisées par les systèmes de brumisation et de goutte à goutte ont également été enregistrées par ces mêmes compteurs. Tous les problèmes de fonctionnement ou bris en ce qui concerne les systèmes de refroidissement ont été notés dans un registre ainsi que les correctifs qui ont été apportés pour régler le problème.

3.2.4 Concentration de gaz et poussière

Des mesures ponctuelles de concentration de CO₂ et de NH₃ ont été prises à l'aide de dosi-tube (Gastec, Kanagawa, Japon).

Le nombre de particules de poussière en suspension dans l'air a été mesuré à l'aide du compteur de particules (Fluke 983, Fluke Corporation, Everett, WA, EU). Trente échantillons d'un litre d'air par salle ont été pris pour déterminer la moyenne de particules de poussière. De plus, les particules étaient classées selon six grosseurs différentes. Pour le traitement B, les données étaient très supérieures aux autres données. En effet, le système de brumisation était en fonction lors de la prise de mesures de cette salle. Puisque l'appareil est un compteur de particules et que les fines gouttelettes d'eau du système de brumisation sont des particules, ces données étaient deux à quatre fois plus élevées que les autres traitements. Donc, elles n'ont pas été retenues.

Le niveau sonore a été mesuré dans une salle à six reprises lorsque les ventilateurs muraux fonctionnaient à plein régime et à six autres reprises alors que les ventilateurs muraux et de recirculation étaient en fonction (ST-805, Reed, Long Branch, NJ, EU).

3.2.5 Bien-être des animaux et des travailleurs

Au cours de huit journées durant les essais alors que la température extérieure était supérieure à 28 °C, la température rectale et le rythme respiratoire de dix truies par salle ont été mesurés à deux ou trois reprises (début d'avant-midi, midi, fin d'après-midi) sur les mêmes truies durant chaque journée. Environ 780 données ont été recueillies.

L'impression des employées, quant au confort ressenti dans les différentes salles, a également été recueillie lorsque la température était au-dessus de 28 °C.

4. Résultats et discussion

4.1 Gestation

4.1.1 Conditions d'ambiance

Selon Environnement Canada : « Dans l'ensemble, l'été 2011 a été chaud sur l'extrême sud du Québec, le sud-ouest et le Saguenay-Lac-Saint-Jean, sans toutefois se démarquer de façon excessive. Les nuits ont été plus chaudes dans toutes les régions, mais davantage à Montréal où la température nocturne moyenne a dépassé la normale de deux degrés (16 °C au lieu de 14 °C). Par ailleurs, il y a eu deux fois plus de jours au-dessus de 29 °C qu'à la normale dans tout le sud du Québec, soit 18 au lieu de 9. » La seule canicule avec des températures quotidiennes au-delà de 30 °C et un humidex de plus de 40 °C s'est déroulée du 20 au 23 juillet (Environnement Canada, 2011).

À la ferme de Sainte-Brigide, la température extérieure a été supérieure à 30 °C, 1,32 % du temps durant l'été, soit l'équivalent de 50,64 h (Tableau 6).

Tableau 6 Fréquence d'observation (%) de différentes catégories de température extérieure (T_{ext}) selon les mois à la maternité de Sainte-Brigide (2 juin au 15 novembre 2011)

Mois	Température extérieure (°C)							
	< 5	5 < 10	10 < 15	15 < 20	20 < 25	25 < 30	30 < 35	≥ 35
Juin	0,0	0,0	10,72	44,87	28,77	13,86	1,79	0,0
Juillet	0,0	0,0	1,46	25,73	38,06	29,82	4,82	0,12
Août	0,0	0,0	10,06	42,65	34,93	12,11	0,25	0,0
Septembre	0,1	8,04	25,72	41,57	22,23	2,27	0,0	0,0
Octobre	15,31	39,54	33,06	10,25	1,84	0,0	0,0	0,0
Novembre	26,12	42,91	29,20	1,77	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	5,73	13,90	18,09	28,66	21,94	10,38	1,29	0,03

La journée la plus chaude de l'été s'est déroulée le 21 juillet et c'est la seule où le mercure a grimpé au-dessus de 35 °C, et ce, pendant environ 54 min. Pour tous les traitements, la température intérieure (T_{int}) dans les salles a été supérieure à la T_{ext} quand cette dernière était inférieure à 34 °C.

Les T_{int} enregistrées dans les différents traitements suivaient l'évolution de la T_{ext} , mais elles étaient toujours quelques degrés Celsius au-dessus de cette dernière. De plus, l'écart de température entre les cinq traitements a été assez faible, soit moins de 2 °C. La diminution du débit n'a pas affecté les températures maximales enregistrées pendant la canicule et lors de toutes les journées chaudes de l'été. En effet, les températures maximales des traitements T et R (débit de 246 m³/h/place) ont été très semblables et équivalentes à celles des traitements avec ou sans système de refroidissement de l'air par l'eau qui avaient un débit plus faible soit 178 m³/h/place (DR, GG et B).

4.1.2 Impact de la canicule sur les animaux et la température ambiante dans les salles

La journée du 21 juillet a vraiment mis à l'épreuve les différents traitements testés. Une température extérieure maximale de 35,1 °C et une humidité relative de 63 % ont fait grimper l'humidex à 48 °C. À cette température, les employés de la ferme ont pris plusieurs mesures

pour rafraîchir les truies. Premièrement, à 14 h 35, ils ont actionné de petits ventilateurs de recirculation sur pied dans la salle témoin, car il y avait plusieurs truies en stress thermique, surtout celles qui étaient sous les entrées d'air. Voyant que ce n'était pas suffisant, les employés ont arrosé les truies de cette salle pour s'assurer de les rafraîchir suffisamment et une seconde intervention a été effectuée à 16 h 40. C'est pour cette raison qu'il y a une diminution des T_{int} pour les salles T dans l'après-midi du 21 juillet (Figure 11).

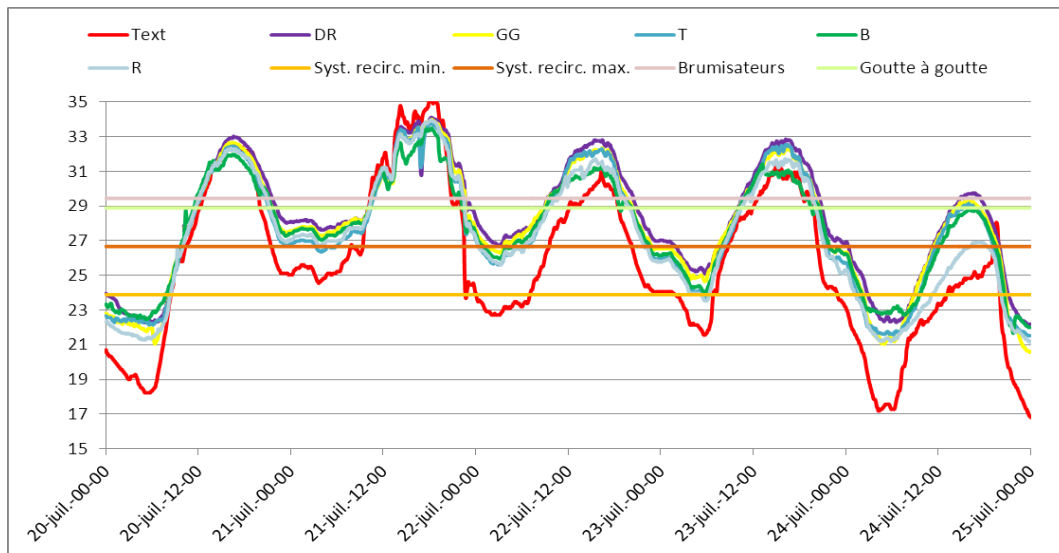


Figure 11 Température intérieure dans les salles de gestation et température extérieure lors de la canicule du 20 au 24 juillet

Par la suite, les truies du traitement DR ont été arrosées vers 16 h 45. Dans cette salle, il y avait quelques truies sous les entrées d'air qui haletaient très rapidement, mais elles étaient quand même beaucoup moins en détresse respiratoire que les truies de la salle témoin. Ceci prouve que l'effet rafraîchissant de la recirculation a une limite. Cette limite survient lorsque la température ambiante se rapproche de celle de la peau des truies, soit vers 30-32 °C (IFIP, 2006). En effet, lorsque deux points dans l'espace sont à des températures différentes, il y a systématiquement un transfert de chaleur. Cette dernière se diffuse toujours du plus chaud vers le plus froid. Lorsque la température ambiante est plus élevée que celle de la peau d'une truie, la chaleur ambiante est alors transférée vers le corps de la truie, donc cette dernière doit augmenter son rythme respiratoire pour maintenir sa température corporelle.

Finalement, à 19 h 10, quelques truies du traitement BR ont été arrosées, car elles haletaient très rapidement. Elles étaient situées au bout de la rangée sous les entrées d'air. Ces truies devaient mettre bas la semaine suivante. De plus, un ventilateur de recirculation sur pied a été ajouté près de ces truies, car il y a une petite zone sans mouvement d'air où les truies ne profitaient pas de l'effet de la recirculation. Ceci nous indique que dans des conditions extrêmes, soit une température très chaude et une humidité relative élevées, la brumisation ne parvient pas à diminuer assez la température de la salle pour éviter un stress thermique chez les truies en fin de gestation.

Le lendemain, vers midi, les cochettes du traitement R ont été arrosées, car plusieurs d'entre elles, surtout celles en fin de gestation, avaient de la difficulté à se rafraîchir et haletaient très rapidement. En tout, deux truies sont mortes lors de cette canicule. Une cochette en fin de gestation du traitement R qui était dans la rangée près des ventilateurs muraux et une autre dans la salle de mise bas no 2 (DR) qui était déjà malade et qui avait mis bas cinq jours plus tôt.

La journée du 21 juillet, les truies du traitement témoin sont celles qui ont eu le plus chaud, suivies de celles du traitement DR, car les augmentations du rythme respiratoire (Figure 12) et de la température rectale (Figure 13) sont les plus élevées des cinq traitements. Ceci coïncide également avec la séquence des événements déployée par les employés pour rafraîchir les truies. Aux fins de comparaison, il faut savoir que des truies en gestation gardées dans un environnement de 21-22 °C ont un rythme respiratoire moyen de six à neuf respirations par 30 s et une température rectale de 38,7 °C ± 0,3 °C (Dewey et Straw, 2006).

Premièrement, le rythme respiratoire des truies lors du premier comptage alors que la T_{int} se situait entre 29 et 31 °C était déjà de deux à quatre fois plus élevé (de 25 à 45 respirations/30 s) que le rythme respiratoire normal des truies à 21-22 °C.

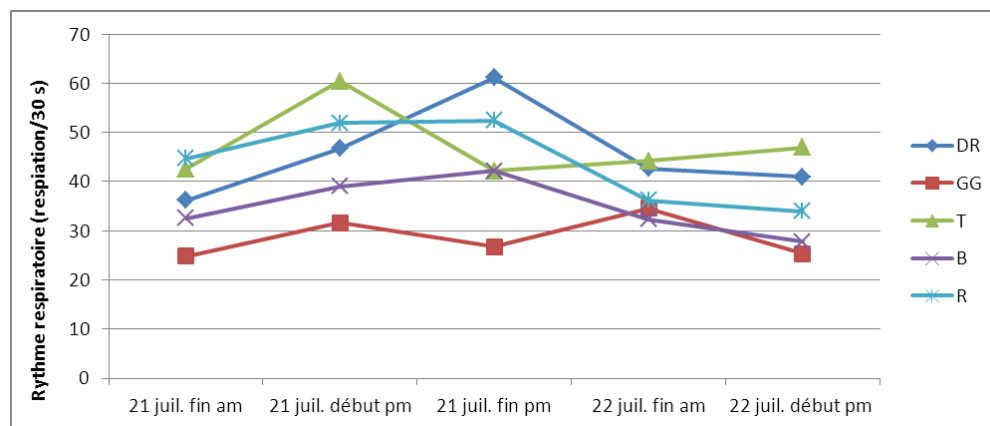


Figure 12 Évolution du rythme respiratoire de truies gestantes selon le traitement lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011

Les truies de la salle témoin ont été arrosées à deux reprises avant le dernier comptage de la fin de l'après-midi du 21 juillet. Leur rythme respiratoire est beaucoup plus bas que le comptage précédent, soit environ 20 respirations de moins par 30 s. Ces données indiquent que l'arrosage des truies lorsqu'elles sont en stress thermique est très efficace pour les refroidir rapidement. En effet, en mouillant les truies, l'eau sur leur peau s'évapore. Pour convertir l'eau en vapeur d'eau, il faut une certaine quantité d'énergie. C'est donc la chaleur des truies qui est utilisée pour évaporer l'eau et l'utilisation de cette chaleur refroidit les truies.

Le rythme respiratoire des truies du traitement DR était le plus élevé lors du comptage de la fin de l'après-midi du 21 juillet. L'effet de l'arrosage des truies sur le rythme respiratoire ne paraît pas sur la courbe du traitement DR, car elles ont été arrosées immédiatement après le comptage. Le traitement B et R ont permis de ralentir l'augmentation du rythme respiratoire des truies. Celui des cochettes du traitement R est le plus élevé de tous les traitements lors du premier comptage et peut s'expliquer par le fait que la croissance de ces animaux n'est pas encore terminée. En effet, le rythme respiratoire d'un porc de 90 kg en engraissement est deux fois plus élevé que celui d'une truie en gestation (Dewey et Straw, 2006), donc celui des cochettes peut se rapprocher de celui des porcs en fin d'engraissement.

Le rythme respiratoire des truies du traitement GG a été assez stable et le plus bas comparativement à celui des truies de tous les traitements. En effet, ces dernières ont dormi pratiquement toute la journée et elles ne semblaient pas incommodées par la chaleur. En combinant la recirculation qui augmente la vitesse d'air au niveau des truies et le système de goutte à goutte qui permet de maintenir la nuque des truies toujours humide, il y a constamment de l'évaporation qui se produit et qui vient refroidir les truies. En effet, le cou de ces animaux est

un endroit très bien vascularisé et l'évaporation de l'eau rafraîchit efficacement tout le corps de la truie. La combinaison « goutte à goutte » et « courant d'air » s'est avérée très efficace.

Pendant la nuit, le rythme respiratoire des truies des traitements DR, B et R a diminué, ce qui indique que l'effet de refroidissement de la recirculation est suffisant pour y arriver. La respiration des truies des traitements GG et T a légèrement augmenté. Pour la salle T, l'effet de l'arrosage des truies s'est dissipé et la ventilation à elle seule n'a pas permis de rafraîchir les truies. Le rythme respiratoire des truies du traitement GG a aussi augmenté, et ce, même s'il y avait recirculation. En effet, le système goutte à goutte a cessé de fonctionner lorsque la T_{int} est descendue sous la consigne de départ (28,9 °C). Puisque les truies n'étaient plus refroidies par l'évaporation de l'eau, elles ont eu plus chaud pendant la nuit que pendant le jour lorsque le système était en fonction. Cela démontre l'intérêt d'évaluer la possibilité de démarrer le système de goutte à goutte à une température inférieure et de revalider les paramètres de temps de marche et d'arrêt.

Les températures rectales des truies des différents traitements suivent les mêmes tendances que le rythme respiratoire. La température rectale des truies du traitement T a démontré la plus grande augmentation et celle des truies du traitement GG a été pratiquement stable (Figure 13). De plus, les truies des traitements GG et B sont celles qui ont les valeurs les plus basses, ce qui confirme que ces truies ont eu moins chaud que celles des autres traitements.

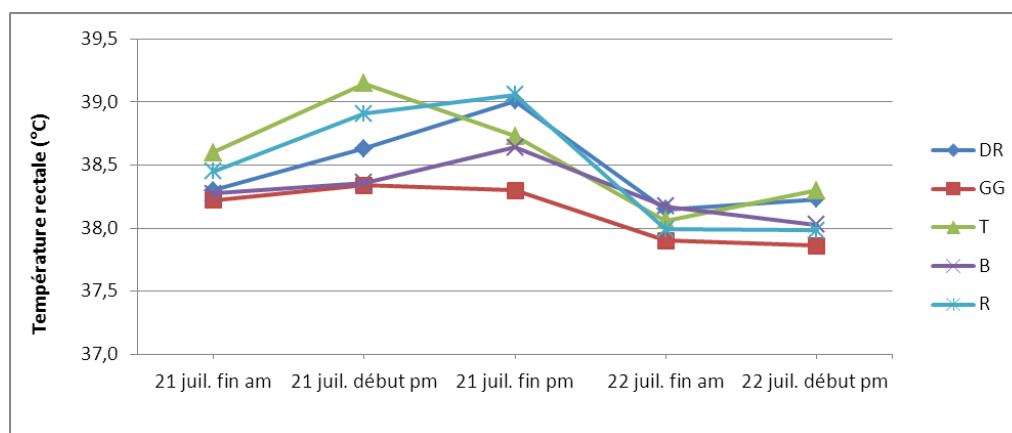


Figure 13 Évolution de la température rectale de truies gestantes selon le traitement lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011

L'efficacité du système de brumisation est supérieure lorsque l'air ambiant est sec, c'est-à-dire lorsque l'humidité relative de l'air est basse (Figure 14). L'humidité relative est le pourcentage d'humidité, ou de vapeur d'eau, contenu dans l'air par rapport à la quantité maximum que peut contenir cet air avant de se condenser, c'est-à-dire avant de se transformer en gouttelettes d'eau. Donc plus l'air est sec, plus sa capacité d'absorption des gouttelettes d'eau froide produites par le système de brumisation est élevée et plus le système est efficace. À titre d'exemple, le 5 août, une journée chaude avec une humidité relative basse (45-50 %), la brumisation a permis de pratiquement maintenir la température de la pièce à la consigne de départ du système de refroidissement (Figure 14a). Par contre, au Québec, il est assez rare d'avoir de telles conditions, car le climat est de type continental humide et la chaleur est habituellement accompagnée d'une humidité relative élevée.

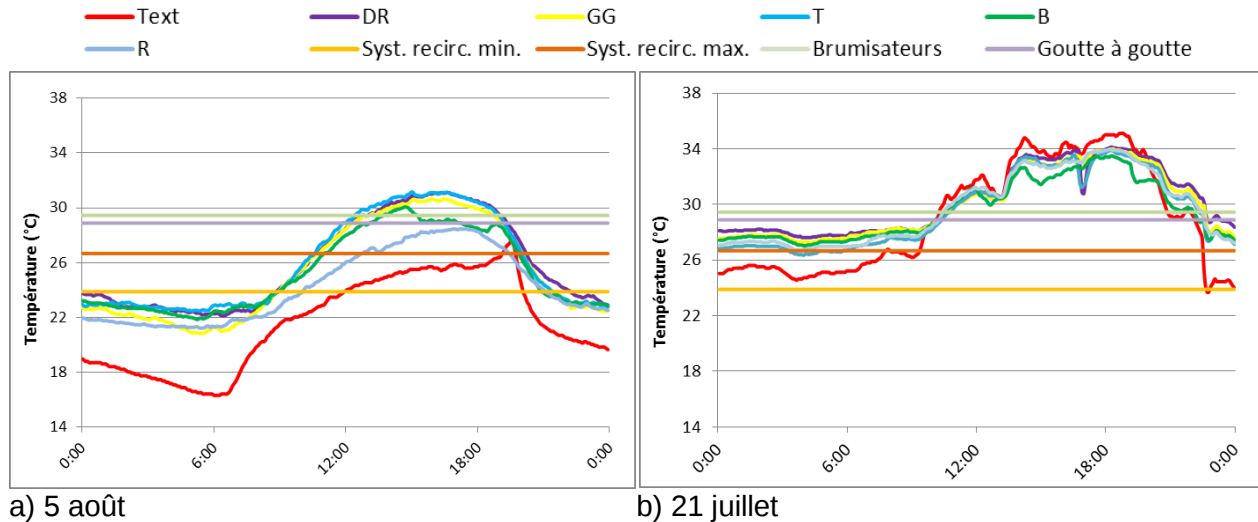


Figure 14 Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée chaude et sèche (a) et d'une journée chaude et humide (b) lorsque les systèmes de refroidissement (BR et AS) sont en fonction

Ainsi, lorsque l'air ambiant était très chaud et humide, comme lors de la journée du 21 juillet, le système de brumisation était beaucoup moins efficace (Figure 14b). En effet, quand l'air est déjà très chargé en humidité, le fait de rajouter des gouttelettes d'eau froide avec le système de brumisation a très peu d'effet sur le refroidissement de l'air. La température de la salle a augmenté, mais un peu moins que dans celles des autres traitements (DR, GG, T et R). Pendant l'été, juste avant que le système de brumisation se mette en fonction, la T_{int} de la salle fut inférieure à la T_{ext} seulement 30 % du temps (Tableau 9). Une fois en fonction, cette proportion a grimpé à 60 % du temps et plus la T_{ext} augmentait, plus ce pourcentage était important.

4.1.3 Température et humidité

La diminution du débit de ventilation a eu pour effet d'augmenter la fréquence de T_{int} plus chaude que dans le traitement T. Ces observations avaient lieu lorsque les T_{ext} étaient entre 16 et 26 °C (Tableau 7). En effet, c'est à ces températures que les truies dégagent davantage de chaleur sensible et par le fait que les ventilateurs de recirculation se mettent en fonction et enlèvent cette mince couche de chaleur qui entoure les truies (Figure 15). Puisque le débit d'air pour sortir cette chaleur est moins important, l'augmentation de la température de la pièce était plus grande que dans le traitement témoin.

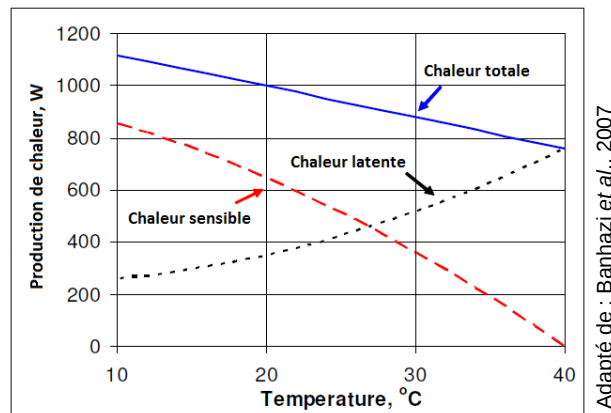


Figure 15 Répartition de la production de chaleur des truies selon la température extérieure

Tableau 7 Fréquence d'observation (%) de la différence de température (ΔT) entre les quatre traitements expérimentaux et le traitement témoin en fonction de la température extérieure (T_{ext}) durant l'élevage¹

T_{ext} (°C)	Équiv. jour	ΔT entre les traitements et la salle témoin (°C) (Traitement – Témoin)											
		< 0 (plus froid que la T)				0 à < 2				2 à < 4 (plus chaud que la T)			
		DR	GG	B	R	DR	GG	B	R	DR	GG	B	R
< 14	54,3	45,5	99,9	94,6	83,7	54,4	0,1	5,4	16,3	0,1	0,0	0,0	0,0
14 à < 16	15,4	74,8	98,6	91,4	98,2	25,3	1,4	8,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
16 à < 18	20,1	72,0	89,0	80,0	100,0	28,0	11,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18 à < 20	20,4	43,3	62,5	55,7	98,0	56,7	37,4	42,3	2,0	0,0	0,1	2,0	0,0
20 à < 22	17,8	21,0	23,0	53,0	86,9	79,0	75,9	46,7	13,1	0,0	1,1	0,3	0,0
22 à < 24	13,4	27,2	31,9	64,1	89,4	72,8	66,7	35,8	10,6	0,0	1,5	0,1	0,0
24 à < 26	10,3	25,5	40,6	62,1	88,3	74,6	59,1	37,9	11,7	0,0	0,3	0,0	0,0
26 à < 28	7,6	22,0	48,4	64,9	93,1	78,0	51,5	35,2	6,9	0,0	0,1	0,0	0,0
28 à < 30	4,6	13,8	58,6	60,9	90,6	86,2	41,4	39,1	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0
30 à < 32	1,5	0,0	57,6	69,3	77,9	100,0	42,5	30,7	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0
32 à < 34	0,5	1,6	40,9	67,7	81,1	98,4	59,1	32,3	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0
34 à < 36	0,2	0,0	41,9	64,5	54,8	100,0	58,1	35,5	45,2	0,0	0,0	0,0	0,0

À plusieurs occasions pendant l'été, le traitement R avait une température maximale plus petite que les autres traitements (Figure 16). En effet, dans environ 90 % du temps, les T_{int} étaient inférieures à la salle témoin lors que les T_{ext} étaient inférieures à 30 °C (Tableau 7). À des températures supérieures, cette proportion diminue jusqu'à environ 55 %.

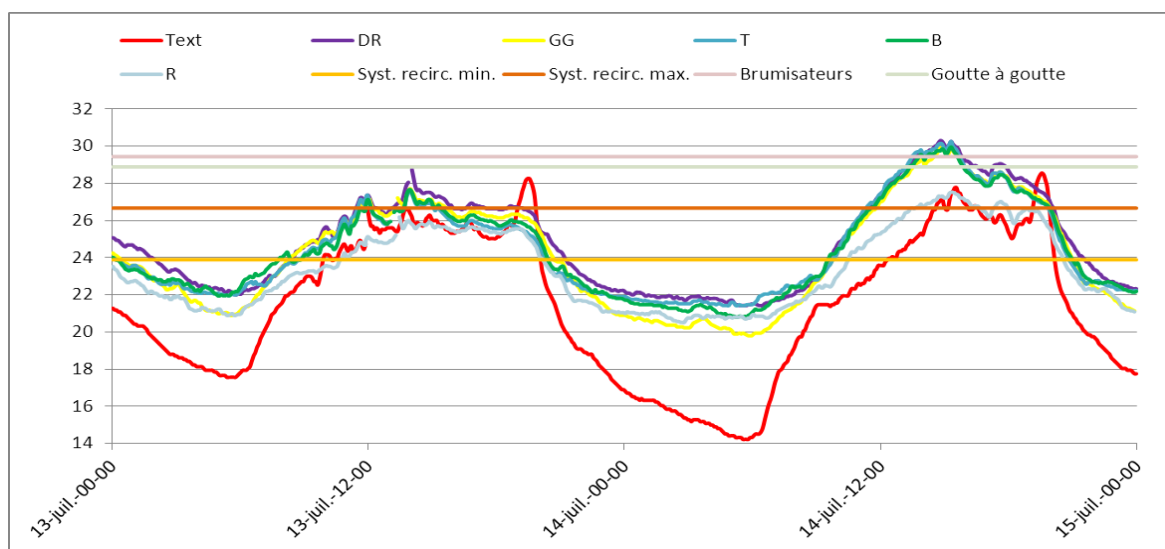


Figure 16 Évolution typique des températures

Deux hypothèses ont été soulevées pour expliquer cela. Premièrement, la salle du traitement R ne se trouve pas dans le même bâtiment que les autres traitements et l'entrée d'air est du côté opposé, soit du côté nord du bâtiment au lieu du côté sud. Lors des journées ensoleillées, l'air qui entrait dans la ferme du côté sud devait être préchauffé dans l'abri vent où un système de filtration d'air est installé. Des données devaient être prises pour valider cette hypothèse, mais un bris d'équipement a empêché d'obtenir les résultats. De plus, les animaux présents dans le traitement R sont uniquement des primipares. Le dégagement de chaleur de ces animaux a pu être moindre que celui théorique calculé dans le bilan de chaleur.

Le débit n'a pas eu d'effet sur le taux humidité relative, car dans plus de 98 % du temps, l'humidité des traitements en débit réduit (DR, GG et B) se situait dans l'intervalle de -5 à +10 % de la valeur de la salle témoin (Tableau 8). Par contre, lorsque les systèmes de refroidissement par l'eau se mettaient en marche, l'écart entre les salles B et GG par rapport à la salle témoin était supérieur à 10 % entre 2 et 17 % du temps. Pendant l'été, il a été très rare d'observer des écarts de températures de plus de 2 °C entre les T_{int} des différents traitements et la salle témoin, et ce, pour toutes les T_{ext} (Tableau 7). Lorsque la T_{ext} était supérieure à 30 °C, la T_{int} du traitement DR se situait presque toujours dans l'intervalle de ΔT de 0 à <2 °C, ce qui était très bien. Le système de refroidissement du traitement GG n'a pas eu d'influence sur la T_{int} , car lorsqu'il se mettait en fonction, les T_{int} ne diminuaient pas.

Par ailleurs, plus il a fait chaud, plus les ΔT avec l'extérieur ($T_{int}-T_{ext}$) pour les cinq traitements étaient petits et même négatifs, ce qui veut dire qu'il faisait plus froid dans les salles qu'à l'extérieur (Tableau 9). Ceci peut s'expliquer par l'inertie thermique du bâtiment et du sol. L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement. Donc, lors des journées chaudes ($T_{ext} > 30$ °C), le bâtiment ralentit le réchauffement des T_{int} des salles en diffusant la fraîcheur qu'il a accumulée lors des périodes moins chaudes.

Tableau 8 Fréquence d'observation (%) de différence d'humidité relative (ΔHR) entre les traitements et la salle témoin en gestation

T_{ext} (°C)	ΔHR entre les traitements et la salle témoin (%)																			
	< -5				-5 à < 0				0 à < 5				5 à < 10				> 10			
	Moins humide que T																Plus humide que T			
	DR	GG	B	R	DR	GG	B	R	DR	GG	B	R	DR	GG	B	R	DR	GG	B	R
18 à < 20	8	1	3	1	71	68	39	7	21	31	57	73	0	0	0	20	0	0	0	0
20 à < 22	10	2	1	1	71	71	31	18	18	27	69	67	0	0	0	14	0	0	0	1
22 à < 24	3	3	1	0	65	52	31	14	32	44	68	68	0	0	0	16	0	0	0	1
24 à < 26	1	1	0	0	61	45	34	13	38	54	64	73	0	0	2	13	0	0	0	2
26 à < 28	0	0	0	0	63	33	38	8	36	66	61	78	0	0	1	12	0	0	0	2
28 à < 30	1	0	0	0	73	29	37	14	27	71	32	80	0	0	30	5	0	0	1	1
30 à < 32	0	0	0	0	60	17	21	23	40	79	26	77	0	0	52	1	0	4	2	0
32 à < 34	0	1	3	3	82	11	3	9	17	57	72	87	2	15	14	0	0	17	8	0
34 à < 36	2	3	0	6	61	29	6	24	37	42	55	69	0	23	35	0	0	3	3	0

Tableau 9 Fréquence d'observation (%) des écarts de température (ΔT) entre la température intérieure dans les salles des différents traitements et la température extérieure (T_{ext})

T_{ext} (°C)	ΔT entre chaque traitement et la température extérieure (°C)																			
	< - 2					-2 à < 0					0 à < 2					> 2				
	(plus froid que la T_{ext})															(Plus chaud que la T_{ext})				
	T	DR	GG	B	R	T	DR	GG	B	R	T	DR	GG	B	R	T	DR	GG	B	R
14 à < 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
16 à < 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
18 à < 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	100	100	100	99
20 à < 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	6	4	30	96	96	94	96	70
22 à < 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	16	16	23	27	60	84	84	77	73	39
24 à < 26	0	0	0	0	0	1	1	2	2	10	26	31	40	38	69	73	68	58	60	21
26 à < 28	0	0	0	0	1	6	7	8	11	24	40	47	47	48	66	55	46	45	41	10
28 à < 30	0	1	1	1	3	12	20	18	31	34	58	63	60	62	62	31	16	21	7	1
30 à < 32	0	4	0	0	1	19	26	27	65	51	69	69	72	33	48	12	1	1	2	0
32 à < 34	5	32	6	11	2	56	40	87	87	97	39	28	7	2	1	0	0	0	0	0
34 à < 36	0	26	2	16	0	100	74	98	84	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le sol a une très grande inertie thermique. En effet, par exemple, lorsque la température extérieure atteint 27 °C pendant le mois de juillet, la température du sol ne dépasse pas les 22 ou 23 °C (Anonyme, s.d.). L'écart de température de 4 à 5 °C représente en effet un rafraîchissement non négligeable sur son environnement. Lors des journées chaudes où la température extérieure dépasse 27 °C, les fondations et le plancher de béton du bâtiment, qui ont une très grande masse, absorbent par diffusion cette fraîcheur et s'opposent donc à l'augmentation de température.

À l'inverse, plus la T_{ext} est petite, plus le ΔT entre les traitements et la T_{ext} est grand (> 4 °C), ce qui est normal, car quand il fait froid à l'extérieur, les systèmes de ventilation fonctionnent au minimum pour garder la T_{int} à la consigne demandée, soit 18,9 °C.

4.1.4 Distribution et vitesse d'air

Aucune stratification notable de température n'a été observée entre la température à 0,40 m (hauteur des truies lorsqu'elles sont couchées) et celle à 1,15 m (hauteur des sondes de température; Tableau 10), et ce, avec ou sans recirculation. L'écart-type est le même qu'il y ait ou non des ventilateurs de recirculation en fonction dans la salle. Par contre, la vitesse d'air n'est pas la même quand il y a de la recirculation de l'air. Dans la salle témoin, qui est sans recirculation d'air, la vitesse moyenne d'air mesurée à 0,40 et 1,15 m du sol est très faible et très semblable, soit 0,09 et 0,07 m/s respectivement. Dans les traitements ayant de la recirculation d'air, la vitesse moyenne de l'air à 0,40 m est environ quatre fois plus élevée. Alors que la vitesse d'air mesurée à 1,15 m du sol est de sept à dix fois plus élevée que dans le traitement témoin.

Tableau 10 Différence de température et de vitesse d'air entre 0,40 et 1,15 m du sol avec et sans recirculation d'air

	Avec recirculation	Sans recirculation
Température à 0,40 m du sol (°C)	30,82 ± 0,32	31,54 ± 0,40
Température à 1,15 m du sol (°C)	30,78 ± 0,36	31,53 ± 0,37
ΔT (°C)	0,04 ± 0,14	0,01 ± 0,15
Vitesse d'air à 0,40 m du sol (m/s)	0,42 ± 0,33	0,09 ± 0,04
Vitesse d'air à 1,15 m du sol (m/s)	0,69 ± 0,67	0,07 ± 0,07
ΔV (m/s)	0,26 ± 0,63	-0,02 ± 0,06

Cependant, il y a énormément de variabilité dans les vitesses mesurées à ces deux hauteurs et elle peut s'expliquer par différentes raisons (Figure 17). La première raison est la distance entre les ventilateurs de recirculation et l'endroit de la prise de mesure. Les ventilateurs sont distancés d'environ 15 m les uns des autres. La vitesse d'air mesurée juste devant le ventilateur est assez faible, car le ventilateur est accroché au plafond et est orienté vers le bas avec un petit angle. La majorité du courant d'air passe donc au-dessus des premières cages pour qu'il y ait une bonne vitesse d'air pour les truies dans les cages jusqu'au prochain ventilateur. De plus, la manière dont les ventilateurs étaient disposés (trois rangées, dont celle du centre, dans le sens inverse des deux autres) faisait en sorte que les courants d'air n'étaient pas constants et que les vitesses mesurées variaient grandement dans le temps pour un même point de mesure.

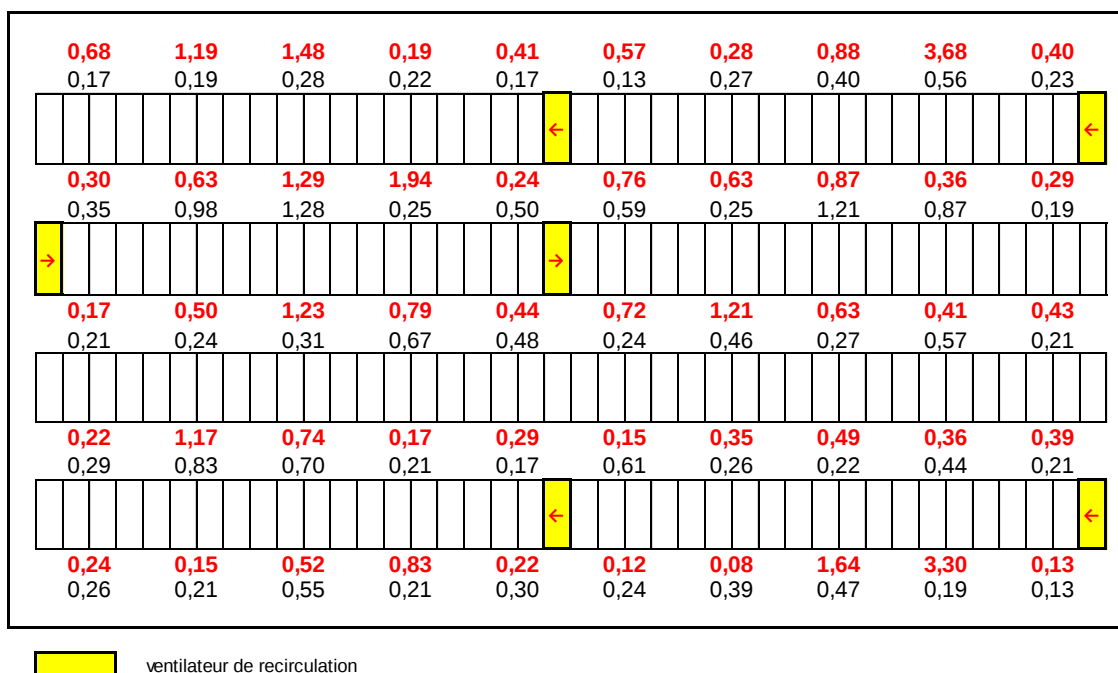


Figure 17 Vitesses d'air mesurées à 0,40 m (en noir) et à 1,15 m du sol (en rouge).

Selon la salle, la vitesse moyenne d'air mesurée à 1,15 m du sol a varié entre 0,57 et 0,79 m/s lorsque les ventilateurs de recirculation étaient en fonction. Massabie (2001) a démontré qu'à des températures dans le bâtiment se situant entre 24 et 28 °C, une vitesse d'air moyenne de 1 m/s permettait de réduire la température ressentie par les porcs de 5 à 6 °C. Selon Mount (1975), la vitesse a un effet de refroidissement encore plus important, car la température ressentie est plus froide de 7 °C et 10 °C, respectivement, à 0,5 et 1,5 m/s. S'il n'y avait pas eu d'obstacles dans la salle comme les doseurs du système d'alimentation, les barreaux des cages de gestation et les éleveuses au propane, la vitesse d'air à 0,40 m aurait pu être plus élevée et l'effet rafraîchissant de la recirculation d'air aurait pu être supérieur. De plus, l'usage de ventilateurs de recirculation de 0,91 m de diamètre, au lieu de 0,76 m, aurait permis d'augmenter la vitesse d'air au niveau des truies sans engendrer de frais supplémentaires importants.

4.1.5 Concentration de gaz et poussière

Dans les différents traitements en débit réduit (DR, GG, B et R), la concentration en CO₂ a varié entre 800 et 950 ppm. Ce qui était bien en dessous de la concentration maximale que les humains peuvent tolérer sans danger pour leur santé soit 5 000 ppm (Règlement sur la santé et la sécurité au travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 13)). Quant au NH₃, des concentrations se situant entre 4 et 7,5 ppm ont été mesurées dans les traitements en débit réduit. Pour ce gaz, les hommes peuvent tolérer une concentration maximale de 25 ppm pendant huit heures, sans quoi, il y a des risques pour leur bien-être. Donc même pour les traitements avec les plus faibles débits d'air (178 m³/h/place), il y a suffisamment de changement d'air pour évacuer ce gaz et ne pas nuire au bien-être des travailleurs.

Le nombre moyen de particules de poussière totales mesurées dans la salle témoin était un peu au-dessus de la concentration moyenne dans les fermes porcines (Tableau 11) c'est-à-dire 130 000 particules (P) par litre d'air selon Guingand (1994). La concentration dans les traitements DR, GG et R était en dessous de cette moyenne de 25 000 à 37 000 P/l. La plus grande quantité de poussière de la salle témoin s'explique par le fait que lors de la prise de

mesure, le système d'alimentation était en fonction et que les truies étaient actives. Les données du traitement B n'ont pas été retenues, car elles ont été prises lorsque le système de brumisation était en fonction et l'appareil de mesure comptait les particules d'eau en suspension dans l'air comme des particules de poussière.

Tableau 11 Concentration de particules (P) de poussière selon les traitements et la taille des poussières

Taille des particules	Nombre moyen de particules/litre d'air				
	T	DR	GG	B	R
0,3 µm	97 846	90 527	79 483	ND ¹	87 832
0,5 µm	23 425	6937	6272	ND	5610
1,0 µm	11 898	3559	3334	ND	2478
2,0 µm	7011	2699	2514	ND	1829
Respirable (< 5 µm)	140 180	103 722	91 603	ND	97 749
5,0 µm	703	762	692	ND	504
10,0 µm	210	228	204	ND	147
Inhalable (≥ 5 µm)	913	989	896	ND	651
Particules totales	141 094	104 711	92 499	ND	98 400

¹ non disponible

La concentration maximale acceptable pour la santé humaine est de 520 000 P/l d'air (Marquis, 1998). Selon ce dernier, les concentrations de poussière varient beaucoup dans une journée et augmentent en même temps que le niveau d'activité des porcs. Les particules inhalables sont celles dont le diamètre est plus grand que 5 µm. Ces particules sont assez grosses pour être éliminées par les mécanismes de défense du système respiratoire humain et pour cette raison, elles ne représentent pas un danger pour la santé humaine. Les particules inférieures à 5 µm de diamètre sont dites respirables. Ces particules sont si petites qu'elles déjouent les mécanismes de défense du système respiratoire humain et elles peuvent se déposer dans les alvéoles des poumons et causer des problèmes de santé par la suite.

Le niveau sonore enregistré lorsque les ventilateurs muraux fonctionnaient au maximum était de 80,3 dB et il passait à 82,7 dB quand les ventilateurs de recirculation partaient à leur tour, soit une augmentation de 2,4 dB. Ce qui représente presque le double du niveau de bruit puisque l'échelle des décibels est logarithmique. Par contre, le niveau sonore était en dessous du seuil de risque (85 dB) et de la limite permise de 90 dB pendant une période de 8 h, l'équivalent d'un quart de travail selon la Loi sur la santé et la sécurité du travail (Règlement sur la santé et la sécurité du travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 13)).

4.1.6 Consommation d'énergie et d'eau

La consommation électrique des ventilateurs muraux ainsi que des ventilateurs de recirculation de chacun des traitements a été mesurée quotidiennement pendant toute la durée des essais, mais seulement la consommation du 11 juillet au 30 septembre, soit la période avec le plus de chaleur et pendant laquelle les ventilateurs de recirculation ont fonctionné le plus souvent est présentée au tableau 12.

Tableau 12 Consommation moyenne quotidienne d'énergie et d'eau par truie du 11 juillet au 30 septembre selon les traitements

	T	DR	GG	B	R
Inventaire moyen par salle	108 ¹	130	175	256	180
Consommation d'énergie ² (kWh/truie/j)	0,39	0,67	0,51	0,49	0,84
Consommation d'eau d'abreuvement ³ (l/truie/j)	15,2	21,9	24,4	23,4	22,4
Utilisation d'eau de refroidissement (l/truie/j)	0	0	0,5	0,3	0
Consommation d'eau totale (l/truie/j)	15,2	21,9	24,9	23,7	22,4

¹ inventaire très variable, car cette salle servait aux détections de chaleur et saillie

² ventilateurs muraux et de recirculation

³ consommation du 11 juillet au 21 septembre

La salle témoin est celle qui consomme le moins d'énergie avec une moyenne de 0,39 kWh/truie/j. Ceci était prévisible, car il n'y avait pas de ventilateur de recirculation dans cette salle. Les traitements GG et B ont pratiquement la même consommation d'énergie, soit environ 0,50 kWh/truie/j. La consommation du traitement DR (0,67 kWh/truie/j) est supérieure aux traitements GG et B, et ce, même si le débit d'air par truie est identique pour ces trois traitements. Par contre, le ratio de truies par ventilateur de recirculation est de 22 pour le traitement DR comparé à 28 et 29 truies pour les traitements B et GG respectivement. De plus, les observations de températures plus chaudes ont été plus fréquentes dans le traitement DR que dans les deux traitements, donc les ventilateurs (muraux et de recirculation) ont fonctionné plus longtemps. Finalement, la consommation du traitement R est la plus élevée de toutes, car aucun ventilateur mural n'a été arrêté et quatre ventilateurs de recirculation ont été rajoutés. Elle est plus du double de la consommation du traitement témoin.

Contrairement aux attentes, la consommation d'eau d'abreuvement est inférieure dans la salle témoin que dans les traitements où il y avait de la recirculation (Tableau 12). Deux points peuvent expliquer ce phénomène. Premièrement, et plus probablement, le stade physiologique des truies dans cette salle. En effet, cette dernière était utilisée pour faire les détections de chaleur et les saillies et les truies en attente de saillie ou en début de gestation auraient une consommation d'eau plus basse que celle de truies gestantes ou dont la gestation est plus avancée. En effet les truies en attente de saillie ou en début de gestation consommeraient de 3 l à 10 l par jour en moins par rapport à des truies gestantes ou en fin de gestation (Gutzwiller *et al.*, 2005; ITP, 1991; ITP 2000). Deuxièmement, l'inventaire dans cette salle variait plus que dans les autres salles et il y avait beaucoup plus de mouvement d'animaux dans cette salle. Donc, l'inventaire est moins précis et les mouvements fréquents peuvent avoir perturbé la consommation d'eau.

Les quantités d'eau utilisées par les systèmes de refroidissement pendant l'été sont de respectivement de 0,5 et 0,3 l/truie/j pour le goutte à goutte et la brumisation. La consommation totale d'eau par truie est semblable pour les traitements DR, B et R et légèrement supérieure pour le traitement GG.

4.2 Mise bas

4.2.1 Conditions d'ambiance

4.2.1.1 Température et humidité

Dans tous les traitements, la T_{int} n'a jamais été supérieure de 2 °C par rapport à la T_{ext} lorsque celle-ci dépassait 32 °C (Tableau 13). De plus, le système de goutte à goutte n'a pas permis d'abaisser la T_{int} des salles lorsqu'il était en fonction, car il n'y a pas eu plus de fréquence d'observation avec des températures plus fraîches que les traitements DR et T.

Tableau 13 Fréquence d'observation (%) des écarts de température (ΔT) entre l'intérieur (T_{int}) et l'extérieur (T_{ext}) selon les traitements dans la section mise bas

T_{ext} (°C)	<-2 (plus froid que la T_{ext})				-2 a <0				0 a <2				>2 (Plus chaud que la T_{ext})			
	T	DR	GGR	GG	T	DR	GGR	GG	T	DR	GGR	GG	T	DR	GGR	GG
18 à <20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	2,2	3,2	0,6	97,8	97,7	96,4	99,4
20 à <22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	3,3	4,3	7,3	88,0	96,1	95,2	92,5
22 à <24	0,0	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	8,3	10,0	9,2	12,7	66,5	87,6	89,2	86,5
24 à <26	0,1	0,9	1,3	0,0	0,9	1,3	0,0	0,0	18,4	20,7	20,8	27,6	44,4	75,8	75,1	70,7
26 à <28	0,4	0,9	2,9	0,1	0,9	2,9	0,1	0,0	26,8	50,4	41,4	53,0	24,4	44,2	49,1	42,3
28 à <30	0,8	4,1	0,6	0,7	4,1	0,6	0,7	0,0	46,3	72,4	77,9	76,1	5,8	10,4	12,2	12,9
30 à <32	0,0	4,8	1,3	7,6	4,8	1,3	7,6	0,0	57,3	56,6	81,3	71,9	0,5	1,8	0,7	0,8
32 à <34	1,1	9,6	2,3	2,4	9,6	2,3	2,4	0,0	58,3	8,7	18,0	40,2	0,0	0,0	0,0	0,0
34 à <36	0,0	21,4	4,8	0,0	21,4	4,8	0,0	0,0	42,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

La réduction du débit de plus de 280 m³/h/place entre les salles témoins et celles en débit réduit (DR et GGR) a eu un léger effet d'augmentation des T_{int} lorsque la T_{ext} se situait entre 22 et 28 °C, mais ce n'était aucunement problématique.

Aucune autre analyse n'a été possible, car les données quotidiennes de température et humidité ne peuvent pas être comparées entre elles, puisque dans chacune des salles pour un moment donné, les truies ne sont pas au même stade (nombre de jours péripartum) et les consignes de température ne sont pas les mêmes.

4.2.1.2 Distribution et vitesse d'air

La recirculation de l'air dans les salles de mise bas n'a pas influencé la température de l'air. La température est très homogène qu'il y ait ou non de la recirculation d'air (Tableau 14). Par contre, la vitesse d'air mesurée à plusieurs endroits dans les cages de mise bas est supérieure lorsqu'il y a de la recirculation d'air, mais demeure toutefois relativement faible pour refroidir les truies efficacement.

Tableau 14 Température et vitesse d'air à différentes hauteurs au-dessus du sol avec et sans recirculation d'air

	Avec recirculation	Sans recirculation
Température à 0,40 m du sol ¹ (°C)	30,3 ± 0,7	30,3 ± 0,3
Température à 1,30 m du sol	30,3 ± 0,7	30,2 ± 0,3
ΔT (°C)	0,0 ± 0,2	0,1 ± 0,2
Vitesse d'air au niveau des porcelets ² (m/s)	0,12 ± 0,04	0,06 ± 0,03
Vitesse d'air à 1,15 m du sol ³ (m/s)	0,42 ± 0,16	0,12 ± 0,07
Vitesse d'air dans l'allée ⁴ (m/s)	1,14 ± 0,79	0,16 ± 0,09

¹ devant la trémie

² mesurée au centre du côté de la cage de mise bas de la truie à la hauteur des porcelets

³ mesurée au centre de la cage à 1,15 m du sol

⁴ mesurée dans l'allée devant la truie à 0,4 m du sol

La vitesse d'air mesurée au niveau des porcelets (Gauche et Droite) est environ deux fois plus élevée lorsqu'il y a de la recirculation d'air (Tableau 14). Par contre, elle demeure faible et n'est pas problématique pour les porcelets. La vitesse d'air à 1,15 m du sol (Centre) est trois fois plus élevée dans les traitements avec recirculation et sept fois plus grande dans l'allée devant les truies. Donc, pour qu'une truie puisse profiter un peu plus de l'effet rafraîchissant de la recirculation, elle doit se tenir debout, ce qui n'est pas l'idéal. Encore une fois, la variation des vitesses d'air est très grande. Les vitesses d'air sont plus élevées près des ventilateurs de recirculation et diminuent lorsqu'on s'en éloigne. De plus, il y a énormément d'obstacles dans cette section (cage de pré sevrage, cage de mise bas, lampe infrarouge, éleveuse, doseur et soigneur automatique...) qui viennent dévier et ralentir la vitesse d'air. L'effet de refroidissement n'est donc pas optimal à l'intérieur des cages.

4.2.2 Rythme respiratoire et température corporelle de truies

Le stade physiologique des truies influence grandement les données de référence du rythme respiratoire et de la température rectale des truies pour une T_{int} de 21-22 °C. Le rythme respiratoire des truies passe de 6 à 9 respirations par 30 s en gestation à 18 à 23, la journée précédente la mise bas (Dewey et Straw, 2006). Quelques heures avant l'apparition du premier porcelet, cette fréquence atteint de 48 à 53 respirations par 30 s et diminue graduellement

jusqu'à 8 à 11 au courant de la lactation. Pour ce qui est de la température rectale, elle passe de 38,7 °C pour les truies gestantes à de 39,7 à 40,0 °C après la parturition et redescend à 39,3 °C jusqu'au sevrage. Le nombre de jours post-partum des truies permet donc de mieux expliquer certaines données mesurées.

Lors de la canicule, les truies de la salle de mise bas no 7 (DR) avaient le plus haut rythme respiratoire, car elles étaient à quelques heures de la parturition (Figure 18 et Tableau 15). Les données n'ont pas été prises le 22 juillet pour ne pas nuire aux déroulements des mises bas. Le rythme respiratoire des truies dans l'autre salle de ce traitement (MB 2) ne se démarque pas des autres traitements.

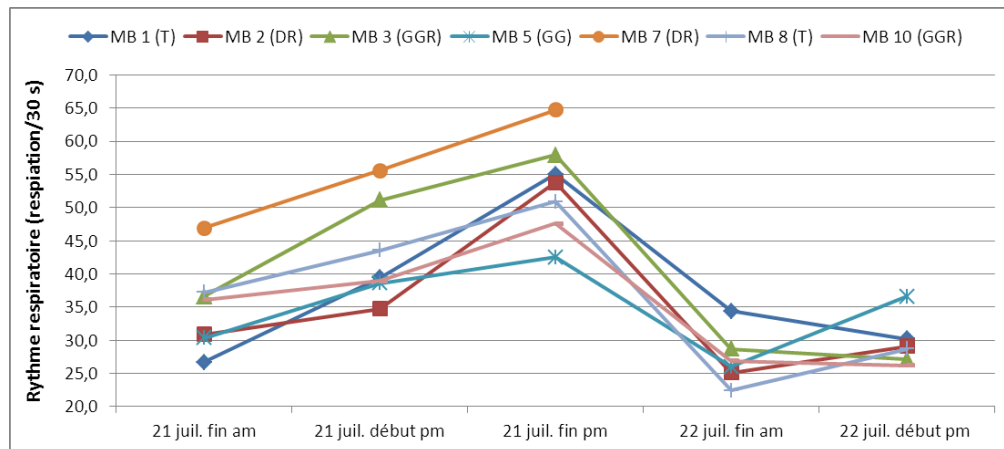


Figure 18 Évolution du rythme respiratoire des truies des quatre traitements en mise bas lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011

Tableau 15 Nombre de jours post-partum des truies en mise bas lors de la canicule du 21 et 22 juillet 2011

	T		DR		GGR		GG
Salle	MB 1	MB 8	MB 2	MB 7	MB 3	MB 10	MB 5
Jours post-partum	13	16	10	-1	7	21	5

Les truies de la salle MB 3 (GGR) ont eu la deuxième fréquence respiratoire la plus élevée. Ces truies n'étaient pas dans une période critique qui influence à la hausse le rythme normal des truies. Par contre, dans l'autre salle du traitement GGR (MB 10), le rythme respiratoire moyen des truies a été inférieur de dix respirations par minute et a été l'un des plus bas du comptage de la fin de l'après-midi du 21 juillet. Les truies du traitement GG (MB 5) ont eu la fréquence respiratoire la plus basse parmi tous les traitements lors du dernier comptage de la journée du 21 juillet. Finalement, le rythme respiratoire des truies dans les deux salles T (MB 1 et MB 8) se situe dans la moyenne.

La température rectale des truies dans les deux salles témoin (MB 1 et MB 8) a atteint le niveau le plus élevé de tous les traitements (Figure 19). Le niveau le plus bas a quant à lui été enregistré dans la salle MB 2 (DR).

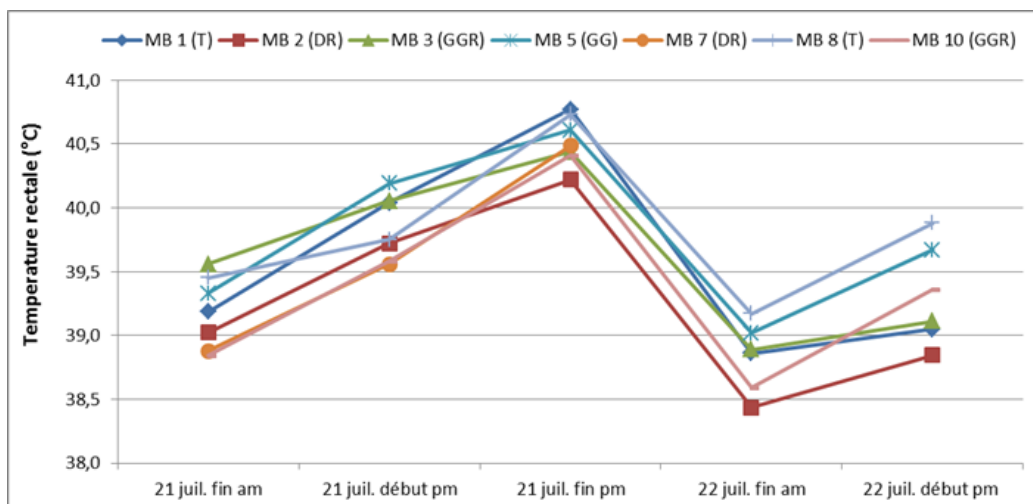


Figure 19 Évolution de la température rectale des truies des quatre traitements en mise bas lors de la canicule du 21 juillet 2011.

Pendant la canicule, les températures rectales des truies ont augmenté en moyenne de 1,39, 1,36, 1,17 et 1,28 °C pour les traitements T, DR, GGR et GG respectivement. Les systèmes de goutte à goutte ont donc permis de diminuer légèrement l'augmentation des températures corporelles des truies. Cette même tendance a été observée lors des sept autres journées où ces données ont été amassées. De plus, il est plausible de penser qu'une vitesse d'air accrue dans les salles avec un système de goutte à goutte aurait eu pour effet de refroidir davantage les truies. Il reste du travail à faire afin d'augmenter la vitesse d'air à l'aide de la recirculation à l'intérieur des cages, et ce, sans affecter le confort des porcelets.

4.2.3 Consommation d'énergie et eau

La consommation électrique des ventilateurs muraux, des ventilateurs de recirculation ainsi que des lampes infrarouges ont été mesurée quotidiennement pour chacune des salles de mise bas. Pour l'analyse des données en période chaude, les données ultérieures au 30 septembre ne sont pas considérées.

Il faut mettre un bémol sur les consommations d'énergie des différentes salles en mise bas, car selon le stade physiologique des truies et des porcelets, les consignes de température varient entre 18,9 et 22,8 °C, soit 3,9 °C de différence. Cette consigne influence directement les temps de fonctionnement des ventilateurs de recirculation et des lampes infrarouge, car ces dernières s'éteignaient lorsque la T_{int} de la salle était supérieure de 2,5 °C à la consigne.

Les consommations quotidiennes moyennes d'énergie par truie ont varié entre 1,84 et 2,87 kWh/truie/j (Tableau 16). Les données de consommation sont très hétérogènes à l'intérieur d'un même traitement et ne permettent pas d'établir de tendance. Par exemple, la consommation des salles du traitement DR varie de 1,84 kWh/truie/j, soit la plus basse consommation, à 2,78 kWh/truie/j, soit la deuxième plus haute consommation de toutes les salles.

Tableau 16 Consommation moyenne quotidienne d'énergie et d'eau des différents traitements en mise bas du 11 juillet au 30 septembre

Salle	T		DR				GGR		GG
	1	8	2	6	7	9	3	10	5
Consommation d'énergie ¹ (kWh/truie/j)	2,87	2,40	2,78	2,46	1,84	2,05	1,97	2,43	2,27
Consommation d'eau									
Abreuvement (l/truie/j)	25,7	27,6	27,4	26,8	24,5	26,3	26,8	22,9	25,2
Refroidissement (l/truie/j)	SO	SO	SO	SO	SO	SO	0,5	1,8	0,4
Totale (l/truie/j)	25,7	27,6	27,4	26,8	24,5	26,3	27,3	24,7	25,6
Moyenne par traitement	26,7		26,3				26,0		25,6

¹ Ventilateurs muraux et de recirculation

La consommation totale d'eau, incluant l'eau de refroidissement, est semblable dans les quatre traitements mis à l'essai.

4.3 Coûts des investissements en maternité

Le coût du matériel requis pour chaque traitement a été calculé pour chaque salle. Cependant, le bâtiment a subi de nombreuses rénovations en même temps que le matériel du projet était installé, notamment au niveau du système électrique. Il a donc été impossible d'isoler les coûts de main-d'œuvre uniquement reliés à la pose du matériel du projet.

Pour la gestation, c'est la recirculation qui a demandé les investissements les moins importants par place (6,80 \$/place; Tableau 17). Cependant, la configuration des cages (tête à tête plutôt que dos à dos) a permis de limiter le nombre de ventilateurs de recirculation nécessaire au projet. C'est la brumisation qui a nécessité les investissements les plus importants, soit 20,89 \$/place.

Tableau 17 Coût du matériel en maternité

	Gestation				Mises bas		
	DR	GG	B	R	DR	GGR	GG
Par salle	2 046 \$	3 101 \$	5 432 \$	1 564 \$	514\$	864\$	638\$
Nombre de places	136	182	260	230	21	21	14
\$/place	15,04 \$	17,04 \$	20,89 \$	6,80 \$	24,48 \$	41,14 \$	45,57 \$

Pour la mise bas, l'installation du débit réduit a nécessité les investissements les moins élevés, soit 24,48 \$/place. Des trois traitements, le système goutte à goutte s'est révélé le plus cher, à 45,57 \$/place, soit près du double du traitement DR. Les coûts par place augmentent considérablement pour les petites salles, car l'équipement est sous-utilisé par rapport à sa capacité.

4.4 Impacts sur le coût de systèmes de filtration de l'air en maternité

Un des objectifs de la diminution du débit d'air est de réduire les coûts liés à l'implantation de systèmes de filtration d'air. Les coûts d'installation de la filtration d'air et des remplacements des filtres pour la maternité de Sainte-Brigide au débit standard (246 et >560 m³/h/truie en gestation et en mise bas respectivement) et un autre en débit réduit (178 et 357 m³/h/truie en gestation et en mise bas respectivement) ont été évalués avec deux types de filtres (filtres mécaniques à caisson et filtres rideaux munis d'agents antimicrobiens).

Tableau 18 Évaluation des économies potentielles reliées au débit réduit pour la filtration en maternité

	Débit standard		Débit réduit	
	Filtre mécanique	Filtre rideau antimicrobien	Filtre mécanique	Filtre rideau antimicrobien
Coûts des immobilisations¹				
Investissement équipements ²	39 600 \$	15 500 \$	18 625 \$	15 500 \$
Annuités ³	5 398 \$	2 113 \$	2 539 \$	2 113 \$
Coûts d'exploitation (filtres et préfiltres)				
Achat de départ	64 500 \$	57 950 \$	30 700 \$	30 435 \$
Coûts de remplacement (10 ans) ⁴	212 833 \$	186 383 \$	101 467 \$	96 432 \$
Coûts annuels d'exploitation	27 733 \$	24 433 \$	13 217 \$	12 687 \$
Total des coûts				
\$/année	33 132 \$	26 546 \$	15 756 \$	14 800 \$
\$ place/année	36,81 \$	29,50 \$	17,51 \$	16,44 \$
Économie sur les coûts annuels de filtration avec le débit réduit (\$/place)			19,31 \$	13,05 \$

1 Les coûts d'installation des filtres, préfiltres et volets anti-retour ne sont pas considérés. Le coût d'achat des volets anti-retour ainsi que les coûts d'adaptation du bâtiment et de la ventilation ne sont pas pris en compte. De plus, il est important de noter que les coûts réels vont varier selon les entreprises (ex. : escomptes de volume, niveau de rénovation à apporter...)

2 Coûts pour les transitions, accessoires et attaches.

3 Financement 10 ans à 6,5 %

4 Filtres remplacés aux 3 ans en moyenne et préfiltres aux six mois.

Globalement, les coûts de la filtration d'air diminuent de près de la moitié avec un débit réduit, avec des économies annuelles de 13 à 19 \$/place truie par année. Également, il est plausible de considérer qu'il y aura des économies supplémentaires liées à la réduction du débit d'air qui diminue la quantité de volets anti-retour d'air à installer, les coûts d'installation des filtres et les coûts d'adaptation du bâtiment. Ces économies sont supérieures aux coûts d'installation et d'énergie des traitements débit réduit et goutte à goutte en gestation et du débit réduit en mise-bas. Cela suggère que, dans le cas de l'installation d'un système de filtration, l'ajout de certains systèmes pour réduire le débit de ventilation pourrait se financer à même des économies réalisées sur les coûts d'investissements et d'exploitation du système de filtration.

Engraissement

5. Matériel et méthodes

5.1 Bâtiment et animaux

5.1.1 Description du site expérimental

L'expérimentation s'est déroulée à la ferme Petite Barbue entre le 26 mai et le 22 septembre 2011. Cet engraissement de 990 places, situé à Saint-Césaire, comprend trois salles de 24 parcs (salle 1, 2 et 3) et une salle de 27 parcs (salle 4), dont chaque parc compte dix porcs (Figure 20).

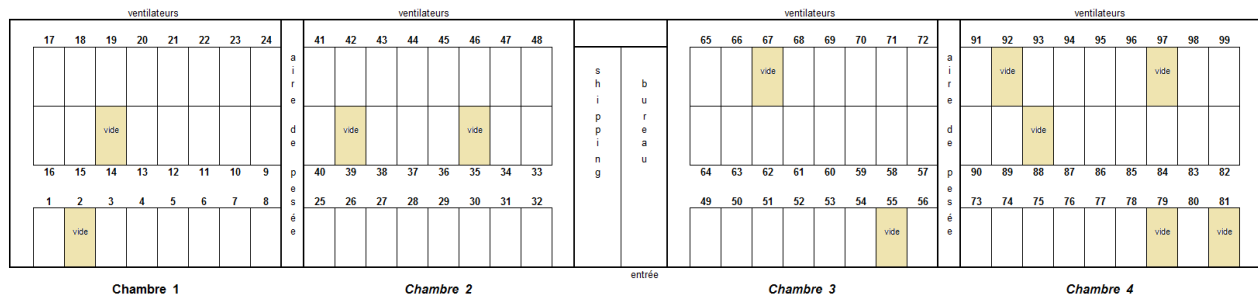


Figure 20 Plan de l'engraissement Petite Barbue

Les cloisons entre les parcs étaient en béton et aient 1 m de hauteur (Figure 21). Pour les rangées de parcs dos à dos, les cloisons de fonds de parc mesuraient 0,6 m de hauteur et étaient surmontées par trois barres de métal. Le plancher était constitué de deux sections lattées et d'une zone de confort en béton plein au centre du parc.



Figure 21 Vue d'un parc d'engraissement

5.1.2 Animaux et alimentation

Huit cent quatre-vingts porcs, soit 440 castrats et 440 femelles, ont été pesés et répartis dans chacun des parcs de façon à avoir un poids total moyen similaire par parc et par salle. Il y avait cinq femelles et cinq castrats par parc de 25 à 125 kg. La superficie de plancher par porc était de 0,7 m².

Tous les animaux ont été alimentés *ad libitum* en alimentation sèche. Ils ont reçu une diète commerciale en cinq phases d'aliment et de la ractopamine environ 20 jours avant l'abattage. Le changement d'aliment a été effectué par salle sauf pour la moulée ayant de la ractopamine. Ce

changement a été réalisé par parc après que les porcs aient tous consommé la même quantité de moulée finition.

L'eau était disponible à volonté grâce à un abreuvoir économiseur d'eau avec un pousse-tube dans chaque parc (modèle de type urinoir, GDL, Saint-Bernard, QC, Canada).

5.1.3 Contrôle des paramètres d'ambiance

Les salles de la ferme étaient ventilées de façon indépendante (EVS 32HA, Norsol, Saint-Hubert, QC, Canada). La consigne de température à l'entrée des porcelets était de 20 °C et elle diminuait graduellement de 0,6 °C par semaine jusqu'à 17 °C. Les ventilateurs assurant la ventilation des salles sont décrits au tableau 19.

Tableau 19 Ventilateurs présents dans chacune des salles (nombre, dimension, marque)

Palier de ventilation	Salle 1	Salle 2	Salle 3	Salle 4
Palier 1	2 x 12" Leeson	2 x 12" Leeson	2 x 12" Leeson	2 x 12" Leeson
Palier 2	1 X 18" Multifan	1 X 18" Multifan	1 X 18" Leeson	1 X 18" Leeson
Palier 3	2 X 18" Multifan	2 X 18" Multifan	2 X 18" Leeson	2 X 18" Leeson
Palier 4	2 X 18" Multifan	2 X 18" Multifan	2 X 18" Leeson	2 X 18" Leeson

5.2 Traitements

En engraissement, quatre stratégies de ventilation ont été testées. Le traitement témoin a été assigné à la salle 1 (Tableau 20). Aucune modification n'a été faite à cette section. Le débit d'air dans cette salle était de 136 m³/h par porc. Les traitements DM, BR et AS ont été attribué respectivement aux salles 2, 3 et 4. Pour ces trois traitements, six ventilateurs de recirculation (Marathon Electric, Wausau, WI, États-Unis) de 760 mm (30 po) de diamètre ont été fixés au plafond, soit deux par rangée de parcs, espacés l'un de l'autre de huit mètres (Figure 22).

Tableau 20 Description des quatre traitements

Traitement	Sigle	Salle	Description
Témoin	T	1	Débit d'air de 136 m ³ /h/porc (80 pi ³ /min/porc)
Débit moyen	DM	2	Débit d'air de 102 m ³ /h/porc (60 pi ³ /min/porc) et 6 ventilateurs de recirculation
Brumisateurs	BR	3	Débit de 76,5 m ³ /h/porc (45 pi ³ /min/porc), 6 ventilateurs de recirculation avec un système de brumisation
Asperseurs	AS	4	Débit de 76,5 m ³ /h/porc (45 pi ³ /min/porc), 6 ventilateurs de recirculation et un système d'aspersions

Tableau 21 Ajustement des écarts et des différentiels de ventilation selon les traitements

Palier de ventilation	T	DM, BR et AS
Stade 1 minimum	Inférieur à la consigne	Inférieur à la consigne
Stade 1 maximum	Consigne + 0,8 °C	Consigne + 0,8 °C
Stade 2 minimum	Consigne + 1,1 °C	Consigne + 1,1 °C
Stade 2 maximum	Consigne + 1,9 °C	Consigne + 1,9 °C
Stade 3 minimum	Consigne + 2,2 °C	Consigne + 2,2 °C
Stade 3 maximum	Consigne + 2,8 °C	Consigne + 2,5 °C
Stade 4	Consigne + 3,1 °C	Consigne + 2,8 °C
Recirculation		Consigne + 4,4 °C

Pour le traitement BR, un cerceau comportant six buses à haute pression (3001-B, FIBI Green Industrie LTD, Taoyuan Hsien, Taiwan) a été fixé sur chaque ventilateur (Figure 23). Le système de brumisation était actionné par une pompe à pression (56B17F5584EP, Marathon Electric) et un contrôle CM-4 (Norsol Électronique, Saint-Hubert, QC, Canada) gérant la consigne et les temps de marche de ce système.



Figure 23 Système de brumisation du traitement BR

Le système de brumisation se mettait en fonction une minute toutes les quatre minutes lorsque la température dans la pièce dépassait 29,4 °C. Au-delà de 32,2 °C, le système était en marche une minute sur deux.

Tableau 22 Ajustement du système de brumisation et d'aspersion

	Brumisation	Asperseur
Température de mise en marche	29,4 °C	29,4 °C
Temps de marche	1 min	1 min
Temps d'arrêt	3 min	15 min
Température de mise en marche 2	32,2 °C	32,2 °C
Temps de marche 2	1 min	1 min
Temps d'arrêt 2	1 min	10 min

Le système d'aspersion du traitement AS était contrôlé automatiquement (CM-4, Norsol Électronique, Saint-Hubert, QC, Canada). Ce dernier se mettait en fonction lorsque la température de la salle était supérieure à 29,4 °C (Tableau 22). Il fonctionnait pendant une minute et il était arrêté pendant 15 minutes. Lorsque la température dans la salle dépassait 32,2 °C, il fonctionnait une minute pour seulement dix minutes d'arrêt. Il s'agit du système de gicleur qui était utilisé pour détremper la matière organique sur les surfaces avant le lavage des salles. Le système a été légèrement modifié, c'est-à-dire que les descentes d'eau, au bout desquelles se retrouve la buse, ont été rallongées de 0,3 m dans le but de diminuer la surface d'aspersion et ainsi éviter que l'eau ne se retrouve dans les trémies.

5.3 Dispositif expérimental et analyses statistiques

L'unité expérimentale pour cette expérimentation était une salle. Il y avait dix porcs par parc et 22 parcs par salle. Deux parcs sélectionnés aléatoirement dans les salles 1 à 4 étaient vides au début de l'expérience et ont servi de parc « hôpital » (Figure 22). Dans la salle 4, qui comprend 27 parcs et non 24 comme les trois autres salles, trois parcs supplémentaires étaient vides pour avoir le même débit d'air par porc ($\text{m}^3/\text{h}/\text{porc}$) dans toutes les salles.

5.4 Collecte des données

5.4.1 Température et humidité

La température et l'humidité relatives ont été mesurées toutes les cinq minutes grâce à deux appareils d'acquisition de données (HOBO U10-003, Onset, Bourne, MA, États-Unis) installées dans chacune des salles, près des sondes de température des contrôles de ventilation. Un autre appareil a été placé à l'extérieur pour enregistrer les températures extérieures (T_{ext}). Les températures minimum et maximum journalière enregistrées par le contrôleur de la ventilation dans chaque salle ont également été notées.

5.4.2 Mesure des concentrations de gaz et poussière

La concentration en ammoniac (NH_3) a été prise ponctuellement à l'aide de dosi-tube passif (3D, Gastec, Kanagawa, Japon). Pour le CO_2 , un détecteur monogaz (Pac 7000, Dräger, Mississauga, ON, Canada) a été utilisé pour détecter une concentration dangereuse de CO_2 . Le seuil de détection de l'instrument est de 1000 ppm.

Le nombre de particules de poussière en suspension dans l'air a été mesuré à l'aide d'un compteur de particules (Fluke 983, Mississauga, ON, Canada). Trente échantillons par salle d'un litre d'air ont été pris pour déterminer la moyenne de particules de poussière par salle. Pour le traitement BR, les dix premières mesures ont été éliminées, car le système de brumisation a fonctionné à plusieurs reprises avant de commencer à prendre des mesures dans cette salle et il restait de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air qui ont un impact sur le nombre de particules en suspension.

Le niveau sonore a été mesuré dans une salle à huit reprises lorsque les ventilateurs muraux fonctionnaient à plein régime et à six autres reprises alors que les ventilateurs muraux et de recirculation étaient en fonction (ST-805, Reed, Long Branch, NJ, EU).

5.4.3 Distribution et vitesse d'air

Des mesures de vitesse d'air et de température ont été effectuées avec un anémomètre à fil chaud (Velocicalc Plus Model 8360, TSI Inc, Saint-Paul, Mn, États-Unis) une fois durant le déroulement du projet alors que les ventilateurs muraux et de recirculation fonctionnaient au maximum. Ces mesures ont été prises au centre des parcs à 0,3 m au-dessus du sol et à la hauteur des sondes de température soit 1,6 m, et ce, dans tous les parcs de tous les

traitements. Lors de ces prises de mesure, la T_{ext} était autour de 27,7 °C et le poids moyen des porcs était environ de 98 à 102 kg. La température de consigne à ce moment était de 17,2 °C.

5.4.4 Consommation d'électricité et d'eau par les systèmes de refroidissement

La consommation électrique des ventilateurs d'extraction et de recirculation a été mesurée quotidiennement à l'aide de moniteur d'énergie (MTP-3000, Les Instruments MTP, Montréal, Qc, Canada), et ce, pour chacun des traitements.

La consommation d'eau d'abreuvement a été mesurée à l'aide de compteur d'eau à pulse (C-700, Les Compteurs Lecompte Ltée, Saint-Hyacinthe, QC, Canada) et notée quotidiennement, et ce, pour chacune des salles. De plus, les quantités d'eau utilisées par les systèmes de brumisation et d'aspersion ont également été enregistrées par ces mêmes compteurs.

Tous problèmes de fonctionnement ou bris au niveau des systèmes de refroidissement ont été notés dans un registre ainsi que les correctifs qui ont été apportés pour régler le problème.

5.5 Performances zootechniques

Durant l'élevage, les porcs ont été pesés à quatre reprises, soit lors de leur sélection en pouponnière (25 kg), lors du changement de la moulée début à la moulée croissance (60 kg), lors du changement de la moulée croissance à la moulée finition (90 kg) et le jour de leur départ (125 kg). La quantité de moulée distribuée quotidiennement a été notée.

Le gain moyen quotidien et l'ingéré moyen quotidien technique ainsi que la conversion alimentaire économique¹ et le taux de mortalité ont été calculés par traitement et par période. L'indice de classement à l'abattoir des porcs ainsi que des données sur la qualité des carcasses ont aussi été recueillis.

La durée moyenne d'engraissement des porcs et la consommation moyenne d'eau par porc ont été calculées selon les équations 1 et 2 respectivement.

$$\text{Durée d'engraissement} = \sum \text{jours d'engraissement des porcs abattus} / \text{nombre de porcs vendus}$$

$$\text{Consommation d'eau } (l/\text{porc.jour}) = \frac{\text{eau totale distribué}(m^3) \times 1000}{\sum_{p=1}^{220} \text{Jour}}$$

Où : p= Porc 1, 2, 3 ...

¹ Le calcul de la conversion alimentaire technique n'était pas possible, car le poids des animaux morts n'était pas disponible.

6. Résultats et discussion

6.1 Conditions d'ambiance

6.1.1 Température et humidité

La température extérieure (T_{ext}) a été supérieure à 30 °C, température à partir de laquelle les porcs commencent à avoir de la difficulté à se rafraîchir à l'aide d'un courant d'air, car elle se rapproche de la température à la surface de la peau des porcs, 5,66 % du temps durant l'été, soit l'équivalent de 161,7 h (Tableau 23).

Tableau 23 Fréquence d'observation (%) de différentes catégories de température extérieure (T_{ext}) selon les mois durant le lot (26 mai au 22 septembre 2011)

Mois	Température extérieure (°C)						
	<10	10-<15	15-< 20	20-<25	25-<30	30-<35	≥35
Mai	0,00	18,79	34,59	33,13	13,50	0,00	0,00
Juin	0,95	12,12	37,17	26,03	18,65	5,09	0,00
Juillet	0,00	4,93	20,14	28,81	33,32	12,26	0,54
Août	0,00	9,31	35,02	31,93	20,06	3,67	0,00
Septembre	11,92	29,89	34,77	20,13	3,29	0,00	0,00
Total	2,34	12,87	31,57	25,56	20,00	5,52	0,14

La journée la plus chaude de l'été a été le 21 juillet et la T_{ext} a été supérieure à 35 °C pendant près de 4 h (Figure 24). Dans tous les traitements, les T_{int} maximales étaient pratiquement toujours inférieures à la T_{ext} lorsque le mercure dépassait 32 °C. Les T_{int} des traitements BR et AS, qui avaient des systèmes de refroidissement par l'eau, ont toujours été inférieures aux traitements T et DM. La nuit, lorsque l'air extérieur se rafraîchit et que les systèmes de refroidissement par l'eau ne fonctionnent pas, les T_{int} des traitements T et DM diminuent plus rapidement que celles qui ont moins de débit (BR et AS) car le débit d'air dans ces salles est plus élevé (Figure 24). L'impact du débit d'air est plus marqué lorsque deux journées chaudes sont entrecoupées d'une nuit fraîche.

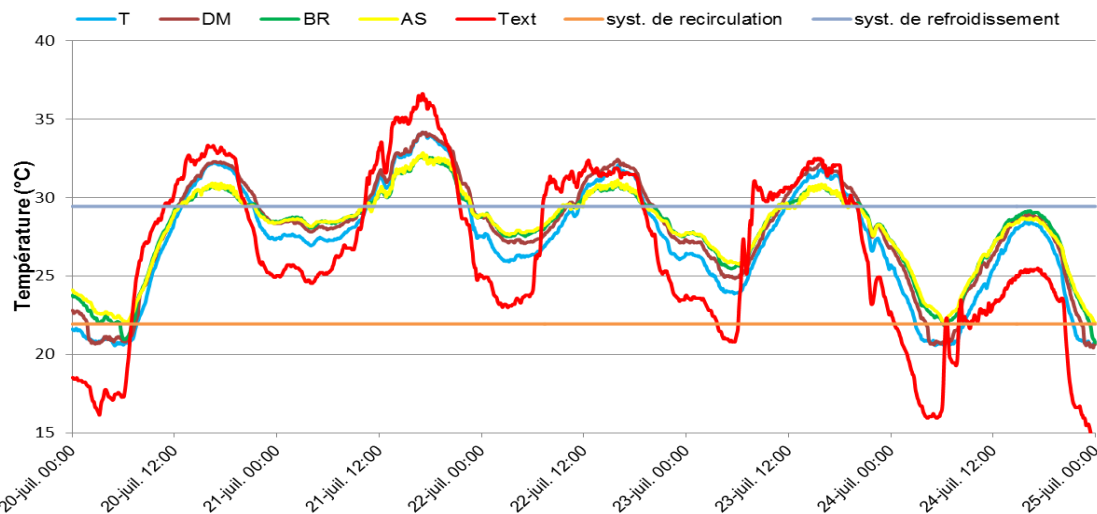
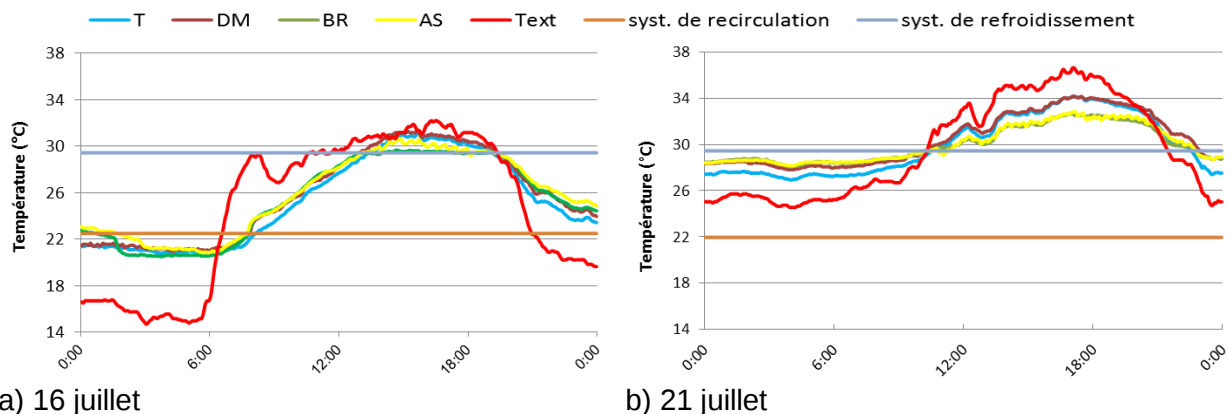


Figure 24 Températures intérieure et extérieure enregistrées lors de la canicule (20 au 24 juillet)

La température à l'intérieur du bâtiment s'est réchauffée plus lentement que la T_{ext} , et ce, pour tous les traitements. Ce phénomène peut s'expliquer par l'inertie thermique du bâtiment. Ceci a permis d'obtenir un déphasage thermique par rapport à la T_{ext} , c'est-à-dire un décalage dans le temps de l'augmentation de la T_{int} par rapport à la T_{ext} . La T_{int} augmentait plus lentement que la T_{ext} . L'inverse était aussi vrai, c'est-à-dire que la T_{ext} baissait plus rapidement que la T_{int} .

Les deux systèmes de refroidissement par l'eau se mettaient en fonction lorsque les T_{int} dépassaient 29,4 °C. Ces systèmes ont permis de maintenir la température des pièces plus froides que celles des traitements T et DM.

Cependant, l'efficacité du système de brumisation à diminuer la T_{int} était supérieure lorsque l'air ambiant était sec. Par exemple, lors du 16 juillet, une journée chaude avec une humidité relative basse (40-45 %), la brumisation a permis de maintenir la T_{int} à la consigne de départ du système de refroidissement (Figure 25a). Par contre, au Québec, la chaleur est habituellement accompagnée d'une humidité relative élevée à cause du climat continental humide. Ainsi, lorsque l'air ambiant était très chaud et humide, comme le 21 juillet (65 à 75 % d'humidité) le système de brumisation a été moins efficace (Figure 23b). La T_{int} du traitement BR ne s'est pas maintenue en dessous de celle du traitement AS, mais elle a quand même moins augmenté que dans les traitements qui n'avaient pas de système de refroidissement par l'eau (T et DM).



a) 16 juillet

b) 21 juillet

Figure 25 Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée chaude et sèche (a) et d'une journée chaude et humide (b) lorsque les systèmes de refroidissement (BR et AS) sont en fonction

Dans des cas extrêmes, comme lors de la canicule du 21 juillet, la T_{int} du traitement BR était de 32 °C et l'humidité relative de 81 % ce qui donne un indice humidex de 48 °C. Au même moment, les conditions ambiantes de la salle témoin étaient de 33 °C avec une humidité relative de 71 % ce qui correspond à un indice humidex de 47 °C. Donc même si la température atteinte était un peu plus basse dans le traitement BR, les porcs auraient pu ressentir plus d'inconfort que dans le traitement T si l'effet de refroidissement de la recirculation n'avait pas été présent.

L'aspersion a permis aussi de diminuer la température de la pièce, mais un peu moins que la brumisation. Par contre, cette technique permet de rafraîchir directement les animaux en les mouillant. L'effet combiné de l'évaporation de l'eau sur leur peau et du courant d'air créé par les ventilateurs de recirculation fait diminuer considérablement la température ressentie par les porcs.

Lors des journées plus fraîches ($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$), les traitements ayant le moins de débit ont des températures légèrement supérieures, car la diminution du débit d'air ne permet pas de sortir aussi rapidement la chaleur sensible dégagée par les porcs (Figure 26).

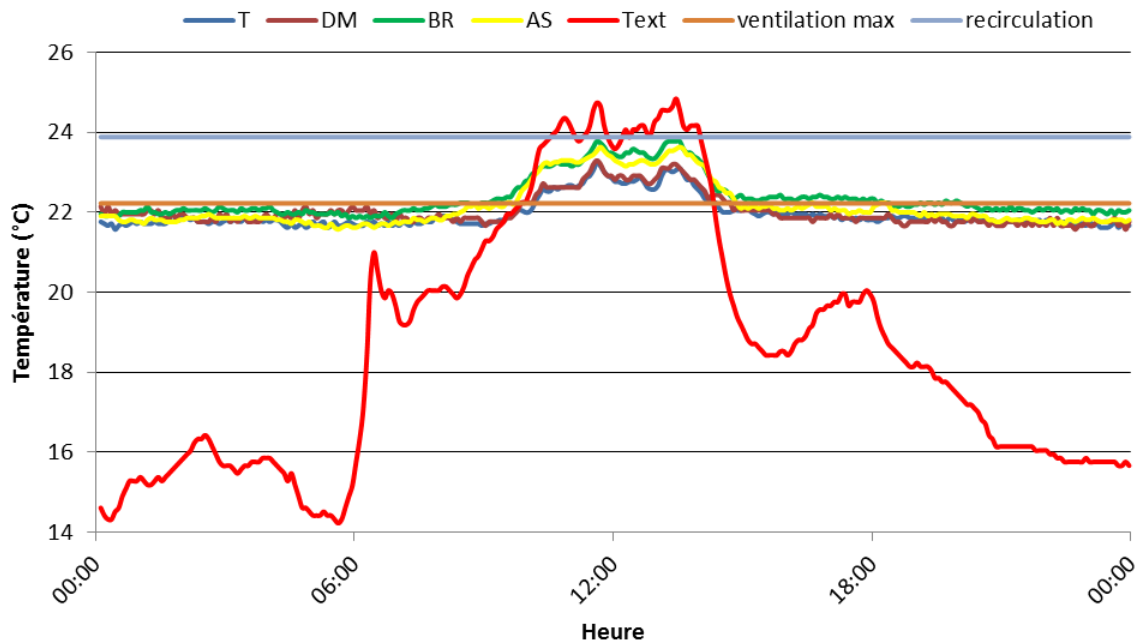


Figure 26 Évolution typique des températures intérieures lors d'une journée fraîche (11 juin)

Lorsque la T_{ext} était supérieure à $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'écart entre la température dans les salles des différents traitements et la salle témoin a toujours été inférieur à $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tableau 24). Le traitement DM a été aussi efficace que le traitement T pour évacuer la chaleur, car il y a eu quasiment aucun ΔT supérieure à $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pour les traitements AS et BR, la fréquence d'observation de ΔT entre 2 et $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a été plus importante ($\sim 30\%$) entre 16 et $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ alors que la température dans les salles commence à augmenter, mais que les systèmes de refroidissement par l'eau n'ont pas commencé à fonctionner. Il faut toutefois considérer que les ventilateurs de recirculation étaient alors en fonction pour refroidir les animaux et contrer l'effet de ces écarts de température par rapport à la salle témoin.

Tableau 24 Fréquence d'observation (%) des différences de température (ΔT) entre chaque traitement expérimental et le traitement témoin selon la température extérieure (T_{ext}) durant l'élevage¹

T_{ext} (°C)	Équivalent jour	ΔT entre les traitements et la salle témoin (°C) (Traitement – Témoin)								
		< 0 (plus froid que la salle T)			0 à < 2			2 à < 4 (plus chaud que la salle T)		
		DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS
< 14	12,63	38,6	66,1	74,9	33,8	41,1	25,0	0,1	0,1	0,1
14 à < 16	10,91	25,2	26,8	42,6	74,8	64,2	50,2	0,0	9,0	6,8
16 à < 18	16,07	25,0	15,3	30,4	74,8	55,7	39,6	0,2	29,0	30,0
18 à < 20	16,06	12,0	11,1	13,3	88,0	58,4	56,4	0,0	30,5	30,4
20 à < 22	15,26	10,6	3,6	8,4	89,4	71,8	71,2	0,0	24,6	20,4
22 à < 24	11,70	8,6	2,2	7,3	91,4	80,1	84,8	0,0	17,7	7,9
24 à < 26	11,54	7,0	4,4	7,9	93,0	90,0	90,7	0,0	5,7	1,4
26 à < 28	9,48	5,4	2,3	6,2	94,6	97,2	93,6	0,0	0,6	0,2
28 à < 30	8,61	12,0	10,9	21,9	88,0	89,0	78,0	0,0	0,2	0,1
30 à < 32	5,19	11,6	38,3	47,3	88,4	61,7	52,8	0,0	0,0	0,0
32 à < 34	1,27	16,1	90,6	92,5	83,9	9,4	6,9	0,0	0,0	0,0
34 à < 36	0,23	9,2	100,0	100,0	90,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
> 36	0,05	7,1	100,0	100,0	92,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ 26 mai au 22 septembre 2011

Lorsque les systèmes de refroidissement par l'eau (traitements BR et AS) se mettaient en fonction ($T > 29,4$ °C), la fréquence d'observation de température plus froide dans ces salles que dans la salle témoin augmentait (Tableau 24). De plus, lorsque la température dans les salles atteignait 32,2 °C, les systèmes fonctionnaient à intervalle plus court et dans plus de 90 % du temps, les T_{int} étaient inférieures à la T_{int} du traitement T.

Par conséquent, étant donné que les T_{int} dans les salles munies de ventilateurs de recirculations n'ont jamais été supérieures à 4 °C par rapport à la salle témoin et considérant l'effet de refroidissement des ventilateurs de recirculation et des systèmes de refroidissement à l'eau, il apparaît que la diminution de débit d'air n'a pas eu d'impact majeur sur la sensation de chaleur ressentie par les porcs. En effet, cette augmentation de température était compensée par l'effet de refroidissement par la vitesse d'air et par la brumisation ou aspersion.

Plus il fait chaud, plus l'air qui entre dans la porcherie est chaud et plus sa capacité à refroidir les porcs est faible. Lorsque la température ambiante se rapproche de celle de la peau des porcs, soit vers 30 à 32 °C, le dégagement de chaleur sensible devient faible et celui de chaleur latente élevée (Figure 15). Ainsi, puisque la chaleur latente ne contribue pas à faire augmenter la température ambiante, un plus faible débit réussi à évacuer l'humidité, les gaz et la faible chaleur produits par les porcs. À ces températures plus élevées, l'usage de brumisateurs par temps plus sec et d'asperseurs par temps sec et humide s'avère les méthodes de refroidissement les plus efficaces lorsque jumelé à l'utilisation de ventilateurs de recirculation.

Les différences de T_{int} dans les salles des traitements expérimentaux et la température extérieure sont élevées lorsque les T_{ext} sont fraîches (Tableau 25), car la consigne de température demandée est toujours supérieure à la T_{ext} . Dans ces moments, les systèmes de ventilation fonctionnent au minimum pour éviter de trop sortir de chaleur et maintenir la température désirée dans les salles. Il est donc normal d'avoir des ΔT entre les T_{int} dans les salles et la T_{ext} élevées.

Tableau 25 Fréquence d'observation (%) de la différence de température (ΔT) entre les traitements et la température extérieure (T_{ext}) durant l'élevage

T_{ext} (°C)	ΔT entre la température intérieure et la température extérieure (°C)																			
	< - 2				-2 à < 0				0 à < 2				2 à < 4				> 4			
	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS
14 à <16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	7	98	97	98	93
16 à <18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	51	30	20	22	49	69	79	78
18 à <20	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	4	3	83	58	41	38	8	37	56	58
20 à <22	0	0	0	0	4	2	2	2	32	23	17	17	61	53	32	33	4	23	50	48
22 à <24	4	2	1	1	19	14	10	10	39	32	24	26	37	46	45	44	2	6	21	20
24 à <26	15	10	7	6	26	22	18	18	38	37	33	36	20	31	39	39	0	1	3	1
26 à <28	26	16	13	13	37	41	35	37	31	35	37	38	5	8	14	12	0	0	0	0
28 à <30	25	17	12	14	53	52	48	55	22	31	41	31	0	1	0	0	0	0	0	0
30 à <32	36	27	24	26	58	62	72	73	6	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
32 à <34	25	19	70	73	75	79	30	27	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34 à <36	65	51	97	91	35	49	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>36	100	93	100	100	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 26 Fréquence d'observation (%) des différences d'humidités relatives (ΔHR) entre les traitements et la salle témoin (T)

T_{ext} (°C)	ΔHR entre les traitements et la salle témoin (%)														
	< -10 à < -5 (moins humide que T)			-5 à < 0			0 à < 5			5 à < 10			10 à > 20 (plus humide que T)		
	DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	As
< 18	13	32	33	83	55	48	4	12	18	0	0	1	0	0	0
18 à < 20	17	37	42	80	54	50	3	9	8	0	0	0	0	0	0
20 à < 22	18	34	34	75	55	54	7	12	12	0	0	1	0	0	0
22 à < 24	12	19	18	78	64	60	9	17	20	0	0	2	0	0	0
24 à < 26	6	8	8	80	58	52	15	32	33	0	3	7	0	0	0
26 à < 28	4	5	5	79	57	50	18	32	38	0	5	7	0	1	1
28 à < 30	1	1	1	70	38	29	29	43	48	0	14	16	0	5	6
30 à < 32	1	0	0	70	22	19	29	43	34	0	19	29	0	16	18
32 à < 34	1	1	1	57	2	2	42	24	8	0	24	55	0	49	35
34 à < 36	0	0	0	85	0	0	15	8	0	0	5	57	0	88	43
> 36	0	0	0	50	0	0	50	0	0	0	0	0	0	100	100

À l'inverse, lorsque les T_{ext} sont chaudes (plus de 32 °C), les températures à l'intérieur des salles sont égales ou inférieures à la température extérieure. Au fur et à mesure que la température ambiante s'élève, la perte de chaleur sensible des porcs diminue tandis que celle de chaleur latente augmente par l'accroissement du rythme respiratoire (Figure 15). De plus, l'inertie thermique du bâtiment lors de chaudes températures permet de maintenir l'air ambiant de la porcherie plus frais que la température extérieure. Donc plus il fait chaud, moins les porcs perdent de chaleur sensible et plus les ΔT se rapprochent de zéro. À chaque augmentation de 4 °C à partir de 24 °C, le ΔT tend à diminuer de 2 °C.

Les différents traitements testés semblent avoir eu peu d'effet sur l'humidité relative en comparaison avec la salle témoin (Tableau 26). En effet, 98,1 % des observations faites pendant le lot se situaient à plus ou moins 10 % d'humidité par rapport à la salle témoin. Donc, même s'il y avait moins de débit d'air dans les traitements BR et AS, le débit était quand même suffisant pour sortir l'humidité dégagée par les porcs. Les seuls moments où il y avait une plus grande différence d'humidité sont lorsque les systèmes de refroidissement par l'eau se mettaient en fonction. Et même dans ces cas-là, l'humidité relative n'a jamais été supérieure de plus de 20 % par rapport à la salle témoin. Ce qui est bien.

6.1.2 Distribution et vitesse d'air

Lorsque les ventilateurs de recirculation se mettaient en fonction, la température dans la pièce augmentait de 1 à 2 °C. Ce phénomène s'expliquerait par la recirculation d'air qui permettait de dissiper dans la pièce la couche de chaleur sensible qui entoure les porcs. En effet, le ΔT moyen entre la température à 0,4 et 1,6 m du sol est de 0,2 °C $\pm$ 0,3 °C avec la présence de recirculation et augmente à 0,5 °C $\pm$ 0,5 °C lorsqu'il n'y en a pas (Tableau 27). Donc, la température d'une salle est légèrement plus homogène lorsqu'il y a des ventilateurs de recirculation en fonction.

Tableau 27 Différence de température (°C) entre deux niveaux avec ou sans recirculation d'air

Hauteur de la mesure par rapport au sol	Avec recirculation	Sans recirculation
0,4 m (au niveau des porcs couchés)	28,5 $\pm$ 0,6	26,7 $\pm$ 1,1
1,6 m (au niveau des sondes de température)	28,3 $\pm$ 0,7	26,1 $\pm$ 1,2
ΔT	0,2 $\pm$ 0,3	0,5 $\pm$ 0,5

Dans le traitement T, la vitesse moyenne d'air mesurée à la hauteur des sondes était deux fois plus élevée qu'au niveau des porcs couchés et cette vitesse était très faible (Tableau 28). Dans les traitements ayant de la recirculation d'air (DM, BR et AS), la vitesse d'air moyenne mesurée à la hauteur des porcs couchés était de 4 à 5 fois plus élevée que dans la salle témoin et celle à la hauteur des sondes était 8 à 9 fois plus grande.

Tableau 28 Vitesse moyenne d'air (m/s) mesurée à 0,4 et 1,6 m de hauteur dans chacune des salles

Hauteur de la mesure	T	DM	BR	AS
0,4 m	0,09 $\pm$ 0,03	0,49 $\pm$ 0,30	0,39 $\pm$ 0,16	0,39 $\pm$ 0,19
1,6 m	0,19 $\pm$ 0,09	1,70 $\pm$ 1,28	1,87 $\pm$ 1,39	1,79 $\pm$ 1,53

Il y a énormément de variabilité dans les vitesses mesurées aux deux hauteurs et cette dernière peut s'expliquer par différentes raisons (Figure 27). Premièrement, la distance entre le ventilateur de recirculation et l'endroit de la prise de mesure a une grande influence sur la vitesse d'air mesurée. En effet, la vitesse est assez faible juste devant le ventilateur, car celui-ci est accroché au plafond et est orienté vers le sol avec un petit angle. La majorité du courant d'air passe donc par-dessus le premier parc pour qu'il y ait une bonne vitesse d'air jusqu'au prochain ventilateur (Figure 28).

65	66	67	68	69	70	71	72
1,09	1,46	1,96	0,77	1,05	1,98	1,70	0,75
0,19	0,31	0,48	0,28	0,38	0,30	0,59	0,43
0,66	4,95	2,74	1,38	0,67	2,95	2,84	1,72
0,26	0,72	0,41	0,29	0,17	0,59	0,51	0,71
64	63	62	61	60	59	58	57
1,22	3,12	3,00	0,15	0,63	2,09	5,74	0,30
0,26	0,47	0,41	0,20	0,23	0,46	0,53	0,21
49	50	51	52	53	54	55	56
1,22	3,12	3,00	0,15	0,63	2,09	5,74	0,30
0,26	0,47	0,41	0,20	0,23	0,46	0,53	0,21

 ventilateur de recirculation

Figure 27 Vitesse d'air mesurée à 1,6 m (en rouge) et 0,4 m (en noir) de hauteur dans la salle du traitement BR

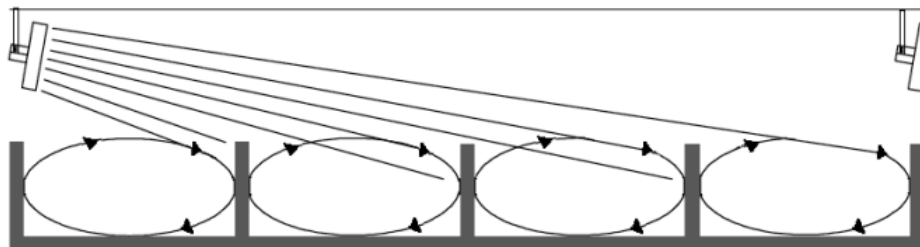


Figure 28 Orientation des ventilateurs de recirculation avec des divisions de parc pleines

De plus, la façon dont les ventilateurs étaient disposés (trois rangées, dont celle du centre, à contre sens des deux autres (Figure 27) faisait en sorte que les courants d'air n'étaient pas constants et que les vitesses mesurées variaient grandement dans le temps, et ce, pour un même point de mesure.

La vitesse moyenne d'air mesurée à la hauteur des sondes est très grande lorsque les ventilateurs de recirculation sont en fonction et varie entre 1,71 et 1,87 m/s. Cette dernière est plus grande que dans les ventilations tunnel, qui ont une vitesse avoisinant les 1,27 m/s. Si les parois de parcs avaient été ajourées pour laisser passer l'air, au lieu d'être en béton comme dans le bâtiment où ont été réalisés les essais, la vitesse d'air aurait été plus élevée et les températures ressenties par les porcs auraient été plus fraîches. Ainsi, l'utilisation de barrières ajourées aurait permis d'améliorer nettement l'efficacité de refroidissement des porcs.

6.1.3 Concentration en gaz et poussière

Dans tous les traitements, la concentration en CO₂ était inférieure à 1 000 ppm, soit en deçà du seuil de détection de l'instrument utilisé et bien en dessous des 5 000 ppm considéré dangereux pour la santé humaine (Règlement sur la santé et la sécurité du travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 13)). Une concentration de 5 ppm de NH₃ a été mesurée dans les traitements en débit réduit. Pour ce gaz, les hommes peuvent tolérer une concentration maximale de 50 ppm pendant 8 heures (Règlement sur la santé et la sécurité du travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 13)). Donc même avec des débits aussi petits que 76,5 m³/h/porc, il y a suffisamment de changement d'air pour évacuer ces gaz et ne pas nuire au bien-être des travailleurs et des animaux.

Selon Guigand (1994), la concentration moyenne de particules de poussière dans une ferme porcine est de 130 000 particules (P) par litre d'air. Dans le présent essai, le nombre moyen de particules mesurées dans la salle témoin était un peu en dessous de la moyenne des fermes porcines, tandis que les traitements DM, BR et AS se situent très près de cette moyenne (Tableau 29).

Tableau 29 Particules (P) de poussière moyenne par litre d'air selon les traitements et la taille des poussières

Taille des particules (µm)	T	DM	BR	AS
0,3 µm	100 193	97 004	101 308	104 299
0,5 µm	9 264	13 067	12 646	11 913
1,0 µm	5 390	8 566	7 615	7 359
2,0 µm	4 310	6 883	5 910	5 925
5,0 µm	1 396	2 171	1 669	1 888
10,0 µm	406	580	415	497
Respirable (< 5 µm)	119 157	125 521	127 480	129 496
Inhalable (≥ 5 µm)	1 802	2 750	2 084	2 386
Particules totales	120 960	128 271	129 564	131 882

Le plus petit nombre de particules supérieures à 0,5 µm pour le traitement témoin peut s'expliquer par le plus grand débit d'air dans cette salle qui aurait pour effet de réduire légèrement la concentration en poussière. En effet, selon Marquis (1998) environ 50 % des grandes particules sont évacuées du bâtiment par le système de ventilation lorsqu'il fonctionne à plein régime, mais qu'il n'y a pas de différence pour le nombre de petites particules. La diminution des débits et l'augmentation de la turbulence dans les traitements avec recirculation de l'air (DM, BR et AS) semblent avoir légèrement augmenté (environ 8 %) le nombre de particules en suspension.

Le niveau sonore enregistré lorsque les ventilateurs muraux fonctionnaient au maximum était de 75,6 dB, donc en dessous du seuil de risque (85 dB). Quand les ventilateurs de recirculation partaient à leur tour, ce niveau passait à 78,8 dB, soit une augmentation de 3,2 dB, ce qui représente le double du niveau de bruit puisque l'échelle des décibels est logarithmique, mais demeurent en dessous du niveau de bruit permis pendant un quart de travail de huit heures (Règlement sur la santé et la sécurité du travail (R.R.Q., c. S-2.1, r. 13)).

6.2 Performances zootechniques et données d'abattages

6.2.1 Performances zootechniques globales

Les poids moyen des animaux à l'entrée (23,4 kg) et à la sortie (125,4 kg) de l'engraissement sont est similaires pour les quatre traitements (Tableau 30). Par contre, le gain moyen quotidien (GMQ) des porcs a été supérieur d'environ 45 g pour les deux traitements avec un système de refroidissement par l'eau (BR et AS) combiné à de la recirculation d'air. La recirculation d'air seule (DM) a permis d'augmenter le GMQ de 26 g. Toutefois, les performances obtenues sont le résultat d'un seul essai et les résultats sont à interpréter avec prudence puisqu'aucune analyse statistique n'a pu être réalisée.

Tableau 30 Performances zootechniques des porcs selon le traitement

Paramètre (unité)	T	DM	BR	AS
Performance de croissance				
Nombre de porcs initial	220	220	219	220
Morts	5	3	6	9
% mortalité	2,27	1,36	2,74	4,09
Poids moyen initial (kg)	23,3	23,2	23,4	23,5
Poids moyen final (kg)	125,1	125,7	125,7	125,2
Gain moyen quotidien (g/j)	918	944	964	963
Durée moyenne d'engraissement (j)	110,8	107,9	106,1	105,7
Performance de consommation				
Ingéré moyen quotidien (kg/j)	2,14	2,22	2,22	2,23
Conversion alimentaire économique	2,37	2,37	2,37	2,40
Consommation quotidienne d'eau (l/j-porc)	11,43	9,10	8,64	9,54
Durée de consommation de moulée avec ractopamine (j)	21,32	21,30	18,96	18,70
Rendement de carcasse				
Poids de carcasse (kg)	101,64	102,07	101,32	101,55
Poids vif produit durant l'élevage (kg)	21 955	22 149	21 582	21 426
Rendement de carcasse (%)	81,65	81,22	80,98	81,14
Rendement maigre (%)	59,96	60,08	60,04	59,92
Épaisseur de gras Destron (mm)	17,78	17,55	17,59	17,76
Épaisseur de muscle Destron (mm)	69,60	68,79	68,32	67,68
Indice de classement	111,58	111,05	111,15	111,36

L'augmentation du GMQ a diminué la durée moyenne d'engraissement des porcs. La recirculation d'air à elle seule (DM) a permis de diminuer la durée de l'élevage de 2,9 jours par rapport au traitement témoin. Lorsqu'elle est combinée à des systèmes de refroidissement par l'eau, la durée moyenne du lot s'en retrouve encore plus diminuée, soit de 4,7 jours pour le traitement BR et 5,2 jours pour celui d'AS.

L'ingéré moyen quotidien (IMQ) des porcs des trois traitements expérimentaux a été supérieur de 80 à 90 g/j. L'IMQ est un bon indicateur que les porcs ont eu moins chaud dans ces salles puisqu'ils ont moins diminué leur consommation d'aliment que ceux de la salle témoin. Or, lorsqu'il fait chaud, les porcs réduisent leur prise alimentaire de 3 % par degré Celsius au-dessus de 23 °C (Collin *et al.*, 2001). La consommation d'eau indique également que les porcs ont eu moins chaud. En effet, lorsque les porcs ont chaud, ils augmentent leur fréquence respiratoire pour évacuer de la chaleur. Cette chaleur est évacuée sous forme de vapeur d'eau (chaleur latente). Pour se maintenir hydratés, les porcs doivent donc boire plus d'eau et ont tendance à jouer dans l'eau pour se rafraîchir en tentant de s'arroser. Comparativement au traitement témoin, les porcs des traitements DM, BR et AS ont consommé respectivement 2,42, 2,98 et 2,16 litres d'eau en moins par jour, ce qui est majeur.

Finalement, les différents traitements ne semblent pas avoir eu d'effet sur la conversion alimentaire et sur les rendements carcasse des porcs. Les résultats sont similaires pour l'ensemble des salles. Le taux de mortalité dans le traitement AS est plus élevé de 1,8 fois que celui du traitement témoin, mais cette mortalité ne semble pas avoir été causée par le traitement. En effet, six porcs sont morts subitement de cause inconnue, mais assez tôt durant l'élevage et alors que le système d'aspersion avait très peu fonctionné.

6.2.1.1 Performances zootechniques par période

Durant la période 1 (23,4 à 60 kg), il a fait plus de 24 °C pendant un équivalent de 13 jours (311 h; Tableau 31). Lors de la deuxième période (60,0 à 94,0 kg), la plus chaude de l'été, la T_{ext} a dépassé les 24 °C pendant l'équivalent de 17,3 jours (415 h). Finalement, le moment où les porcs étaient les plus lourds (94,0 à 125,4 kg) a aussi été la période avec le moins d'épisodes de chaleur avec seulement 6,2 jours (148 h).

Tableau 31 Équivalent-jours des différentes températures extérieures (T_{ext}) selon les périodes

T_{ext} (°C)	Équivalent jour		
	Période 1 26 mai au 7 juillet	Période 2 8 juillet au 11 août	Période 3 12 août au 22 septembre
< 14	3,43	0,94	8,19
14 à < 16	3,40	2,13	5,35
16 à < 18	5,39	3,36	7,29
18 à < 20	7,23	3,45	5,36
20 à < 22	5,32	4,54	5,4
22 à < 24	4,25	4,24	3,22
24 à < 26	3,77	5,16	2,64
26 à < 28	3,66	4,02	1,82
28 à < 30	3,36	3,86	1,4
30 à < 32	1,92	3,03	0,28
32 à < 34	0,24	1,00	0,04
34 à < 36	0,02	0,21	0
Total	42	36	41

Les traitements BR et AS ont eu les meilleures performances (GMQ et IMQ) par rapport aux porcs de la salle témoin pour les trois phases (Tableau 32). Le GMQ du traitement BR a été plus en dents de scie, alors que le GMQ de la phase 2 du traitement DM est plus élevé que celui des porcs de la salle témoin et du traitement BR mais celui de la phase 3 est inférieur aux trois autres traitements. L'IMQ des porcs du traitement DM a été généralement supérieur à celui du traitement témoin, mais inférieur ou similaire à ceux de traitements avec un débit d'air réduit couplé à un système de refroidissement par l'eau. L'IMQ plus élevé pour les trois traitements expérimentaux laisse entendre que les porcs ont eu moins chaud. Ce qui est corroboré avec la hausse des fréquences d'observations de T_{int} inférieures dans les salles traitements à celle de la salle témoin (voir données en annexe).

Tableau 32 Effet des traitements sur les performances zootechniques selon les périodes

Paramètre (unité)	Phase	T	DM	BR	AS
Gain moyen quotidien (g/j)	1	825	845	872	865
	2	923	994	982	1 000
	3	1 034	1 026	1 084	1 067
Ingéré moyen quotidien (kg/j)	1	1,59	1,65	1,67	1,64
	2	2,26	2,44	2,41	2,47
	3	2,70	2,79	2,85	2,85
Conversion alimentaire économique	1	1,97	1,98	1,97	1,96
	2	2,50	2,47	2,49	2,52
	3	2,64	2,73	2,66	2,71
Consommation quotidienne d'eau (l/j)	1	6,74	6,12	6,36	6,55
	2	14,73	10,99	10,33	11,47
	3	14,10	11,20	10,13	11,81

La conversion alimentaire économique de tous les traitements est assez similaire pour les deux premières phases, mais varie un peu plus pour la phase 3. Cependant, puisque le taux de mortalité est différent entre les traitements, la CA économique est présentée plus à titre indicatif et ne doit pas permettre de comparer les traitements entre eux.

La consommation d'eau a été plus élevée au cours de la phase 2, la phase la plus chaude, comparativement à la première phase. Elle est demeurée élevée lors de la dernière phase alors que les animaux étaient de plus en plus lourds. L'écart de consommation d'eau entre les traitements expérimentaux et le traitement témoin fut minime lors de la phase 1 (3 à 9 % en moins), mais fut beaucoup plus important par la suite (16 à 30 % en moins).

6.2.2 Expédition

Dès la première sortie, dans les trois traitements expérimentaux (DM, BR et AS), plus de porcs ont été expédiés que dans le traitement témoin. Après la quatrième expédition, plus de 76 % des porcs des trois traitements expérimentaux avaient été expédiés comparativement à seulement 65,3 % dans le traitement témoin. Ceci peut être avantageux lorsque l'on doit raccourcir la durée d'un lot à cause d'un imprévu ou lorsque le nombre de places en engraissement est limité.

Tableau 33 Effet des traitements sur l'expédition des porcs à l'abattoir selon les traitements

Paramètre (unité)	T	DM	BR	AS
Expédition 1				
Porcs expédiés (%)	1,39	5,99	10,80	15,71
Poids moyen (kg)	125,83	127,88	127,72	125,36
Expédition 2				
Porcs expédiés (%)	10,65	15,21	20,66	16,19
Porcs expédiés cumulatifs (%)	12,04	21,20	31,46	31,90
Poids moyen (kg)	124,76	126,68	127,19	126,85
Expédition 3				
Porcs expédiés (%)	26,39	31,34	24,88	29,52
Porcs expédiés cumulatif (%)	38,43	52,54	56,34	61,42
Poids moyen (kg)	126,30	126,76	125,75	125,72
Expédition 4				
Porcs expédiés (%)	26,85	23,96	27,23	17,14
Porcs expédiés cumulatif (%)	65,28	76,50	83,57	78,57
Poids moyen (kg)	127,68	126,79	127,22	126,43
Expédition 5				
Porcs expédiés (%)	34,72	23,50	16,43	21,43
Porcs expédiés cumulatif (%)	100	100	100	100
Poids moyen (kg)	121,88	121,91	118,57	121,88

6.3 Consommation d'énergie et d'eau

Même si pour les traitements BR et AS, il y avait moins de ventilateurs muraux en fonction et que le potentiel de consommation d'énergie de ces ventilateurs est un peu moindre que celui du traitement DM, la consommation réelle de ces deux traitements a été plus élevée (Tableau 34). Ce qui peut s'expliquer par une durée de fonctionnement accrue des ventilateurs de recirculation. En effet, lorsque la T_{ext} se situait entre 16 et 26 °C, la T_{int} pour les traitements BR et AS était souvent plus chaude, surtout la nuit, que celle du traitement DM (Tableau 24). De plus, c'est à ces températures que les porcs dégagent plus de chaleur sensible (Figure 15) et celle-ci doit être expulsée du bâtiment et il y a moins de débit dans les traitements BR et AS pour le faire. Donc, les ventilateurs muraux et de recirculation ont fonctionné plus souvent et plus longtemps dans ces salles. La consommation d'énergie des six ventilateurs de recirculation était de 3 kWh lorsqu'ils étaient en fonction.

Tableau 34 Consommation d'énergie (kWh) des ventilateurs muraux et de recirculation selon les traitements¹

Consommation d'énergie (kWh)	T	DM	BR	AS
Capacité théorique (kWh)				
Ventilateurs muraux à plein régime ²	2,663	1,976	1,673	1,673
Ventilateurs de recirculation à plein régime	-	3,000	3,000	3,000
Capacité maximale totale	2,663	3,976	3,673	3,673
Consommation moyenne mesurée (kWh/j)				
Ventilateurs muraux et de recirculation	1,985	2,798	3,071	3,059

¹ 27 juin au 22 septembre

² ne tient pas compte des ventilateurs condamnés pour avoir le débit requis par les traitements.

Il est à noter cependant que les quatre salles de l'engraissement n'étaient pas équipées des mêmes types de ventilateurs muraux (Tableau 19) et que la consommation d'énergie de ces derniers n'était pas la même pour tous.

En abaissant de près de la moitié le taux de ventilation et en ajoutant des ventilateurs de recirculation (traitement DM), la consommation d'eau des porcs a diminué de 22 % comparativement au témoin. Du côté des traitements avec système de refroidissement fonctionnant à l'eau, la consommation d'eau au cours de l'été des systèmes de brumisation et d'aspersion a été respectivement de 3 000 et de 9 400 litres (Tableau 35). Malgré cela, la consommation totale d'eau dans ces salles (BR et AS) a été inférieure à celle de la salle témoin, car la consommation d'eau des porcs dans ces salles fut bien moindre (21 à 28 %) que celle des porcs dans la salle témoin. Le traitement BR a même consommé moins d'eau que le traitement DM qui n'avait que des ventilateurs de recirculation. Ceci est très intéressant pour les fermes dont le puits d'eau a peine à fournir lors des épisodes de sécheresse. De plus, une portion de cette diminution de consommation d'eau devrait se traduire par une diminution des volumes de lisier produit et à épandre.

Tableau 35 Utilisation d'eau par les porcs et par les systèmes de refroidissement durant l'élevage selon les traitements

Utilisation d'eau	T	DM	BR	AS
Abreuvement (l/salle)	276 889	215 067	198 212	218 067
Refroidissement (l/salle)	S.O.	S.O.	3 000	9 400
Totale (l/salle)	276 889	215 067	201 212	227 467
(l/j-porc)	11,49	9,10	8,77	9,95

6.4 Coûts en engraissement

Les coûts reliés aux trois traitements étudiés en engraissement portent sur les investissements requis (matériel et installation), de même que sur les besoins supplémentaires en énergie pour les faire fonctionner.

6.4.1 Coûts des investissements en engraissement (bâtiment d'essai)

Il est important de noter que le bâtiment (avec trois rangées de parcs) où ont eu lieu les essais n'a pas un plan de plancher représentatif des bâtiments commerciaux au Québec. Ceci a pour effet d'augmenter le nombre de ventilateurs de recirculation requis. Une analyse sera réalisée

plus bas pour un engraissement typique avec deux rangées de parcs, avec moins de ventilateurs de recirculation.

Le coût du matériel requis pour chaque traitement a été calculé pour chaque salle, de même que les coûts de main-d'œuvre liés à la pose du matériel du projet. De plus, les coûts de conversion pour l'ensemble du bâtiment ont été estimés, autrement dit l'installation du matériel dans les quatre salles plutôt qu'une seule. Cette estimation permet de répartir le coût de la boîte de contrôle CM-4 sur l'ensemble du bâtiment plutôt qu'une seule salle.

Tableau 36 Coût du matériel en engraissement (bâtiment d'essai)

	DM	BR	AS
Coût total matériel par bâtiment ¹	6 092 \$	12 526 \$	7 468 \$
Coût installation	5 000 \$	7 280 \$	5 960 \$
Coût total matériel et installation	11 092 \$	19 806 \$	13 428 \$
Coût/place (sur 990 places)	11,20 \$	20,01 \$	13,56 \$

¹ DM : 24 ventilateurs de recirculation 30 pouces et contrôles électromécaniques. BR : 24 ventilateurs de recirculation, 2 pompes de haute pression, 24 cerceaux de brumisation (avec buses, tuyaux et valves), contrôles électromécaniques et contrôle CM-4. AS : 24 ventilateurs de recirculation, contrôle CM-4 et contrôles électromécaniques, valve électrique de basse pression, tuyau et buses à basse pression.

Des trois traitements, le débit moyen (DM) requiert l'investissement le moins élevé, soit 11,20 \$/place. La brumisation demande les investissements les plus élevés, soit 20,01 \$/place.

6.4.2 Coûts d'énergie pour les traitements en engraissement (bâtiment d'essai)

Les trois traitements se sont traduits par une hausse de la consommation d'électricité. Calculée avec le tarif D d'Hydro-Québec (soit 7,51 ¢/kWh), les trois traitements affichent des coûts d'électricité par salle de plus de 400 \$ pour les 87 jours comptabilités, contre 311 \$ pour la salle témoin. Cela représente des hausses de 45 % pour le débit moyen et de 55 % pour la brumisation et l'aspersion par rapport au traitement témoin.

Tableau 37 Coûts d'électricité reliés aux traitements

Coûts d'énergie ¹	Témoin	DM	BR	AS
Coût sur 87 jours	311,27 \$	438,75 \$	481,56 \$	479,68 \$
Coût supplémentaire par salle		127,49 \$	170,29 \$	168,41 \$
Coût supplémentaire par bâtiment		509,94 \$	681,18 \$	673,65 \$
Coût supplémentaire par place par an		0,52 \$	0,69 \$	0,68 \$

¹ Selon le tarif D d'Hydro-Québec, soit 7,51 ¢/kWh

Même si ces coûts supplémentaires s'appliquent uniquement pour une période de 87 jours, il s'agit de la période la plus chaude de l'année, donc la période où les trois systèmes étudiés (DM, BR, AS) vont réellement être utilisés. Pour le reste de l'année, l'équipement (ventilateur de recirculation, brumisation, aspersion) risque d'être peu ou pas du tout sollicité. L'hypothèse est que ces coûts supplémentaires sur 87 jours constituent l'ensemble des coûts supplémentaires d'électricité qui devront être supportés pour l'année par rapport au système témoin conventionnel.

Les coûts supplémentaires d'électricité vont de 127 \$ pour le débit moyen (DM) à 170 \$ pour la brumisation. Ramenés à l'ensemble du bâtiment (si les 4 salles avaient été converties), les différents traitements impliqueraient des coûts supplémentaires d'électricité de 509,94 \$ (DM) à 681,18 \$ (BR) par rapport au bâtiment d'origine. Cela représente une hausse des coûts d'électricité de 0,52 \$ à 0,69 \$ par place pour l'année.

6.5 Analyse économique de l'investissement en engraissement

6.5.1 Coûts annuels des traitements (bâtiment d'essai)

Pour estimer les coûts annuels reliés aux traitements, des durées de vie moyenne de cinq et dix ans ont été appliquées aux équipements installés pour les traitements. Les investissements sont donc amortis sur ces deux périodes (excluant financement).

Tableau 38 Engraissement : coûts totaux annuels des traitements

Matériel et installation	DM	BR	AS
Coût total/place	11,20 \$	20,01 \$	13,56 \$
Coût/place/an (amorti sur 5 ans)*	2,24 \$	4,00 \$	2,71 \$
Coût/place/an (amorti sur 10 ans)*	1,12 \$	2,00 \$	1,36 \$
Coûts supplémentaires en électricité (\$/place/an)	0,52 \$	0,69 \$	0,68 \$
Coûts totaux (\$/place/an, amorti 5 ans)	2,76 \$	4,69 \$	3,39 \$
Coûts totaux (\$/place/an, amorti 10 ans)	1,64 \$	2,69 \$	2,04 \$

* Exclut le financement de l'investissement

Compte tenu des coûts supplémentaires d'électricité, les dépenses annuelles liées aux trois traitements varient de 2,76 \$/place pour le débit moyen (DM) à 4,69 \$/place pour la brumisation (BR). Le DM s'avère le moins coûteux des trois grâce à des investissements de départ moins importants (45 % de moins que la brumisation), mais aussi par des coûts supplémentaires d'électricité moindres (25 % de moins que les deux autres traitements).

6.5.2 Hypothèses de performances, coûts et revenus en engraissement

Dans leur ensemble, les performances recueillies pour les animaux des quatre salles apparaissent équivalentes d'un traitement à l'autre. Seuls le taux de mortalité et le gain moyen quotidien (GMQ) affichent des différences numériques importantes. Cependant, compte tenu de l'information disponible pendant la période d'élevage, la différence de taux de mortalité ne semble pas liée aux traitements.

Le fait d'avoir un meilleur GMQ a permis d'envoyer les porcs plus rapidement à l'abattoir pour les trois traitements pendant le projet, car le protocole était établi sur un poids minimum visé plutôt que sur une durée d'élevage. Il est donc théoriquement possible d'augmenter le nombre de lots produits dans le bâtiment, car le lot suivant peut rentrer plus rapidement. Cependant, le contexte actuel (janvier 2012) en est un d'augmentation du poids d'envoi à l'abattoir, avec une grille Qualité Québec qui vise une carcasse de 102,5 kg de moyenne (contre 97,5 kg pour les premiers mois de 2011).

Pour l'analyse économique, les hypothèses suivantes ont été retenues quant aux performances, coûts et revenus :

- Il y a une amélioration du GMQ pour les trois traitements (944 g/j pour le débit moyen et 963,5 g/j pour les deux autres traitements en moyenne) par rapport au témoin (918 g/j);
- À la base, pour les autres performances, les traitements n'ont pas d'impact par rapport au témoin;
- Le gain au niveau du GMQ est utilisé pour augmenter le poids d'abattage des porcs du lot d'été plutôt que d'augmenter le nombre de lots produits/an (durée moyenne d'engraissement de 111,2 jours comme le témoin plutôt que 108,1 jours pour le débit moyen et 105,9 jours pour les deux autres traitements);
- Le prix moyen est de 1,80 \$/100 kg indice 100 (grille Qualité Québec);
- Le prix des moulées de finition est de 350 \$/t (excluant les coûts de la ractopamine, en posant l'hypothèse que si la ractopamine est utilisée, le nombre de jours demeurerait fixe);
- Les calculs sont basés sur 990 places, soit la capacité totale du bâtiment.

En se basant sur ces hypothèses, le poids moyen d'abattage des porcs atteint 128,3 kg de poids vif pour le débit moyen et de 130,5 kg de poids vif pour l'aspersion et la brumisation. Pour y arriver, les animaux ont besoin de 7,9 à 13,6 kg supplémentaires de moulées, ce qui représente une hausse du coût d'alimentation de 2,76 à 4,75 \$/tête (soit une augmentation de 2,71 à 4,66 \$/place).

Tableau 39 Hypothèse « Hausse du poids du lot d'été » : coûts et revenus (bâtiment d'essai)

	T	DM	BR	AS
Coûts liés au gain supplémentaire				
Nouveau poids de fin (kg/tête)	125,4	128,3	130,5	130,5
Kg supplémentaires (kg/tête)		2,9	5,1	5,1
Conversion alimentaire en dernière phase		2,73 ^a	2,69 ^b	2,69 ^b
Kg de moulée supplémentaires (kg/tête)		7,89	13,58	13,58
Coût de moulée supplémentaire (\$/tête)		2,76	4,75	4,75
Coût en moulée (\$/bâtiment)		2 681	4 614	4 614
Coût en moulée (\$/place)		2,71	4,66	4,66
Revenus liés au gain supplémentaire				
Poids carcasse (kg) ^c	101,6	104,0	105,7	105,7
Poids vif produit durant l'élevage (kg)	99 060	101 866	103 970	103 970
Kg de carcasse supplémentaires (kg/bâtiment)		2 274	3 979	3 979
Indice de classement	111,3	111,3	111,3	111,3
Revenus supplémentaires (\$/bâtiment)		4 554	7 970	7 970
Revenus supplémentaires (\$/place)		4,60	8,05	8,05
Marge sur coût d'alimentation (\$/place)		1,89	3,39	3,39

^a Conversion économique de la dernière phase du traitement DM

^b Moyenne des conversions économiques des traitements « brumisation » et « aspersion », dont les GMQ étaient similaires

^c Poids carcasse estimé avec un rendement de carcasse constant

Pour l'ensemble du lot d'été, cela permettrait de produire 2 274 à 3 979 kg de plus de carcasses de porcs. Avec un indice constant et un prix du porc de 1,80 \$/kg (la moyenne d'août et de septembre 2011), cela permet d'augmenter les revenus de 4 500 \$ à 8 000 \$. La marge sur coût d'alimentation serait de 1,89 \$ pour le débit moyen à 3,39 \$ pour la brumisation et l'aspersion.

Il est cependant important de noter que cette marge est tributaire de deux éléments très variables : le prix de la moulée en finition et le prix du porc. Or, le prix du porc en 2011 était élevé, ce qui a permis de compenser pour des prix de moulée élevés. En moyenne, pour la période 2002-2011, le prix moyen en août et septembre est de 1,45 \$/kg, indice 100. À ce prix, quel que soit le prix de la moulée, la marge revenus-coûts d'alimentation diminue de 1,57 \$/place pour l'aspersion et la brumisation et de 0,89 \$ pour le débit moyen.

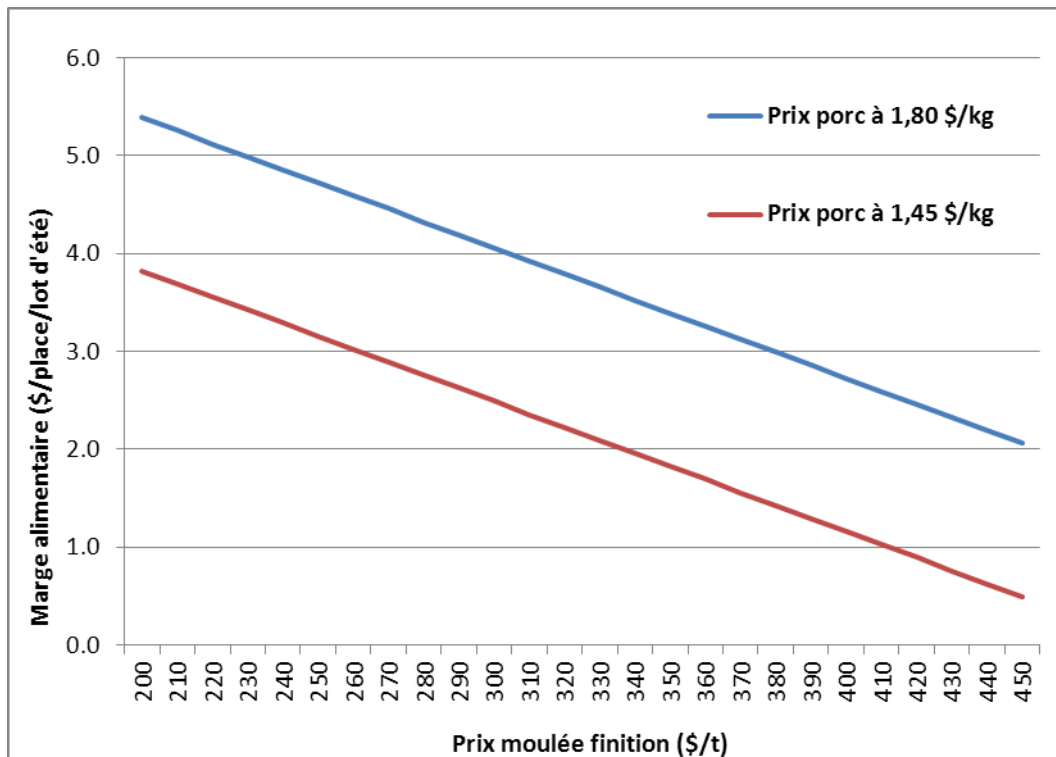


Figure 29 Évolution de la marge sur coût alimentaire selon le prix du porc et la moulée en finition pour les traitements « brumisation » et « aspersion »

6.5.3 Analyse de rentabilité des différents traitements (bâtiment d'essai)

Compte tenu des coûts pour le matériel, l'installation et d'électricité et malgré une marge revenus-coûts d'alimentation positive, lorsque l'équipement est amorti sur une période de 5 ans, il semble possible de rentabiliser l'installation d'un équipement d'aspersion en 5 ans. Cependant, les traitements « débit moyen » et « brumisation » affichent des pertes annuelles allant de 0,86 \$/place à 1,30 \$/place s'ils sont amortis sur 5 ans. Il faut amortir ces équipements sur une période de 10 ans pour espérer obtenir un rendement positif, allant de 0,26 \$ pour le « débit moyen » à 1,35 \$ pour « l'aspersion ».

Tableau 40 Engraissement - Rentabilité de l'investissement (bâtiment d'essai)

Coûts annualisés achats équipements, installation, électricité		DM	BR	AS
Équipements amortis 5 ans	\$/place	2,76 \$	4,69 \$	3,39 \$
Équipements amortis 10 ans	\$/place	1,64 \$	2,69 \$	2,04 \$
Marge sur coût d'alimentation				
Par place		1,89 \$	3,39 \$	3,39 \$
Profits (pertes)				
Équipements amortis 5 ans	\$/place	(0,86) \$	(1,30) \$	0,00 \$
Équipements amortis 10 ans	\$/place	0,26 \$	0,70 \$	1,35 \$
Période de retour sur investissement	années	5,9	5,9	4,0

6.6 Discussion sur l'analyse économique

6.6.1 Optimisation de bâtiments existants

Néanmoins, si la rentabilité ne peut être atteinte en 5 ans pour les traitements « débit moyen » et « brumisation » en engraissement, il faut noter que le bâtiment où se sont déroulés les essais n'est pas typique des engraissements au Québec, avec ses trois rangées de parcs. Or, un bâtiment sur deux rangées permettrait de réduire l'équipement nécessaire aux traitements.

Les coûts d'équipements et d'installation des trois traitements ont été estimés pour un engraissement de 990 places, comportant 2 salles et des parcs sur 2 rangées. Cette configuration de bâtiment permettrait de diminuer de moitié le nombre de cerceaux de brumisation et de ventilateurs de recirculation (en utilisant des ventilateurs de 36 pouces plutôt que de 30 pouces).

Tableau 41 Engraissement typique « 2 rangées » : coûts et profits

	DM	BR	AS
Coût total du matériel par bâtiment ¹	4 380 \$	9 150 \$	5 756 \$
Coût installation	4 600 \$	6 880 \$	5 560 \$
Coût total matériel et installation	8 980 \$	16 030 \$	11 316 \$
\$/place	9,07 \$	16,19 \$	11,43 \$
Diff. p/r au bâtiment du projet	-19 %	-19 %	-16 %
\$/place/an (amorti sur 5 ans) ²	2,33 \$	3,93 \$	2,97 \$
\$/place/an (amorti sur 10 ans) ²	1,42 \$	2,31 \$	1,82 \$
Marge sur coût d'alimentation	1,89 \$	3,39 \$	3,39 \$
Profits (pertes) \$/place/an (amorti 5 ans)	(0,44 \$)	(0,54 \$)	0,42 \$
Profits (pertes) \$/place/an (amorti 10 ans)	0,47 \$	1,08 \$	1,57 \$
Période de retour sur investissement (années)	4,8	4,8	3,4

¹ DM : 12 ventilateurs de recirculation 36 pouces et contrôles électromécaniques. BR : 12 ventilateurs de recirculation, 2 pompes de haute pression, 12 cerceaux de brumisation (avec buses, tuyaux et valves), contrôles électromécaniques et contrôle CM-4. AS : 12 ventilateurs de recirculation, contrôle CM-4 et contrôles électromécaniques, valve électrique de basse pression, tuyau et buses à basse pression.

² Inclut matériel et installation, plus coûts supplémentaires d'électricité

La baisse d'équipements requis permet de réduire les coûts de matériel et d'installation de 16 à 19 % selon les traitements. Amortie sur 5 ans, la rentabilité de l'aspersion augmente, alors que les deux autres traitements approchent du seuil de rentabilité. Si la durabilité de l'équipement permet d'amortir les coûts sur 10 ans, les trois traitements sont alors rentables. Il faut noter que la consommation d'électricité n'a pas été ajustée pour le changement de ventilateurs, ce qui aurait pu améliorer davantage la rentabilité des traitements.

Les résultats suggèrent que la configuration des bâtiments et la durée de vie des ventilateurs de recirculation jouent un rôle important sur l'optimisation des coûts d'installation et que la rentabilité de l'investissement devrait être évaluée selon chaque cas.

6.6.2 Bâtiments neufs

L'optimisation de la recirculation et d'un système de ventilation à débit réduit est plus facile à réaliser lors de la construction d'un bâtiment neuf. L'utilisation de ventilateurs de recirculation permet de réduire le nombre de ventilateurs muraux de 24 pouces. Pour un bâtiment de 990 places en deux rangées, il est estimé que cela permettrait de réduire de 10 le nombre de ventilateurs muraux, soit une économie d'environ 4 600 \$ lors de la construction.

Tableau 42 Engraissement neuf « 2 rangées » : coûts et profits (bâtiment typique)

	DM	BR	AS
Coût total matériel et installation par bâtiment ¹	8 980 \$	16 030 \$	11 316 \$
Coûts des ventilateurs muraux en moins ²	6 600 \$	6 600 \$	6 600 \$
Coût total matériel et installation (moins économies sur ventilateurs muraux)	2 380 \$	9 430 \$	4 716 \$
\$/place	2,40 \$	9,53 \$	4,76 \$
\$/place/an (amorti sur 5 ans) ³	1,00 \$	2,59 \$	1,63 \$
\$/place/an (amorti sur 10 ans) ³	0,76 \$	1,64 \$	1,16 \$
Marge sur coût d'alimentation	1,89 \$	3,39 \$	3,39 \$
Profits (pertes) \$/place/an (amorti 5 ans)	0,90 \$	0,80 \$	1,76 \$
Profits (pertes) \$/place/an (amorti 10 ans)	1,14 \$	1,75 \$	2,23 \$
Période de retour sur investissement (années)	1,3	2,8	1,4

¹ DM : 12 ventilateurs de recirculation 36 pouces et contrôles électromécaniques. BR : 12 ventilateurs de recirculation, 2 pompes de haute pression, 12 cerceaux de brumisation (avec buses, tuyaux et valves), contrôles électromécaniques et contrôle CM-4. AS : 12 ventilateurs de recirculation, contrôle CM-4 et contrôles électromécaniques, valve électrique de basse pression, tuyau et buses à basse pression.

² Coûts des ventilateurs muraux supplémentaires qui devraient être installés dans un bâtiment neuf s'il n'y a pas de système de recirculation. Le système de recirculation permet de réduire de 10 le nombre de ventilateurs muraux de 24 pouces requis, d'une valeur approximative de 460 \$/chacun. À cela s'ajoute une économie de 200 \$/ventilateur liée aux frais d'installation en moins (main-d'œuvre et filage).

³ Inclut matériel et installation, plus coûts supplémentaires d'électricité, moins économie sur ventilateurs muraux

L'économie lors de la construction sur le nombre de ventilateurs muraux permet de rentabiliser tous les systèmes de recirculation visant à réduire le débit d'air. Il serait donc important d'évaluer cette possibilité lors de tout projet de construction de bâtiments neufs.

6.6.3 Épandage et économie d'eau

Il a été constaté que les trois traitements avaient entraîné une diminution de la consommation d'eau. Or, si l'eau avait été utilisée, une partie aurait terminé sa course dans la fosse, ce qui aurait augmenté les coûts d'épandage. Comme le lisier produit lors des quatre traitements se retrouvait dans une seule et même fosse, il est difficile d'estimer la diminution de lisier produit pour ces traitements par rapport au témoin; néanmoins, avec un coût moyen d'épandage de 3,73 \$/m³ (FPPQ, 2011), il y a des économies possibles de ce côté.

Tableau 43 Engraissement : consommation d'eau et épandage

	Témoin	DM	BR	AS
Consommation d'eau (m ³)				
Pour un bâtiment	1 108	860	805	910
Différence avec le témoin		-247	-303	-198
Économies potentielles sur les coûts d'épandage* (\$/an)		461,19 \$	564,55 \$	368,69 \$
(\$/place)		0,47 \$	0,57 \$	0,37 \$

* Coût d'épandage de 3,73 \$/m³, en estimant que 50 % de l'eau économisée aurait autrement fini dans la fosse

Par rapport au témoin, les traitements se traduisent par des diminutions allant de 200 à 300 m³ d'eau par année pour le bâtiment. Si 50 % de l'eau utilisée finit dans la fosse, une réduction de la consommation d'eau se traduirait par des économies sur les frais d'épandage allant de 369 \$ pour l'aspersion à 565 \$ pour la brumisation, ce qui est appréciable. Dans le cas d'un bâtiment typique rénové (comme au tableau 41), les économies par place semblent suffisantes pour atteindre la rentabilité pour l'ensemble des traitements.

6.6.4 Impact sur le coût de systèmes de filtration de l'air

Un des objectifs de la diminution du débit d'air est de réduire les coûts liés à l'implantation de systèmes de filtration d'air. Les coûts d'installation de la filtration d'air et des remplacements des filtres dans un engraissement de 990 places au débit standard (136 m³/h/porc) et un autre en débit réduit (76,5 m³/h/porc) ont été évalués avec deux types de filtres (filtres mécaniques à caisson et filtres rideaux munis d'agents antimicrobiens).

Tableau 44 Évaluation des économies potentielles reliées au débit réduit pour la filtration en engraissement

	Débit standard		Débit réduit	
	Filtre mécanique	Filtre rideau antimicrobien	Filtre mécanique	Filtre rideau antimicrobien
Coûts des immobilisations¹				
Investissement équipements ²	11 646 \$	4 195 \$	5 844 \$	4 193 \$
Annuités ³	1 588 \$	572 \$	797 \$	572 \$
Coûts d'exploitation (filtres et préfiltres)				
Achat de départ	19 240 \$	16 300 \$	9 360 \$	8 730 \$
Coûts de remplacement (10 ans) ⁴	63 393 \$	48 367 \$	30 840 \$	25 730 \$
Coûts annuels d'exploitation	8 263 \$	6 467 \$	4 020 \$	3 446 \$
Total des coûts				
\$/année	9 851 \$	7 039 \$	4 817 \$	4 018 \$
\$ place/année	9,95 \$	7,11 \$	4,87 \$	4,06 \$
Économie sur les coûts annuels de filtration avec le débit réduit (\$/place)			5,08 \$	3,05 \$

¹ Les coûts d'installation des filtres, préfiltres et volets anti-retour ne sont pas considérés. Le coût d'achat des volets anti-retour ainsi que les coûts d'adaptation du bâtiment et de la ventilation ne sont pas pris en compte. De plus, il est important de noter que les coûts réels vont varier selon les entreprises (ex. : escomptes de volume, niveau de rénovation à apporter...)

² Coûts pour les transitions, accessoires et attaches

³ Financement 10 ans à 6,5 %

⁴ Filtres remplacés tous les 3 ans en moyenne et préfiltres tous les six mois

Globalement, les coûts de la filtration d'air diminuent de moitié avec un débit réduit (BR et AS), avec des économies annuelles de 3 à 5 \$/place par année pour l'engraissement. Les économies pour le traitement à débit médian (DM) sont de 1,75 à 3 \$. Également, il est plausible de considérer des économies supplémentaires liées à la réduction du débit d'air réduisant ainsi : la quantité de volets anti-retour d'air à installer, les coûts d'installation des filtres et les coûts d'adaptation du bâtiment.

Tableau 45 Comparaison entre les coûts d'installation des systèmes de recirculation et les économies pour la filtration d'air

	DM	BR	AS
Économies sur les coûts de filtration (\$/place)	1,75 à 3 \$	3 à 5 \$	3 à 5 \$
Coûts d'installation et d'énergie (\$/place, amorti 5 ans)			
Bâtiment d'essai (Petite Barbue)	2,76 \$	4,69 \$	3,39 \$
Bâtiment typique existant (2 rangées)	2,33 \$	3,93 \$	2,97 \$
Bâtiment neuf	1,00 \$	2,59 \$	1,63 \$
Coûts d'installation et d'énergie (\$/place, amorti 10 ans)			
Bâtiment d'essai (Petite Barbue)	1,64 \$	2,69 \$	2,04 \$
Bâtiment typique existant (2 rangées)	1,42 \$	2,31 \$	1,82 \$
Bâtiment neuf	0,76 \$	1,64 \$	1,16 \$

Ces économies sont similaires aux coûts d'installation et d'énergie des trois traitements du bâtiment d'essai (Petite Barbue). Toutefois, elles sont supérieures pour la rénovation d'un engraissement typique (2 rangées) et la construction d'un bâtiment neuf. Cela suggère que, dans le cas de l'installation d'un système de filtration, l'ajout d'un système pour réduire le débit de ventilation devrait se financer à même les économies réalisées sur les coûts d'investissement et d'exploitation du système de filtration.

Cette capacité à se financer sera d'autant plus facile si la qualité et la durabilité du matériel de recirculation permettent d'amortir l'investissement sur 10 ans. Par exemple, un système de « débit moyen » dans un bâtiment neuf amorti sur 10 ans revient à moins de 1 \$/place en matière de matériel et d'électricité, alors qu'il permet des économies de 1,75 à 3 \$ sur l'installation d'un système de filtration. Qui plus est, les économies quant aux frais d'épandage et la hausse possible des revenus avec un meilleur GMQ pourraient s'ajouter.

7. Recommandations

7.1 Maternité

7.1.1 Gestation

7.1.1.1 *Recirculation d'air*

La configuration des cages de gestation en tête à tête plutôt que dos à dos permet de limiter le nombre de ventilateurs de recirculation nécessaire car, dans ce cas, il y a seulement deux rangées de têtes de truies à refroidir au lieu de trois, ce qui diminue le nombre de ventilateurs de recirculation. De plus, l'efficacité de refroidissement semble la même, car la vitesse moyenne d'air mesurée au niveau des truies est la même dans les deux cas.

La vitesse moyenne d'air de seulement 0,41 m/s mesurée au niveau des truies lorsque les ventilateurs fonctionnaient à plein régime indique que la variation de la vitesse des ventilateurs de recirculation n'était pas nécessaire et que cette vitesse aurait pu être plus élevée pour augmenter l'effet de refroidissement sur les truies. Donc pour ces raisons, des ventilateurs de recirculation de 36 pouces de type marche arrêt auraient certainement fait mieux que ceux qui ont été utilisés.

De plus, la consigne de départ de la recirculation pourrait être optimisée pour trouver la meilleure combinaison entre le confort des truies et l'économie d'électricité.

Finalement, les fabricants devraient s'attarder à produire des ventilateurs de recirculation plus durables, efficaces et moins énergivores.

7.1.1.2 *Système goutte à goutte*

Les buses utilisées dans le système goutte à goutte ne permettaient pas de maintenir une pression d'eau adéquate dans les tuyaux. Des essais effectués en ce sens n'ont pas donné le résultat escompté, car l'eau coulait trop abondamment sur les truies, et ce, même avec l'utilisation de réducteur de pression. Donc, le compromis qui avait été trouvé consistait à remplir les conduites d'eau et de laisser l'eau dégoutter par gravité. Par contre, cette méthode ne permettait pas d'être très précis, car la vidange des conduites d'eau prenait 10 min et ce paramètre ne pouvait être contrôlé.

L'utilisation de buses qui permettraient de maintenir une pression d'eau adéquate dans les conduits et qui auraient un plus petit débit d'eau augmenterait considérablement l'efficacité et la versatilité du système goutte à goutte. Avec un tel système, les temps de marche et d'arrêt pourraient être optimisés pour trouver le compromis idéal entre le rafraîchissement des truies et l'économie d'eau. De plus, le débit des buses pourrait être contrôlé par des réducteurs de pression.

Dans des essais menés en France avec un système goutte à goutte ayant le même type de problème avec les buses, une partie du problème a été contré en disposant les buses sur le devant du tuyau et en les orientant légèrement vers le haut plutôt que sous le tuyau. Donc le temps requis pour remplir les tuyaux était très court, car les tuyaux ne se vidaient pas complètement et le temps de vidange des conduits du goutte à goutte était beaucoup plus court. Cette méthode permettait de faciliter le contrôle des temps de marche.

Du travail devrait également être fait pour trouver la consigne de température de départ idéale pour le fonctionnement du système.

7.1.1.3 Système de brumisation

L'emplacement des buses de brumisation sur les ventilateurs de recirculation plutôt que dans les entrées d'air comme c'était le cas à la ferme avant le début du projet est idéal. En effet, en jumelant l'effet de la recirculation et le refroidissement de l'air par la brumisation, la sensation de fraîcheur ressentie par les truies s'en trouve grandement augmentée.

Des essais sur les consignes de départ et sur les temps de marche et d'arrêt devraient être effectués pour trouver l'optimum entre le rafraîchissement de l'air et l'économie d'eau.

De tous les systèmes utilisés dans les différents traitements, la brumisation est de loin le système le plus dispendieux à l'achat et en entretien. Le type de buses utilisé dans les essais n'était pas adéquat, car plusieurs se sont bouchées et ont dû être remplacées, et ce, même si un système de filtre à eau était installé en amont de la pompe à pression pour éviter ce problème.

Finalement, il serait bien d'avoir un contrôle qui permettrait d'arrêter le système de brumisation lorsque des conditions extrêmes de chaleur et d'humidité sont remplies.

7.1.2 Mise bas

7.1.2.1 Recirculation

Beaucoup de travail reste à faire pour trouver une manière efficace et peu coûteuse de refroidir les truies par la vitesse d'air. L'emplacement des ventilateurs de recirculation devrait être repensé, car avec tous les obstacles présents dans les salles de mise bas qui dévient et ralentissent l'air, il est difficile de répartir de manière uniforme et efficace l'air sur les truies et de protéger les porcelets du courant d'air. Des ventilateurs de plus grand diamètre auraient peut-être donné de meilleurs résultats.

Les ventilateurs de recirculation utilisés n'étaient pas conçus pour être dans des conditions comme celles que l'on rencontre dans les fermes porcines (lavages fréquents, environnement corrosif, présence de poussière...). Ceux utilisés avaient trois vitesses différentes qui étaient actionnées à l'aide d'une chaîne, ce qui n'était pas nécessaire, car seulement la vitesse maximale était utilisée. De plus, le trou pour laisser passer la chaîne dans le boîtier qui protège le moteur, diminue grandement sa protection et a occasionné certains bris pendant les essais. Les manufacturiers devraient donc s'attarder à produire des ventilateurs de recirculation conçus pour la production porcine, plus durable et efficace et moins énergivore.

7.1.2.2 Goutte à goutte

Les mêmes recommandations qu'en gestation seraient à considérer.

7.2 Engraissement

7.2.1 Recirculation

La configuration des salles d'engraissement a une grande importance sur les coûts d'achat et d'installation ainsi que sur l'efficacité de la recirculation. Dans les bâtiments conventionnels, qui ont deux rangées de parcs au lieu de trois, le besoin en ventilateur de recirculation diminuerait du tiers, car ces derniers doivent être installés de façon à envoyer l'air sur la zone de confort des animaux et ces bâtiments n'en ont que deux. Également, la consommation d'énergie pour faire fonctionner ces ventilateurs s'en retrouverait diminuée de la même proportion.

De plus, des divisions de parcs ajourées plutôt que pleines faciliteraient l'écoulement de l'air et la vitesse d'air ressentie par les porcs pourrait être jusqu'à quatre fois supérieure (0,41 vs 1,73 m/s), ce qui augmenterait grandement l'efficacité de la recirculation à refroidir les porcs.

Dans l'essai, les consignes de départ des ventilateurs de recirculation étaient en relation avec la consigne de température dans la salle. Puisque celle-ci diminuait graduellement pendant 12 semaines, la température de départ de la recirculation a aussi varié, soit de 24,4 °C à l'entrée des porcelets à 21,1 °C de la mi-août jusqu'à la fin du lot. Sachant que le GMQ commence à diminuer à des températures supérieures à 23 °C, une consigne de départ fixée à cette température aurait pu être utilisée. Dans ce cas, les ventilateurs de recirculation auraient pu être contrôlés par des thermostats mécaniques qui sont beaucoup moins coûteux.

Les ventilateurs utilisés n'étaient pas conçus pour fonctionner dans un environnement hostile. Les systèmes d'attache des ventilateurs de recirculation devraient permettre d'ajuster ces derniers dans tous les sens possibles pour pouvoir envoyer l'air exactement à l'endroit désiré.

Les manufacturiers devraient s'attarder à produire des ventilateurs de recirculation plus durables, plus puissants et moins énergivores.

7.2.2 Système de brumisation

Les mêmes considérations qu'au point 7.1.1.3 seraient à considérer.

7.2.3 Aspersions

Lorsque l'aspersion est combinée avec la recirculation, l'effet de refroidissement sur les porcs est très grand, car deux phénomènes viennent diminuer la température ressentie par les porcs, soit la vitesse d'air élevée et l'évaporation de l'eau à leur surface.

Il faudrait approfondir les temps de marche et d'arrêt de ce système pour trouver le temps idéal entre deux cycles afin que les porcs évaporent toute l'eau sur leur corps avant que le système fonctionne à nouveau. De cette manière, lors d'une canicule, l'utilisation de l'eau pour rafraîchir les porcs serait utilisée de manière à éviter le gaspillage. Lors de journées un peu moins chaudes, il faudrait ajuster les temps d'arrêt de façon à ce que le système d'aspersion fonctionne moins souvent, mais rafraîchisse les porcs lorsqu'ils en ont besoin.

Certaines modifications du système utilisé auraient pu améliorer considérablement son efficacité. Premièrement, les buses auraient dû être installées au-dessus de la zone de confort dans le but de mouiller le plus grand nombre de porcs possible. Ce n'était pas le cas pour deux rangées de parcs sur les trois. Les buses étaient plutôt installées au-dessus d'une section de lattes dans les fonds de parcs. De plus, des essais avec d'autres types de buses pour des systèmes à basse pression ayant un débit plus faible et qui arroseraient aussi bien les porcs devraient être faits pour diminuer la consommation d'eau nécessaire au fonctionnement de ce système. Aussi, du travail devrait être fait pour trouver la température de départ idéale.

Des essais préliminaires mettant des buses à basse pression directement devant les ventilateurs de recirculation semblaient donner de bons résultats. Ceci permettait de faire une fine bruine dans l'air pour la rafraîchir en plus de mouiller les porcs. D'autres essais devraient être conduits pour valider ces résultats.

8. Conclusion

Que ce soit en maternité ou en engraissement, les résultats démontrent qu'il est possible d'optimiser et de réduire les débits d'air en ajoutant des ventilateurs de recirculation et autres systèmes de refroidissement utilisant de l'eau. En effet, les écarts de température entre l'intérieur des salles et l'extérieur ou entre l'intérieur des salles de traitements et la salle témoin sont demeurés acceptables tant en maternité qu'en engraissement. Durant les journées chaudes, les températures maximales dans la salle de tous les traitements ont été sensiblement les mêmes. L'humidité est généralement demeurée à plus ou moins 10 % d'humidité par rapport à la salle témoin sauf lorsque les systèmes de refroidissement par l'eau fonctionnaient. Les gaz et les poussières sont restés à des niveaux en dessous des limites recommandées.

En engraissement, aucune dégradation des performances n'a été observée dans les traitements ayant moins de débit, même que l'IMQ et le GMQ ont été numériquement supérieurs. L'utilisation d'eau a aussi diminué de façon importante même si deux des trois traitements expérimentaux avaient des systèmes de refroidissement par l'eau.

En gestation, le système de goutte à goutte a vraiment permis de limiter de façon marquée la hausse du rythme respiratoire et de la température rectale des truies gestantes durant la canicule. Par contre, en maternité, les résultats sont plus mitigés. Il n'y a pas eu de dégradation des paramètres d'ambiance, mais l'effet de refroidissement au niveau des truies n'était pas aussi important qu'espéré. D'autres travaux devront être menés afin d'augmenter l'effet de refroidissement sur les truies, en utilisant l'air (vitesse) et l'eau, sans pour autant affecter les porcelets.

Sur le plan économique, la réduction des débits de ventilation et l'installation de systèmes de refroidissement sont à considérer pour les élevages existants ainsi que pour les constructions neuves et lors de l'implantation d'un système de filtration d'air. Dans le cas de bâtiments sous air filtré, les coûts d'acquisition, d'installation et de fonctionnement vont être couverts par les économies apportées par la réduction du nombre de ventilateurs, de filtres, de volets anti-retour d'air, etc. En d'autres circonstances, le bénéfice de l'implantation d'une telle stratégie doit être analysé au cas par cas. Par exemple, les fermes d'engraissement qui manquent d'eau ou qui ont un problème important de diminution de la croissance durant l'été pourraient rentabiliser leur investissement.

Finalement, le but premier de cet exercice était de diminuer les coûts de filtration en trouvant des stratégies permettant de rafraîchir les animaux sans affecter les performances : les résultats de l'étude démontrent qu'il est véritablement possible de réduire les débits de ventilation et, par le fait même, les coûts de filtration. Toutefois, d'autres travaux pourraient être réalisés afin de peaufiner les stratégies de refroidissement et de trouver des équipements mieux adaptés aux conditions de la ferme.

9. Bibliographie

- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 2003. ASAE Standards 2003 : standards, engineering practices and data. 50th Edition. St-Joseph, MI, USA: ASAE, 978 p.
- Anonyme. S.d. [En ligne]. <http://archi.climatic.free.fr/conference/conference.html>. Consulté en juin 2012.
- Banhazi, T., Aarnink, A., Thuy, H., Pedersen, S., Hartung, J., Maltz, E., Payne, H., Mullan, B. et D. Berckmans. 2007. Issues related to livestock housing under hot climatic conditions including the animals' response to high temperatures. CIGR Workshop "Animal Housing in Hot Climate", April 1-4, Caire, Egypte : 4-24.
- Batista, L., Dufour, V., Pouliot, F., Gobeil Tremblay, E. et M. Morin. 2008. Évaluation d'un système de filtration d'air visant à réduire ou à éviter la transmission par voie aérienne du virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP) à l'intérieur des bâtiments d'élevage : rapport final. Québec: Centre de développement du porc du Québec inc., 39 p.
- Batista, L., Urizar, L. et F. Pouliot. 2009. Évaluation de l'efficacité du filtre à air antimicrobien commercialisé par Noveko après 16 mois d'utilisation dans un bâtiment porcin commercial : rapport final. Québec: Centre de développement du porc du Québec inc., 6 p.
- Bussièrès, D. 2008. Nutritional considerations for the high producing sow to maximise performance. American Association of Swine Veterinarians : 17-32.
- 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.
- Commission internationale de génie rural (CIGR). 1984. Report of working group on climatization of animal houses. Aberdeen, UK: Scottish Farm Build Investigation Unit, 72 p.
- Dee, S.A., Joo, H.S., Polson, D.D. et W.E. Marsh. 1997. Evaluation of the effects of nursery depopulation on the profitability of 34 farms. Veterinary Record, 140 : 498-500.
- Dee, S.A., Batista, L., Deen, J. et C. Pijoan. 2005. Evaluation of an air filtration for preventing aerosol transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Canadian Journal of Veterinary Research; 69: 293-298.
- Dee, S.A., Deen, J., Cano, J.P., Batista, L. et C. Pijoan. 2006a. Further evaluation of alternative air-filtration systems for reducing the transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by aerosol. Canadian Journal of Veterinary Research, 70(3) : 168-175.
- Dee, S.A., Batista, L., Deen, J. et C. Pijoan. 2006b. Evaluation of systems for reducing the transmission of Porcine reproductive and respiratory syndrome virus by aerosol. Canadian Journal of Veterinary Research, 70: 28-33.
- Dee, S.A., Pitkin, A. et J. Deen. 2009. Evaluation of alternative strategies to MERV-16-based air filtration systems for reduction of the risk of airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Veterinary Microbiology, 138(1/2) : 106-113.
- Dee, S.A., Pitkin, A., Otake, S., Olivera, S., Deen, J., Davies, P., Spronk, S., Reicks, D. et P. Ruen. 2010. Keeping disease off the farm. Présentation PowerPoint.
- Dewey, C.E. et B.E. Straw. 2006. Chapter 1. Herd examination. Dans: Diseases of Swine. 9th edition. Ames, IA: Blackwell Publishing, p.3-14.
- Dong, H., Tao, X., Lin, J., Li, Y. et H. Xin. 2001. Comparative evaluation of cooling systems for farrowing sows. Applied Engineering in Agriculture, 17(1) : 91-96.

- Environnement Canada. 2011. Bilan météo été 2011 au Québec. [En ligne]. http://la15nord.com/faits_divers/ilan_meteo_ete_2011_au_quebec.html
- Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (FMV). 2007. Formation et recherche en santé animale. Préparer l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois. Mémoire présenté par Jean Sirois, doyen, à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, 14 p.
- Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ). 2001. Rapport de l'étude coût de production 2010. Longueuil: FPPQ, 45 p.
- Frazzi, E., Calamari, L., Calegari, F. et L. Stefanini. 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. Transactions of the ASAE, 43(2) : 387-394.
- Guingand, N., Granier, R. et P. Massabie. 1994. Étude des poussières en suspension dans une salle d'engraissement climatisée. Journées de la Recherche Porcine en France, 26 : 71-77.
- Gutzwiller, A., Bracher, A., Gafner, J.L., Jost, M. et J. Kessler. 2005. Chapitre 6. Recommandations particulières. Dans : Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour porcs. Zurich: Agroscope Liebefeld-Posieux, p.77-104.
- Haeussermann, A., Hartung, E., Jungbluth, T., Vranken, E., Aerts, J.M. et D. Berckmans. 2007. Cooling effects and evaporation characteristics of fogging systems in an experimental piggery. Biosystems Engineering. 97(3) : 395-405.
- Institut du porc (IFIP). 2006. Manuel de chauffage et de ventilation pour les bâtiments d'élevage porcin. Paris: IFIP, 54 p.
- Institut technique du porc (ITP). 1991. Conduite alimentaire des truies. Dans : L'alimentation de la truie : synthèse bibliographique. Paris: Institut technique du porc, p. 27-32.
- Institut technique du porc (ITP). 2000. La conception de l'élevage, les bâtiments et les aménagements intérieurs. Dans : Mémento de l'éleveur de porc. Paris: Institut technique du porc, p. 41-94.
- Jégou, J.Y., Ramonet, Y., Kergoulay, F., Massabie, P. et J.P. Quillien. 2008. Maîtrise de la ventilation et du chauffage en porcherie : éléments fondamentaux et aspects pratiques. Chambre d'agriculture Bretagne / IFIP, 53 p.
- Kristensen, C.S., Botner, A., Takai, H., Nielsen, J.P. et S.E. Jorsal. 2004. Experimental airborne transmission of PRSS virus. Veterinary Microbiology, 99 : 197-202.
- Lager, K.M. et W.L. Mengeling. 2000. Experimental aerosol transmission of pseudorabies virus and porcine reproductive and respiratory syndrome virus. American Association of Swine Practitioners : 409-410.
- Marquis, A. 1998. Les contaminants de l'air : sources et contrôle. Les bâtiments porcins : la qualité sans compromis. Colloque en génie rural, 11 mars, Drummondville : 66-70.
- Massabie, P. 2001. Incidence des paramètres d'ambiance sur les performances zootechniques du porc charcutier. Paris: Institut technique du porc, 16 p.
- Smith, T.R., Chapa, A., Willard, S., Herndon, C. Jr., Williams, R.J., Crouch, J., Riley, T. et D. Pogue. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast. I: Effect on body temperature and respiration rate. Journal of Dairy Science, 89(10) : 3904-3914.
- Torremorell, M., Pijoan, C., Janni, K., Walker R. et H.S. Joo. 1997. Airborne transmission of *Actinobacillus pleuropneumoniae* and porcine reproductive and respiratory syndrome virus in nursery pigs. American Journal of Veterinary Research, 58 : 828-832.

Willis, R.W., Zimmerman, J.J., Yoon, K.Y., Swenson, S.L., Hoffman, L.J., McGinley, M.J., Hill, H.T. et K.B. Platt. 1997. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus: Routes of excretion. *Veterinary Microbiology*, 57 : 69-81.

Annexe

Tableau 1. Fréquence d'observation (%), du 26 mai au 7 juillet, des différences de température intérieure (ΔT) entre chaque salle expérimentale et la salle témoin en fonction de la température extérieure (T_{ext})

T_{ext} (°C)	Équivalent Jour	ΔT entre les traitements et la salle témoin (°C) (Traitement – Témoin)								
		< 0 (plus froid que T)			0 à < 2			2 à < 4 (plus chaud que T)		
		DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS
< 14	3,51	35	21	32	65	79	68	0	0	0
14 à < 16	3,48	18	9	44	82	91	56	0	0	0
16 à < 18	5,52	17	19	44	83	81	56	0	0	0
18 à < 20	7,4	17	20	20	83	79	78	0	1	3
20 à < 22	5,44	26	8	14	74	92	86	0	0	0
22 à < 24	4,35	20	3	13	80	97	87	0	0	0
24 à < 26	3,86	12	2	8	88	98	92	0	0	0
26 à < 28	3,75	13	1	9	87	99	91	0	0	0
28 à < 30	3,44	29	13	37	71	87	63	0	0	0
30 à < 32	1,96	30	26	44	70	74	56	0	0	0
32 à < 34	0,25	83	81	86	17	19	14	0	0	0
34 à < 36	0,02	35	21	32	65	79	68	0	0	0

Tableau 2. Fréquence d'observation (%), du 8 juillet au 11 août, des différences de température (ΔT) entre les traitements expérimentaux et le traitement témoin (T) selon la température extérieure (T_{ext})

T_{ext} (°C)	Équivalent jour	ΔT entre les traitements et la salle témoin (°C) (Traitement – Témoin)								
		< 0 (plus froid que T)			0 à < 2			2 à < 4 (plus chaud que T)		
		DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS
< 14	0,94	3	71	58	97	29	42	0	0	0
14 à < 16	2,13	6	38	12	94	50	74	0	12	14
16 à < 18	3,36	6	7	3	94	43	36	0	50	62
18 à < 20	3,45	0	2	1	100	38	29	0	60	70
20 à < 22	4,54	0	1	1	100	56	57	0	43	43
22 à < 24	4,24	0	1	1	100	77	84	0	21	15
24 à < 26	5,16	0	2	1	100	95	97	0	3	2
26 à < 28	4,02	0	2	4	100	97	96	0	1	1
28 à < 30	3,86	1	11	12	99	89	88	0	0	0
30 à < 32	3,03	0	45	47	100	55	53	0	0	0
32 à < 34	1	0	96	98	100	4	3	0	0	0
34 à < 36	0,21	3	71	58	97	29	42	0	0	0

Tableau 3. Fréquence d'observation (%), du 12 août au 22, septembre de la différence de température (ΔT) entre les trois traitements expérimentaux et le traitement témoin (T) selon la température extérieure (T_{ext})

T_{ext} (°C)	Jour équivalent	ΔT entre les traitements et la salle témoin (°C) (Traitement – Témoin)								
		< 0 (plus froid que T)			0 à < 2			2 à < 4 (plus chaud que T)		
		DM	BR	AS	DM	BR	AS	DM	BR	AS
< 14	8,19	43	84	94	57	16	5	0	0	0
14 à < 16	5,35	35	33	54	65	53	38	0	14	8
16 à < 18	7,29	39	16	32	61	43	30	0	41	38
18 à < 20	5,36	12	5	12	88	44	46	0	52	42
20 à < 22	5,4	4	1	9	96	66	70	0	34	22
22 à < 24	3,22	4	2	8	96	61	84	0	36	8
24 à < 26	2,64	11	13	21	89	69	77	0	18	2
26 à < 28	1,82	1	5	6	99	94	94	0	1	0
28 à < 30	1,4	1	5	13	100	95	87	0	0	0
30 à < 32	0,28	0	43	58	100	57	42	0	0	0
32 à < 34	0,04	0	0	0	100	100	100	0	0	0

Tableau 4. Fréquence d'observation (%) de la différence de température du lot (ΔT) entre les traitements et la température extérieure (T_{ext}) durant la première phase alimentaire (26 mai au 7 juillet)

T_{ext} (°C)	ΔT entre les traitements et la température extérieure (°C)																			
	< -2				-2 à < 0				0 à < 2				2 à < 4				> 4			
	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS
14 à < 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
16 à < 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	10	8	12	83	90	92	88
18 à < 20	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	3	2	89	81	72	65	4	16	24	33
20 à < 22	0	0	0	0	2	1	1	1	56	47	38	37	41	45	48	46	1	6	13	16
22 à < 24	1	1	1	1	29	24	16	16	46	41	42	45	23	31	38	33	1	2	4	5
24 à < 26	23	19	13	12	38	35	33	32	36	40	44	48	3	7	10	8	0	0	0	0
26 à < 28	33	24	22	22	48	52	49	51	19	23	29	27	0	0	1	1	0	0	0	0
28 à < 30	25	21	18	22	57	55	55	60	18	23	27	18	0	0	0	0	0	0	0	0
30 à < 32	40	35	26	32	56	61	67	68	4	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32 à < 34	54	66	63	97	46	34	37	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34 à < 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
> 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	10	8	12	83	90	92	88

Tableau 5. Fréquence d'observation (%) de la différence de température du lot (ΔT) entre les traitements et la température extérieure (T_{ext}) 8 juillet au 11 août

T_{ext} (°C)	ΔT entre les traitements et la température extérieure (°C)																			
	< -2				-2 à < 0				0 à < 2				2 à < 4				> 4			
	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS
14 à < 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
16 à < 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	21	6	4	44	79	94	96
18 à < 20	0	0	0	0	0	0	0	0	13	5	3	2	76	31	9	10	11	64	87	88
20 à < 22	0	0	0	0	7	4	4	3	23	11	7	6	69	55	19	20	1	30	71	71
22 à < 24	5	2	3	2	12	9	7	7	30	19	11	11	52	61	42	41	0	8	37	40
24 à < 26	11	7	5	4	16	12	9	10	41	32	22	22	31	48	59	62	0	1	5	1
26 à < 28	23	13	11	11	27	28	24	24	42	45	42	45	7	14	22	21	0	0	0	0
28 à < 30	29	17	10	11	46	48	45	51	24	33	45	39	0	2	0	0	0	0	0	0
30 à < 32	35	22	23	23	58	64	76	77	7	14	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
32 à < 34	14	5	71	66	85	93	29	34	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34 à < 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
> 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	21	6	4	44	79	94	96

Tableau 6. Fréquence d'observation (%) de la différence de température du lot (ΔT) entre les traitements et la température extérieure (T_{ext}) 12 août au 22 septembre

T_{ext} (°C)	ΔT entre les traitements et la température extérieure (°C)																			
	< -2				-2 à < 0				0 à < 2				2 à < 4				> 4			
	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS	T	DM	BR	AS
14 à < 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	5	14	95	93	95	86
16 à < 18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	74	50	36	37	26	50	63	62
18 à < 20	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8	5	5	78	44	18	21	12	48	77	74
20 à < 22	0	0	0	0	4	2	1	1	15	8	5	6	72	58	26	32	9	32	68	61
22 à < 24	4	2	1	1	14	7	4	4	41	37	17	22	37	47	57	61	4	8	21	12
24 à < 26	11	3	0	1	28	21	14	15	35	42	38	44	25	31	43	39	1	3	5	1
26 à < 28	20	6	1	2	36	45	33	39	32	36	43	45	11	13	23	14	0	0	0	0
28 à < 30	13	4	2	3	63	53	37	53	24	41	61	44	0	1	0	0	0	0	0	0
30 à < 32	29	25	24	25	68	53	76	75	3	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32 à < 34	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0