

Mars 2023

Rapport final



Amélioration du bien-être des porcelets en pouponnière par l'optimisation des conditions d'ambiance dans le climat québécois : un projet pilote

Auteurs

Sébastien Turcotte, agr., Responsable - Bâtiments et régie d'élevage

Jean-Gabriel Turgeon, Chargé de projets

Collaborateurs

Patrick Gagnon, Ph. D., Responsable - Analyse et valorisation des données

Gabrielle Thibault, étudiante en agronomie

Marie-Aude Ricard, ing., Chargée de projet

Raphaël Mbombo Mwendela, Responsable - Économie et gestion

©Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2023
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-925175-13-1

Équipe de réalisation

Répondant	Sébastien Turcotte, agr., Responsable - Bâtiments et régie d'élevage, CDPQ
Direction scientifique	Patrick Gagnon, Ph. D., Responsable - Analyse et valorisation des données, CDPQ
Chargé de projet	Jean-Gabriel Turgeon, Chargé de projets, CDPQ
Collaborateurs	Patrick Gagnon, Ph. D., Responsable - Analyse et valorisation des données, CDPQ Gabrielle Thibault, étudiante en agronomie, CDPQ Raphaël Mbombo Mwendela, Responsable - Économie et gestion, CDPQ Éric Ouellette, Conseiller technique, CDPQ Marie-Aude Ricard, ing., Chargée de projets, CDPQ Christopher Robitaille, Groupe Robitaille Luc Robitaille, Groupe Robitaille Équipe Maximum
Rédaction	Sébastien Turcotte, agr., Responsable – Bâtiments et régie d'élevage, CDPQ Jean-Gabriel Turgeon, Chargé de projets, CDPQ

Remerciements



Ce projet a été financé par l'entremise du Programme de développement sectoriel, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.

Les auteurs tiennent aussi à remercier Groupe Robitaille et Maximus pour leur contribution à ce projet.



Résumé

L'amélioration génétique des dernières décennies a fait en sorte que les animaux d'aujourd'hui sont plus maigres que leurs contemporains d'il y a 30 ans. Ces animaux ont moins de réserves de graisses corporelles et sont donc moins bien isolés et plus sensibles au froid. Par exemple, entre 1991 et 2011, Brown-Brandl *et al.* (2014) estimaient que les porcs perdaient 15 % plus de chaleur dans leur environnement comparé aux porcs précédents cette période de sélection. Afin de diminuer ces échanges de chaleur avec leur environnement et ainsi dépenser moins d'énergie pour conserver leur température corporelle, les porcelets doivent avoir accès à plus de chaleur.

Il a été observé que les performances zootechniques des porcelets en pouponnière sont souvent moins bonnes en hiver comparé à l'été, et ce, pour des lots presque en tous points identiques (bâtiment, génétique, santé, alimentation, soins, stratégie de ventilation, etc.). Seul le taux de ventilation diffère entre les lots d'hiver et d'été. Or, de moins bonnes performances sont habituellement le signe d'un inconfort ressenti par les porcelets.

Pour tenter de palier à cette situation, un projet de recherche a été mené par l'équipe du CDPQ. L'objectif principal était d'améliorer le confort des porcelets en pouponnière par l'amélioration des conditions d'ambiance hivernales et aussi de tester une stratégie de ventilation estivale

Des courbes de température ont été déterminées, selon les saisons, en fonction des besoins des porcelets, de leurs poids ainsi que des facteurs qui affectent la température ressentie des porcelets.

La température ressentie par les porcelets a par la suite été calculée en se basant sur les travaux de Baker (2004). Ce dernier propose des coefficients de réchauffement ou de refroidissement qui permettent de calculer la température ressentie par les animaux. Différents facteurs comme le type de plancher, la vitesse de l'air, l'isolation du bâtiment, l'utilisation de système de refroidissement ainsi que la source de chaleur influencent la température ressentie.

Trois stratégies de ventilation ont été comparées : une stratégie conventionnelle (témoin) ainsi que deux stratégies compensées; une en été et une seconde en hiver.

Les stratégies de ventilation ont été testées dans 2 bâtiments de pouponnière identiques contenant chacun 4 salles de 550 porcelets. Un total de 26 lots a été suivi. Pour chacun des lots, il y avait 2 salles en stratégie conventionnelle et 2 salles en stratégie compensée. Les traitements des salles étaient alternés d'un lot à l'autre.

Stratégie de ventilation conventionnelle

La consigne de température à l'entrée des porcelets était de 78 °F et diminuait graduellement pour atteindre 67 °F. Cette diminution s'est faite sur 49 jours, ce qui correspond à la durée de l'élevage. L'ajustement de la vitesse minimum en hiver (débit d'air minimum) était fait de manière arbitraire, selon l'expérience de l'opérateur.

Stratégie de ventilation compensée en hiver

En plus des consignes de température qui étaient différentes de la stratégie conventionnelle, soit une consigne de 86,5 °F à l'entrée et de 71,5 °F à la fin de l'élevage, la stratégie compensée en hiver utilisait les données des sondes d'humidité relative (HR) pour faire varier la vitesse minimum des ventilateurs du premier palier de ventilation.

Stratégie de ventilation compensée en été

Cette stratégie était basée sur l'effet de refroidissement par la vitesse d'air. Lorsque la température de la salle atteignait 7,2 °F de plus que la température de consigne, les ventilateurs de recirculation démarraient à très bas régime. Les ventilateurs de recirculation augmentaient de vitesse au fur et à mesure que la température de la salle augmentait, pour atteindre leur vitesse maximale lorsque la température de la salle atteignait 13,2 °F de plus que la température de consigne.

Impact sur l'amélioration des conditions d'ambiance

La stratégie de ventilation compensée en hiver a permis d'améliorer le confort des porcelets. Le taux d'HR a été plus bas dans la stratégie compensée. Ceci pourrait s'expliquer par la consigne de température qui était plus élevée que dans la stratégie conventionnelle. Pour une même quantité d'humidité dégagée par les animaux, les planchers de la salle et le système de chauffage, l'air plus chaud de la stratégie de ventilation compensée a une capacité plus grande à absorber l'humidité, ce qui fait en sorte que l'HR des salles de ce traitement est moins élevée.

La concentration de CO₂ suit la même tendance que l'HR, c'est-à-dire qu'elle est plus faible dans la stratégie compensée lorsque le taux de ventilation augmente pour évacuer l'humidité.

Les ventilateurs de recirculation utilisés dans la stratégie de ventilation compensée en été créaient des courants d'air sur les porcelets afin de les refroidir. Lorsque les ventilateurs démarraient et fonctionnaient à leur vitesse minimum, une moyenne de vitesse d'air de 39 pi/min était mesurée. Cette moyenne augmentait jusqu'à 80 pi/min lorsqu'ils étaient à plein régime. On note toutefois une grande variabilité des mesures de la vitesse d'air ressentie par les porcelets, passant de 10 pi/min dans les extrémités des salles à plus de 100 pi/min à proximité d'un ventilateur de recirculation. L'effet de refroidissement de la recirculation variait alors d'environ -2 °F à -13 °F.

Le nombre d'heures de fonctionnement des ventilateurs de recirculation a varié d'un lot à l'autre en fonction de la date d'entrée des porcelets et des conditions météorologiques prévalentes lors des lots estivaux. Ils ont fonctionné en moyenne 214 heures par lot. En se basant sur la charte proposée par Baker (2004), le nombre d'heures durant lesquelles les ventilateurs de recirculation étaient en fonction correspond au nombre d'heures supplémentaires où les porcelets étaient dans leur zone de confort plutôt qu'en hyperthermie.

Impact des stratégies compensées sur les performances et la consommation d'eau et de propane

Même si les conditions d'ambiance étaient meilleures dans les salles où les stratégies compensées étaient utilisées (été et hiver), ces améliorations ne se sont pas traduites par de meilleures performances zootechniques. En effet, même si le GMQ et la conversion alimentaire ont été légèrement supérieurs dans les salles en stratégies compensées, les différences ne sont pas significatives.

Pour la stratégie compensée en hiver, la consommation de propane a été supérieure de 3,36 litres par jour comparé à la stratégie de ventilation conventionnelle, ce qui était prévisible puisque la consigne de température était plus chaude durant la période d'élevage et le taux de ventilation plus élevé lors des conditions d'ambiance plus humides.

L'état de santé variable des porcelets (dérives sanitaires) ainsi que les ajustements manuels effectués par les opérateurs sur les paramètres de ventilation de la stratégie conventionnelle ont peut-être influencé les résultats du projet.

À la lumière des résultats, d'autres travaux menés dans un contexte plus contrôlé (état de santé des animaux, aucune intervention sur les paramètres de ventilation) seraient nécessaires pour améliorer et optimiser ces stratégies, le but étant que l'amélioration des conditions d'ambiances se reflète sur les performances des porcelets.

Table des matières

Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
1 Mise en contexte et objectifs.....	1
2 Impact des conditions d’ambiance sur les performances des porcelets en pouponnière.....	2
2.1 Confort des porcelets	2
2.2 Température.....	2
2.3 Température effective ou ressentie	3
2.3.1 Conduction	4
2.3.2 Humidité relative	4
2.3.3 Vitesse d’air	4
2.3.4 Radiation.....	4
2.3.5 Chauffage.....	4
2.4 Dioxyde de carbone (CO ₂).....	5
2.5 Ammoniac (NH ₃)	5
3 Matériel et méthode.....	6
3.1 Description du dispositif expérimental.....	6
3.1.1 Système d’alimentation et d’abreuvement.....	8
3.1.2 Pesée des porcelets	9
3.1.3 Système de contrôle des conditions d’ambiance	10
3.1.4 Variabilité spatiale	16
3.1.5 Variation de température selon la hauteur des sondes	17
3.2 Stratégie de ventilation	17
3.2.1 Stratégie de ventilation conventionnelle (SC)	18
3.2.2 Stratégie de ventilation compensée en hiver (SCH)	18
3.2.3 Stratégie de ventilation compensée en été (SCE).....	19

3.3	Protocole expérimental	19
4	Résultats et discussions	20
4.1	Impacts de la stratégie compensée en hiver (SCH)	20
4.1.1	Impact de la SCH sur les conditions d’ambiance en hiver	20
4.1.2	Impact de la SCH sur les performances, la consommation d’eau et de propane en hiver	23
4.2	Impacts de la stratégie compensée en été (SCE)	26
4.2.1	Impact de la SCE sur les conditions d’ambiance en été	26
4.2.2	Impact de la SCE sur les performances, la consommation d’eau et de propane	30
4.3	Contraintes rencontrées en cours de projet	31
5	Impact technico-économique des stratégies de ventilation compensées en pouponnière	32
5.1	Impact économique de la stratégie de ventilation compensée hivernale	32
5.2	Impact économique de la stratégie de ventilation compensée estivale	33
6	Conclusion	35
7	Références	36

Liste des tableaux

Tableau 1 Débit de ventilation approximatif de chacun des paliers de ventilation des pouponnières	11
Tableau 2 Paramètres de ventilation.....	12
Tableau 3 Ouverture des entrées d'air en fonction du palier de ventilation	13
Tableau 4 Vitesse d'air au niveau des animaux.....	16
Tableau 5 Consignes de température selon la stratégie de ventilation	18
Tableau 6 Proportion de temps du projet, selon le traitement, dans chacune des catégories d'humidité relative (HR) quand la température extérieure est inférieure à 0 °C	20
Tableau 7 Proportion de temps d'un lot dans chacune des catégories de concentration de CO ₂ quand la température extérieure est inférieure à 0 °C selon le traitement.....	22
Tableau 8 Performances zootechniques et consommation d'eau et de propane selon la stratégie de ventilation en hiver.....	24
Tableau 9 Charte de calcul de la température effective selon différents facteurs environnementaux.....	25
Tableau 10 Proportion de temps passé, selon le traitement, dans chacune des catégories d'humidité relative (HR) quand la température extérieure est supérieure à 15 °C.....	26
Tableau 11 Proportion de temps d'un lot dans chacune des catégories de concentration de CO ₂ quand la température extérieure est supérieure à 15 °C selon le traitement.....	28
Tableau 12 Nombre d'heures de fonctionnement des ventilateurs de recirculation dans les lots de la stratégie compensée en été	30
Tableau 13 Performances zootechniques et consommation d'eau et de propane selon la stratégie de ventilation en été.....	30

Liste des figures

Figure 1 Plage de température effective correspondant à la zone de confort chez le porc selon son poids.....	3
Figure 2 Salle d'élevage	6
Figure 3 Silos attribués aux salles	7
Figure 4 Image satellite de l'emplacement des deux bâtiments de pouponnière	7
Figure 5 Plan de plancher du bâtiment de pouponnière 227 B.....	8
Figure 6 Trémie sèche double (a) et points d'eau (b).....	9
Figure 7 Balance de plancher et contrôle utilisés dans le cadre du projet	9
Figure 8 Contrôleur Maximus permettant de contrôler et de monitorer l'ambiance.....	10
Figure 9 Étalement des paliers de ventilation	11
Figure 10 En ordre de gauche à droite, sonde de température, sonde d'humidité, sonde de CO ₂ et sonde de NH ₃ .	13
Figure 11 En ordre de gauche à droite, sonde de pression, compteur d'eau et compteur de propane	14
Figure 12 Sonde de température et d'humidité dans le comble.....	14
Figure 13 Fournaise au propane LB White à intensité variable	15
Figure 14 Emplacement des ventilateurs de recirculation (sur le plan de plancher)	15
Figure 15 ventilateurs de recirculation dirigeant l'air vers l'extrémité opposée de la salle.....	16
Figure 16 Dispositif à trois sondes pour mesurer la variation de la température.....	17
Figure 17 Distribution des mesures d'HR lorsque la température extérieure est inférieure à 0°C.....	21
Figure 18 Distribution de la concentration en CO ₂ lorsque la température extérieure est inférieure à 0°C.....	22
Figure 19 Histogramme présentant la densité du différentiel de température entre la température ambiante de la zone et les mesures de température au niveau des porcelets.....	23
Figure 20 Distribution des mesures d'HR lorsque la température extérieure est supérieure à 15 °C	27
Figure 21 Distribution de la concentration en CO ₂ lorsque la température extérieure est supérieure à 15 °C	27
Figure 22 Variabilités spatiales de la vitesse d'air à 0,6 m du sol lorsque la ventilation du palier 3 est au maximum et que les ventilateurs de recirculation sont à la vitesse minimum	28
Figure 23 Variabilité spatiale de la vitesse d'air à 0,6 m du sol lorsque la ventilation du palier 3 est au maximum et que les ventilateurs de recirculation sont à leur vitesse maximum	29

1 Mise en contexte et objectifs

Au Québec, le parc de bâtiments dédiés à l'élevage des porcs est vieillissant et plusieurs producteurs profiteront des travaux de rénovations à venir pour mettre à jour leur système de ventilation. Les systèmes de ventilation sont conçus pour tenter de maintenir les animaux dans un environnement confortable. Cependant, le climat québécois est très variable et les stratégies de ventilation actuelles ne sont pas optimales, surtout lorsque les températures se rapprochent des extrêmes (- 30 °C et + 30 °C).

Il a été observé que les performances zootechniques en pouponnière diffèrent selon les saisons, et ce, pour des lots identiques en tous points (bâtiment, génétique, santé, alimentation, soins, stratégie de ventilation, etc.). Les performances sont moins bonnes en hiver, signe d'un inconfort ressenti par les porcelets. La seule différence entre les lots d'hiver et d'été est le taux de ventilation. En été, il y a de grands débits de ventilation pour maintenir la température demandée. Pour améliorer le confort des porcelets lors des journées plus chaudes, il faudrait appliquer une stratégie de refroidissement, mais cela n'a pas été testé en pouponnière dans nos conditions. En hiver, la ventilation est ajustée au taux minimum afin de contrôler l'humidité relative (HR) et d'expulser les gaz indésirables (CO₂ et NH₃) tout en limitant les coûts de chauffage. Cependant, la ventilation hivernale se fait actuellement à l'aveugle, car les bâtiments d'élevages ne sont pas équipés de sondes permettant de connaître les concentrations de gaz et d'HR. Les nouveaux contrôles intelligents permettent de monitorer les conditions d'ambiance et de ventiler en fonction de la température ambiante, mais aussi en fonction des gaz, de l'HR et de la vitesse d'air ressentie au niveau des animaux.

Les résultats du projet ont permis de valider si l'amélioration des conditions d'ambiance génère de meilleures performances zootechniques chez les porcelets en pouponnière.

L'objectif principal du projet était d'améliorer le bien-être des porcelets en pouponnière par l'optimisation des conditions d'ambiance hivernales et estivales dans les bâtiments. Pour ce faire, les objectifs secondaires suivants ont été réalisés :

- Monitorer les conditions d'ambiance en pouponnière dans le but de mieux comprendre les différences entre les saisons (surtout au niveau des gaz, de l'humidité relative, des poussières et de l'impact des courants d'air) et de valider une stratégie de ventilation optimisée
- En été, valider l'impact de la stratégie de ventilation optimisée et de la recirculation de l'air sur le confort des porcelets et par le fait même, sur les performances zootechniques (conversion alimentaire (CA) et gain moyen quotidien (GMQ))
- En hiver, valider l'impact de la stratégie de ventilation optimisée tenant compte de la température, de l'humidité et surtout des gaz sur le confort des porcelets et par le fait même, sur les performances zootechniques (CA et GMQ)

- Évaluer l'impact technico-économique de la stratégie de ventilation optimisée en pouponnière (calcul de l'avantage économique de la stratégie de ventilation estivale optimisée et calcul de l'avantage économique de la stratégie de ventilation hivernale optimisée).

2 Impact des conditions d'ambiance sur les performances des porcelets en pouponnière

Le système de ventilation vise à permettre de remplacer l'air vicié comprenant le surplus de chaleur, de vapeur d'eau et le CO₂ produit par les animaux, de même que les poussières et les nombreux gaz produits par les microorganismes lors de la décomposition des excréments (Lemay, 2007). Les principaux polluants générés dans les porcheries sont l'ammoniac (NH₃), le sulfure d'hydrogène (H₂S), le dioxyde de carbone (CO₂), les poussières et les microorganismes en suspension dans l'air (Donham *et al.*, 1989). Lemay (2007) explique qu'il peut être plus ardu de contrôler les débits d'air, les gaz et l'humidité et qu'une dégradation de l'ambiance impacte la santé des animaux, les performances zootechniques et les résultats économiques.

2.1 Confort des porcelets

Le gras fournit une isolation thermique importante pour le porc (Madec *et al.*, 2003). L'amélioration génétique a fait en sorte que les animaux d'aujourd'hui sont plus maigres. En effet, selon Anderson *et al.* (2002), cité par Brown-Brandl *et al.* (2004), la sélection génétique a fait en sorte que les porcs ont subi une perte moyenne de gras dorsal de 4,8 mm de 1991 à 2001. Tel que le rapporte le CNSAE (2014), pour les porcelets récemment sevrés il est particulièrement important qu'ils soient gardés à la chaleur et que leur environnement soit sec et exempt de vitesse d'air élevée.

Les porcelets doivent également disposer d'une surface d'élevage suffisante, soit d'environ 1,5 à 3,5 pi²/porcelets entre 22 et 60 lbs et d'une facilité d'accès à l'abreuvoir et à la mangeoire, soit environ 15 porcelets par place d'alimentation. La transition alimentaire de la première semaine entre le lait maternel et l'aliment solide est parfois difficile et il est souvent nécessaire d'isoler certains porcelets présentant des signes de prise alimentaire insuffisante et de leur donner des aliments humides.

2.2 Température

Les animaux ont des performances et une santé optimales lorsqu'ils se trouvent dans leur zone de thermoneutralité ou de confort. La température souhaitable pour les porcelets sevrés à 5 et 20 kg est de 30 °C et 24 °C, respectivement. De plus, dans les 4 à 5 jours suivant le sevrage, il est préférable d'ajuster la température ambiante à 35 °C afin de compenser pour les stress causés par le changement d'environnement (CNSAE, 2014).

2.3 Température effective ou ressentie

Les conditions d'ambiance dépendent de plusieurs facteurs en plus de la température. La température ressentie par les animaux est aussi appelée température effective (effective environmental temperature). La température mesurée par le thermomètre est augmentée ou diminuée par différents facteurs de l'environnement.

Lorsque la température effective (Figure 1) se trouve en dessous de la température critique inférieure (TCi), les performances et la santé sont sacrifiées.

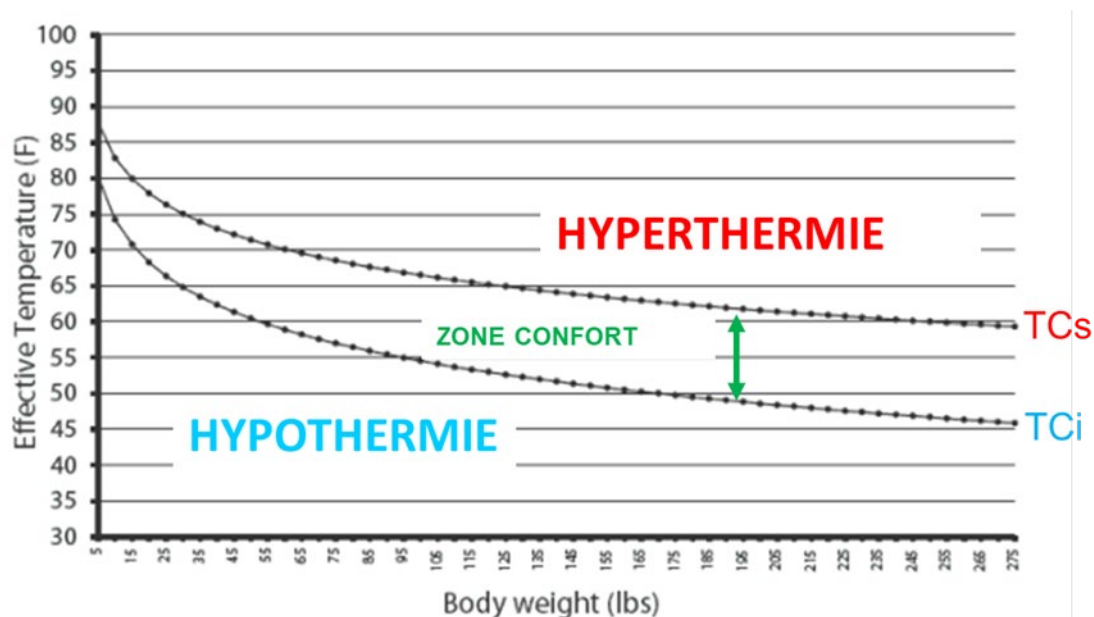


Figure 1 Plage de température effective correspondant à la zone de confort chez le porc selon son poids (adapté de McFarlane 2004 - source Baker, 2004)

Plusieurs facteurs affectent la température effective:

- 1- Conduction (surface/matériel avec lequel l'animal est en contact)
- 2- Convection (vitesse de l'air)
- 3- Radiation (isolation du bâtiment)

Baker (2004) rapporte les limites de la zone de température effective de confort des porcs selon leur masse établie par McFarlane, (2004) et propose différents facteurs d'ajustement permettant de convertir la température de bulbe sec en température effective selon, notamment, le type de plancher, la vitesse de l'air au niveau des animaux, l'isolation du bâtiment et la présence de système de chauffage radiant ou de système de refroidissement.

2.3.1 Conduction

Le type de plancher peut avoir un énorme impact sur la température ressentie par l'animal. Selon Baker (2004), l'ajout de litière augmente de 3 °F la température ressentie, tandis que les planchers en plastique ou métal recouvert de plastique (- 7 °F), les planchers en treillis métallique (- 9 °F) et les planchers en béton sec (- 9 °F) diminuent la température ressentie par l'animal. De plus, si le plancher de béton est humide ou mouillé, la température ressentie par l'animal peut atteindre jusqu'à - 18 °F.

2.3.2 Humidité relative

Pour les porcelets sevrés, l'humidité relative visée se situe entre 60 et 70 % (Chénard, 2001). Brown-Brandl et al. (2014) estime que jusqu'à 1,9 kg/m² d'eau par jour peut être évaporé des planchers. Si l'humidité relative de l'air est très élevée, il est possible que les planchers et l'environnement des porcs soient plus humide, particulièrement par temps froid où les débits de ventilation sont réduits. Par temps chaud, les porcelets libéreront d'avantage d'énergie sous forme de chaleur latente, en évaporant de l'eau dans leur corps et en la rejetant dans l'environnement par respiration. Si l'air est très humide, les porcelets devront augmenter leur rythme respiratoire pour libérer cette énergie.

2.3.3 Vitesse d'air

La vitesse d'air au niveau des animaux affecte également la température ressentie. Selon Baker (2004), des vitesses de 30, 90 et 300 pi/min diminuent la température ressentie par les porcs de - 7, - 13 et - 18 °F respectivement.

2.3.4 Radiation

L'isolation du bâtiment peut également avoir un impact sur la température ressentie par le porc. En saison froide, selon Baker (2004), l'impact de l'isolation peut être de - 13, - 3 et - 1 °F respectivement pour des bâtiments très peu isolés (R5 sur les murs et R10 au plafond), moyennement isolés (R10 murs et R20 plafond) et bien isolés (R14 murs et R30 Plafond).

Des sources de chaleur radiante (lampe, chauffage céramique) peuvent également augmenter la température ressentie par le porc de 12 °F pour les porcs directement exposés à cette source de chaleur.

2.3.5 Chauffage

La pouponnière est le type d'élevage où les besoins en chauffage sont les plus élevés dans le domaine porcin. Ceci s'explique par le fait que les besoins thermiques des porcelets sont très élevés.

Dans la presque totalité des élevages québécois, le chauffage des salles est effectué par la combustion de propane, soit par des fournaies à air pulsé ou par des éleveuses radiantes dans

les plus vieux élevages. Ces systèmes de chauffage rejettent dans les salles d'élevage des produits de combustion tels que du CO₂ et de la vapeur d'eau, nécessitant une ventilation supplémentaire pour les évacuer, et donc du chauffage additionnel pour conserver de bonnes conditions dans la salle d'élevage (CPC, 2005). L'alternative est d'utiliser des fournaies munies de tuyaux d'évacuation permettant de rejeter les gaz de combustion directement à l'extérieur (CPVQ-CPAQ, 1998).

Une problématique observée concerne la variabilité spatiale des conditions d'ambiance dans la salle d'élevage. Puisque l'air entre froid dans la salle d'élevage, il est possible d'y observer des écarts de température très importants. Ceux-ci ne sont pas nécessairement au niveau des porcelets lorsque les entrées d'air sont bien calibrées, mais les risques de courant d'air froid sont bien présents et difficiles à prévoir. Ainsi, le producteur doit porter une attention additionnelle à l'attribution des porcelets dans les parcs pour que les porcelets plus petits soient logés dans des parcs plus chauds. De plus, en saison froide, puisque l'entrée d'air est configurée de sorte que l'air entrant dans la salle longe le plafond pour ne pas créer de courants d'air sur les porcelets, le plafond sera plus froid que la température moyenne de la salle, ce qui augmentera la perte de chaleur par radiation des porcelets.

2.4 Dioxyde de carbone (CO₂)

Des niveaux élevés de CO₂ (> 1 500 ppm) sont associés à une réduction des taux de croissance et à une augmentation des maladies respiratoires (Donham et al., 1989). Des niveaux élevés en CO₂ et en humidité relative sont des indicateurs d'une mauvaise ventilation. D'après Schneberger et al. (2015), la combinaison d'une forte exposition au CO₂ et à la poussière augmente les réponses immunitaires des voies respiratoires des porcs. L'influence combinée de ces gaz a été associée à une susceptibilité accrue aux maladies respiratoires, au stress et à une baisse de productivité des porcs (Michiels et al., 2015).

Selon Smith et Crabtree (2005), une cible typique pour l'ajustement du débit minimal de ventilation est de 3 000 ppm de concentration en CO₂, alors que la limite supérieure à ne pas dépasser est de 5 000 ppm. Ils expliquent également que des niveaux élevés de CO₂ dans les salles d'élevages réduisent l'appétit des porcs, ce qui peut affecter les performances de croissance des animaux.

2.5 Ammoniac (NH₃)

Le NH₃ est généré par l'hydrolyse de l'urine ou par la décomposition des matières organiques. Au-delà de 50 ppm, on constate une baisse des performances pouvant aller jusqu'à 10 % du GMQ (ÉPIDALIS, 2019). À ces taux, la capacité du porc à évacuer les pathogènes de son système respiratoire est grandement affectée, causant toux, augmentation de la fréquence respiratoire, irritation de la muqueuse respiratoire et augmentation des pneumonies. Des changements de comportements (nervosité, morsures de queues, d'oreilles et de flancs) sont également observés (ÉPIDALIS, 2019).

Pour les porcelets sevrés, la concentration maximale recommandée pour l'ammoniac est de 20 ppm (Lemay 2007).

3 Matériel et méthode

Tout d'abord, les informations provenant de la littérature concernant l'impact de la qualité de l'air (gaz, poussières, HR, microorganismes) sur les performances des porcelets en pouponnière ont été colligées. Une attention particulière a été portée à l'impact des courants d'air sur les animaux selon les conditions d'ambiance. Par exemple, les courants d'air sont bénéfiques pendant l'été car ils permettent de rafraîchir les animaux. Ils doivent cependant être évités pendant la saison froide, car ils créent une sensation d'inconfort, affectant directement le bien-être des animaux. Ces informations essentielles ont servi à établir la stratégie de ventilation optimisée et à établir les seuils maximaux tolérables de concentration de chacun des gaz et de l'humidité avant que ces derniers ne viennent détériorer les performances des porcelets. Les informations ont également permis de bien calibrer le système de ventilation (charte de température, charte de vitesse minimum, différentiel des paliers de ventilation et de chauffage, seuil limite acceptable de CO₂, NH₃, HR) dans le but de maintenir un confort optimal des porcelets, tout en optimisant les dépenses énergétiques et ce, autant en été qu'en hiver. La stratégie optimisée a été validée par des experts en ventilation du CDPQ, du Groupe Robitaille ainsi que de Maximus avant sa mise en application.

3.1 Description du dispositif expérimental

Les essais ont eu lieu dans deux bâtiments de pouponnière identiques (identifiés 227 B et 227 D), des élevages multi-sources situés à Mont St-Grégoire et appartenant au groupe Robitaille. Les deux bâtiments ont une gestion d'élevage en tout plein-tout vide (TPTV). La durée d'élevage de chaque lot est de 52 jours et l'intervalle entre deux lots (entre deux entrées de porcelets) est de 56 jours. Il y a donc une période de quatre jours entre chaque lot durant laquelle les bâtiments sont vides; temps nécessaire pour procéder au lavage, à la désinfection et au séchage des salles avant l'arrivée du lot subséquent.

Chaque bâtiment de pouponnière est constitué de 4 salles identiques comptant 550 places chacune, réparties dans 20 enclos (Figure 2).

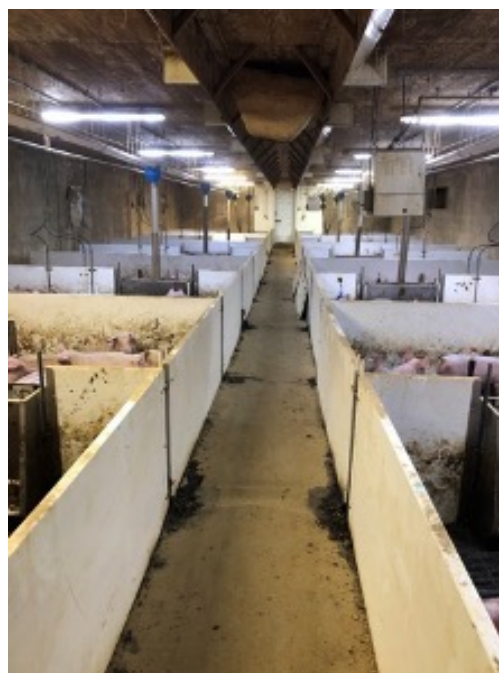


Figure 2 Salle d'élevage

La Figure 4 présente l'image satellite de l'emplacement des bâtiments. Les bâtiments sont exposés aux vents et le système de ventilation y est sensible.

Des modifications aux deux bâtiments de pouponnière ont été réalisées. Dans un premier temps, des modifications ont été apportées au contrôle de ventilation pour être en mesure de bien monitorer l'ambiance de chacune des salles et de faire varier la ventilation (entrée d'air, ventilation, chauffage, recirculation) en fonction de la stratégie de ventilation optimisée.

De plus, dans chacune des 8 salles, différents équipements et sondes ont été installés et raccordés au contrôle de ventilation intelligent :

- Sondes de température des salles, de l'entretoit et extérieure
- Sondes d'humidité relative des salles et de l'entretoit
- Sondes de CO₂, de NH₃ et de pression statique des salles
- Compteur d'eau et de propane des salles
- 5 ventilateurs d'extraction et 2 ventilateurs de recirculation des salles
- Fournaises, entrées d'air et lumières des salles
- Soigneurs et vis d'alimentation

Des modifications aux bâtiments ont été apportées afin de mesurer la quantité d'aliment consommée par salle et effectuer la pesée des animaux. Pour ce faire, deux silos ainsi que les vis d'alimentation permettant d'apporter l'aliment jusqu'aux trémies ont été ajoutés à chacun des bâtiments (Figure 3).



Figure 3 Silos attribués aux salles

Figure 4 Image satellite de l'emplacement des deux bâtiments de pouponnière

Des balances de type plancher ont été ajoutées dans les deux pouponnières pour peser les animaux à l'entrée et à la sortie, les porcelets morts en cours d'élevage ainsi que la moulée restante dans les trémies à la fin d'un lot.

Une sonde de température et d'humidité a également été ajoutée pour chacun des bâtiments afin de monitorer les paramètres de l'air entrant.

La Figure 5 présente la disposition intérieure de la pouponnière 227 B. Les 4 salles (identiques, avec passage central) y sont représentées avec les détails de l'emplacement des équipements de ventilation (précision des stages (paliers) de ventilation), des équipements de distribution d'aliment et des différentes sondes de mesure.

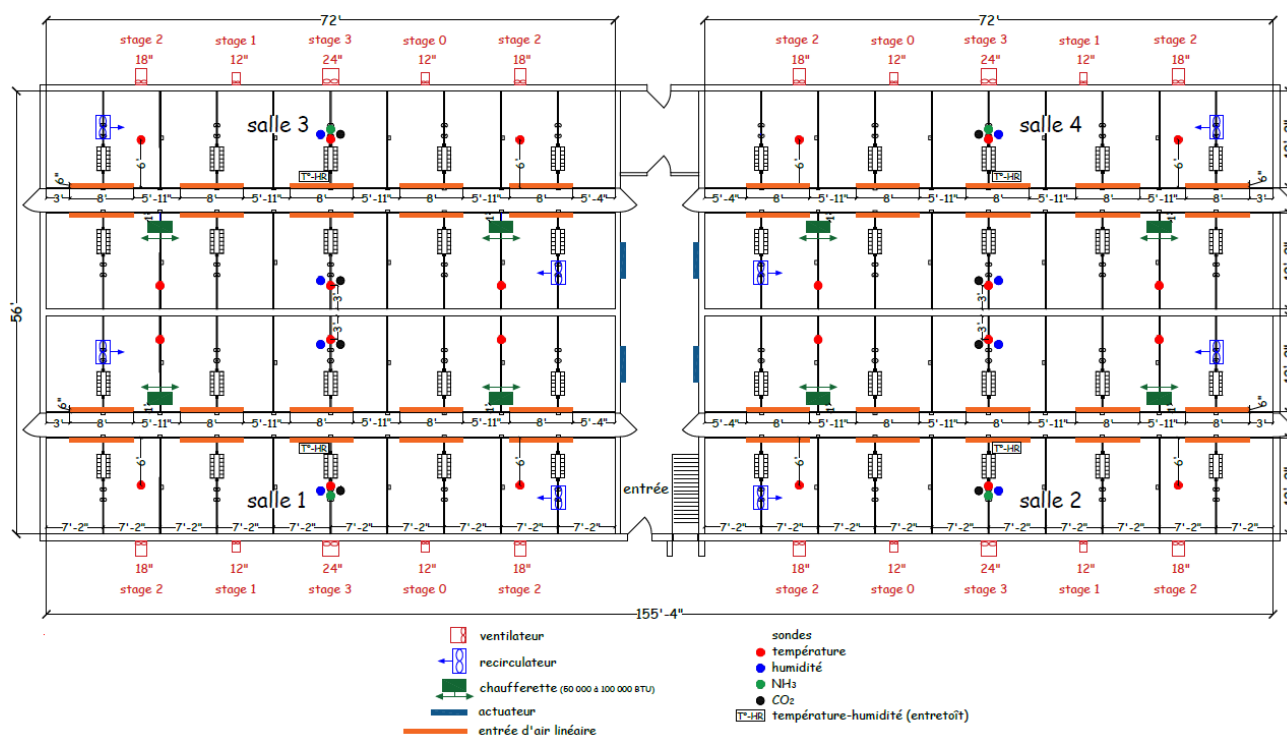


Figure 5 Plan de plancher du bâtiment de pouponnière 227 B

3.1.1 Système d'alimentation et d'abreuvement

Les porcelets étaient alimentés à volonté et la moulée distribuée par 10 trémies sèches doubles (6 trous par côté) par salle (Figure 6 a). Comme équipement d'abreuvement, chaque parc avait trois points d'eau de type bol (urinoir et conventionnel) (Figure 6 b) et il y avait un compteur d'eau par salle.



a)



b)

Figure 6 Trémie sèche double (a) et points d'eau (b)

Afin de mesurer la quantité d'aliment consommée dans chacune des salles, un silo était attribué à chacune d'elle. À la fin d'un lot, la moulée restante dans les trémies était aspirée à l'aide d'un aspirateur d'atelier et pesée sur la balance plancher pour connaître la quantité réellement consommée par les animaux dans chacune des salles. La moulée restante dans le silo était aspirée par le camion et pesée par ce dernier. Pour connaître la consommation réelle d'aliment d'une salle, il suffisait d'additionner les quantités de moulée livrées dans le silo dédié à la salle et soustraire la moulée aspirée ainsi que celle restante dans les trémies.

3.1.2 Pesée des porcelets

L'équipement de pesée utilisé pour les porcelets était une balance de plancher Sureweight (# 10SW8610-2.5KKN) avec cadran indicateur numérique (# 30482AGL) (Figure 7).



Figure 7 Balance de plancher et contrôle utilisés dans le cadre du projet

Une pesée des porcelets était effectuée le lendemain de l'entrée et un allotement des porcelets était fait afin de répartir des porcelets de poids moyens semblables dans chacun des traitements. Au moment de l'allotement, les porcelets étaient regroupés dans 18 des 20 parcs de la salle. Les deux autres parcs étaient utilisés pour les porcelets malades ou plus petits. Aucun transfert de porcelets n'était effectué entre les salles après l'allotement.

Les porcelets morts en cours d'élevage étaient également pesés. Les ouvriers agricoles devaient noter quotidiennement tout événement qui avait lieu à la ferme dans un journal de bord. Par exemple, lorsqu'il y avait de la mortalité, la provenance du porcelet, son poids (pesé sur la balance) ainsi que la cause possible de la mortalité étaient notés.

Une pesée des porcelets avait également lieu à la fin du lot, plus précisément deux jours avant la fin de ce dernier, puisqu'il arrivait que les bâtiments soient vidés sur deux jours.

3.1.3 Système de contrôle des conditions d'ambiance

Le système de contrôle de ventilation Maximus a été utilisé (Figure 8). Ce dernier a permis de contrôler et de monitorer l'ambiance de chacune des salles en fonction des différentes stratégies de ventilation testées.



Figure 8 Contrôleur Maximus permettant de contrôler et de monitorer l'ambiance

Ce système monitoré la température, l'humidité relative, la concentration de CO₂ et de NH₃, la pression statique, la consommation d'eau et de propane. Le contrôle peut également faire varier les différentes composantes du système de ventilation (entrée d'air, ventilateurs, chauffage, recirculation).

3.1.3.1 Débit de ventilation

Toutes les salles sont identiques et possèdent 5 ventilateurs (Tableau 1) :

- 2 ventilateurs de 12 pouces sur le 1^{er} palier
- 2 ventilateurs de 18 pouces sur le 2^e palier
- 1 ventilateur de 24 po sur le 3^e palier

L'évolution du débit visée par palier de ventilation était relativement constante (Figure 9). Pour ce faire, des convergences étaient utilisées. Le débit minimum était de 1,1 CFM/porc et le débit maximum de 26,9 CFM/porc, pour un débit total de 14 800 CFM.

Tableau 1 Débit de ventilation approximatif de chacun des paliers de ventilation des pouponnières

Palier de ventilation	Diamètre des ventilateurs (po)	Nb de ventilateurs par palier	Débit de chaque ventilateur (CFM)	Débit de ventilation par palier (CFM)
Palier 1	12	2	1 200	2 400
Palier 2	18	2	3 300	6 600
Palier 3	24	1	5 800	5 800
Débit total				14 800

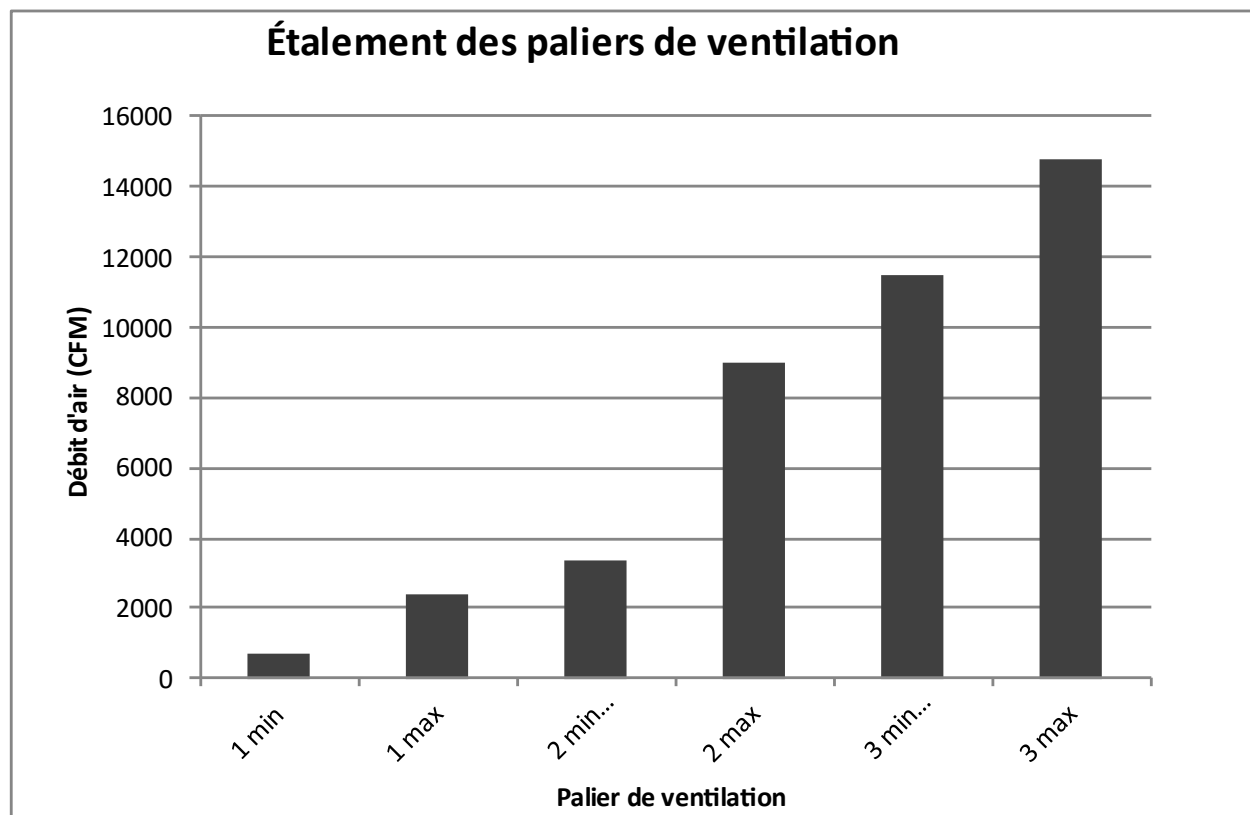


Figure 9 Étalement des paliers de ventilation

3.1.3.2 Ajustement des paramètres de ventilation

Le Tableau 2 présente les ajustements des paramètres de ventilation pour toutes les stratégies de ventilation

Tableau 2 Paramètres de ventilation

Paramètres de ventilation	Ajustement des paramètres dans le contrôleur	Unité
Différentiel palier 1	2,0	°F
Écart palier 2	0,5	°F
Différentiel palier 2	2,0	°F
Écart palier 3	0,5	°F
Différentiel palier 3	1,5	°F
Écart palier 4 (Recirculation)	1,7	°F
Différentiel palier 4 (Recirculation)	6,0	°F
Recirculation OFF	0-21	Jours d'élevage
Thermostat backup	85,0	°F
Chauffage relatif départ	-2,0	°F
Chauffage relatif arrêt	-1,5	°F

La calibration des ouvertures des entrées d'air a été ajustée pour obtenir les vitesses d'air désirées tel que présenté au Tableau 3. Lorsque la ventilation d'une salle était au minimum, l'ouverture des entrées d'air était de ¼ de pouce, pour que la vitesse d'air soit de 900 pi/min, que l'air longe le plafond et se réchauffe avant de se diriger dans le fond de l'enclos. À l'inverse, lorsque la ventilation est au maximum, la vitesse d'air était de 400 pi/min et les entrées d'air ouvertes au maximum. L'objectif était d'envoyer l'air sur les animaux pour les rafraîchir.

3.1.3.3 Capteurs

Dans chacune des salles, plusieurs capteurs et appareils de mesure ont été positionnés tel que vu sur le plan de plancher à la Figure 5. Ils sont présentés sur les Figure 10 et Figure 11:

- 6 sondes de température (Maximus)
- 2 sondes d'humidité relative (Dol Sensors, DOL 104 Sensor)
- 2 sondes de CO₂ (Dol Sensors, DOL 19 CO₂ Sensor)

- 1 sonde de NH₃ (Dol Sensors, DOL 53 Ammonia Sensor)
- 1 sonde de pression statique (Dwyer®, Series MS Magnesense® Differential Pressure Transmitter)
- 1 compteur d'eau (Carlson Meter, VDP® Meter)
- 1 compteur de propane (EKM Metering inc., EKM-PGM-075)

Tableau 3 Ouverture des entrées d'air en fonction du palier de ventilation

Palier de ventilation	Vitesse d'air désirée à l'entrée d'air (pi/min)	Ouverture de l'entrée d'air (po)
1 min	900	1/4
1 max	800	1 3/16
2 min	700	1 15/16
2 max	700	5 1/8
3 min	400	11 1/2
3 max	400	14 3/4

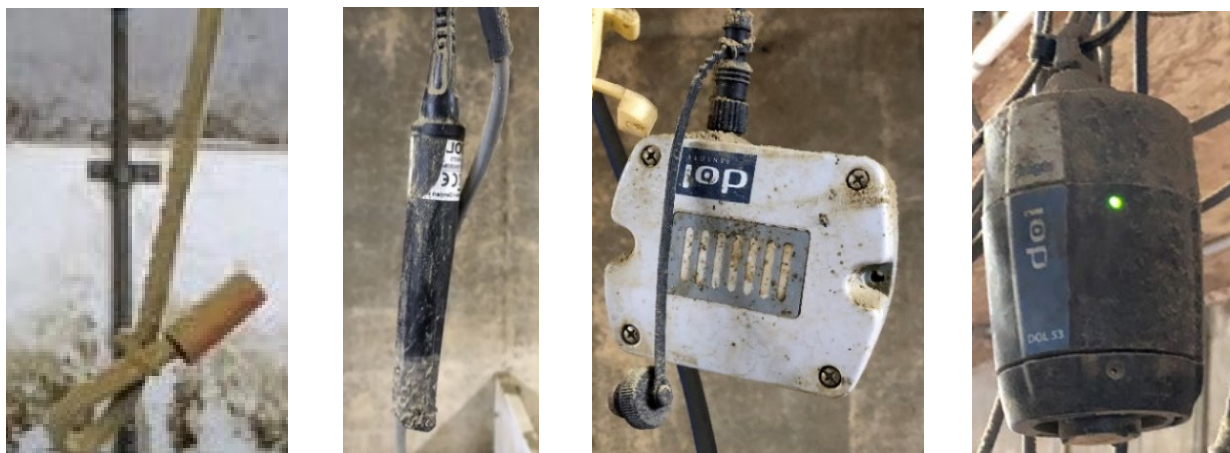


Figure 10 De gauche à droite, sonde de température, sonde d'humidité, sonde de CO₂ et sonde de NH₃



Figure 11 De gauche à droite, sonde de pression, compteur d'eau et compteur de propane

Le compteur de propane envoyait 1 pulse pour 1 pi³ de gaz. Or, le propane liquide est pressurisé à une masse volumique de 0,5 kg/L. Sachant la masse volumique du propane à 1,92 kg/m³ à une température de 15,6 °C, la conversion des comptes de consommation de gaz a été réalisée avec l'équation suivante :

$$\text{Consommation propane [L]} \approx \text{Pulses [pi}^3\text{]} \times 0,028317 [\text{m}^3/\text{pi}^3] \times 1,92 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 2 [\text{L}/\text{kg}]$$

Deux sondes de températures et d'humidité ont également été positionnées dans le comble, vis-à-vis les entrées d'air, afin de monitorer les conditions de l'air entrant dans le bâtiment (Figure 12).

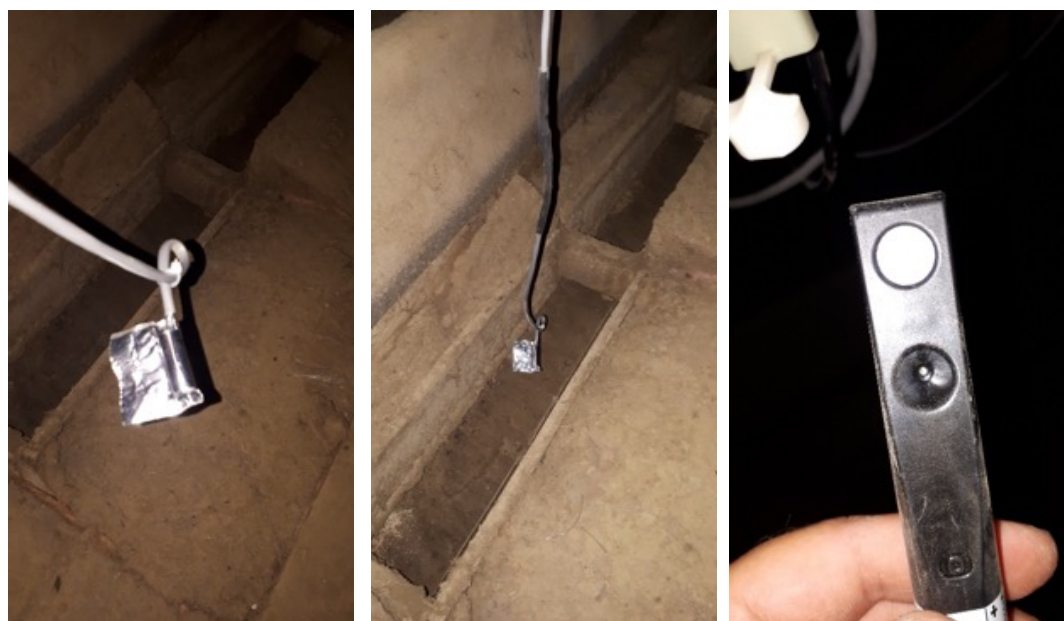


Figure 12 Sonde de température et d'humidité dans le comble

Du papier d'aluminium a été ajouté sur les sondes de température pour éviter que la mesure des températures ne soit affectée par la toiture en tôle, laquelle pouvait être plus chaude que l'air ambiant en été (radiation du revêtement métallique).

3.1.3.4 Système de chauffage

Dans chacune des salles, deux fournaises au propane LB White à intensité variable (50 000 - 100 000 BTU) étaient utilisées comme système de chauffage (Figure 13). Les fournaises démarraient à - 2 °F de la température de consigne et elles arrêtaient à - 1,5 °F de celle-ci.



Figure 13 Fournaise au propane LB White à intensité variable

3.1.3.5 Ventilateurs de recirculation

La Figure 14 montre l'emplacement des ventilateurs de recirculation dans une salle. Deux ventilateurs de recirculation de 30 po à vitesse variable ont été installés dans chacune des salles (Canarm, modèle CA30AG-GV11).

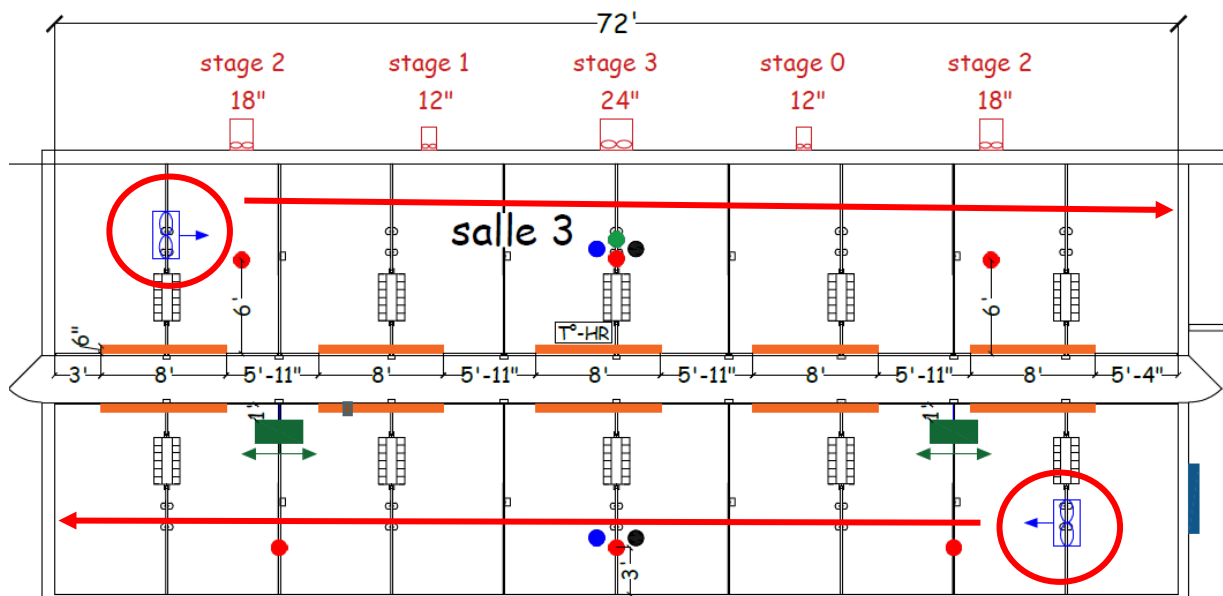


Figure 14 Emplacement des ventilateurs de recirculation (sur le plan de plancher)

Ils ont été positionnés aux extrémités opposées de la salle, au-dessus du milieu des enclos de chacune des rangées (Figure 15). Chaque recirculateur dirige l'air vers l'extrémité opposée de la salle (Figure 14). Selon la fiche technique, le recirculateur permet de développer un flux d'air pouvant atteindre une vitesse de 200 ft/min [1m/s] à une distance de 100' alors que la longueur de la salle est de 72'.



Figure 15 ventilateurs de recirculation dirigeant l'air vers l'extrémité opposée de la salle

3.1.4 Variabilité spatiale

La mesure de la vitesse d'air au niveau des animaux a été effectuée avec un anémomètre à fil chaud omnidirectionnel (Kimo, HQ210-O) positionné à deux hauteurs différentes (à 0,6 et 1 m du sol) lorsque le palier 3 de ventilation était au maximum et que les ventilateurs de recirculation étaient au minimum et au maximum (Tableau 4). Dans chacun des parcs, les prises de mesures ont été effectuées au centre de 3 zones (avant, milieu et arrière). Ces données ont été utilisées pour déterminer l'effet de refroidissement de la recirculation de l'air pour la stratégie de ventilation compensée estivale.

Tableau 4 Vitesse d'air au niveau des animaux

Situation	Vitesse (pi/min)				
	Minimum	Moyenne	Mediane	Maximum	Écart-type
Palier 3 min. et recirculation min.	0,0	39,1	38,4	120,1	22,1
Palier 3 max. et recirculation max.	23,6	84,0	84,6	214,6	32,4

3.1.5 Variation de température selon la hauteur des sondes

Afin de valider l'effet de la stratification de la température, un dispositif comprenant des sondes disposées à 3 hauteurs différentes (plancher, 10 et 20 po) a été installé dans une des salles (Figure 16).



Figure 16 Dispositif à trois sondes pour mesurer la variation de la température

3.2 Stratégie de ventilation

Trois stratégies de ventilation ont été comparées : une stratégie conventionnelle (Témoin) ainsi que deux stratégies compensées; une première utilisée en été et une seconde en hiver. Les consignes de température variaient entre les stratégies estivales et hivernales pour prendre en compte l'impact de l'échange par radiation entre les porcelets et leur environnement puisque les murs et le plafond sont sujets à être plus froids que la pièce en période hivernale. Le Tableau 5 présente les consignes de température selon la stratégie de ventilation.

Tableau 5 Consignes de température selon la stratégie de ventilation

Jour d'élevage	Consigne de température selon la stratégie		
	Conventionnelle (témoin)	Compensée (hiver)	Compensée (été)
	°F	°F	°F
0	78,0	86,5	83,0
4	78,0	86,5	83,0
7	77,0	84,5	80,0
14	76,0	80,5	77,0
21	75,0	78,5	75,0
35	70,0	74,5	71,0
49	67,0	71,5	68,0

3.2.1 Stratégie de ventilation conventionnelle (SC)

Les paramètres du système de ventilation et de chauffage ont été ajustés selon le Tableau 5. Celui-ci montre que la consigne de température à l'entrée était de 78 °F et qu'elle diminuait graduellement pour atteindre un minimum à 67 °F. Cette diminution s'est faite sur 49 jours, ce qui correspond à la durée de l'élevage. L'opérateur utilisait l'option de décalage temporaire de la consigne de température s'il observait que les porcs n'étaient pas confortables.

Au moment de débiter le projet, l'option d'évolution de la consigne du débit minimum de ventilation selon l'âge des porcs n'était pas disponible sur le contrôle. L'ajustement de la vitesse minimum en hiver (débit d'air minimum) était fait de manière arbitraire, selon l'expérience de l'opérateur. Lorsque ce dernier notait que l'odeur dans le bâtiment était dérangeante, qu'il ressentait une sensation d'irritation oculaire et que l'air semblait trop humide, il augmentait la vitesse minimum du ventilateur du palier 1. Cette augmentation permet d'augmenter le débit de ventilation afin d'évacuer les gaz et l'humidité perçus en trop grande concentration. À l'inverse, lorsque l'opérateur s'apercevait que le système de chauffage ne semblait pas être assez efficace ou qu'il fonctionnait trop souvent, il diminuait la vitesse minimum.

3.2.2 Stratégie de ventilation compensée en hiver (SCH)

La SCH est basée sur la variation automatisée du débit de ventilation minimum en fonction des paramètres d'ambiance mesurés par le contrôleur. Plus précisément, le débit de ventilation était augmenté lorsque l'humidité relative de la salle dépassait 70 %. Pour ce faire, la vitesse minimum des ventilateurs du premier palier augmentait graduellement pour sortir l'humidité supplémentaire. L'augmentation pouvait atteindre un maximum de 15 % de plus que la vitesse minimum quand l'HR de la salle atteignait 80 %.

De plus, les consignes minimales de température sont plus élevées (86,5 °F à 71,5 °F) que dans la stratégie conventionnelle (78 °F à 67 °F). Ces consignes ont été définies en respectant le modèle animal de McFarlane (2004) et les coefficients d'ajustement de la température effective de Baker (2004).

3.2.3 Stratégie de ventilation compensée en été (SCE)

La SCE était basée sur l'effet de refroidissement de la vitesse d'air. La consigne de température était supérieure tout au long de l'élevage (83 °F à 68 °F) comparativement à la stratégie conventionnelle (78 °F à 67 °F). La différence entre les consignes estivales et hivernales se justifie par le coefficient d'ajustement de la température associé à l'isolation de la bâtisse. L'hiver, selon la qualité de l'isolation, les murs et le plafond seront plus froids que la température de la salle, accentuant la perte d'énergie par radiation des porcelets. Toutefois, en été la température extérieure est semblable aux températures intérieures, de sorte que les échanges d'énergie par radiation peuvent être négligés.

Lorsque la température de la salle atteignait 7,2 °F de plus que la température de consigne, les ventilateurs de recirculation démarraient à très bas régime. Ces derniers augmentaient de vitesse au fur et à mesure que la température de la salle augmentait et ils atteignaient leur vitesse maximale lorsque la température atteignait 13,2 °F de plus que la consigne.

3.3 Protocole expérimental

Pour atteindre les différents objectifs du projet et capter les différences de performances selon la stratégie de ventilation (conventionnelle vs compensée), un total de 26 lots a été nécessaire (13 lots par bâtiment). Chaque pouponnière était remplie totalement dans la même journée, cependant l'entrée des porcelets se faisait dans un intervalle de deux semaines entre le bâtiment B et le bâtiment D.

Puisqu'il y avait 4 salles dans chacun des bâtiments et deux types de stratégie de ventilation, il était nécessaire de dédier deux salles en stratégie de ventilation conventionnelle et 2 salles en stratégie de ventilation optimisée, et ce, à chaque lot. Le lot suivant, les traitements des salles étaient inversés.

Pour éviter des biais via l'emplacement des traitements en fonction des vents dominants, les salles 1 - 4 et 2 - 3 ont été pairées (voir Figure 5) car elles sont à l'opposé l'une de l'autre.

Le J0 de la charte de température (Tableau 5) correspond à la journée de la pesée et de l'allotement des porcelets.

4 Résultats et discussions

4.1 Impacts de la stratégie compensée en hiver (SCH)

4.1.1 Impact de la SCH sur les conditions d'ambiance en hiver

4.1.1.1 Humidité relative (HR)

La compensation en HR était appliquée lorsque la ventilation était sur le palier minimum et que l'HR de la salle était supérieure à 70 %. La compensation augmentait proportionnellement la consignes des ventilateurs pour atteindre 15 % de plus lorsque l'HR était égale ou supérieur à 80 %. Par exemple, pour une vitesse minimum réglée à 30 %, la vitesse des ventilateurs augmentait jusqu'à 45 % avec la compensation. Le Tableau 6 montre, selon le traitement, les proportions de temps du projet dans chacune des catégories d'humidité relative (HR) quand la température extérieure est inférieure à 0 °C. Les consignes de température étaient également plus élevées dans les salles en stratégie de ventilation compensée en hiver (SCH), de sorte que pour une même HR, l'air de la SCH contenait plus d'eau que celle de la SC. Toutefois, à des températures plus élevées, les animaux produisent également plus d'énergie latente et d'avantage d'eau est évaporée par les planchers. Les fournaies fonctionneront également d'avantage, alors que les gaz de combustion rejetés sont majoritairement de l'eau et du gaz carbonique. Il n'est donc pas vraiment attendu d'observer de grandes variations sur les mesures d'humidité relative de l'air entre les traitements

Tableau 6 Proportion de temps du projet, selon le traitement, dans chacune des catégories d'humidité relative (HR) quand la température extérieure est inférieure à 0 °C

Traitement	HR > 55	HR > 60	HR > 65	HR > 70	HR > 75	HR > 80	HR > 85
Stratégie compensée hiver (SCH)	96 %	92 %	86 %	75 %	45 %	12 %	1 %
Stratégie conventionnelle (SC)	98 %	94 %	88 %	76 %	46 %	14 %	1 %

Les proportions de temps passé dans toutes les catégories d'humidité relative (HR) sont plus faibles avec la SCH. Lorsque l'HR est inférieure à 70 %, une différence de 2 % du temps passé dans cette strate d'HR est observée entre les deux stratégies. Cette différence pourrait s'expliquer par la consigne de température plus élevée dans la stratégie compensée. En effet, pour une même quantité d'humidité dégagée par les animaux, les planchers de la salle et le système de chauffage, l'air plus chaud de la stratégie de ventilation compensée a une meilleure capacité à absorber l'humidité. Ainsi, l'HR des salles de ce traitement diminue un peu plus bas que l'HR des salles où la stratégie conventionnelle est appliquée. Au-dessus d'une HR de 70 %, moment où la compensation se mettait en fonction, il y avait une différence de 1 % du temps

passé dans cette catégorie (un peu plus de 6 h par lot où l'HR était inférieure dans les salles en stratégie compensée). Cette différence augmente à presque 2 % du temps de projet lorsque l'HR est supérieure à 80 %.

La Figure 17 montre la distribution des mesures d'HR selon les traitements lorsque la température extérieure est en dessous de 0 °C.

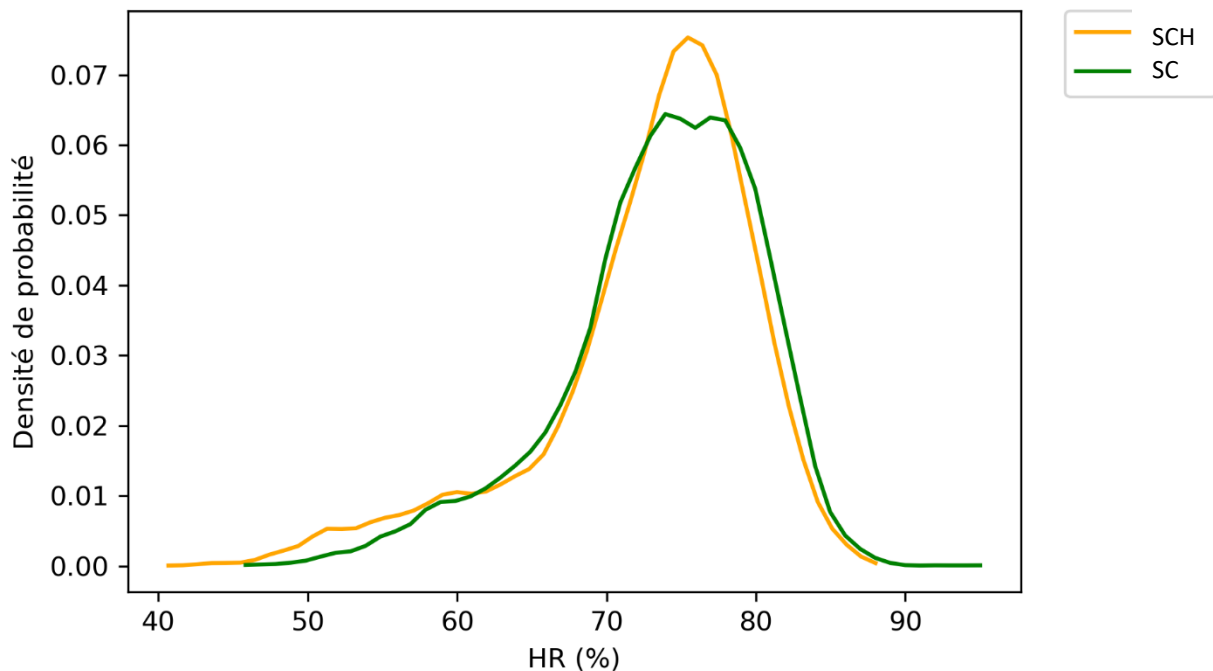


Figure 17 Distribution des mesures d'HR selon les traitements lorsque la température extérieure est inférieure à 0 °C

Il est possible de voir que la cloche de distribution des données de la SCH est moins étendue et qu'il y a plus de données entre 70 et 80 % d'HR que dans la stratégie conventionnelle. De plus, le nombre de données supérieur à 78 % d'HR est inférieur pour la stratégie compensée.

4.1.1.2 Concentration en CO₂

L'augmentation du taux de ventilation pour contrôler l'HR a un impact direct sur la concentration de CO₂ (Tableau 7). Des concentrations de CO₂ supérieures à 6 000 ppm sont mesurées sur 1 % moins de temps avec l'utilisation de la stratégie de ventilation compensée.

Tableau 7 Proportion de temps d'un lot dans chacune des catégories de concentration de CO₂, selon le traitement, quand la température extérieure est inférieure à 0 °C.

Traitement	CO ₂ > 3 000 ppm	CO ₂ > 4 000 ppm	CO ₂ > 5 000 ppm	CO ₂ > 6 000 ppm
Stratégie compensée hiver (SCH)	94 %	59 %	19 %	2 %
Stratégie conventionnelle (SC)	91 %	57 %	19 %	3 %

Cependant, puisque les consignes de température sont plus chaudes dans cette stratégie compensée, il y a aussi une plus grande proportion de temps où la ventilation est au minimum, ce qui explique les pourcentages plus élevés de temps notés avec des concentrations de plus de 3 000 et 4 000 ppm. Aussi, comme observé à la Figure 18, présentant la distribution des mesures de concentration en CO₂ selon les traitements lorsque la température extérieure est inférieure à 0°C, les concentrations étaient plus souvent inférieures à 3 000 ppm avec la SC.

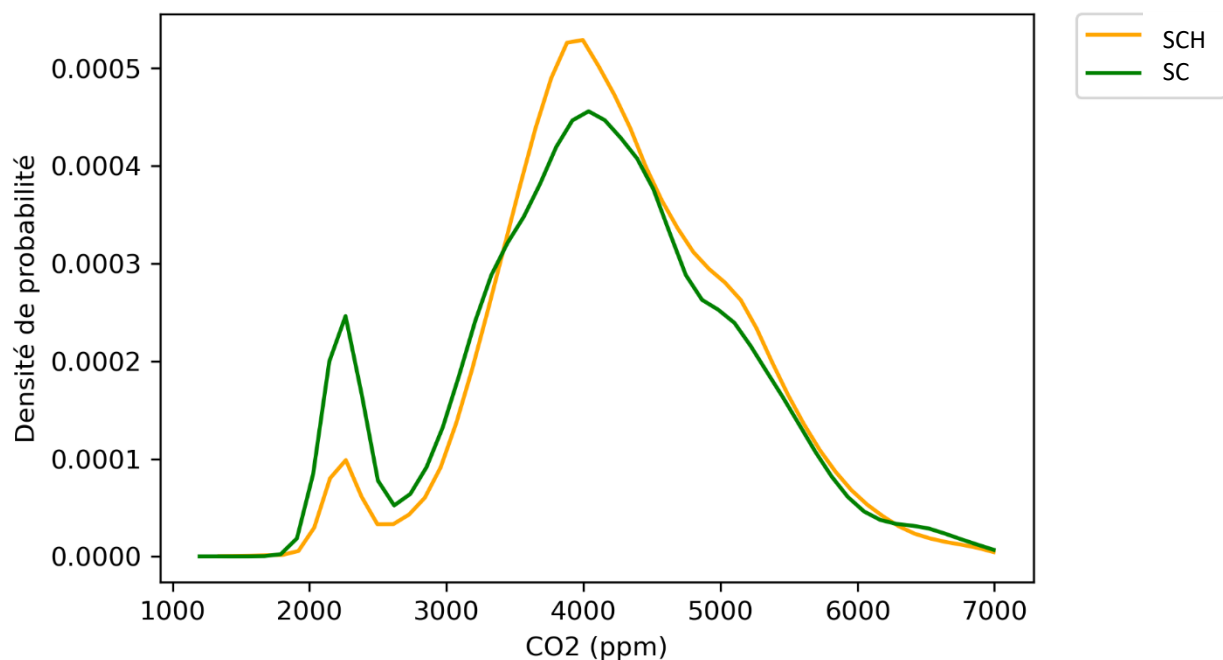


Figure 18 Distribution des mesures de concentration en CO₂ selon les traitements lorsque la température extérieure est inférieure à 0°C

La moyenne des concentrations de CO₂ dans les deux stratégies de ventilation est très semblable et se situe aux alentours de 4 000 ppm. Il était attendu que la concentration en CO₂ soit plus importante avec la SCH puisque les consignes de température et donc de chauffage sont plus élevées. Toutefois, la compensation en humidité permettait d'augmenter le changement d'air,

augmentant les coûts de chauffage, mais aidant à contrôler également la concentration en CO₂. La stratégie compensée a une plus grande proportion de données entre 4 500 et 6 000 ppm de CO₂, mais une moins grande proportion de données que la stratégie conventionnelle entre 6 000 et 7 000 ppm.

4.1.1.3 Écarts de température entre les capteurs de la salle et les porcelets

La Figure 19 présente l'écart de température entre les capteurs de température installés à la hauteur des porcelets et les mesures de température du capteur de la zone de la salle. Les écarts de température sont rapportés sans distinctions entre les 3 capteurs, selon la température de l'air dans l'entretoit. Les données sont présentées sous forme d'histogramme à 2 dimensions, où les couleurs les plus foncées représentent des combinaisons de conditions ayant été observées pour une durée supérieure à 30 heures pour la période entre le 3 décembre 2020 et le 29 octobre 2021. Il est observé que la majorité du temps, la température est légèrement plus chaude au niveau des porcelets que la température de la salle, sauf par temps chaud, où la température est parfois plus froide de 1 à 2 °F au niveau du plancher.

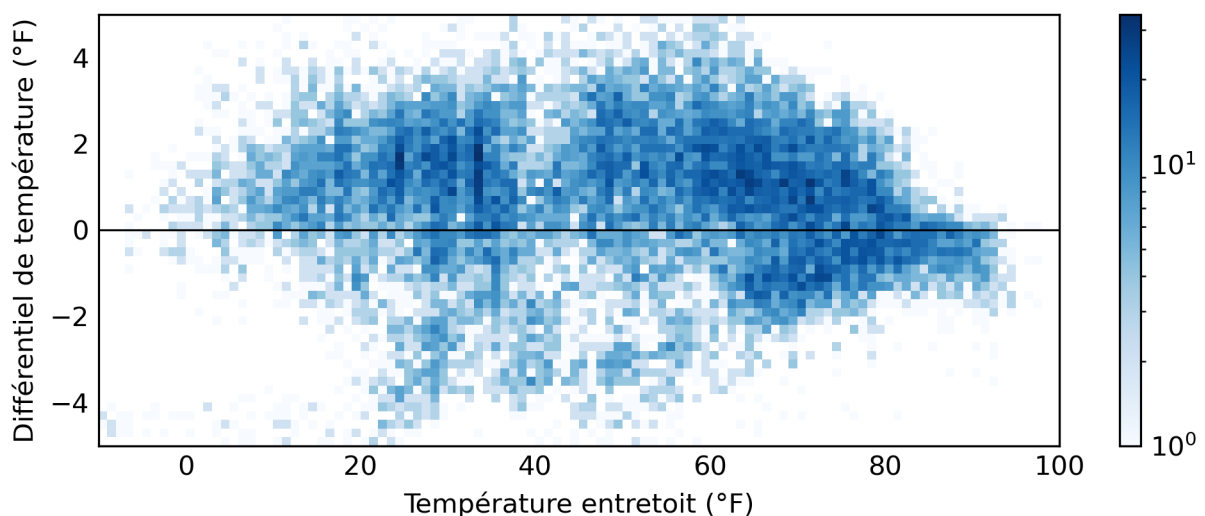


Figure 19 Histogramme présentant la densité du différentiel de température entre la température ambiante de la zone et les mesures de température au niveau des porcelets.

4.1.2 Impact de la SCH sur les performances zootechniques, la consommation d'eau et de propane en hiver

Les performances zootechniques ainsi que la consommation d'eau et de propane notées dans le cadre des stratégies de ventilation conventionnelle et compensée en hiver sont présentées au Tableau 8.

Les performances zootechniques sont très semblables dans les deux traitements et aucune différence statistique n'est observée. Le GMQ est identique dans les deux traitements, à 1 ou 2 grammes près.

La consommation moyenne quotidienne (CMQ) de moulée est supérieure de 10 g/j pour la stratégie conventionnelle. L'hypothèse émise concernant ce résultat est que les consignes plus élevées de température dans la stratégie compensée font en sorte que les porcelets sont plus confortables; qu'il y a donc moins de consommation d'aliment nécessaire pour s'adapter aux périodes où ils se retrouvent sous leur température critique inférieure.

Par exemple, dans la stratégie conventionnelle, pendant 21,2 % des 72 premières heures et 17 % des 168 premières heures des lots, la température moyenne des salles était inférieure à 78 °F. Les porcelets étaient élevés sur du plancher de plastique. En utilisant la charte de Baker (2004) présentée au Tableau 9, la température ressentie effective est alors de 70 °F (température bulbe sec au thermomètre [78 °F] – effet refroidissant du plancher de plastique [- 7 °F] - bonne isolation du bâtiment [- 1 °F]). Cette température est alors en dessous de la température critique inférieure pour des porcelets de 6 kg (CNSAE, 2014)

Tableau 8 Performances zootechniques et consommation d'eau et de propane selon la stratégie de ventilation en hiver

	Stratégie conventionnelle	Stratégie compensée (hiver)
Poids moyen à l'entrée (kg)	6,01	6,00
Poids moyen à la sortie (kg)	28,07	28,01
GMQ économique (g/j)	449	450
GMQ technique (g/j)	461	459
CMQ moyen (g/j)	634	624
Conversion alimentaire économique	1,42	1,39
Conversion alimentaire technique	1,38	1,36
Mortalité des porcelets (%)	7,33	6,39
Consommation propane (L)	383	558
Consommation d'eau (L/j/porcelet sorti)	1,88	2,05

Tableau 9 Charte permettant de calculer la température effective selon différents facteurs environnementaux (Baker, 2004)

Facteurs affectant l'estimation de la température effective					
		Diminution ou augmentation à considérer (°F)			Diminution ou augmentation à considérer (°F)
Type de plancher	Tapis de sol	+3	Isolation des bâtiments*	Bonne (R14 mur/R30 cloison)	-1
	Treillis métallique	-9		Modérée (R10/R20)	-3
	Tenderfoot	-7		Faible (R5/R10)	-13
	Plastique extrudé	-7	Système de refroidissement	Rideau d'évaporation	-6
	Béton sec	-9		Brumisateur	-6
	Béton humide	-18		Goutte à goutte	-10
Vitesse de l'air	30 pi/min	-7		Aspersion	-10
	90 pi/min	-13	Source de chaleur radiante**		+12
	300 pi/min	-18			

* Correction pour temps froid seulement

Adapté de Baker, 2004

**Pour les porcs ayant un accès direct à la zone chauffée par des lampes chauffantes

La conversion alimentaire est presque identique, mais légèrement mieux dans la stratégie compensée. Cette différence de 0,03 pourrait équivaleoir à 0,44 \$/porcelet (selon un prix de moulée de 608,07 \$/t (moyenne 2018-2022)).

Même s'il semble y avoir une diminution du taux de mortalité (0,94 %), cette amélioration n'est pas significative sur le plan statistique et est attribuable aux problèmes sanitaires observés durant le projet. Il est important de noter que le statut sanitaire des porcelets n'était pas stable tout au long du projet et qu'il y a eu une très grande variabilité de la mortalité d'un lot à l'autre, et même d'une salle à l'autre pour un même traitement.

Pour ce qui est de la consommation de propane pour le chauffage de la salle de la stratégie compensée, elle est supérieure en moyenne de 175 litres, ce qui représente une augmentation d'environ 45,7 %. Ceci était attendu puisque la température est plus chaude durant la période d'élevage et le taux de ventilation plus élevé lorsque les conditions d'ambiance sont plus

humides. Cette différence est significative, mais représente en moyenne 3,36 litres de plus par jour sur une durée d'élevage de 52 jours.

La consommation d'eau a été légèrement plus élevée dans la stratégie compensée (170 ml/porcelet/j), ce qui pourrait s'expliquer par les températures plus élevées de cette stratégie.

4.2 Impacts de la stratégie compensée en été (SCE)

4.2.1 Impact de la SCE sur les conditions d'ambiance en été

4.2.1.1 Humidité relative

La proportion de temps passé dans chacune des catégories d'humidité relative (HR), quand la température extérieure est supérieure à 15 °C, est présentée au Tableau 10.

Tableau 10 Proportion de temps passé, selon le traitement, dans chacune des catégories d'humidité relative (HR) quand la température extérieure est supérieure à 15 °C

Traitement	HR > 55	HR > 60	HR > 65	HR > 70	HR > 75	HR > 80	HR > 85
Stratégie compensée été	98 %	93 %	85 %	68 %	34 %	9 %	1 %
Stratégie conventionnelle	97 %	93 %	84 %	67 %	35 %	10 %	1 %

Il y a 1 % plus de temps enregistré avec des conditions d'HR supérieur à 55 %. Ceci peut être causé par la consigne de température plus chaude de cette stratégie, qui amène à diminuer le taux de ventilation en début de lot pour éviter de chauffer les salles en saison chaude.

La Figure 20 montre la distribution des mesures d'HR selon les traitements lorsque la température extérieure est supérieure à 15 °C.

La proportion de données d'HR de la stratégie de ventilation compensée est plus élevée entre 50 et 65 % d'HR, mais plus faibles entre 65 et 75 % d'HR.

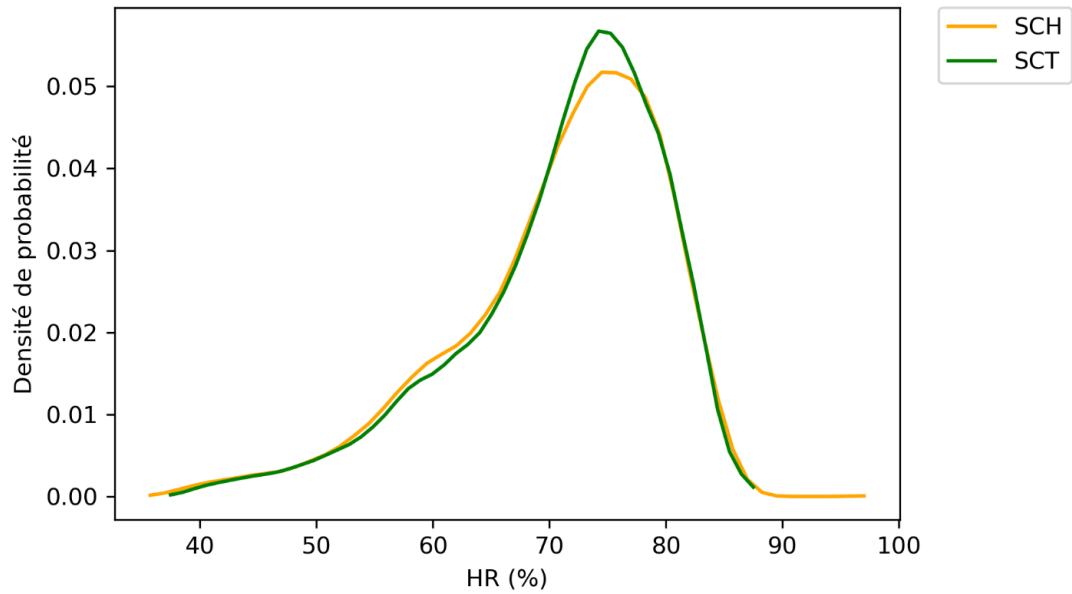


Figure 20 Distribution des mesures d'HR selon les traitements lorsque la température extérieure est supérieure à 15 °C

4.2.1.2 Concentration en CO₂

Concernant les concentrations en CO₂ en été, la moyenne des deux stratégies de ventilation estivale est plus faible qu'en hiver, se situant autour de 1 000 ppm de CO₂ (Figure 21) comparativement à 4 000 ppm en hiver (Figure 18). Le taux de ventilation, qui est près de 25 fois plus élevé en été (26,6 CFM/porcelets en été comparativement à 1,1 CFM/porcelet en hiver) en est assurément la cause.

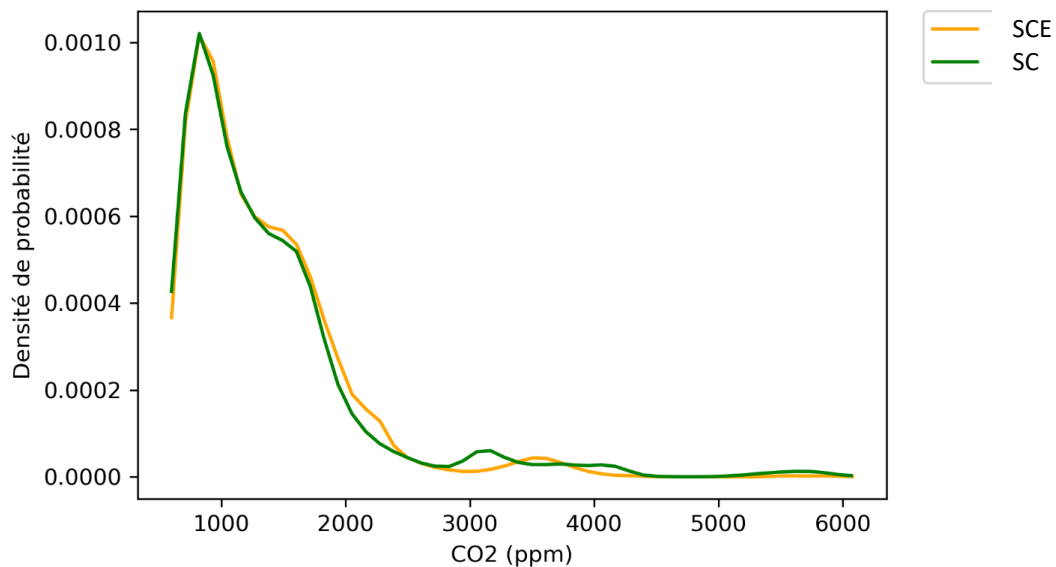


Figure 21 Distribution des mesures de concentration en CO₂ selon les traitements lorsque la température extérieure est supérieure à 15 °C

La proportion de temps enregistré avec des concentrations de CO₂ de plus de 3 000 ppm est supérieure de 7 % pour la stratégie compensée comparativement à la stratégie conventionnelle (Tableau 11). Cela peut être expliqué par les consignes de température légèrement plus élevées, de sorte que jusqu'à l'atteinte de la consigne de débit maximale, le taux de ventilation est plus faible pour une même température dans la salle d'élevage.

Tableau 11 Proportion de temps d'un lot dans chacune des catégories de concentration de CO₂ quand la température extérieure est supérieure à 15 °C selon le traitement.

Traitement	CO ₂ > 3 000	CO ₂ > 4 000	CO ₂ > 5 000	CO ₂ > 6 000
Stratégie compensée été	47 %	21 %	6 %	1 %
Stratégie conventionnelle	40 %	18 %	5 %	1 %

4.2.1.3 Vitesse d'air

Les ventilateurs de recirculation utilisés dans la stratégie de ventilation compensée en été permettaient de créer des courants d'air sur les porcelets dans le but de les refroidir. Lorsqu'ils démarraient et qu'ils fonctionnaient à leur vitesse minimum, une moyenne de vitesse d'air de 39 pi/min avait été mesurée. Cependant, il y avait une grande variabilité de la vitesse d'air au niveau des porcelets, passant d'une vitesse de 10 pi/min dans les extrémités de la salle à plus de 70 pi/min à proximité d'un ventilateur de recirculation (Figure 22). Donc l'effet de refroidissement moyen de cette méthode était d'environ - 7,2 °F, variant de - 2 °F à - 10 °F.

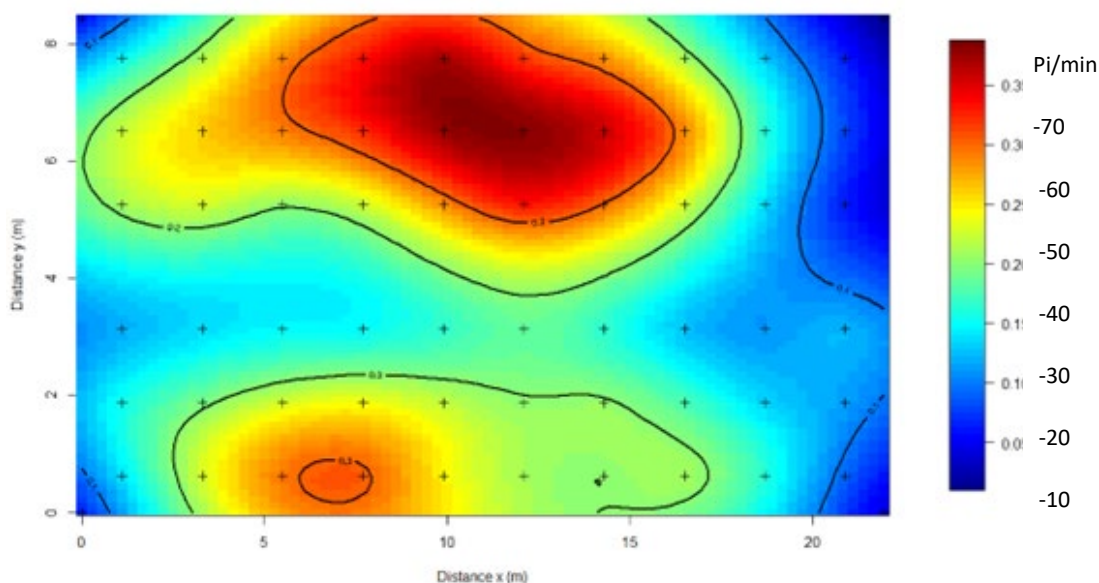


Figure 22 Variabilités spatiales de la vitesse d'air à 0,6 m du sol lorsque la ventilation du palier 3 est au maximum et que les ventilateurs de recirculation sont à la vitesse minimum

La Figure 23 représente la variabilité spatiale de la vitesse d'air lorsque les ventilateurs fonctionnent à plein régime. Les vitesses mesurées dans ce cas-ci varient de 40 à plus de 100 pi/min pour une moyenne de vitesse d'air de 80 pi/min. L'effet de refroidissement moyen est d'environ - 11 °F, variant de - 7,2 °F à - 12,6 °F.

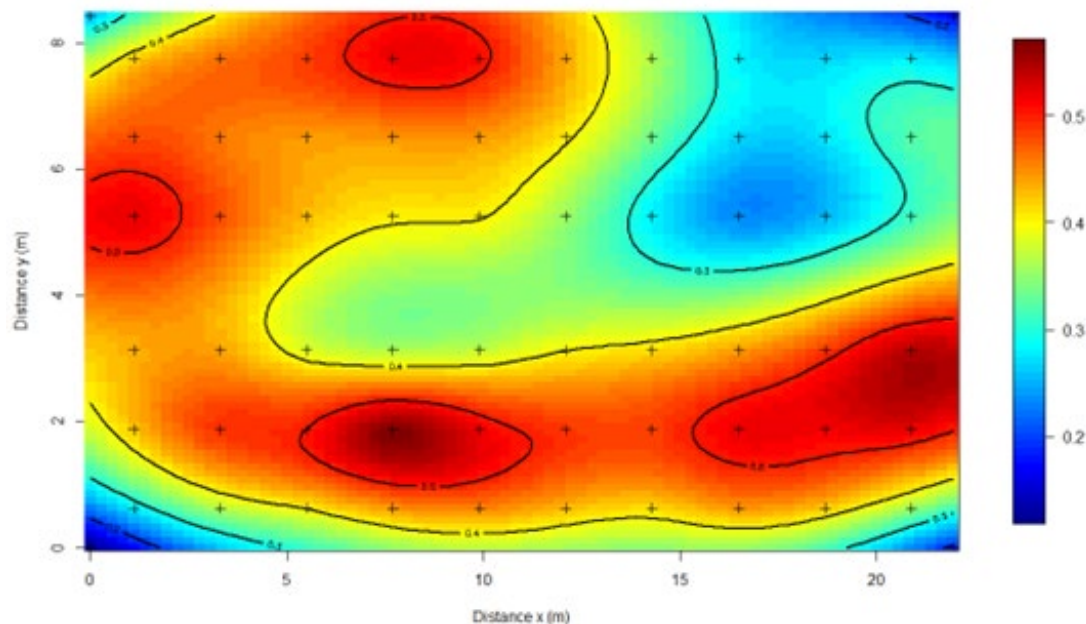


Tableau 12 Nombre d'heures de fonctionnement des ventilateurs de recirculation dans les lots de la stratégie compensée en été

# du lot	Date d'entrée	Nombre d'heures de fonctionnement
2	12-aout-20	76
11	04-mai-21	321
12	18-mai-21	328
13	30-juin-21	325
14	14-juil-21	400
15	25-aout-21	52
23	05-avr-22	137
24	19-avr-22	140
25	31-mai-22	141
26	14-juin-22	217
Moyenne des lots		214

4.2.2 Impact de la SCE sur les performances zootechniques, la consommation d'eau et de propane

Les performances zootechniques ainsi que la consommation d'eau et de propane des stratégies de ventilation conventionnelle et compensée été sont présentées au Tableau 13.

Tableau 13 Performances zootechniques et consommation d'eau et de propane selon la stratégie de ventilation en été

	Stratégie conventionnelle	Stratégie compensée été
Poids moyen à l'entrée (kg)	6,32	6,38
Poids moyen à la sortie (kg)	27,27	27,78
GMQ économique (g/j)	429	439
GMQ technique (g/j)	441	451
CMQ moyen (g/j)	531	539
Conversion alimentaire économique	1,33	1,30
Conversion alimentaire technique	1,20	1,19
Mortalité des porcelets (%)	9,48	10,53
Consommation propane (L)	0,46	2,50
Consommation d'eau (L/j/porcelet sorti)	2,10	2,13

Les performances zootechniques sont très semblables dans les deux traitements et aucune différence statistique n'a pu être observée entre les traitements.

Le GMQ et la CMQ sont supérieurs de 10 g/j et 8 g/j respectivement dans la SCE. L'hypothèse émise concernant ce résultat est que pour la stratégie compensée avec recirculation, les porcelets sont plus confortables et ont eu un peu moins chaud. Ils ont donc consommé un peu plus d'aliments comparativement aux porcelets logés dans la SC. Ces derniers devaient combattre des périodes où ils étaient logés dans des conditions d'hyperthermie, où les températures ressenties étaient plus élevées que leur température critique supérieure.

La conversion alimentaire est presque identique, mais légèrement mieux dans la stratégie compensée. Cette différence de 0,03 pourrait équivaloir à 0,44 \$/porcelet.

La détérioration de la mortalité n'est pas significative au niveau statistique. Elle est attribuable à la dérive sanitaire vécue durant le projet. Il est important de noter que le statut sanitaire des porcelets n'était pas stable tout au long du projet et qu'il y a eu une très grande variabilité de la mortalité d'un lot à l'autre, et même d'une salle à l'autre et ce, pour un même traitement.

La consommation d'eau et de propane ont été très semblables dans les deux stratégies.

4.3 Contraintes rencontrées en cours de projet

Le projet a été réalisé en milieu commercial et différentes contraintes ont été rencontrées en cours de projet :

- Au moment de débiter le projet, l'option d'évolution de la consigne du débit minimum de ventilation selon l'âge des porcs n'était pas disponible sur le contrôle.
- La température des salles était beaucoup plus basse que la température de consigne des deux stratégies (conventionnelle et compensée) lors de la pesée des porcelets (bien-être des travailleurs).
- Le J0 correspondait au lendemain de l'arrivée des porcelets; il n'y avait donc aucun contrôle sur les conditions d'ambiance avant la pesée.
- L'application de la stratégie conventionnelle n'était pas toujours constante; les opérateurs pouvaient modifier la vitesse minimum des ventilateurs du premier palier, de même que modifier temporairement les consignes de températures.
- Élevage multi-sources : lors de l'allotement, la provenance des porcelets était prise en compte, mais il y avait régulièrement des mélanges de porcelets avant la pesée et l'allotement fait par les opérateurs de la ferme. Donc la répartition des porcelets n'était pas toujours identique dans chacun des traitements

- Le statut de santé variable des porcelets et les dérives sanitaires vécues ont pu influencer les résultats. Voici quelques exemples de variation sur le taux de mortalité :
 - Variation du taux de mortalité allant de 0,79 % à 24,12 % (tous lots confondus) = différence de 23,33 %.
 - Variation du taux de mortalité pour un même lot : 7,41 % et 24,12 %.
 - Variation du taux de mortalité pour un même lot et même traitement : différence de 12,78 %.
- Les sondes HR, CO₂ et NH₃ ont une durée de vie très courte en élevage porcin.

5 Impact technico-économique des stratégies de ventilation compensées en pouponnière

L'analyse technico-économique de l'optimisation des conditions d'ambiance en pouponnière a été faite de manière indépendante pour les stratégies hivernale et estivale.

Puisque les stratégies ne sont pas liées, c'est-à-dire que les équipements à mettre en place et à entretenir ne sont pas les mêmes, que les résultats des performances zootechniques ne sont pas les mêmes non plus, elles peuvent donc être traitées individuellement, ce qui a permis de comparer les deux stratégies testées.

Dans le cadre du projet, les petites différences de performance, bien que non significatives, ont tout de même été utilisées pour réaliser l'analyse économique.

5.1 Impact économique de la stratégie de ventilation compensée hivernale

L'impact économique des stratégies de ventilation hivernale a été réalisé avec les paramètres suivants :

- Bâtiment de pouponnière de 2 200 places contenant 4 salles de 550 places
- Entrée des porcelets aux 8 semaines, donc 6,5 lots faits annuellement
- Taux de mortalité moyen de 4,26 %
- 13 676 porcelets vendus/an
- Prix moyen de l'aliment en pouponnière : 608,07 \$/tonne; soit le prix moyen 2018-2022 selon le modèle ASRA 2017
- Prix moyen du propane : 0,49 \$/litre (Source : Producteurs de grains du Québec, prix indexé selon le modèle ASRA)
- Il est considéré que le chauffage est utilisé pour les lots d'hiver, ce qui représente 50 % des lots de l'élevage
- Achat de 4 sondes HR au prix unitaire de 511 \$. La durée de vie de ces sondes est d'un an
- Installation faite par des électriciens (matériel et main d'œuvre) : 1 080 \$
 - Le coût des travaux d'électricité est amorti sur 20 ans puisqu'il s'applique au bâtiment

- Utilisation des résultats de performances zootechniques présentés au Tableau 8 sauf pour la mortalité, car la différence est attribuable à la dérive sanitaire.

Amélioration de la conversion alimentaire

L'amélioration de la conversion alimentaire de la SCH a pour effet de réduire la quantité de la moulée consommée par porcelet. Avec un prix de la moulée moyen de 608,07 \$/tonne et une baisse de consommation de la moulée de 0,73 kg/porcelet, la stratégie de ventilation compensée en hiver permet de réduire le coût de l'alimentation des porcelets de 0,44 \$/porcelet vendu.

Augmentation de la consommation du propane pour le chauffage des salles

La mise en place de la stratégie compensée augmentera la quantité de propane utilisé de 175 litres/salle. Avec un coût moyen de 0,49 \$/litre de propane, l'augmentation du coût pour un lot d'hiver dans une salle est de 86,46 \$. En considérant la mise en place de cette stratégie dans toutes les salles et que 50 % du temps d'élevage est réalisé en stratégie hivernale, la SCH coûte 0,08 \$/porcelet vendu de plus en chauffage.

Achat et installation des équipements pour la SCH

La SCH nécessite des sondes HR pour pouvoir être mise de l'avant. Le coût d'achat de ces quatre sondes d'HR + le filage et le raccordement des sondes au contrôleur par un électricien est de 3 123 \$. Cependant, le coût des travaux d'électricité est amorti sur 20 ans puisqu'il s'applique au bâtiment, équivalent donc à environ 0,004 \$/porcelet vendu.

Puisque la durée de vie des sondes HR est de seulement d'une année, et qu'il faut les remplacer annuellement, leur coût s'élève à 0,15 \$/porcelet vendu. Quant aux frais d'entretien liés au remplacement des sondes (100 \$/an), ils sont estimés à 0,01 \$/porcelet vendu.

Tenant compte des hypothèses retenues et des impacts estimés, la stratégie compensée hivernale engendre un profit de l'ordre de 0,20 \$/porcelet vendu.

5.2 Impact économique de la stratégie de ventilation compensée estivale

L'impact économique des stratégies de ventilation en été a été évalué en considérant les paramètres suivants :

- Bâtiment de pouponnière de 2 200 places contenant 4 salles de 550 places
- Entrée des porcelets aux 8 semaines, donc 6,5 lots annuellement
- Taux de mortalité moyen : 4,26 %
- 13 676 porcelets vendus/an
- Prix moyen de l'aliment en pouponnière : 608,07 \$/tonne; soit le prix moyen 2018-2022 selon le modèle ASRA 2017 de la FADQ

- Prix moyen du porcelet de 25,5 kg pour la période 2018-2022 : 59,77 \$, soit 2,34 \$/kg
- Achat de 8 ventilateurs de recirculation à vitesse variable au prix unitaire de 582 \$. La durée de vie de ces ventilateurs est de 10 ans
- Installation faite par des électriciens (matériel et main d'œuvre) : 2 820 \$
- Coût des travaux d'électricité amortis sur 20 ans puisqu'ils s'appliquent au bâtiment
- Utilisation des résultats de performances zootechniques présenté au Tableau 13 sauf pour la mortalité, car la différence est attribuable à la dérive sanitaire.

Augmentation du poids à la sortie

La moyenne du prix du porcelet de 25,5 kg pour la période 2018-2022 était de 59,77 \$, soit 2,34 \$/kg. L'augmentation du poids à la sortie de 0,5 kg pour les porcelets de la SCE a pour valeur 1,17 \$. Donc, la stratégie compensée estivale rapporte un montant supplémentaire de 1,17 \$/porcelet vendu.

Amélioration de la conversion alimentaire

L'amélioration de la conversion alimentaire de la SCE a pour effet de réduire la quantité de la moulée consommée par porcelet. Avec un prix de moulée moyen de 608,07 \$/tonne et une baisse de la consommation de la moulée de 0,04 kg/porcelet, la stratégie de ventilation compensée en été permet de réduire le coût de l'alimentation des porcelets de 0,03 \$/porcelet vendu.

Achat et installation des équipements pour la SCE

La mise en place de la SCE nécessite l'achat et l'installation de 8 ventilateurs de recirculation à vitesse variable. Le coût d'achat ainsi que le filage électrique et le raccordement au contrôleur de ventilation par un électricien est de 7 478 \$. Prenant les références du CRAAQ sur les taux des biens agricoles amortissables, les ventilateurs ont été amortis sur 10 ans tandis que les installations électriques sur 20 ans. Le coût de l'amortissement des ventilateurs s'élève à 0,03 \$/porcelet vendu. Les travaux d'électricité et l'entretien des ventilateurs coûtent 0,02 \$/porcelet vendu.

Coût d'électricité supplémentaire pour l'utilisation des ventilateurs de recirculation

À puissance nominale, les 8 ventilateurs de recirculation de la SCE consomment 6 kW/h. En considérant un prix de l'électricité de 0,105 \$/kW/h et un fonctionnement moyen de 214 heures par lot, le coût de fonctionnement de ces ventilateurs revient à 134,82 \$ par lot pour les 4 salles. Dans le présent projet, les ventilateurs de recirculation ont fonctionné durant 10 lots sur les 25 où les données étaient valables, soit 40 % des lots. La SCE coûte 0,03 \$ de plus en électricité par porcelet vendu.

Tenant compte des hypothèses retenues et des impacts estimés, la stratégie compensée estivale engendre un gain financier de l'ordre 1,08 \$/porcelet vendu.

6 Conclusion

Les stratégies de ventilation testées ont eu un impact sur les conditions d'ambiance et donc sur le confort des porcelets en pouponnière.

La stratégie de ventilation compensée en hiver, comparée à la stratégie conventionnelle, a permis d'améliorer le confort des porcelets. En effet, le taux d'humidité relative a été plus bas dans la stratégie compensée. La concentration de CO₂ de la salle suit la même tendance que l'HR; elle est plus faible dans la stratégie compensée lorsque le taux de ventilation augmente pour évacuer l'humidité.

Les ventilateurs de recirculation utilisés dans la stratégie de ventilation compensée en été permettaient de créer des courants d'air sur les porcelets afin de les refroidir.

Même si les conditions d'ambiance étaient meilleures dans les salles où les stratégies compensées étaient utilisées (été et hiver), ces améliorations ne se sont pas traduites par de meilleures performances zootechniques. En effet, même si le GMQ et la conversion alimentaire ont été légèrement supérieurs dans les salles en stratégies compensées comparé aux salles en stratégie conventionnelle, les différences ne sont pas significatives statistiquement.

Pour la stratégie compensée en hiver, la consommation de propane était supérieure de 3,36 litres par jour comparé à la stratégie conventionnelle. Ceci était prévisible puisque la consigne de température était plus chaude durant la période d'élevage et le taux de ventilation plus élevé lorsque les conditions d'ambiance étaient plus humides.

L'état de santé variable des porcelets (dérives sanitaires) ainsi que les ajustements manuels effectués par les opérateurs sur les paramètres de ventilation de la stratégie conventionnelle ont peut-être influencé les résultats du projet.

À la lumière des résultats, d'autres travaux menés dans un contexte plus contrôlé (état de santé stable des animaux, aucune intervention sur les paramètres de ventilation) seraient nécessaires pour améliorer et optimiser ces stratégies, le résultat attendu étant que l'amélioration des conditions d'ambiances observée se reflète sur les performances des porcelets.

7 Références

- Baker, J.E. 2004. Effective environmental temperature. *Journal of Swine Health and Production*, 12(3) : 140-143.
- Brown-Brandl, T., Hayes, M., Xin, H. et J.A. Nienaber. 2014. Heat and Moisture Production of Modern Swine. *ASHRAE Transactions*, 120(Part 1) : 469-489.
- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Xin, H. et R.S. Gates. 2004. A Literature Review of Swine Heat Production. *Transactions of the ASAE*, 47(1) : 259-270.
- Chénard, L. 2001. Le porc en hiver : comment le tempérer? 22^e Colloque production porcine : 116-136.
- Conseil canadien du Porc (CPC). 2005. Pratiques et technologies visant à atténuer les répercussions de la production porcine sur l'environnement. CCP, Ottawa.
- Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE). 2014. Code de pratiques pour le soin et la manipulation des porcs. [En ligne]. http://www.nfacc.ca/pdfs/codes/porcs_code_de_pratiques.pdf
- CPVQ-CPAQ. 1998. La ventilation des porcheries et autres bâtiments d'élevages. Québec : Conseil des productions végétales du Québec, 174 p.
- CRAAQ. S.d. Outil d'encadrement à la budgétisation [En ligne]
<https://www.craaq.qc.ca/oeb/default.aspx?ID=126>
- Donham, K., Haglund, P., Peterson, Y., Rylander, R. et L. Belin. 1989. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. *British Journal of Industrial Medicine*, 46 : 31-37.
- ÉPIDALIS. 2019. Ventilation et toux en engraissement. [En ligne].
<https://www.epidalis.com/actualite/ventilation-et-toux-en-engraissement/>
- FADQ. 2022. Coût de production ferme porcine naisseur-finiisseur 2021. [En ligne]
www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-stabilisation/cout-production/porcs-2021.pdf
- Lemay, J. 2007. Maîtriser la ventilation dans vos élevages. Expo-Congrès du porc du Québec : 55-66.
- Madec, F., Le Dividich, J., Pluske, J.R. et M.W.A. Vestergén. 2003. Environmental requirements and housing of the weaned pig. Dans: *Weaning the pig: Concepts and consequences*. Pays-Bas : Wageningen Academic Publishers, p. 337-355.
- Michiels, A., Piepers, S., Ulens, T., Van Ransbeeck, N., Del Pozo Sacristan, R., Sierens, A., Haesebrouck, F., Demeyer, P. et D. Maes. 2015. Impact of particulate matter and ammonia on average daily weight gain, mortality and lung lesions in pigs. *Preventive Veterinary Medicine*, 121(1-2) : 99-107.
- Producteurs de grains du Québec (2023). Hausse du prix du propane. [En ligne],
<https://www.pgq.ca/articles/com/hausse-du-prix-du-propane/>
- Schneberger, D., Cloonan, D., DeVasure, J.M., Bailey, K.L., Romberger, D.J. et T.A. Wyatt. 2015. Effect of elevated carbon dioxide on bronchial epithelial innate immune receptor response to organic dust from swine confinement barns. *International Immunopharmacology*, 27(1) : 76-84.
- Smith, P. et H. Crabtree. 2005. Pig environment problems. United Kingdom : Nottingham University Press, 166 p.

Annexe 1

Indicateurs de résultats du projet

1- Dépôt de la stratégie de ventilation

Les stratégies de ventilation utilisées dans ce projet sont présentées à la section 3.2 de ce rapport.

2- Nombre de fermes appliquant la stratégie de ventilation optimisée

Cible de 20 fermes ayant adopté la stratégie de ventilation optimisée (en totalité ou en partie, selon les résultats de l'analyse technico-économique)

Jusqu'à présent, il y a environ 10 fermes qui utilisent les sondes d'HR pour contrôler le débit de ventilation minimum au Québec. La grande majorité des fermes qui ont mis en application cette stratégie utilise le contrôleur Agrimesh, sauf pour la maternité du CDPQ (Monitrol) et les deux pouponnières du site 227 de Robitaille (Maximus). Agrimesh utilise de routine des sondes combinées de température et d'humidité pour contrôler les conditions d'ambiance en hiver. Leurs sondes semblent beaucoup plus résistantes que celles utilisées dans le cadre du projet. Tous les contrôleurs cités dans ce rapport fonctionnent de la même manière, ils utilisent des compensations sur le débit de ventilation minimum pour contrôler l'HR des salles tel qu'effectué dans ce projet.



Centre de développement du porc du Québec inc.

Place de la Cité, tour Belle Cour

2590, boulevard Laurier, bureau 450

Québec (Québec) G1V 4M6

☎ 418 650-2440 ■ ☎ 418 650-1626

cdpq@cdpq.ca ■ www.cdpq.ca

 @cdpqinc

