

Impacts de différentes stratégies de contrôle de la température ambiante en engraissement sur les performances zootechniques, les émissions gazeuses et la consommation d'énergie

Francis *POULIOT* (1), Valérie *DUFOUR* (1), Martin *BELZILE* (2), John *FEDDES* (2),
Stéphane *LEMAY* (2), Michel *MORIN* (1), Stéphane *GODBOUT* (2)

(1) Centre de développement du porc du Québec inc., 2795 boulevard Laurier, bureau 340, Québec (QC), G1V 4M7, Canada
(2) Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc., 2700, rue Einstein, Québec (QC), G1P 3W8, Canada

fpouliot@cdpqinc.qc.ca

Impacts de différentes stratégies de contrôle de la température ambiante en engraissement sur les performances zootechniques, les émissions gazeuses et la consommation d'énergie

L'objectif de cette étude était de comparer l'impact de trois stratégies de températures de consigne pour les porcs à l'engrais sur les performances zootechniques, les émissions d'ammoniac et les besoins énergétiques en chauffage dans les conditions québécoises. Les trois stratégies ont été définies à partir de l'information tirée de la littérature et des pratiques de l'industrie : 1) la stratégie chaude (22,2 à 20,0°C); 2) l'intermédiaire (21,7 à 17,2°C) et 3) la froide (21,1 à 14,4°C). Deux essais de 11 semaines ont été réalisés dans 12 chambres à environnement contrôlé logeant chacune trois porcs à l'engraissement de 36 à 120 kg. Au total, 8 répétitions de chaque stratégie ont été faites. Le poids des porcs, la consommation d'eau et d'aliment ont été mesurés chaque semaine. La température ambiante, l'humidité relative, le taux de ventilation et les émissions de gaz ont été suivis en permanence. Aucune différence significative de performance ou de composition corporelle n'a été observée. Le seul impact significatif est une réduction de 25 % des émissions d'ammoniac avec la stratégie intermédiaire par rapport à la stratégie chaude. Le besoin en chauffage annuel de la stratégie froide serait réduit de 59 % par rapport au traitement chaud. Les performances zootechniques obtenues avec les stratégies froide et intermédiaire ont été très bonnes et non significativement différentes de celles de la stratégie chaude. Même s'il n'y a pas eu de différences statistiques, des écarts numériques peuvent être observés entre les traitements et ceux-ci soulèvent des questionnements sur le plan technique. D'autres essais en conditions commerciales devront être faits afin de s'assurer de la répétabilité des résultats zootechniques.

Impact of temperature control strategies on animal performance, gas emissions and energy requirements for grower-finisher pigs

The objectives of this study were to compare the impact of three control strategies of temperature set point on grower-finisher pigs and their growth performance, ammonia emissions, and heating energy consumption under Québec conditions. The three control strategies were based on scientific literature and industry practices: 1) warm strategy (22.2 to 20.0°C); 2) intermediate strategy (21.7 to 17.2°C) and 3) cool strategy (21.1 to 14.4°C). Two 11-week trials occurred in 12 environmentally controlled chambers, each housing three grower-finisher pigs from 36 to 120 kg. Each temperature control strategy was replicated eight times over both trials. Pig weight and feed/water disappearance were measured once a week and the room air temperature, relative humidity, ventilation rate and gas emissions were continuously monitored by electronic sensors and gas analysers. No significant differences in performance or carcass composition were observed. The only significant impact was a 25 % reduction in ammonia emissions with the intermediate strategy compared to the warm strategy. Estimated annual energy consumption for heating with the cold strategy would be reduced by 59% compared to the warm treatment. Animal performance observed for cool and intermediate strategies was very good and not significantly different from the warm strategy. Even if there were no statistical differences between treatments, numerical differences were observed between the treatments and they raise technical questions. Further tests under commercial conditions should be conducted to ensure repeatability of livestock results.

INTRODUCTION

La hausse du prix des carburants, l'évolution des paramètres d'élevage, la volonté d'améliorer les performances zootechniques et le souci de protéger l'environnement justifient l'intérêt de revoir la stratégie de contrôle de la température ambiante en place depuis plusieurs décennies dans les élevages du Québec. La température de consigne généralement utilisée en élevage au Québec s'inspire davantage des recommandations françaises (Massabie, 2001a) qui sont plus élevées que celles utilisées dans l'Ouest canadien. Par exemple, dans l'Ouest canadien, il est de pratique courante de débiter la phase engraissement (25 kg) à 21-22°C et de la terminer autour de 15°C (115 kg) (Chénard et Lemay, 2001) alors qu'au Québec la température de consigne passe en général de 23°C à 20°C, ou 18°C pour la même période d'élevage et les mêmes poids. Les températures préconisées par la stratégie de l'Ouest sont donc nettement plus froides que celles utilisées au Québec. De plus, les températures préconisées au Québec sont nettement supérieures aux températures critiques inférieures (TCi) mentionnées par l'IFIP (2006). Sur la base de la simulation réalisée dans le cadre de l'étude de Chénard et Lemay (2001), la conduite de températures préconisées dans l'Ouest ne devrait pas engendrer de différence pour ce qui est des performances zootechniques des porcs. Étant donné que les résultats de Chénard et Lemay (2001) sont tirés de simulations, il est donc de mise, avant de recommander ouvertement une telle réduction des températures d'élevage, de mieux connaître les impacts d'une telle pratique sur les performances zootechniques, les coûts de chauffage, la qualité de la carcasse, les émissions gazeuses à l'intérieur du bâtiment et le coût de production en réalisant des essais avec des animaux en milieu contrôlé. Par conséquent, l'objectif de cette étude exploratoire était de vérifier le bénéfice global d'un abaissement des températures de consigne puisqu'aucune expérience en ce sens n'a été conduite sous les conditions climatiques québécoises (climat froid).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Site expérimental

L'expérimentation s'est déroulée au laboratoire BABE (Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage) de l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement au Centre de recherche en science animales de Deschambault (CRSAD) au Québec. Le laboratoire BABE est composé de locaux permettant de mener à bien des expérimentations à échelle réduite avec des animaux. Il comprend 12 chambres expérimentales complètement indépendantes les unes des autres et de mêmes dimensions (1,20 m de largeur, 2,44 m de profondeur et 2,44 m de hauteur). Chacune des chambres est hermétique afin de prévenir les échanges d'air entre elles. Le plancher entièrement latté est composé de lattes de béton commerciales et chacune des chambres possède son propre système de gestion de lisier, doublé d'un bac (tiroir) dans lequel le lisier a été accumulé.

1.2. Contrôle d'ambiance

Chacune des chambres du laboratoire est ventilée de façon indépendante et possède son propre ventilateur d'extraction à vitesse variable dont la capacité varie entre 14 et 75 L/s.

Avant son arrivée aux chambres, l'air d'entrée est climatisé par une unité centrale de chauffage et de climatisation.

Lors de la saison froide, l'air est chauffé par une unité de chauffage de 20 kW située après l'unité d'air climatisé. Une seconde unité de chauffage, installée dans la conduite de ventilation de chacune des chambres, permet un ajustement indépendant de la température des aires expérimentales. Lors des essais, le débit de ventilation minimum a été ajusté à 14 L/s dans chaque chambre. La période d'éclairage a été de 12 heures, soit de 7 h à 19 h.

1.3. Animaux et alimentation

Pour l'expérimentation, chacune des chambres contenait trois porcs castrats d'environ 36 kg provenant d'un élevage commercial. La superficie de plancher par porc dans chacune des chambres était de 0,98 m².

Tous les animaux ont reçu un régime alimentaire commercial en trois phases, et ont été alimentés *ad libitum*, en alimentation sèche. L'eau était distribuée à volonté par un abreuvoir commercial (Drink-o-mat) situé à plus de 40 cm du nourrisseur pour éviter toute humidification de la ration.

1.4. Traitements

Les scénarios évalués étaient les suivants : 1) Scénario témoin (T) : 22,2 à 20,0°C ; 2) Scénario intermédiaire (I) : 21,7 à 17,2°C ; 3) Scénario « froid » (F) : 21,1 à 14,4°C. Le détail des consignes de température en fonction du poids est présenté à la Figure 1.

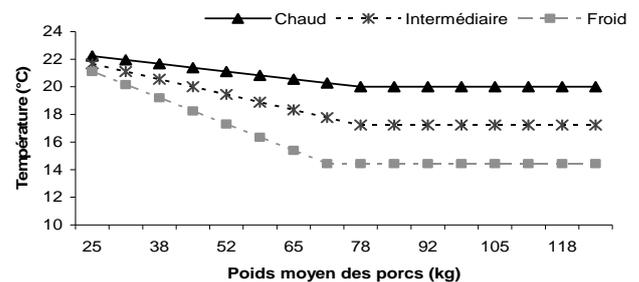


Figure 1 - Consignes de température selon la semaine et la stratégie de températures

L'expérimentation s'est déroulée pendant deux périodes d'engraissement. Chaque période a duré 11 semaines et comprenait quatre répétitions de chacun des traitements. Les traitements ont été attribués de façon aléatoire à chacune des chambres et la distribution des porcs a été faite de façon à avoir une répartition égale des poids.

L'analyse de la variance des données a été basée sur un modèle complètement aléatoire, avec deux répétitions d'expérience. Les effets fixes inclus dans le modèle sont le traitement, l'élevage et l'interaction traitement*élevage.

La procédure « mixed » a été utilisée avec le logiciel SAS (1999). Les comparaisons entre les traitements ont été faites à la suite d'un ajustement de Bonferroni. Un niveau de signification à 0,05 a été utilisé.

1.5. Collecte des données

1.5.1. Températures, humidité relative et débit de ventilation

L'humidité et la température de l'entrée d'air et de l'intérieur des chambres ont été mesurées à l'aide d'une sonde (modèle CS500, Campbell scientifique). L'air d'extraction a été dirigé vers un orifice muni d'un iris de 204 mm (modèle 200; Continental Fan Manufacturer Inc.).

Une mesure du différentiel de pression aux bornes de l'iris a été réalisée.

L'ensemble de ces données mesurées a été enregistré toutes les 15 minutes par un système d'acquisition (modèle CR-7, Campbell scientifique).

1.5.2. Performances zootechniques

Les quantités d'aliments distribuées dans chaque chambre ont été pesées. Un compteur d'eau (modèle LR, Compteurs Lecompte Ltée) était installé dans chacune des chambres et la lecture était faite tous les 7 jours et lors des changements d'aliment.

Tous les porcs ont été pesés à l'entrée et tous les 7 jours par la suite jusqu'à la fin de l'essai. Les changements d'aliment ont toujours été réalisés au moment d'une pesée. À partir des informations obtenues, le gain de poids moyen quotidien des porcs (GMQ), l'ingestion moyenne quotidienne (IMQ) et la conversion alimentaire (CA) ont été calculés.

Enfin, les données provenant de l'abattoir, à savoir les mesures de qualité de la carcasse (épaisseurs de gras dorsal et de muscle, rendement en viande et carcasse) et les saisies ont été collectées. Pour des raisons techniques, tous les animaux de chaque essai ont été abattus le même jour. Tout problème de santé a été diagnostiqué et noté.

1.5.3. Émissions de gaz

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

1.6. Calcul de la production de chaleur par les porcs et du besoin de chauffage

Afin de calculer les besoins de chauffage, les conditions climatiques des trois stratégies ont été simulées en utilisant les données atmosphériques de Montréal utilisées pour la conception des bâtiments (ASHRAE, 1997).

La température intérieure horaire a été prédite sur la base des conditions extérieures, de la production de chaleur prévue par les porcs, des pertes de chaleur du bâtiment et des pertes de chaleur de la ventilation. Les taux de production de chaleur sensible, latente et totale par les porcs ont été calculés à partir des algorithmes publiés par la CIGR (2002). Pour chaque heure, la perte de chaleur du bâtiment, la perte de chaleur par la ventilation et la production de chaleur sensible des porcs ont été calculées afin d'estimer les besoins en chauffage pour maintenir la température au point de consigne pour un bâtiment d'engraissement de 1000 places produisant trois lots de porcs par année.

Les simulations ont été effectuées pour l'année entière. Il a été assumé que le débit de ventilation minimum qui assurerait la bonne qualité de l'air s'étendait entre 1,5 à 3,0 L/s-porc en fonction de la masse des porcs (Zhang, 1994).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Températures, humidité relative et débit de ventilation

Le contrôle de la température pour chaque traitement s'est effectué conformément aux attentes. Les trois stratégies ont présenté des différences significatives en matière de température mesurée (Tableau 1).

En ce qui concerne l'humidité relative, aucun effet significatif des traitements n'a pu être observé.

Les taux de ventilation ont varié entre 20 et 60 L/s, la régulation faisant en sorte que les débits de ventilation maintiennent la température de consigne. À quelques occasions, des températures extérieures élevées ont engendré des températures ambiantes dépassant la température du point de consigne. La climatisation de l'air entrant dans le système de ventilation a abaissé l'incidence des chambres en état de surchauffe. En moyenne, les taux de ventilation pour les traitements « chaud » et intermédiaire étaient similaires (28,6 et 28,2 L/s) et significativement différents du débit de ventilation du traitement « froid » (34,5 L/s).

2.2. Performances par traitement

Le seul problème de santé observé au cours des deux répétitions a été quatre prolapsus rectaux. Un de ces cas s'est conclu par un dépérissement suivi de la mort du sujet à la suite des séquelles du prolapsus confirmé par nécropsie.

Le traitement a eu seulement un impact significatif ($P < 0,05$) sur la consommation d'eau par les porcs (Tableau 1). Plus la température était haute, plus la consommation d'eau a été importante : ainsi les consommations d'eau pour les traitements « froid », intermédiaire et « chaud » sont dans l'ordre 4,4, 5,2 et 5,5 L/j. La consommation d'eau augmente avec la température pour compenser l'accroissement des pertes par la respiration pour assurer la thermorégulation (Massabie, 2001b).

Le GMQ, l'IMQ et la CA n'ont pas été significativement ($P > 0,05$) affectés par la stratégie de températures. Le GMQ des traitements « chaud », intermédiaire et « froid » a été respectivement de 1,08, 1,11 et 1,06 kg/jour. Les valeurs correspondantes d'IMQ pour les trois stratégies ont été respectivement de 2,77, 2,88 et 2,78 kg d'aliment.

Tableau 1 - Conditions d'ambiance, performances zootechniques et résultats d'abattage en fonction des stratégies de températures

Variable	Traitement ¹			Erreur-type
	C	I	F	
Température moyenne (°C) ²	19,8 ^a	18,0 ^b	16,2 ^c	0,1
Humidité relative (%)	40,2	41,9	41,7	1,3
Débit de ventilation (L/s)	28,6 ^a	28,2 ^a	34,5 ^b	1,0
Poids de début (kg)	35,8	35,5	35,7	0,49
Poids de fin (kg)	120,6	120,9	117,6	1,86
Gain moyen quotidien (kg)	1,08	1,11	1,06	0,025
Ingéré moyen quotidien (kg)	2,77	2,88	2,78	0,054
Conversion alimentaire	2,55	2,59	2,62	0,037
Consommation d'eau (L/j)	5,45 ^a	5,24 ^{ab}	4,36 ^b	0,255
Poids de carcasse (kg)	95,31	95,68	96,67	0,71
Épaisseur de muscle Destron (mm)	68,41	66,09	64,02	1,52
Épaisseur de gras Destron (mm)	18,75	19,45	20,46	1,15
Rendement en viande (%)	61,15	60,51	60,10	0,49
Rendement de carcasse (%)	80,02	80,19	81,34	0,59

¹C = scénario chaud

I = scénario intermédiaire

F = scénario froid

² Les moyennes avec des lettres différentes indiquent qu'elles sont différentes statistiquement (P<0,05).

La meilleure CA numérique a été obtenue avec le traitement « chaud » (2,55 kg d'aliment/kg de gain) mais n'est pas différente statistiquement des traitements intermédiaire (2,59) et « froid » (2,62). Les résultats de l'étude semblent appuyer les résultats de la simulation de Chénard et Lemay (2001) qui concluaient que la température ambiante pouvait passer de 22°C pour des porcs de 25 kg à 15°C pour des porcs de 70 kg sans affecter les performances zootechniques. D'ailleurs, les trois stratégies étaient au-dessus des valeurs de TCi indiqué par l'IFIP (2006), soit 20°C à 13°C pour des porcs de 20 à 100 kg. De plus, les résultats sont en accord avec ceux de Nichols *et al.* (1982) et Nienaber *et al.* (1987a) qui n'ont pas non plus observé de différence statistique pour le GMQ entre 10 et 20°C ni pour la CA entre 15 et 25°C.

2.3. Composition corporelle

Le traitement n'a eu aucun impact significatif sur les mesures de composition corporelle (Tableau 1). L'épaisseur de gras, le rendement en viande et le rendement de carcasse pour le traitement « chaud » ont été dans l'ordre de 18,8 mm, 61,2 % et 80,0 %. Pour le traitement « froid », ces mêmes valeurs sont respectivement de 20,5 mm, 60,1 et 81,3 %. Selon Le Dividich *et al.* (1985), à même vitesse de croissance, la température ambiante serait sans effet sur les caractéristiques de carcasse, ce qui est le cas dans cette étude. Holmes et Coey (1967) n'ont pas observé de différence dans le rendement en viande, le rendement de carcasse et l'épaisseur de gras entre des animaux élevés à 12,2°C et des animaux élevés à 22,2°C. D'après Le Dividich *et al.* (1987), le rendement en viande est significativement plus bas à 12°C qu'à 20°C, alors qu'il n'y a pas de différence de rendement de carcasse. Toujours selon eux, la température ambiante n'a pas d'effet notable sur la masse adipeuse totale de la carcasse, mais la distribution de cette dernière est différente; à température froide, le poids et l'épaisseur du gras dorsal augmentent tandis que le poids de la panne diminue. Les résultats de notre étude vont dans ce sens car bien que le traitement n'ait pas eu d'effet significatif, les

animaux du traitement « froid » ont déposé numériquement plus de gras dorsal et le rendement en viande est numériquement moins élevé. Nienaber *et al.* (1987b) ont obtenu des animaux abattus à environ 87 kg avec moins de tissus maigres et plus de tissus adipeux à 15°C qu'à 20°C, mais la différence n'était pas significative.

2.4. Émissions de gaz

L'analyse statistique des résultats indique que l'émission d'ammoniac la plus faible est obtenue lorsque le traitement intermédiaire est appliqué (Tableau 2). En effet, ce dernier produit des émissions d'ammoniac significativement plus faibles de l'ordre de 23 % (0,05 g/jour-kg) par rapport à celles produites par le traitement « chaud ». Par contre, aucune différence significative d'émission d'ammoniac n'a pu être observée entre le traitement « froid » et les traitements « chaud » et intermédiaire.

Tableau 2 - Émission de gaz selon le traitement

Traitement	NH ₃ ¹	CH ₄	H ₂ S	CO ₂	N ₂ O
	(g/jour-kg)				(mg/jour-kg)
C	0,22 ^a	0,062 ^a	0,83	24,2	0,79
I	0,17 ^b	0,048 ^a	0,59	21,0	0,73
F	0,18 ^{ab}	0,036 ^b	0,70	21,8	0,93
Erreur-type	0,01	0,005	0,13	1,0	0,07

C = scénario chaud ; I = scénario intermédiaire ; F = scénario froid

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

Deux phénomènes ayant des effets opposés peuvent expliquer qu'il n'y ait pas de différence significative d'émission d'ammoniac entre les stratégies chaude et froide. Alors que la température plus élevée dans la chambre exposée au traitement « chaud » provoque une augmentation des émissions d'ammoniac, le fait que la vitesse d'air dans les chambres exposées au traitement « froid » est plus élevée augmente aussi l'émission d'ammoniac.

Il est donc possible que le traitement intermédiaire présente le compromis entre les deux phénomènes.

Le méthane est le seul autre gaz réagissant de manière significative aux traitements. Le traitement « froid » a réduit significativement l'émission de CH₄ (0,036 g/jour-kg) de près de 42 % par rapport au traitement « chaud » (0,062 g/jour-kg). En effet, l'activité méthanogénique dans le lisier est associée à la température de ce dernier. Lorsque la température est diminuée, l'activité des microorganismes produisant le CH₄ l'est également. La réduction des émissions de CH₄ entre le traitement « chaud » et le traitement intermédiaire n'a pas été significative. Quant aux autres gaz, l'analyse statistique révèle que les différents traitements n'ont pas eu sur eux d'effet significatif.

2.5. Besoin de chauffage

Les besoins annuels en chauffage prévus pour les trois traitements représentent respectivement 8,1, 5,3 et 3,3 MWh pour les stratégies chaude, intermédiaire et froide (Tableau 3). Sur une base annuelle, le coût de chauffage pour un engraissement de 1 000 places pour les traitements « chaud », intermédiaire et « froid » serait de respectivement 0,20 \$, 0,13 \$ et 0,08 \$ CA par porc produit selon un tarif énergétique de 0,07 \$ du kWh.

Tableau 3 - Énergie requise annuellement pour le chauffage prédite par stratégie de température et impact sur le coût par porc produit

Simulation	Énergie requise ¹ (kWh)	Coût ² (\$ CA/porc produit)
Chaud	8 122	0,20
Intermédiaire	5 267	0,13
Froid	3 306	0,08

¹ Engraissement de 1 000 places, 3 lots par année

² Tarif fixe à 0,07 \$CA/kWh, Hydro-Québec 2010

CONCLUSION

Les coûts de chauffage pour l'élevage des porcs au Québec peuvent être réduits de plus de la moitié en adoptant la stratégie froide. Par contre, avant de conclure sur la meilleure stratégie de température à adopter, une investigation devra être faite sur le coût de l'énergie requise pour faire fonctionner les ventilateurs étant donné qu'avec une stratégie « froide », le débit moyen de ventilation sera accru tout au long de l'année. Aussi, un portrait global des coûts est essentiel car dans cette étude exploratoire des écarts non significatifs, mais numériquement importants, ont été obtenus sur des caractères d'une grande importance économique tels que la conversion alimentaire, le rendement en viande et le rendement de carcasse. D'autres essais devraient donc être réalisés afin de s'assurer de la répétabilité des résultats car plusieurs contraintes technico-économiques liées au projet ont fait en sorte que l'expérience a été réalisée sur un petit nombre d'animaux et avec un nombre limité de répétitions. De plus, d'autres impacts sont également à prendre en compte dans le choix d'une stratégie de températures tels que l'amélioration de la qualité de l'air, la diminution de la pression d'infection, le bien-être des animaux et des travailleurs.

REMERCIEMENTS

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASHRAE, 1997. Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Chénard L., Lemay S., 2001. Le porc en hiver : comment le tempérer? In : 22^e Colloque sur la production porcine : Comment faire face au changement, 116-136. CRAAQ, Québec.
- CIGR report, 2002. Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels. 4th report of working group, Pedersen, S. & Sällvik, K. Eds, Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark, 46 p.
- Holmes C.W., Coey W.E., 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. Anim. Prod., 9, 209-218.
- Institut du porc (IFIP), 2006. Manuel de chauffage et de ventilation pour les bâtiments d'élevage porcin. IFIP, Paris, 54 p.
- Le Dividich J., Desmoulin B., Dourmad J.Y., 1985. Influence de la température ambiante sur les performances du porc en croissance-finition en relation avec le niveau alimentaire. Journées Rech. Porcine, 17, 275-282.
- Le Dividich J., Noblet J., Bikawa T., 1987. Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed to equal rate of gain. Livest. Prod. Sci., 17, 235-246.
- Massabie P., 2001a. Incidence des paramètres d'ambiance sur les performances zootechniques du porc charcutier : effet de la température ambiante. Institut technique du porc, Paris, 16 p.
- Massabie P., 2001b. L'abreuvement des porcs. Techni-Porc, 24(6), 9-14.
- Nichols D.A., Ames D.R., Hines R.H., 1982. Effect of temperature on performance and efficiency of finishing swine. Livestock Environment II. Proc. of the second international livestock environment symposium, 376-379. ASAE, Ames, Iowa.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Yen J.T., 1987a. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part I—Growth, feed intake and heat production. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 30, 1772-1775.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Yen J.T., 1987b. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part II—Carcass composition and organ weights. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 30, 1776-1779.
- SAS, 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Zhang Y, 1994. Swine building ventilation: a guide for confinement swine housing in cold climates. Prairie Swine Centre Inc., Saskatoon, 136 p.

