

Revue critique des concepts de « bâtiment porcin durable »

Rapport final

Rapport présenté à la :
Fédération des producteurs de porcs du Québec

Projet IRDA # : 100025
Dossier CRIQ n° 640-PE36378

Par :

Stéphane Godbout, ing., P. Eng., Ph.D., agr.
Nicolas Turgeon, ing., M.Sc.
Stéphane P. Lemay, ing. P. Eng., Ph.D.
Gerardo Buelna, docteur-ingénieur

irda Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

**Centre de recherche
industrielle**

Québec 

25 janvier 2010

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).



Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités d'acquisition de connaissances, de recherche, de développement et de transfert visant à favoriser le développement durable de l'agriculture.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Godbout, S., N. Turgeon, S.P. Lemay et G. Buelna. 2010. Revue critique des concepts de « bâtiment porcin durable ». Rapport final. IRDA-CRIQ. 141 pages.

**Revue critique des concepts de
« bâtiment porcin durable »**

Rapport final

Présenté à la :

Fédération des producteurs de porcs du Québec
555, boulevard Roland-Therrien, bureau 120
Longueuil (Québec)
J4H 4E9

Préparé par :

Copie originale signée

Stéphane Godbout, ing., P. Eng., Ph.D.
et agr.
IRDA

Copie originale signée

Stéphane P. Lemay, ing., P. Eng.,
Ph.D.
IRDA

Copie originale signée

Nicolas Turgeon, ing., M.Sc.
CRIQ

Copie originale signée

Gerardo Buelna, docteur-ingénieur
CRIQ

25 janvier 2010

Équipe de réalisation du projet :

Équipe scientifique : Stéphane Godbout ing., P. Eng., agr., Ph.D., IRDA co-responsable
Nicolas Turgeon, ing., M.Sc., CRIQ, co-responsable
Gerardo Buelna, docteur-ingénieur, CRIQ
Stéphane P. Lemay, ing., P. Eng., Ph.D., IRDA

Collaborateurs : Sébastien Fournel, étudiant en génie, Université Laval
Louis Morin, étudiant en génie, Université Laval
Miguel F. Garcia, M.D.I, M.Sc.A, CRIQ
Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA
Guy Bellemare, ing., CRIQ
Martin Belzile, ing., M.Sc., IRDA
Dan Zegan, ing., M.Sc., IRDA
Lorie Hamelin, ing. jr., IRDA
Paul Deschênes, CRIQ
Jean-Luc Morin, CRIQ
Vincent Vallée, CRIQ
Daniel Grenier, CRIQ
Roch Joncas, ing., M.Sc. et agr., IRDA

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Stéphane Godbout	Téléphone : (418) 646-1075
Institut de recherche et de développement en	Télécopieur : (418) 644-6855
agroenvironnement inc. (IRDA)	Courriel : stephane.godbout@irda.qc.ca
2700, rue Einstein	
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8	

Remerciements :

Les auteurs remercient la Fédération des producteurs de porcs du Québec pour sa contribution financière à ce projet de recherche. Des remerciements sont également adressés au CRIQ et à l'IRDA pour leurs contributions en nature à cette étude. Les auteurs sont également reconnaissants de l'appui technique de Johanne Nadeau, du Centre de développement du porc du Québec.

Résumé

La production porcine est la seconde production animale au Québec. Au cours des dernières années, la production porcine québécoise a eu un impact économique marqué dans le domaine agroalimentaire. Avec des retombées économiques annuelles de 3,1 milliards de dollars et 23 758 emplois directs et indirects, cette production représente un atout considérable pour la vitalité des régions rurales et le développement de l'agriculture québécoise. Depuis quelques années, elle subit de fortes pressions sociales, économiques et environnementales pouvant remettre en cause la durabilité de la production. Le présent projet a été mis en place afin d'étudier les différents modèles d'unités de production.

Le but du projet visait à établir les meilleures pratiques et technologies disponibles pour la conception d'un bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage et permettant des gains sur les plans économique, environnemental et social. Le projet a été réalisé dans des limites préalablement établies et en trois volets, soit une revue systématique des écrits techniques et scientifiques, une revue des différentes normes de certification environnementales et d'écoconception des bâtiments verts et enfin une analyse par des experts en agroenvironnement afin d'établir un concept durable pour la production porcine.

Selon les auteurs, pour être durable, l'unité de production porcine devrait être en harmonie architecturale et patrimoniale avec le milieu, être en équilibre agronomique et adopter au besoin un traitement biologique des déjections et favoriser un élevage en bandes. À l'exception des premiers jours de gestation et dans la maternité, l'approche par grands groupes, la ventilation centralisée et la séparation au bâtiment devraient être adoptées pour la conception de cette unité. La filtration de l'air à l'entrée et le traitement de l'air à la sortie seront des atouts majeurs. Toutes les structures d'entreposage des déjections animales devraient être couvertes. Considérant les nouvelles techniques telles la séparation à la source et la ventilation centralisée, l'entreposage de la phase liquide directement sous le bâtiment d'élevage devrait faire partie de nouvelles études de conception à explorer.

Il existe plusieurs systèmes d'évaluation et de certification environnementale et d'écoconception de bâtiments. Tous ont leurs avantages et inconvénients ainsi qu'un mode de fonctionnement distinct. Il est important de mentionner qu'aucun des systèmes répertoriés ne s'applique aux bâtiments agricoles. Seule la démarche HQE projette la mise en œuvre, en collaboration avec l'Institut d'élevage en France, d'un système d'évaluation environnementale spécifiquement conçu pour les bâtiments d'élevage sur litière. Les développements dans le cadre de ce projet seront à surveiller.

Afin d'élaborer certaines pistes pour des travaux de recherche et de développement, les auteurs ont également établi des recommandations couvrant les différents aspects abordés dans le cadre de ce projet.

Table des matières

Résumé.....	v
Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	vi
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1 Le secteur.....	1
2 Les bâtiments.....	2
3 But et objectifs.....	4
4 Les limites de l'étude.....	5
5 Organisation du rapport.....	5
CHAPITRE 2 : LA REVUE DE LITTÉRATURE.....	7
1 Introduction.....	7
2 Méthodologie.....	7
3 Les questions de recherche, les définitions et l'information recueillie pour chaque créneau.....	11
3.1 Régie, alimentation et bien-être.....	11
3.2 Architecture.....	13
3.3 Matériaux.....	14
3.4 Contrôle des émissions atmosphériques.....	15
3.5 Traitement des déjections.....	16
3.6 Efficacité énergétique.....	17
4 Information dégagée de la revue critique.....	18
4.1 Régie, alimentation et bien-être.....	18
4.1.1 Le logement des truies en gestation.....	18
4.1.2 Le logement des truies en lactation.....	32
4.1.3 La pouponnière.....	37
4.1.4 L'engraissement.....	39
4.1.5 Le « wean-to-finish ».....	44
4.1.6 Les systèmes de logement alternatifs en engraissement.....	46
4.1.7 Les systèmes d'alimentation, d'abreuvement et de tri.....	54
4.1.8 La conduite en bandes.....	58
4.1.9 La ventilation.....	60
4.2 Architecture.....	65
4.2.1 Aspects généraux.....	65
4.2.2 Résultats de la recherche bibliographique.....	66
4.3 Matériaux.....	66

4.3.1	Aspects généraux.....	66
4.3.2	Corrosion des matériaux.....	67
4.3.3	Émanation d'odeurs des matériaux	69
4.4	Traitement de l'air.....	70
4.4.1	Aspects généraux.....	70
4.4.2	Méthodes de traitement physico-chimique	71
4.4.3	Méthodes de traitement biologique.....	74
4.4.4	Biofiltres percolateurs	78
4.4.5	Biolavage (bioscrubbing).....	80
4.5	Traitement des déjections.....	82
4.5.1	Aspects généraux.....	82
4.5.2	Traitement physico-chimique.....	82
4.5.3	Les procédés biologiques	85
4.6	Efficacité énergétique.....	89
4.6.1	Aspects généraux.....	89
4.6.2	Récupération d'énergie	90
4.6.3	Technologies à faibles dépenses énergétiques	91
4.6.4	Énergies alternatives	91
5	Conclusion.....	93
CHAPITRE 3 : LES DIFFÉRENTS PROGRAMMES DE CERTIFICATION.....		95
1	Introduction.....	95
2	LEED.....	95
3	BREEAM et les programmes Green.....	97
3.1	Breem	97
3.2	Green Globes Design for New Buildings and Retrofits.....	97
3.2.1	Description générale.....	97
3.2.2	Go Green/Visez vert.....	98
3.2.3	Go Green Plus/Visez vert Plus.....	98
3.2.4	Green Globes GBI.....	98
3.3	Démarche HQE (France).....	98
3.4	SBTool 2007	99
3.5	Autres systèmes.....	100
4	Conclusion.....	100
CHAPITRE 4 : UN NOUVEAU CONCEPT DE SYSTÈME DURABLE DE PRODUCTION PORCINE.....		101
1	Introduction.....	101
2	Méthodologie	101
3	Discussion	101

4	Établissement du concept	105
4.1	Aspects généraux pour tous les stades de production	105
4.2	Aspects particuliers	105
4.2.1	Régie, alimentation et bien-être	105
4.2.2	Matériaux	106
4.2.3	Ventilation et contrôle des émissions.....	106
4.2.4	Gestion et traitement des déjections.....	107
4.2.5	Efficacité énergétique.....	108
5	Conclusion.....	108
	CHAPITRE 5 : FAITS SAILLANTS ET RECOMMANDATIONS	109
	Références	111
1	Techniques	111
2	Scientifiques.....	115
	Annexe A : Régie et bien-être	122
	Annexe B : Architecture.....	127
	Annexe C : Matériaux	130
	Annexe D : Contrôle des émissions atmosphériques	133
	Annexe E : Gestion et traitement des déjections.....	136
	Annexe F : Efficacité énergétique.....	139

Liste des tableaux

Tableau 1.	Répartition des bâtiments et du cheptel porcin selon l'âge des bâtiments ou selon l'année de la dernière rénovation majeure en 2001.....	2
Tableau 2.	Systèmes de ventilation des bâtiments porcins au Québec par région administrative – 1996.....	3
Tableau 3.	Types de plancher dans les bâtiments porcins au Québec (1996, 1998 et 2001).	4
Tableau 4.	Table d'évaluation de la validité des articles scientifiques retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.....	9
Tableau 5.	Table d'évaluation de la validité des articles techniques retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.....	10
Tableau 6.	Table d'évaluation de la validité des articles de type « revue de littérature » retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.....	10
Tableau 7.	Grille représentant les éléments importants à considérer pour chaque article.	11
Tableau 8.	Exigences de la norme européenne en matière de bien-être en gestation.	19
Tableau 9.	Performances des élevages intérieurs et extérieurs.....	24
Tableau 10.	Comparaison des performances de truies élevées sous différents systèmes de logement en gestation.....	30
Tableau 11.	Importance des 20 facteurs de bien-être relevés du modèle SOWEL.....	31
Tableau 12.	Les 15 systèmes de logement pour truies gestantes développés pour le modèle SOWEL et leurs cotes.	31
Tableau 13.	Exigences de la norme européenne en matière de bien-être en lactation.....	33
Tableau 14.	Schéma expérimental de Massabie et al. (2006).....	41
Tableau 15.	Nouvelle réglementation européenne de surface par porc.	42
Tableau 16.	Résultats des travaux de Paboeuf et al. (2009.).....	48
Tableau 17.	Paramètres de production pour chaque système de Rausch et Keener (2003).....	51
Tableau 18.	Sommaire de l'expérimentation de Harmon et al. (1998).....	53
Tableau 19.	Dimensions critiques pour une mangeoire simple ou multiple pour des porcs en engraissement avec un accès illimité.....	57
Tableau 20.	Pourcentage de fermes démontrant une dégradation du plancher de béton en relation avec l'âge du plancher et la fabrication du béton.	69
Tableau 21.	Pourcentage de fermes démontrant une dégradation des lattes de béton en relation avec l'âge du plancher et du système d'alimentation.	69
Tableau 22.	Caractéristiques des différentes phases liquides de la chaîne de traitement.	84
Tableau 23.	Bases de données du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».....	123

Tableau 24. Mots-clés et expressions du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».....	124
Tableau 25. Critères d'inclusion du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».....	125
Tableau 26. Critères de pertinence du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».....	126
Tableau 27. Bases de données du créneau « Architecture ».....	128
Tableau 28. Mots-clés et expressions du créneau « Architecture ».....	128
Tableau 29. Critères d'inclusion du créneau « Architecture ».....	129
Tableau 30. Critères de pertinence du créneau « Architecture ».....	129
Tableau 31. Concepts et mots-clés du créneau « Matériaux ».....	131
Tableau 32. Critères d'inclusion du créneau « Matériaux ».....	131
Tableau 33. Critères de pertinence du créneau « Matériaux ».....	132
Tableau 34. Bases de données retenues du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».....	134
Tableau 35. Mots clés et expressions du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».....	134
Tableau 36. Critères d'inclusion du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».....	135
Tableau 37. Critères de pertinence du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».....	135
Tableau 38. Concepts et mots-clés du créneau « Traitement des déjections ».....	137
Tableau 39. Critères d'inclusion du créneau « Traitement des déjections ».....	137
Tableau 40. Critères de pertinence du créneau « Traitement des déjections ».....	138
Tableau 41. Concepts et mots-clés du créneau « Efficacité énergétique ».....	140
Tableau 42. Critères d'inclusion du créneau « Efficacité énergétique ».....	140
Tableau 43. Critères de pertinence du créneau «Efficacité énergétique ».....	141

Liste des figures

Figure 1.	Répartition des entreprises porcines au Québec selon le type d'exploitation en 2006 (FPPQ, 2009).....	1
Figure 2.	Truies en cages de gestation individuelles.....	20
Figure 3.	Le fonctionnement d'une stalle « turnaround ».....	23
Figure 4.	Système de logement « zigzag » Système à alimentation à volonté.....	24
Figure 5.	Le système d'alimentation Biofix (photo : www.farmtec.cz).....	26
Figure 6.	Le système bât-flanc (photo : www.web-agri.fr).....	27
Figure 7.	Un exemple de réfectoire pour truies gestantes.....	28
Figure 8.	Schéma d'une vue d'ensemble des déplacements d'une truie dans un enclos ouvrant avec des DAC.....	29
Figure 9.	Cage de mise bas conventionnelle (photo, S. Fournel).....	33
Figure 10.	Plan de la maternité expérimentale.....	37
Figure 11.	L'agencement et le nombre de porcs dans les différents groupes de porcs de l'expérimentation de Schmolke et al. (2003). Les carrés noirs étant les trémies.....	40
Figure 12.	Parc à deux étages réalisé sur la ferme expérimentale de Vermeij et al. (2003).....	43
Figure 13.	Vue de coupe d'un bâtiment d'élevage High-Rise™.....	50
Figure 14.	Illustration d'une <i>hoop barn</i> (photo : www.animallaw.info).....	52
Figure 15.	Les différents types de trémie et bols en croissance-finition : a) trémie sèche individuelle; b) trémie-abreuvoir deux places avec pousse-tube; c) abreuvoir de type Drik-O-Mat utilisé avec trémie sèche; d) bol avec couvercle muni d'un pousse-tube utilisé avec une trémie sèche; e) bol à couvercle contrôlé par une valve VHR utilisé avec trémie sèche.....	55
Figure 16.	Salle avec station de tri dans un bâtiment conventionnel.....	57
Figure 17.	Salle avec station de tri de type américain.....	58
Figure 18.	Plans et section des trois systèmes de ventilation de Van Wagenberg et Smolders (2000).....	62
Figure 19.	Schéma des deux systèmes de ventilation de Roelofs et al. (2000).....	63
Figure 20.	Ventilation centralisée à extraction basse Centracem (photo : www.acemo.com).....	65
Figure 21.	Schéma d'un laveur d'air à contrecourant.....	72
Figure 22.	Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide à trois étages.....	73
Figure 23.	Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide avec filtre - courroie.....	74

Figure 24.	Schéma d'un système de biofiltre ouvert.	75
Figure 25.	Schéma d'un système de biofiltre fermé.	75
Figure 26.	Schéma d'un système de biofiltre percolateur.	79
Figure 27.	Schéma d'un système de biolaveur (bioscrubber filter).....	81
Figure 28.	Schéma du système de traitement des déjections porcines sans utilisation de lagune.	88
Figure 29.	Aperçu des collecteurs d'énergie solaire.....	92
Figure 30.	Répartition des projets certifiés LEED en fonction de leur pays de provenance.	96
Figure 31.	Répartition des projets certifiés LEED en fonction de l'utilisation du bâtiment.....	96
Figure 32.	Cibles du système Démarche HQE.	99

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE

1 Le secteur

La production porcine est la seconde production animale au Québec. Au cours des dernières années, la production porcine québécoise a eu un impact économique marqué dans le domaine agroalimentaire. Avec des retombées économiques annuelles de 3,1 milliards de dollars et 23 758 emplois directs et indirects, la production porcine québécoise représente un atout considérable pour la vitalité des régions rurales et le développement de l'agriculture québécoise (FPPQ, 2009). En 2008, elle occupait la première place au Canada avec 29,3 % de la production totale de porcs au pays et, au Québec, elle génère 16,6 % des recettes totales de la production agricole.

Au Québec (figure 1), les producteurs porcins sont regroupés selon quatre grandes catégories (FPPQ, 2009) :

- Les reproducteurs sont ceux qui produisent les animaux destinés à la reproduction (races pures et hybrides);
- Les naisseurs sont ceux qui élèvent les truies vouées à donner naissance à des porcelets pour l'engraissement;
- Les finisseurs sont ceux qui engraisent les porcelets jusqu'à ce qu'ils atteignent le poids d'abattage;
- Les naisseurs-finisieurs sont ceux qui combinent les deux fonctions précédentes.



Figure 1. Répartition des entreprises porcines au Québec selon le type d'exploitation en 2006 (FPPQ, 2009).

Certains producteurs gèrent également des bâtiments nommés « pouponnières » qui contiennent les porcelets sevrés de la maternité. Ils y resteront environ 50 jours avant d'être dirigés vers les engraissements des finisseurs.

En rapport avec ces différentes fonctions, le dernier recensement entrepris par la Fédération des producteurs de porcs du Québec, effectué en 1997, révèle qu'une entreprise porcine moyenne possède 200 truies en maternité et 1 000 porcs en engraissement (FPPQ, 2009). Des données plus récentes de Statistiques Canada (2009) affirment qu'au 1^{er} avril 2009, on retrouvait 2 120 entreprises porcines au Québec ayant déclaré avoir un inventaire moyen de 1 825 porcs par ferme. Pour sa part, Guay (2008b) mentionne que la maternité typique comporterait bientôt un effectif d'environ 500 à 600 truies.

2 Les bâtiments

Les bâtiments ont beaucoup évolué avec la croissance de la production, la spécialisation, les techniques d'élevage (élevage en bandes) et les contraintes sanitaires. En général, le type de conception des bâtiments est également associé au stade de production. Toutefois, pour tous les types, les bâtiments comprennent une structure pour abriter les animaux, un système de ventilation, un système de plancher ou de cage adapté au stade de production et un système de gestion des déjections.

En général, les bâtiments sont constitués d'une structure en bois et d'un recouvrement extérieur en acier (tôle). Il existe d'autres types de structure mais en nombre restreint, tels les bâtiments en béton ou en structure d'acier. Au cours des années, des bâtiments ont été reconstruits ou rénovés de façon majeure. En effet, 48,1 % des bâtiments, logeant 53,9 % du cheptel, seraient âgés de moins de cinq ans. Environ 25 % des bâtiments auraient plus de 15 ans. Selon les mêmes auteurs, ces derniers abriteraient environ 20 % du cheptel. Par conséquent, la majorité du cheptel (70 %) est produit dans des installations ayant entre cinq et dix ans (tableau 1).

En 1996, 88 % des unités animales porcines étaient ventilées par un système mécanique conventionnel (extraction haute avec ventilateur dans les murs), 3,5 % par extraction basse, 7 % par ventilation naturelle ou 1,1 % avec un système à cheminée (tableau 2).

Tableau 1. Répartition des bâtiments et du cheptel porcine selon l'âge des bâtiments ou selon l'année de la dernière rénovation majeure en 2001.

Strate d'âge ⁽¹⁾	Proportion des bâtiments et du cheptel en fonction de l'année de construction ou de rénovation majeure				
	5 ans ou moins	Entre 5 et 10 ans	Entre 10 et 15 ans	Entre 15 et 20 ans	Plus de 20 ans
Proportion des bâtiments (%)	48,1	18,0	8,3	4,5	21,1
Proportion du cheptel (%)	53,9	17,5	8,0	3,1	17,5

⁽¹⁾ L'année la plus récente entre l'année de construction et l'année de la dernière rénovation majeure a été considérée.

Tiré et adapté de BPR et AGÉCO (2003)

Tableau 2. Systèmes de ventilation des bâtiments porcins au Québec par région administrative – 1996.

Région administrative	Cheptel porcin (nombre d'unités animales)	Nombre d'unités animales porcines (%)				
		Systèmes de ventilation ¹				
		Naturelle ²	Extraction basse	Mécanique		Autres
conventionnelle	avec cheminée haute					
Bas-Saint-Laurent	10 945	3,3	8,5	86,4	1,1	0,7
Saguenay – Lac-Saint-Jean	1 705	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Québec	21 526	5,6	4,7	89,7	0,0	0,0
Mauricie – Bois-Francs	90 307	9,3	7,0	82,0	1,6	0,1
Estrie	29 593	11,8	3,1	84,7	0,0	0,5
Outaouais	414	14,1	0,0	78,1	6,8	1,0
Abitibi-Témiscamingue	378	5,2	0,0	89,6	0,0	5,2
Chaudière-Appalaches	155 104	4,9	4,1	89,9	0,7	0,5
Lanaudière	46 117	8,2	1,8	84,5	5,4	0,0
Laurentides	4 190	8,2	0,0	89,1	2,5	0,2
Montérégie	204 405	7,1	1,8	90,3	0,6	0,2
Au Québec	564 683	7,0	3,5	88,0	1,1	0,3

⁽¹⁾ Dans le cas d'un bâtiment avec plus d'un système de ventilation, les unités animales porcines ont été divisées par le nombre de systèmes de ce bâtiment.

⁽²⁾ La ventilation naturelle est un système passif qui utilise la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ou encore la vitesse des vents, pour aérer le bâtiment.

Tiré de Gilbert et al. (1998).

Les planchers sont conçus pour respecter le bien-être animal et pour s'harmoniser avec le type de gestion des déjections. En général, il y a des planchers partiellement lattés et complètement lattés (caillebotis partiel ou complet). La proportion de surface lattée dans un bâtiment est fonction de plusieurs facteurs, dont la régie de l'élevage et le système de manipulation des déjections. Également, les matériaux composant le plancher latté diffèrent d'un stade de production à un autre. Il y a les planchers lattés en béton (ex. : engraissement et gestation), en acier (ex. : maternité) et en plastique (ex. : pouponnière).

Cependant, peu importe le pourcentage ou le stade de production, la majorité des porcs sont élevés sur des planchers partiellement ou entièrement lattés. Selon Gilbert et al. (1998), 15 % du cheptel porcin a été élevé sur des planchers entièrement lattés et 63,2 % sur des planchers partiellement lattés (tableau 3). Selon les mêmes auteurs, en 1996, seul 0,7 % du cheptel porcin est produit sur litière profonde ou autres. Encore aujourd'hui, la proportion du cheptel produit sur litière est marginale, voire en régression.

Au total en 1996 et tous types confondus, 15,1, 63,2, 20,9 et 0,8 % du cheptel était élevé respectivement sur des planchers entièrement lattés, partiellement lattés, pleins ou sur litières. Entre 1996 et 2001, avec les modifications et la construction de nouveaux bâtiments, le pourcentage de plancher plein a nettement diminué.

Tableau 3. Types de plancher dans les bâtiments porcins au Québec (1996, 1998 et 2001).

Type de plancher	Proportion des d'animaux logés sur différents types de plancher						
	Tous types de porcs confondus (%)	Truies verrats (%)		Porcelets (%)		Porcs à l'engraissement (%)	
		1996	1998	2001	1998	2001	1998
Entièrement latté	15,1	24,6	29,9	43,3	62,7	18,2	14,8
Partiellement latté	63,2	55,8	55,9	49,3	31,9	72,7	74,6
Plein	20,9	19,3	13,9	7,1	5,4	7,8	9,7
Litière	0,8	0,2	0,4	0,3	0,0	1,2	0,9

Tiré de Gilbert et al. (1998); BPR et AGÉCO (2003)

Il existe deux types de gestion, soit la gestion solide et la gestion liquide. Dans un souci de contrôle sanitaire et pour faciliter la manipulation des déjections, l'approche de la gestion liquide s'est beaucoup développée. Aujourd'hui, c'est plus de 97 % des élevages qui sont produits avec une gestion liquide.

Les systèmes de gestion des déjections comprennent plusieurs éléments. Dans un premier temps, les déjections tombent dans les caniveaux à travers un caillebotis évitant ainsi que les animaux restent en contact avec leurs déjections. Cette étape permet l'enlèvement des déjections des espaces de logement des animaux. Puis, il y a l'évacuation des déjections vers la préfosse localisée à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment vers la structure d'entreposage. Depuis 2008, la totalité des déjections porcines sont entreposées dans une structure adéquate prévue à cette fin. Toutefois, très peu de ces structures d'entreposage sont munies d'une toiture. En effet, le cheptel porcin dont les déjections sont entreposées sous une toiture est passé de 8 à 10 % (% des u.a.) de 1998 à 2003.

3 But et objectifs

Le but de ce projet était d'établir, par le biais d'une revue de littérature critique, les meilleures pratiques et technologies disponibles pour la conception d'un bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage et permettant des gains sur les plans économique, environnemental et social.

Plus précisément, les objectifs spécifiques du projet sont :

- Établir les critères de recherche bibliographique pour la réalisation d'une revue de littérature critique portant sur les systèmes de bâtiment porcin vert;

- Identifier les systèmes de production porcine qui apparaissent les plus prometteurs pour la conception des bâtiments porcins du futur en considérant les aspects suivants : régie, alimentation et bien-être; architecture; matériaux; contrôle des émissions atmosphériques; traitement des déjections et efficacité énergétique;
- Faire un survol des différentes normes de certification environnementale et d'écoconception existantes concernant les bâtiments durables;
- Mettre en place des recommandations permettant de développer un concept de système durable en production porcine.

4 Les limites de l'étude

Cette étude s'est limitée aux bâtiments, technologies et équipements de production porcine pour les différentes phases d'élevage (gestation, maternité, pouponnière et engraissement) en regard des aspects liés à la régie, l'alimentation et le bien-être animal, l'architecture; les matériaux; le contrôle des émissions atmosphériques, le traitement des déjections et l'efficacité énergétique.

Par conséquent, les éléments tels que le coût de production et de mise en marché des produits d'élevage (ex. : appellation « produits biologiques »), la production d'aliments, la valorisation des déjections animales aux champs, le financement, etc. n'ont pas été considérés dans le cadre du présent projet. Ces éléments devront faire l'objet d'une évaluation ultérieure.

Par ailleurs, les recommandations de concepts de bâtiments porcins durables ont été effectuées pour la construction de bâtiments neufs dans un contexte où la vitalité économique du secteur n'était pas remise en cause et que tous les animaux produits trouvaient preneur. Enfin, compte tenu du fait qu'il n'a pas été possible de cerner tous les aspects sanitaires et vétérinaires reliés aux différents concepts de quarantaine, la présente étude n'a donc pas considéré cette section. Tout comme pour l'âge du sevrage des porcelets, l'équipe scientifique ne porte donc aucun jugement quant à la pertinence de ces éléments.

5 Organisation du rapport

Le rapport est constitué de cinq chapitres différents, soit :

Chapitre 1 : Introduction;

Chapitre 2 : La revue de littérature systématique;

Chapitre 3 : Les différents programmes de certification environnementale de bâtiment durable;

Chapitre 4 : Un nouveau concept de système durable en production porcine;

Chapitre 5 : Faits saillants et recommandations.

Cet aménagement du texte a été utilisé puisque la méthodologie diffère d'une section à l'autre et que ce type de présentation permet de bien distinguer et dégager individuellement les aspects importants du projet.

CHAPITRE 2 : LA REVUE DE LITTÉRATURE

1 Introduction

Cette section vise à faire, dans les limites pré-établies, le recensement des différents concepts permettant d'identifier le ou les systèmes durables de production porcine du futur.

Afin d'augmenter l'efficacité de la revue de littérature, le concept de bâtiment porcin durable a été divisé en six créneaux distincts. Le thème précis de chacun des créneaux et leur regroupement devaient permettre de toucher à l'ensemble des sujets ayant un lien avec le concept. Ces six créneaux sont les suivants :

1. Régie, alimentation et bien-être;
2. Architecture;
3. Matériaux;
4. Contrôle des émissions atmosphériques;
5. Traitement des déjections;
6. Efficacité énergétique.

2 Méthodologie

La stratégie de recherche employée pour réaliser la collecte d'écrits scientifiques s'inspire de l'approche développée par le National Institute and Clinical Excellence du Royaume-Uni (NICE, 2007). Cette technique a déjà été utilisée par l'IRDA lors d'une revue systématique portant sur les traitements de l'air vicié pour les bâtiments porcins (Lemay et al., 2008). Bien que plus exhaustive dans sa forme originale, la stratégie adaptée et utilisée pour la présente revue se divise en six étapes distinctes.

Étape 1 : Établir la question de recherche

La première étape consiste à établir une question de recherche concise et précise qui permettrait d'orienter la recherche vers un sujet fixe. L'ensemble des articles retenus lors de la recherche devrait conduire à l'obtention d'informations permettant d'y répondre.

Étape 2 : Recherche bibliographique et évaluation des critères d'inclusion

La recherche de la littérature associée à la question de recherche s'amorce ensuite à partir des bases de données électroniques d'articles scientifiques. Afin qu'elle soit le plus efficace possible, certains paramètres doivent être préalablement fixés. Les plus importants à déterminer sont :

- Les bases de données qui vont être utilisées;
- Les mots-clés et expressions de recherche à employer;
- La langue des articles recueillis;
- Le type d'information trouvée (résumés et/ou articles complets);
- La provenance des articles;
- L'année de publication des articles.

La stratégie de recherche utilisant les paramètres « base de données » et « mots-clés » a été rédigée à l'aide des opérateurs booléens « et » et « ou » (« and » et « or »). Les quatre autres paramètres servant à préciser la recherche dans les bases de données ont été spécifiés selon le genre d'informations recherchées.

Parmi les titres, les résumés et les mots-clés des articles scientifiques trouvés dans les bases de données à partir des différents paramètres, les informations disponibles de ces textes ont été passées en revue par un évaluateur pour juger de leur valeur. À l'aide d'une liste de critères d'inclusion (gamme de thèmes se rapportant au sujet principal) préalablement établie, cet évaluateur pouvait déterminer si les articles devaient être conservés ou rejetés. À cette étape, aucun article complet n'a été lu. Les ouvrages qui rencontraient au minimum un des critères d'inclusion demeuraient dans le processus d'évaluation, tandis que ceux ne répondant pas à un seul des critères étaient exclus.

Étape 3 : Évaluation de la pertinence des titres, des résumés et des mots-clés des articles scientifiques

Les titres, les résumés et les mots-clés des articles scientifiques sélectionnés lors de l'étape 2 ont par la suite été repris et repassés en revue par un évaluateur selon des critères de pertinence. Ces critères de pertinence sont préalablement définis par l'équipe de travail selon une échelle arbitraire (cote : excellente, acceptable et inacceptable). Plus un résumé répondait bien à un critère, plus il obtenait un pointage élevé. Ainsi, deux points ont été alloués à un critère respecté de manière excellente, 1 point à un critère respecté de manière acceptable et aucun point à un critère non respecté (inacceptable). À cette étape, encore aucun article complet n'a été lu. L'information disponible a été révisée afin de juger de la qualité des articles pour leur permettre de poursuivre leur évaluation à l'étape ultérieure. Les duplicatas et les articles ne semblant pas d'assez bonne qualité ont été rejetés.

Étape 4 : Évaluation du contenu des articles scientifiques à partir des critères d'inclusion et de pertinence

Les versions complètes des articles qui ont passé l'étape 3 ont été récupérées. Leur contenu a été lu et évalué par au moins deux évaluateurs en utilisant les mêmes critères d'inclusion et de pertinence. Seuls les écrits jugés satisfaisants à la suite de l'évaluation selon l'échelle arbitraire des critères de pertinence ont été conservés pour l'étape suivante.

Étape 5 : Évaluation de la rigueur méthodologique des articles scientifiques

Le matériel retenu lors de l'étape 4 a par la suite été évalué selon une liste de contrôle systématique. Au moins deux réviseurs devaient lire les documents et remplir l'évaluation de la liste de contrôle pour chaque publication. Puisque les critères d'évaluation pouvaient différer selon le type d'étude, une liste de contrôles a été développée pour fournir une approche cohérente et similaire à l'évaluation NICE (2007). L'évaluation globale de chaque étude a été effectuée en utilisant une cote (++ , + ou -), basée sur la façon dont les biais potentiels ont été réduits au minimum (tableau 1, section 2). En outre, l'évaluateur devait s'assurer qu'il y avait une relation de cause à effet entre les traitements et les données obtenues.

Une liste de contrôle a été développée pour chaque type d'articles retenus : scientifiques, techniques ou revues de littérature (tableaux 3 à 5). La grille originale du NICE est celle concernant les articles scientifiques. Les deux autres grilles ont été adaptées en fonction du type d'articles pouvant être rencontrés au cours de la recherche.

Afin d'offrir la même compréhension des divers types d'ouvrage, une brève description a été rédigée. Un article scientifique est une publication dans laquelle l'auteur publie sa démarche expérimentale. Souvent, il comporte les sections suivantes : introduction, matériels et méthodes, résultats, discussion, conclusion. À l'inverse, un article technique ne comprend généralement pas de phase expérimentale, mais plutôt une description sommaire du sujet de recherche. Quant à la revue de littérature, l'auteur recense à l'intérieur de celle-ci les lectures scientifiques réalisées sur un sujet particulier.

Tableau 4. Table d'évaluation de la validité des articles scientifiques retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.

SECTION 1 : VALIDITÉ SCIENTIFIQUE			
#	Paramètres	Évaluation du paramètre	
5.1.1	L'étude répond à une question claire et précise.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.2	Une description de la méthodologie est incluse.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.3	La revue de littérature est suffisamment rigoureuse afin d'identifier l'ensemble des articles pertinents.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.4	La seule différence entre les unités expérimentales est le traitement évalué.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.5	L'ensemble des mesures est fait en utilisant une méthode valide et fiable.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.6	La qualité de l'étude est prise en considération.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
SECTION 2 : ÉVALUATION GÉNÉRALE			
5.2.1	Comment l'étude s'assure de réduire les biais ?	++	
		+	
		-	
5.2.2	Si la cote est + ou -, comment le biais a pu affecter les résultats ?	Positivement	
		Négativement	
5.2.3	En considérant les aspects technologiques, votre évaluation de la méthodologie et l'exactitude des statistiques utilisées, êtes-vous assuré que l'effet global est dû aux interventions effectuées ?	Élevé	
		Moyen	
		Faible	
5.2.4	Le traitement est-il la cause des résultats ?	Élevé	
		Moyen	
		Faible	
5.2.5	Est-ce que les résultats de l'étude sont directement en lien avec ses objectifs ?	Élevé	
		Moyen	
		Faible	

Tableau 5. Table d'évaluation de la validité des articles techniques retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.

SECTION 1 : VALIDITÉ SCIENTIFIQUE			
#	Paramètres	Évaluation du paramètre	
5.1.1	L'article provient d'une source d'information reconnue.	Élevé (++)	Ex. : Revue spécialisée
		Moyen (+)	
		Faible (-)	Ex. : Journal ou quotidien
5.1.2	Le profil de l'auteur est adéquat pour traiter du sujet.	Élevé (++)	Ex. : Expertise en agriculture
		Moyen (+)	
		Faible (-)	Ex. : Journaliste généraliste
5.1.3	L'article possède une attache commerciale.	Faible(++)	
		Moyen (+)	
		Élevé (-)	
5.1.4	L'article est une vulgarisation d'un écrit scientifique.	Élevé (++)	
		Moyen (+)	
		Faible (-)	
5.1.5	L'année de publication est :		
SECTION 2 : ÉVALUATION GÉNÉRALE			
5.2.1	À la suite de l'analyse présente, l'évaluateur donne son appréciation sur l'article dans son ensemble.		Élevée (++) Moyenne (+) Faible (-)

Tableau 6. Table d'évaluation de la validité des articles de type « revue de littérature » retenus pour l'étape 5 de la revue critique sur la régie d'élevage.

SECTION 1 : VALIDITÉ SCIENTIFIQUE			
#	Paramètres	Évaluation du paramètre	
5.1.1	L'étude répond à une question claire et précise.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.2	La recherche d'informations est suffisamment rigoureuse afin de répondre à la question de recherche.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.3	Le nombre de similarités entre les études retenues pour la revue de littérature est suffisant afin de les retenir pour supporter la question de recherche.	Bien couvert	Non couvert
		Adéquatement couvert	Non rapporté
		Mal couvert	Non applicable
5.1.4	Leurs auteurs tirent des conclusions originales.	Excellent	Passable
		Très bien	Médiocre
		Bien	Non applicable
SECTION 2 : ÉVALUATION GÉNÉRALE			
5.2.1	À la suite de l'analyse présente, l'évaluateur donne son appréciation sur l'article dans son ensemble.		Élevée Moyenne Faible

Étape 6 : Résumé des éléments importants des articles scientifiques

Finalement, les articles ont été relus une dernière fois par les évaluateurs et les éléments importants de ces derniers ont été résumés grâce à l'utilisation d'une grille comme celle présentée au tableau 7.

Tableau 7. Grille représentant les éléments importants à considérer pour chaque article.

PARAMÈTRES	ÉLÉMENT IMPORTANT
Résumer les principales conclusions de la revue de littérature et comment elles sont reliées à l'objectif principal	
Faire la liste des traitements couverts par l'étude	
Faire la liste des résultats utilisés pour évaluer l'efficacité des traitements utilisés	
Identifier un article référé	
Est-ce que l'article est toujours pertinent et doit-il être conservé ?	
Donner les raisons si la réponse est non	

3 Les questions de recherche, les définitions et l'information recueillie pour chaque créneau

3.1 Régie, alimentation et bien-être

Lors de la première étape, la question de recherche a été établie : « Quelles pratiques de la régie d'élevage chez un naisseur-finiisseur sont les plus susceptibles d'être implantées dans un concept d'avenir de bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage ? »

Les termes employés lors de l'élaboration de la question ont été définis :

- *Régie d'élevage* : « La régie fait référence à plusieurs aspects de la production, particulièrement par l'intermédiaire du contrôle des paramètres de production comme la conduite d'élevage, l'ambiance, l'alimentation, la gestion des déjections et certains aspects reliés au bien-être animal (Chénard et al., 1999). » Malgré tout, l'aspect de la gestion des déjections sera ignoré puisqu'il fait déjà l'objet d'un autre créneau;
- *Naisseur-finiisseur* : « Les producteurs naisseurs possèdent un troupeau de truies et élèvent les porcelets jusqu'au sevrage. Les producteurs finisseurs achètent les porcelets sevrés des producteurs naisseurs et les engraisent jusqu'au poids d'abattage. Les

producteurs naisseurs-finisseries ont un troupeau de truies et engraisent les porcelets jusqu'au poids d'abattage (Guay, 2008a) »;

- *Bâtiment porcin durable* : Pour être durable, un bâtiment porcin devrait intégrer tous les aspects du développement durable, soit les aspects économiques, environnementaux, agronomiques, techniques et sociaux. Un tel concept devra tenir compte entre autres des éléments tels que l'efficacité énergétique, la valorisation et le traitement des déchets, l'économie d'eau, l'utilisation de matériaux recyclés et recyclables, le contrôle des émissions atmosphériques, etc.;
- *Contexte québécois* : Les producteurs porcins québécois élèvent des porcs commerciaux voués au marché alimentaire. Le principal objectif est donc d'engraisser ces porcs jusqu'au poids d'abattage dans un temps le plus court possible et à un moindre coût, indépendamment des rigueurs climatiques québécoises et du régime politique en place.

De même, une définition du bien-être animal a dû être déterminée. Selon Le Petit Robert, le bien-être se définit par « comme une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiques et l'absence de tensions psychologiques ». Similairement, pour certains scientifiques cela est défini par « un état de parfaite santé physique et mentale vécu dans un environnement qui satisfait les besoins physiologiques et comportementaux » (Nicks et al., 2002). Plusieurs auteurs ont émis différentes définitions, toutefois, il est admis que le bien-être peut être défini selon la notion des cinq libertés émises par le Comité Brambell de 1965 dans le but de rendre plus concrète une définition du bien-être (Turgeon, 2002; Nicks et al., 2002 et Brooks, 2003) :

1. Libres de la soif, de la faim et de la malnutrition par un accès à l'eau fraîche et à une ration favorisant santé et vigueur;
2. Libres d'inconfort, assurés d'avoir un logement approprié et confortable. Les animaux doivent être libres de se retourner, de se lever, de se coucher, de s'étirer et de se toiletter;
3. Protégés et soulagés de la douleur, de la maladie et des blessures par un diagnostic et un traitement rapide;
4. Libres d'exprimer la plupart des comportements normaux et naturels de leur espèce, dans un environnement favorisant cette expression;
5. Libres de la peur, grâce à des conditions évitant la souffrance mentale.

La revue de la littérature associée à la question de recherche s'est ensuite amorcée à partir des bases de données électroniques d'articles scientifiques, lesquelles sont listées en annexe A. La banque de mots-clés élaborée pour effectuer les recherches sur ces bases de données est également présentée à l'annexe A. La langue des écrits sélectionnés pour ce créneau devait être, soit le français, soit l'anglais. De plus, l'année de publication devait être supérieure à 1997 pour obtenir une information la plus récente possible. Finalement, les articles trouvés devaient posséder un résumé.

Les titres, les résumés et les mots-clés des 9 000 articles scientifiques trouvés sur les bases de données, à partir des paramètres fixés, ont été passés en revue par un évaluateur pour juger de

leur valeur selon la liste de critères d'inclusion disponible au tableau 8. À la suite de ce processus, seuls 424 textes ont été retenus pour l'étape suivante.

Les mêmes éléments de ces 424 articles scientifiques sélectionnés lors de l'étape 2 sont ensuite repris et repassés en revue par un évaluateur selon des critères de pertinence (tableau 9). En fin de compte, 105 articles demeurent dans le processus de sélection.

Par ailleurs, voyant l'étendue du sujet, et afin de compléter l'information déjà obtenue par la recherche bibliographique à l'aide des bases de données, une recherche a été aussi effectuée dans des index de journaux spécialisés sur la production porcine (*Porc Québec, Porc Magazine, TechniPorc, Hog Journal, Réussir Porc*, etc.). Ces index sont compilés au centre de documentation du Centre de développement du porc du Québec (CDPQ). La même stratégie de recherche a été utilisée. Les critères d'inclusion et de pertinence ont été appliqués aux titres et aux citations des textes consultés. La seule différence provenait de l'absence de résumés d'articles. Cette recherche a apporté 28 articles techniques pouvant servir lors de la revue de littérature. Ces articles sont ensuite entrés, au même titre que les articles scientifiques, dans le processus d'évaluation des étapes 4 et 5.

Les versions complètes des 140 articles scientifiques et techniques ayant passé l'étape 3 ont été récupérées et leur contenu a été lu. En utilisant les mêmes critères d'inclusion et de pertinence, au moins deux évaluateurs ont évalué ces articles. Puis, le même matériel a été évalué selon une liste de contrôle systématique (tableaux 1 à 3). Encore une fois, au moins deux réviseurs ont lu les documents et rempli l'évaluation de la liste de contrôle pour chaque publication. Au bout du compte, 81 articles ont été retenus pour effectuer la revue critique.

D'autre part, au début du projet, une entrevue a été réalisée avec M. Frédéric Guay, professeur en sciences animales et responsable du cours de production porcine à l'Université Laval, afin de connaître la vision d'un spécialiste sur l'avenir de la production porcine en termes de régie d'élevage. Cette rencontre a permis d'avoir une vue d'ensemble du créneau et une base pour l'analyse des résultats.

3.2 Architecture

En conformité avec l'approche méthodologique adoptée, une question de recherche a été établie. Pour ce qui est du créneau « Architecture », celle-ci se définit comme suit : « Quels éléments de construction pour un futur bâtiment porcin durable seraient à considérer en vue d'optimiser l'organisation du travail et les opérations entre les stades de production tout en favorisant l'intégration au paysage ? » Voici une définition des termes employés :

- *Éléments de construction* : Il est question des éléments reliés au design et à la configuration du bâtiment : longueur, largeur, hauteur, forme, couleur, volume, etc.;
- *Bâtiment porcin durable* : Un bâtiment durable en production porcine vise à inclure des principes tels l'efficacité énergétique, la valorisation et le traitement des déchets, l'économie d'eau, l'utilisation de matériaux recyclés et recyclables, le contrôle des émissions atmosphériques, etc.;

- *Organisation du travail* : Le bâtiment se doit d'être fonctionnel pour que chacune des tâches puisse s'effectuer facilement;
- *Opérations entre les stades de production* : Pour un producteur naisseur-finiisseur, la production se divise en trois sections : la maternité, la pouponnière et l'engraissement. Donc, le bâtiment se doit d'harmoniser le transfert entre chacune des phases de la production, soit à l'intérieur d'un seul et même bâtiment, soit sur plus d'un site serait nécessaire.
- *Intégration au paysage* : Le bâtiment se doit de bien s'insérer dans son environnement en privilégiant une architecture qui sera favorable à l'opinion publique.

Les ressources et les bases de données pertinentes au sujet de l'architecture sont énumérées en annexe B. Elles comprennent, en plus des ressources documentaires des universités et des organismes provinciaux, nationaux ou internationaux, celles concernant l'agriculture, le génie agroalimentaire, l'architecture et le génie civil. Les sites spécialisés sur le porc ont également été considérés. La liste de mots-clés sur le créneau architecture est dévoilée en annexe B. Au surplus, les articles devaient être écrits en français ou en anglais, contenir un résumé et être datés de 1980 et plus.

Environ 2 000 articles sont ressortis du processus de recherche. Parmi les titres, les résumés et les mots-clés des articles scientifiques ainsi trouvés, les informations disponibles sont passées en revue par un évaluateur pour juger de sa valeur à savoir s'il doit être conservé ou rejeté de l'étude en cours selon la liste de critères d'inclusion pré-établie (annexe B). Puis, les articles sélectionnés étaient ensuite évalués à partir des critères de pertinence (annexe B).

Étrangement, peu de documents ont été jugés recevables pour la suite du processus de sélection. Une réduction du nombre de termes et des expressions a été effectuée, sans toutefois donner beaucoup plus de résultats. Certains sites et références spécialisés francophones ont été trouvés avec une stratégie de recherche simple, et en n'utilisant que les termes « architecture » et « bâtiments agricoles ».

Ainsi, ce sujet n'a pas fait l'objet de nombreuses recherches. Sur près de 2000 titres d'articles, seulement 7 ont été retenus puisqu'ils répondraient aux critères d'inclusion. Toutefois, ces textes traitent de la construction d'un bâtiment agricole en général sans préciser si cela est applicable aux bâtiments porcins. De plus, lorsqu'ils abordent l'intégration au paysage, l'explication est surtout réalisée dans le contexte du territoire français.

3.3 Matériaux

La question de recherche pour le créneau sur les matériaux, se définit comme suit : « Quels matériaux seraient à considérer en vue de diminuer l'impact environnemental dans l'ensemble du cycle de vie d'un futur bâtiment porcin durable tout en respectant un cahier de charges fonctionnel spécifique à ce type d'environnement et aux principes du développement durable ? »

Un champ lexical contenant des mots-clés et des expressions a été ensuite défini pour la question de recherche (tableau 14). Ces champs lexicaux permettaient de résumer, le plus précisément

possible, l'ensemble des concepts de recherche élaborés. Dépendamment des critères de sélection des articles, il peut être nécessaire de choisir des mots-clés de plusieurs langues différentes. Le français et l'anglais ont été utilisés pour cette étude. Une fois les champs lexicaux définis, ces derniers ont servi à rédiger des requêtes de recherche formées des champs lexicaux, liés ensemble à l'aide d'opérateurs booléens (AND, OR, NOT) ainsi que d'une syntaxe pouvant être interprétée par le logiciel de base de données. Pour le présent créneau, Dialog, un serveur qui permet d'interroger jusqu'à 900 bases de données dans des domaines très variés, a été utilisé.

Une recherche de la littérature associée à la question de recherche a ensuite été amorcée à l'aide des requêtes. La consultation des banques de données permet généralement de générer un nombre important de titres, lesquels doivent être analysés pour savoir s'ils sont suffisamment pertinents pour être conservés. Pour ce faire, des critères d'inclusion ont été définis (annexe C). Seuls les titres qui répondaient par l'affirmative à au moins un critère d'inclusion ont été conservés. La commande des résumés de ces articles scientifiques a alors été effectuée pour la suite du processus de sélection.

La recherche d'articles pour le créneau « Matériau » effectuée à partir des bases de données interrogées par Dialog a permis d'identifier 413 titres seulement. Vingt-deux (22) documents ont été retenus après l'analyse de ces titres selon les critères d'inclusion prévus à l'étape 2. Parmi les titres conservés, la quasi-totalité traitait du concept global de bâtiment durable plutôt que des matériaux de construction utilisés ou à privilégier pour ce type de bâtiment. Une deuxième recherche dans les bases de données a donc été effectuée, en modifiant les mots-clés afin de mieux orienter la recherche. Cette fois, 1 125 titres ont été récupérés et analysés par les critères d'inclusion (étape 2), permettant ainsi de retenir 80 titres et d'en commander les résumés.

Tous les titres d'articles scientifiques, leur résumé et leurs mots-clés, sélectionnés lors de l'étape 2, ont été ensuite passés en revue par un évaluateur en utilisant des critères de pertinence (annexe C). À cette étape, aucun article complet n'a encore fait l'objet d'une évaluation. Les documents les plus pertinents, c'est-à-dire ayant obtenu les résultats les plus élevés, ont été conservés. Toutefois, 67 titres ont dû être retranchés puisque ces références ne possédaient pas de résumé ou qu'elles étaient rédigées dans une langue autre que l'anglais ou le français. Ainsi, treize articles ont été sélectionnés.

Finalement, les articles sont lus une dernière fois par les évaluateurs et les éléments importants sont résumés grâce à l'utilisation d'une grille telle que présentée en annexe C.

3.4 Contrôle des émissions atmosphériques

Pour ce créneau, la question de recherche se définit comme suit : « *Quelle technologie de traitement d'air peut être potentiellement utilisée pour réduire l'odeur provenant des bâtiments porcins en croissance-finition ?* »

La démarche de recherche a considéré différentes sources documentaires, telles les universités et les organismes nationaux et internationaux. Une liste complète des bases de données retenues pour la revue systématique est présentée en annexe D.

Dans le contexte de la présente revue systématique, les mots clés et les expressions employées devaient être en lien avec la question de recherche. Les versions anglaises des mots clés et des expressions qui ont été choisis sont répertoriées en annexe D.

Parmi les autres paramètres de recherche, seuls les articles avec résumé, provenant de partout dans le monde, écrits en français ou en anglais et entre 1993 et aujourd'hui ont été conservés.

Parmi les titres, les résumés et les mots clés des 72 000 articles scientifiques retenus avec les paramètres précédemment décrits, les informations disponibles ont ensuite été passées en revue par un évaluateur pour juger si l'article devait être conservé ou rejeté de l'étude selon la liste de critères d'inclusion présentée en annexe D.

Les mêmes éléments des 243 ouvrages sélectionnés lors de la l'étape 2 ont ensuite été passés en revue par un évaluateur en utilisant les critères de pertinence (annexe D).

Les versions complètes des 127 articles retenus lors de l'étape 3 ont ensuite été récupérées. Leur contenu complet a été lu et évalué par au moins deux évaluateurs en utilisant les mêmes critères d'inclusion (tableau 19) utilisés lors de l'étape 2 et les mêmes critères de pertinence (tableau 20) utilisés lors de l'étape 3. À la suite de cette évaluation, 36 documents sont demeurés dans le processus.

Le matériel retenu lors de l'étape 4 a ensuite été évalué selon une liste de contrôle systématique (tableau 1). Au moins deux réviseurs devaient lire tout le matériel et remplir l'évaluation de la liste de contrôle pour chaque publication. Douze articles ont été retranchés à cette étape.

Ainsi, 24 documents ont été utilisés pour le segment revue de littérature de ce créneau. Les principales conclusions de ces études, les interventions utilisées par les auteurs et les variables mesurées ont ensuite été résumées.

3.5 Traitement des déjections

Dans le cadre de ce créneau, la question de recherche établie se lisait comme suit : « Dans la situation d'une entreprise en surplus où la réduction à la source et l'augmentation des terres d'épandage ne constituent pas une solution pour une gestion efficace des déjections, quels sont les meilleurs types et approches de traitement disponibles à ce jour et pouvant être recommandés dans le cadre de l'élaboration d'un concept de bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage ? »

Des mots-clés et des expressions ont été ensuite définis pour la question de recherche (annexe E).

Les critères d'inclusion utilisés sont définis à l'annexe E. Seuls les titres qui répondaient par l'affirmative à au moins un critère d'inclusion ont été conservés. La commande des résumés de ces articles scientifiques a été alors effectuée pour la suite du processus de sélection.

La recherche d'articles pour ce créneau a permis d'identifier quelque 1 100 titres. Cent trente-sept documents ont été retenus après l'analyse de ces titres selon les critères d'inclusion prévus à l'étape 2. Tous les titres d'articles scientifiques, leur résumé et leurs mots-clés qui ont été sélectionnés lors de l'étape 2 sont ensuite passés en revue par un évaluateur en utilisant des

critères de pertinence (annexe E). Les documents les plus pertinents, c'est-à-dire ayant obtenu les résultats les plus élevés, sont conservés. Ainsi, 20 articles ont été sélectionnés.

Le contenu complet des articles retenus et commandés a été lu et évalué par au moins deux évaluateurs en utilisant les mêmes critères d'inclusion (étape 2) et de pertinence (étape 3). Seuls, les écrits ayant un contenu qui rencontre les critères de pertinence ont été conservés pour l'étape 5.

Finalement, les articles ont été lus une dernière fois par les évaluateurs et les éléments importants de ces derniers ont été résumés grâce à l'utilisation d'une grille telle que présentée au tableau 4. Mentionnons que la revue de littérature critique pour ce créneau s'appuie également sur des livres de référence tels que Burton et Turner (2003).

3.6 Efficacité énergétique

La question de recherche précise se définit comme suit : « Quels sont les matériaux à faible contenu énergétique, les procédés économes en énergie, ou les technologies permettant d'accroître l'efficacité énergétique d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie et qui peuvent être appliqués dans le cadre de l'élaboration d'un concept de bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage ? »

Un champ lexical contenant des mots-clés et des expressions a été ensuite défini pour la question de recherche (annexe F). Ces champs lexicaux permettaient de résumer, le plus précisément possible, l'ensemble des concepts de recherche élaborés. Le français et l'anglais ont aussi été utilisés pour cet autre créneau.

Une recherche de la littérature associée à la question de recherche a ensuite été amorcée à l'aide des requêtes. Pour ce faire, des critères d'inclusion ont été définis (annexe F). Seuls les titres qui répondaient par l'affirmative à au moins un critère d'inclusion ont été conservés. La commande des résumés de ces articles scientifiques a été alors effectuée pour la suite du processus de sélection.

La recherche d'articles pour le créneau « Efficacité énergétique » effectuée à partir des bases de données interrogées par Dialog a permis d'identifier 778 titres. Parmi ces titres, plusieurs avaient déjà été récupérés par la démarche de recherche effectuée pour le créneau « Matériaux ». Ceci peut s'expliquer puisque la recherche par mots-clés dans ce créneau incluait le concept « d'efficacité énergétique des matériaux » (annexe F). Par ailleurs, de nombreux articles portant sur les technologies de production de biogaz (sujet couvert par le créneau « Traitement des déjections ») ont été récupérés. L'analyse des titres par les critères d'inclusion (étape 2) a été suivie en tenant compte de ces constatations faisant ainsi ressortir 125 titres pour la commande des résumés.

Tous les titres d'articles scientifiques, leur résumé et leurs mots-clés, sélectionnés lors de l'étape 2, ont été ensuite passés en revue par un évaluateur en utilisant des critères de pertinence (tableau 26). Les documents les plus pertinents, c'est-à-dire ayant obtenu les résultats les plus élevés, ont été conservés. Ainsi, 24 articles ont été sélectionnés.

Le contenu complet des articles retenus a été commandé, lu et évalué par au moins deux évaluateurs en utilisant les mêmes critères d'inclusion (étape 2) et de pertinence (étape 3). Seuls les écrits ayant un contenu qui rencontre les critères de pertinence ont été conservés pour l'étape 5.

Comme pour les autres créneaux, à cette étape, il s'agissait d'évaluer la rigueur méthodologique des articles techniques ou scientifiques retenus. Seulement 9 articles étaient disponibles pour l'évaluation complète (étapes 4, 5 et 6). Pour ce faire, une liste de contrôle systématique a été élaborée (tableaux 1 à 3). Au moins deux réviseurs devaient lire tout le matériel et compléter l'évaluation de la liste de contrôle pour chaque publication. Les articles ayant une méthodologie jugée adéquate sont conservés pour la sixième et dernière étape de la revue de littérature.

Finalement, les articles sont lus une dernière fois par les évaluateurs et les éléments importants de ces derniers sont résumés grâce à l'utilisation d'une grille telle que celle présentée à l'annexe F.

4 Information dégagée de la revue critique

4.1 Régie, alimentation et bien-être

4.1.1 Le logement des truies en gestation

4.1.1.1 Situation et législation

Après l'insémination, les cochettes sont transférées vers la section gestation du bâtiment principal. Elles y rejoignent également les truies des portées supérieures sevrées. Depuis 1960, les modes de logement des porcs ont passablement évolué (Nicks et al., 2002). Diminuer la charge de la main-d'œuvre, faciliter le travail du producteur et optimiser le revenu ont été au nombre des objectifs qui ont guidé cette évolution vers de nouveaux modes d'hébergement (Nicks et al., 2002). Dernièrement, ce sont les nouvelles normes européennes en matière de bien-être animal, faisant aussi leur chemin jusqu'en Amérique, qui font en sorte d'accélérer le changement vers de nouvelles avenues.

En effet, les nouvelles directives relatives à la protection des porcs dans les élevages publiées dans le Journal officiel des Communautés européennes le 1^{er} décembre 2001, et en vigueur dès 2013, prévoient l'abolition des cages individuelles pour les truies à l'exception des quatre premières semaines de gestation et pour la durée de la mise bas, soit d'une semaine avant la parturition jusqu'au sevrage des porcelets (Nicks et al., 2002). Ainsi, en raison de cette nouvelle norme, les systèmes de logement en grands groupes en gestation reprennent vie (Edwards, 2008). Même si les stalles de gestation sont toujours populaires sur le continent américain, en effet environ 60 à 70 % des truies gestantes sont logées ainsi selon les estimations de Barnett et al. (2001), il serait faux de penser que les normes de bien-être n'atteindront jamais l'Amérique du Nord (Guay, 2008b). À ce sujet, pour un bâtiment porcin durable du futur, toutes les options doivent être examinées, d'abord en rapport avec le bien-être et les futures réglementations, ensuite selon les effets des différents systèmes sur la productivité des animaux.

Le tableau 8 présente les principales exigences de la directive européenne 91/630 relative aux bâtiments et équipements.

Tableau 8. Exigences de la norme européenne en matière de bien-être en gestation.

	Truies gestantes	Verrats
Truies attachées	Interdiction totale à partir du 1 ^{er} janvier 2006.	
Systèmes de logement	Interdiction des cages individuelles à partir de la 4 ^e semaine de gestation jusqu'à 7 jours avant la mise bas. Exception pour animaux malades, blessés ou agressifs. 1 ^{er} janvier 2003 pour nouvelles constructions et rénovations et 1 ^{er} janvier 2013 pour bâtiments existants (plus de 10 truies). Lorsque des cages individuelles sont utilisées, elles doivent permettre aux truies de se retourner facilement.	Doivent pouvoir se retourner, percevoir l'odeur, le grognement et la silhouette des autres porcs.
Superficie par animal	La partie la plus courte des cases ne doit pas être inférieure à 2,8 m de long (2,4 m si moins de 6 truies). Minimum de 1,3 m ² par truie et 0,95 m ² par cochette en plus de l'aire de déjection et des cases d'alimentation. Superficie totale d'espace libre de 2,25 m ² pour les truies et 1,64 m ² pour les cochettes (plus 10 % si groupe de moins de 6 truies et moins 10 % si groupe de plus de 40).	Dimension minimale de 6 ou 10 m ² si la case est également utilisée pour la saillie naturelle. Cette disposition entre en vigueur le 1 ^{er} janvier 2003 pour les nouvelles constructions et les rénovations et le 1 ^{er} janvier 2005 pour les bâtiments existants.
Planchers	En ce qui concerne les caillebotis (planchers lattés) de béton, la largeur minimale des « pleins » est de 80 mm et la largeur maximale des « vides » est de 20 mm. Maximum 15 % d'ouvertures par rapport à la surface totale. Minimum de 1,3 m ² par truie et 0,95 m ² par cochette en plancher plein continu.	
Divers	Toutes les truies doivent avoir accès à de la terre ou des matières manipulables pour fouir. Les truies en groupes doivent être nourries au moyen d'un système garantissant que chacune d'elles puisse disposer de nourriture en quantité suffisante sans être attaquée, même en présence de concurrentes.	

Adapté de Turgeon (2002)

4.1.1.2 Les attaches et les cages individuelles en gestation

L'attache des truies existait encore au début des années 2000, mais elle se faisait rare dans plusieurs pays à l'exception du Royaume-Uni (Barnett et al., 2001). Apparue au cours des années 80, l'attache des truies permettrait une économie de 20 % comparativement à l'équipement nécessaire à l'hébergement en cages (Nicks et al., 2002). Elle consistait à attacher les truies par le cou à une surface de 1,2 m² sur un plancher partiellement latté sans litière (Bracke et al., 2002). À l'intérieur de la nouvelle réglementation européenne, ce type d'installation devait être banni pour 2006 (Turgeon, 2002). Il a été prouvé que les truies maintenues attachées montraient des signes de stress chronique, une diminution de leur bien-être et des réponses négatives quant à leur métabolisme (Barnett et al., 2001; McGlone et al., 2004), en plus des nombreuses blessures au cou occasionnées par les sangles d'attache (Nicks et al., 2002; McGlone et al., 2004).

Le logement en cages individuelles chez les truies gestantes sera banni en Europe d'ici 2013, à l'exception des quatre premières semaines (Nicks et al., 2002). Des états américains tels que l'Arizona, la Californie, le Colorado, la Floride et l'Oregon semblent aussi vouloir imiter l'Europe (Buhr, 2009). Ainsi, tout indique que ces normes atteindront le Québec d'ici 10, 15 ou 20 ans (Guay, 2008b).

Somme toute, la raison pour laquelle les stalles sont encore acceptées durant les 30 premiers jours repose sur le fait qu'un regroupement de truies durant cette période pourrait entraîner, en raison de l'établissement de la dominance, un stress physique important, défavorable pour l'attachement embryonnaire à la paroi utérine (Guay, 2008a). Barnett et al. (2001) affirment également qu'il y aurait certains avantages sur la condition et le bien-être des truies à les garder en stalles pour un temps limité. De plus, pour des fonctionnalités lors de l'insémination artificielle, il est préférable d'avoir recours aux cages individuelles (Guay, 2008a).



Figure 2. Truies en cages de gestation individuelles.

Tiré de : lacoop, 2009

4.1.1.3 Les stalles de gestation vs les modes de logements en groupes

Les stalles demeurent une option en Amérique du Nord pour toute la durée de la gestation de 115 jours (Guay, 2008a). Elles consistent à loger les truies individuellement dans des cages à 1,3 m² sur un plancher partiellement latté et sans litière (figure 2; Bracke et al., 2002). L'Europe vise à bannir leur utilisation pour une certaine période puisque la contention à l'intérieur d'un lieu restreint pourrait avoir des effets néfastes par rapport à leurs libertés, notamment en termes de comportements jugés anormaux (Nicks et al., 2002). Dans le cadre d'une importante revue de littérature sur les systèmes de logement de la cochette et de la truie gestante en rapport avec leur physiologie, leur comportement, leurs performances et leur santé, McGlone et al. (2004) ont soulevé le point de ces comportements inhabituels.

En effet, c'est à l'intérieur d'une catégorie de comportements nommés ONF (oraux, nasaux, faciaux) que sont recensés les tics n'ayant aucune fonction précise. Les comportements ONF incluent aussi ceux voués à se nourrir, à s'abreuver et à se mouvoir. Il a été démontré par une des sources de McGlone et al. (2004) que les mauvaises manies apparaissaient chez environ 94 % des truies logées seules en stalles comparativement à seulement 66 % pour des truies en groupes. Une autre étude conclut qu'en comparaison avec les truies hébergées individuellement, les comportements ONF des truies logées en groupes en période pré-alimentation et post-alimentation étaient respectivement plus faibles et complètement absents.

En plus des comportements anormaux, cette impossibilité à se mouvoir causerait une augmentation de la morbidité des truies en raison de problèmes de santé au niveau des membres et une augmentation des problèmes reliés aux comportements atypiques (Guay, 2008a; Barnett et al., 2001). Toutefois, McGlone et al. (2004) ont remarqué que la santé des truies était plus affectée en groupes qu'avec tout autre type de logement. En effet, le mordillage de la vulve, les blessures légères et les lésions au corps et aux griffes seraient plus nombreuses pour des truies hébergées en groupes. Anil et al. (2005) sont arrivés aux mêmes conclusions durant leur expérience comparant 176 truies en stalles de gestation avec 206 truies regroupées dans un parc muni de distributeurs d'aliments concentrés électroniques (DAC) sur le plan des blessures. En effet, le nombre total de blessures a été significativement supérieur pour les truies en groupes qu'en stalles individuelles. Même résultat du côté de Karlen et al. (2007) où les truies logées en larges groupes en « hoop barns » (granges au toit arqué et ouvertes aux extrémités) ont subi plus d'égratignures que les truies en cages conventionnelles.

Les taux de blessures les plus importants survenaient surtout lors de l'introduction de nouveaux animaux et du mixage entre bandes (Anil et al., 2005 et 2006). Cette cause a aussi été notée par d'autres auteurs (Nicks et al., 2002; McGlone et al., 2004; Guay, 2008a) expliquant que la plupart des blessures que s'infligent les truies se rapportent aux combats pour la dominance qui ont lieu lors de la formation des groupes ou même lors des repas, lorsque les animaux sont nourris en groupes sans alimentation individuelle comme dans une cage de gestation (McGlone et al., 2004). En conséquence, la proportion de truies réformées, principalement pour boiterie, a été sans contredit plus grande du côté des bêtes évoluant en groupes (Anil et al., 2005).

La contention des truies aurait par ailleurs d'autres avantages. En effet, l'étude de la posture et du déplacement des cochettes et des truies en maternité effectuée par McGlone et al. (2004) permet de constater que celles logées en cages individuelles durant la gestation tentaient moins

souvent de se coucher, étaient moins actives et passaient moins de temps couchées latéralement que celles hébergées en groupes. Ce comportement, selon les auteurs, induirait des pertes moins importantes de porcelets par écrasement dans les premiers jours suivant la mise bas.

De plus, la revue de Barnett et al. (2001) recense plusieurs études affirmant que les différences entre les truies logées en stalles et celles en groupes en rapport avec leurs réponses physiologiques et immunologiques sont minimales. McGlone et al. (2004) en arrivent aux mêmes conclusions. D'un point de vue physiologique, bon nombre de documents ont révélé que le bien-être des truies en stalles est égal ou supérieur à celui des truies en groupes. Que ce soit les études sur les concentrations de cortisol, de sucres plasmatiques, d'urée ou de protéines, ou les autres paramètres immunologiques ou endocriniens, elles favorisent les cages individuelles ou elles les mettent sur un pied d'égalité avec les modes de logement en groupes. Anil et al. (2005) et Karlen et al. (2007) appuient ces dires, car les taux de cortisol prélevés dans la salive des truies se sont révélés moins élevés chez celles logées en stalles que celles hébergées en groupes, signifiant ainsi un stress moins prononcé de la part des truies logées individuellement.

En conséquence de tous ces bienfaits, les truies en cages individuelles ont le taux de remplacement le moins élevé (Karlen et al., 2007) à 43,0 % (McGlone et al., 2004), loin devant les truies en groupes (55,6 %; McGlone et al., 2004). Même effet du côté de l'intervalle sevrage-oestrus qui est plus court de la part des truies élevées seules (McGlone et al., 2004; Karlen et al., 2007; Lammers et al., 2007). Cependant, le taux de reproduction des truies logées en groupes serait supérieur aux autres truies logées individuellement selon Bates et al. (2003), qui ont comparé les performances de truies en stalles et en DAC en gestation et en lactation, tandis que Karlen et al. (2007) en arrivent à la théorie contraire. Le poids des porcelets à la naissance (McGlone et al., 2004; Karlen et al., 2007) et au sevrage (Salak-Johnson et al., 2007) serait aussi plus élevé chez les truies gardées en stalles. Finalement, le type de logement n'aurait pas d'influence sur la taille de la portée (Bates et al., 2003; McGlone et al., 2004), sauf pour Lammers et al. (2007) dont les truies logées en « hoop barns » avec stalles individuelles pour l'alimentation surpasseraient les cages traditionnelles de gestation (10,0 vs 9,3) pour plus de 400 portées évaluées de part et d'autre.

D'un point de vue économique, un élevage en cages individuelles permet une maximisation de l'espace (Guay, 2008a). À cet effet, les nouvelles normes stipulent des densités respectives de 1,64 et 2,25 m² animal⁻¹ pour les cochettes après saillie et les truies élevées en stalles (Nicks et al., 2002). En comparaison, McGlone et al. (2004) stipulent qu'une surface de 2,4 à 3,6 m² semble être nécessaire pour réduire au maximum les agressions survenant en groupes. En contrepartie, maximiser l'espace demande une meilleure isolation et de meilleures capacités de chauffage afin de maintenir des conditions ambiantes optimales (Guay, 2008a).

4.1.1.4 Les stalles « turnarounds »

Ce type de stalles offre un compromis entre les cages individuelles conventionnelles et les parcs en groupes pour les truies en gestation (Miller, 2009). À partir d'une stalle ordinaire, l'adaptation s'est faite en laissant les premiers 76 cm fixes, mais en montant les 137 cm suivants sur des supports pour qu'ils puissent se mouvoir d'un côté comme de l'autre (figure 3). Lorsqu'étirée à son maximum, la portion amovible peut atteindre de 1,65 m à 1,83 m de largeur. L'avantage d'un tel type de cage, c'est qu'il ne prend pas plus d'espace total qu'une stalle standard de 0,6 m

X 2,13 m, tout en offrant 70 % de plus de surface par truie (de 1,3 à 2,23 m²). Cette superficie s'approche de la valeur requise de 2,34 m² truie⁻¹ dictée par la nouvelle norme européenne en matière de bien-être animal.

Miller (2009) a interrogé plusieurs producteurs du Mid-Ouest américain utilisant ce type d'installation. Pour deux d'entre eux, ce type d'hébergement leur permet d'avoir un contrôle sur les soins requis (alimentation, vérification du statut, vaccination, traitements) à chacune de ses truies, tout en leur offrant de meilleures conditions de logement, ce que les parcs ne peuvent leur apporter. Ce nouveau concept de cage est favorable aux truies puisqu'il leur permet d'être plus actives physiquement. Par ailleurs, ce système, coûterait seulement de 25 à 30 \$ de plus que les stalles habituelles de gestation.

Même si la conception ne possède à peu près pas de lacunes, il en est autrement pour sa durabilité. Certains ont déclaré que des problèmes survenaient 5 ou 6 ans après l'installation du côté des rotules et des chaînes (figure 3) qui permettent le pivot des barrières de la cage. De plus, la détection de l'avortement d'une truie peut être plus laborieuse étant donné que les truies ont le pouvoir de se tourner et d'ingérer les matières fœtales ni vu ni connu. L'un des inconvénients majeurs de cette technique serait l'accroissement du bruit causé par le claquage des portes et du retentissement des chaînes.

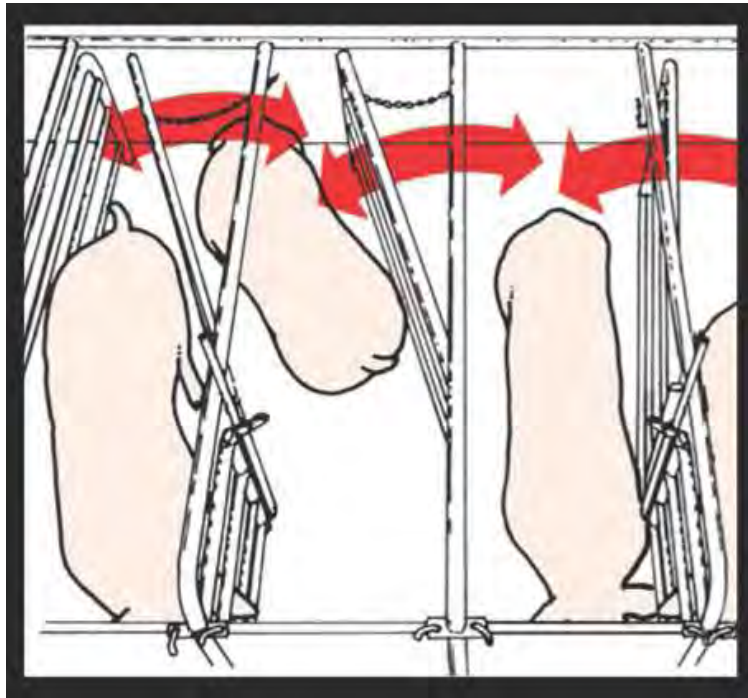


Figure 3. Le fonctionnement d'une stalle « turnaround ».

Tirée de Miller (2009)

4.1.1.5 Zigzag

Le système « zigzag » est un parc individuel de 3,6 m² divisé en une aire partiellement lattée et une aire de couchage paillée (figure 4; Bracke et al., 2002).

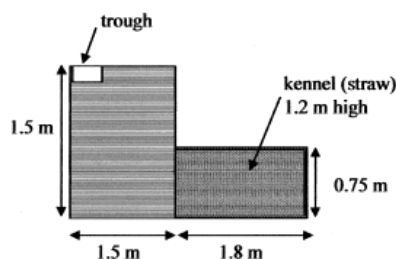


Figure 4. Système de logement « zigzag » Système à alimentation à volonté.

Tirée de Bracke et al. (2002)

4.1.1.6 Les truies en pacages extérieurs

Lorsque les modes de logement individuel sont interdits pour une certaine période ou qu'ils ne correspondent tout simplement pas aux besoins de l'éleveur, les producteurs se tournent vers des modes de logement en groupes, notamment ceux à l'extérieur. Ces systèmes de logement, autrefois fort utilisés en raison de leurs faibles coûts d'exploitation, refont surface dans certains pays puisqu'ils respectent les fondements du bien-être animal (Brooks, 2003). D'après McGlone et al. (2004), sur le plan des comportements ONF, l'hébergement extérieur serait équivalent à celui en stalles individuelles. De plus, Brooks (2003) affirme que les performances demeurent similaires entre les élevages réalisés à l'intérieur et ceux qui le sont à l'extérieur (tableau 9).

Tableau 9. Performances des élevages intérieurs et extérieurs.

Paramètres	Troupeau d'élevage intérieur	Troupeau d'élevage extérieur
Nombre de truies en moyenne	242	687
Taux de remplacement (%)	41,0	46,6
Nombre de portées par truie par année	2,26	225
Nombre de porcelets par portée	12,20	11,83
Nombre de porcelets sevrés par portée	9,76	9,84
Nombre de porcelets sevrés par truie par année	22,10	22,20
Tonne de moulée par truie par année	1,23	1,41
Moulée par porcelet sevré (kg)	60	70
Coût de la moulée par porcelet sevré (Euros)	6,40	7,48

Adapté de Brooks (2003)

Selon Bracke et al. (2002), il existe différents systèmes d'hébergement extérieur. Le premier contient généralement dix truies ayant accès à un grand espace de 5 000 m² dans lequel se situe un abri isolé sur litière. Ces truies sont alors nourries directement au sol et ont parfois droit à une mare pour la baignade. D'autres abris isolés peuvent contenir des stalles individuelles pour l'alimentation. Ceux-ci comportent essentiellement huit truies dans 36 m² dont 9,6 m² comme aire de repos paillée. Une aire d'exercice peut aussi être jumelée à ce concept.

Ces auteurs citent également un système d'enclos familial comportant 4 truies et leurs rejetons dans un enclos extérieur de 108 m². Ce type d'hébergement fournit aux truies des aires de fouissage et d'exploration, de repos, d'activité et de déjection. Il peut aussi contenir un bâtiment ouvert comme abri. Les mêmes quatre familles peuvent également se retrouver dans un environnement semi-naturel, où on fournit aux animaux des hectares de vie sauvage (sans prédateurs) avec alimentation, mais sans supervision (Bracke et al., 2002).

Néanmoins, le logement extérieur entraîne des conséquences néfastes pour l'environnement et la santé des bêtes. Les déjections se retrouvant directement sur le sol peuvent être dommageables pour sa qualité, notamment en termes de lessivage des nitrates (Brooks, 2003). La pollution ainsi créée pose problème, au même titre que les conditions atmosphériques sur la santé des animaux (Edwards, 2008).

4.1.1.7 Enclos intérieurs en groupes

Les modes de logement intérieur en groupes sont nombreux. Certains sont formés de petits groupes (4 à 6 truies), d'autres, de grands groupes (parfois plus de 100 truies). La législation européenne en gestation dicte une superficie minimale de 2,25 m² truie⁻¹ en groupes (tableau 27; Turgeon, 2002). Salak-Johnson et al. (2007) désiraient donc connaître les performances, la condition de chair et les lésions de truies en groupes de 5 à diverses densités : 1,4, 2,3 et 3,3 m² truie⁻¹. Au final, ils se sont rendu compte qu'avec une augmentation de la surface de plancher, les truies étaient plus lourdes et avaient plus de gras dorsal. Inversement, lorsqu'il y a diminution de la surface disponible, les lésions corporelles sont plus nombreuses. Les truies logées à 3,3 m² ont obtenu les plus grandes portées. Ainsi, il semblerait que le respect des densités minimales permettait d'atteindre de meilleures performances, un meilleur état de chair et moins de blessures.

4.1.1.8 Parcs avec alimentation au sol

D'abord, les petits parquets ou niches avec alimentation au sol sont le mode de logement le plus rudimentaire. Ce type de système, bien que peu coûteux, demeure néanmoins une source de problèmes. Que ce soit à la main ou grâce à des « dump » ou « spin feeders », l'alimentation des truies entraîne une compétition pour la quête de nourriture. Même sur un lit de paille favorisant les activités de fouissage, les agressions sont existantes et cela entraîne des pertes importantes de nourriture à travers le substrat (Brooks, 2003; Edwards, 2008). Un tel système est généralement conçu pour 80 truies (223 m² enclos⁻¹; Bracke et al., 2002).

Bien évidemment, les éleveurs ne peuvent se permettre des pertes importantes de nourriture (alimentation au sol à l'intérieur ou à l'extérieur) d'un point de vue économique, mais également en termes de productivité. Dans le but d'obtenir de bonnes performances en maternité, les truies

se doivent de conserver un bon état de chair et la seule façon d'y arriver est de les alimenter individuellement (Brooks, 2003).

4.1.1.9 Parcs avec alimentation à volonté

Par ailleurs, le système de logement à alimentation à volonté diffère légèrement du précédent. Il consiste habituellement en des groupes de 10 truies nourries *ad libitum* dans un enclos de 20 m² sur un plancher partiellement latté (Bracke et al., 2002).

4.1.1.10 Système à alimentation lente

C'est le cas des enclos de type « Biofix » ou « trickle feeding » (figure 5), lesquels offrent à chacune des truies un espace à la mangeoire dont la largeur correspond normalement à celle des épaules (Brooks, 2003; Edwards, 2008). Bracke et al. (2002) suggèrent une surface de 15 m² pour 6 truies pour ce type de logement. Bien que ce système, conçu pour des parcs de 6 à 12 truies (Bracke et al., 2002; Brook, 2003), réduise la compétition à l'auge, l'alimentation lente occasionnée dans un tel système crée des habitudes alimentaires anormales chez les truies (Brooks, 2003). En effet, comme la vitesse de tombée de la moulée est réglée en fonction de la truie qui mange le moins rapidement, cela crée des frustrations pour celles qui doivent se contenter de ce rythme à bas régime. De plus, il peut arriver que les truies plus rapides à se gaver de leur ration tentent d'aller déloger et de voler la portion des truies se nourrissant plus lentement (Brooks, 2003).



Figure 5. Le système d'alimentation Biofix (photo : www.farmtec.cz).

4.1.1.11 Le bât-flanc

L'option bât-flanc, développée en France, se base également sur ce même concept d'alimentation lente. Un bât-flanc comprend généralement cinq ou six truies (Bracke et al., 2002; Le Bas, 2008) qui s'alimentent dans une même auge. Chaque espace à la mangeoire est délimité par un bât-flanc qui, somme toute, n'est qu'un panneau ou une barrière servant de protection contre les

autres truies lors de l'alimentation (figure 6, Le Bas, 2008). La surface par truie pour ce type d'installation est habituellement de 2,25 m².



Figure 6. Le système bât-flanc (photo : www.web-agri.fr)

Dans l'ensemble, le système séduit en raison de sa simplicité et de son économie. Pour la majorité des éleveurs interrogés dans le dossier bât-flanc (Le Bas, 2008), le principal point positif de ce mode de logement serait la quiétude des truies en dehors des repas. L'aménagement de l'enclos aurait également un impact favorable. En effet, les producteurs ayant opté pour les parcs délimités par un cloisonnement de béton sont ravis de l'ambiance calme qui règne, comparativement à ceux ayant décidé d'installer des barrières métalliques. À la lumière de ces informations, l'auteur en conclut que, malgré un même degré de liberté accordé dans les deux cas, les truies dans les parcs construits de béton se sentent plus en sécurité puisqu'elles peuvent s'appuyer sur les côtés de l'enclos sans être dérangées par les truies adjacentes.

Comme c'était le cas pour les enclos de type Biofix, le problème majeur de ce système demeure la compétition lors des repas. Selon Le Bas (2008), il semble que l'alimentation lente ne soit pas la meilleure solution étant donné que les truies dominantes ont le temps de s'alimenter à deux endroits en même temps. Même le concept d'une septième place pour six truies ne réglerait pas totalement le problème pour certains des éleveurs interrogés lors de l'étude de Le Bas (2008). Les bagarres occasionnées par l'accès à l'auge entraînent des truies à décrocher du système et à ne plus s'alimenter. Pour cette raison, les éleveurs gardent des réfectoires disponibles pour les truies ne pouvant s'acclimater aux bât-flancs. À cet effet, il arrive que le taux d'occupation soit relativement bas, causant des coûts de gestion supplémentaires. De plus, la remise en bonne condition des truies qui jeûnent en raison des agressions qu'elles subissent à l'auge est somme toute difficilement réalisable. Ainsi, les systèmes bât-flancs accentuent les écarts de gabarit entre les truies (Le Bas, 2008).

Pour plusieurs des éleveurs sondés, l'hésitation à choisir entre l'option bât-flanc et celle du réfectoire a été longue. Pour la majorité de ceux qui ont sélectionné la première alternative, s'ils pouvaient revenir sur leur décision, ils opteraient probablement pour le second système à cause de la protection offerte aux truies lors des repas (Le Bas, 2008).

4.1.1.12 Le réfectoire

Le réfectoire, aussi appelé enclos de type « cafétéria », comporte une cage individuelle en tubulaire d'une longueur suffisante de 2,45 m où chaque truie peut se rendre pour se reposer et s'alimenter à l'abri de la vie en groupes prévalant dans l'aire commune (figure 7; Bracke et al., 2002; Nicks et al., 2002; Le Fur, 2006). Ainsi, un pacage complet comprend une aire où toutes les truies vivent en groupes et une cage où elles peuvent se nourrir individuellement. Pour 12 truies, la surface recommandée est de 26 m² (Bracke et al., 2002). L'éleveur peut également bloquer certaines truies pour leur procurer certains soins particuliers (Le Fur, 2006). Il est donc possible de traiter au cas par cas et de pouvoir examiner aisément les truies lorsqu'elles viennent s'alimenter. De plus, l'aire commune a la possibilité d'être paillée et le nettoyage peut se faire lors de l'immobilisation des truies lors du repas (Le Fur, 2006). Malheureusement, ce système peut être l'un des plus dispendieux en raison de la nécessité du double espace, entraînant un surplus sur la structure du bâtiment et le maintien des conditions d'ambiance (Edwards, 2008).



Figure 7. Un exemple de réfectoire pour truies gestantes.

Source : <http://www.ctbinc.com/images/hogphotos/StallWartestall2adj.jpg>

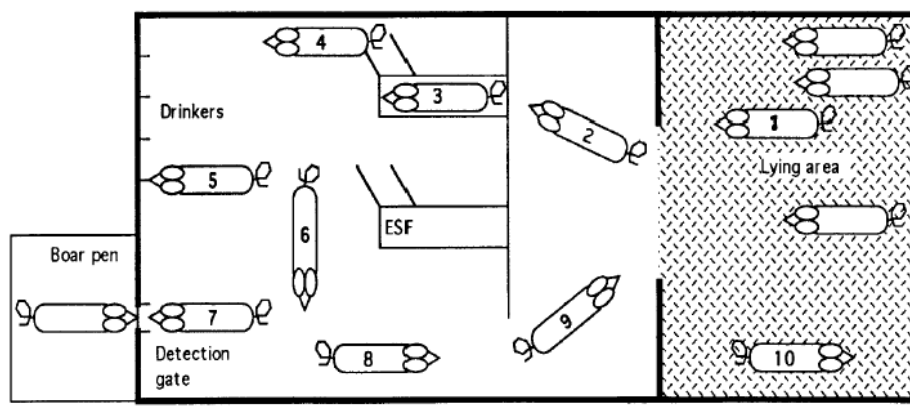
4.1.1.13 Système de distributeurs électroniques d'aliments

Il existe également un autre système permettant une protection aux truies lors du repas : les distributeurs d'aliments concentrés électroniques (DAC; Nicks et al., 2002). Une première version a été développée au cours des années 80 mais, à l'époque, la méthode était loin d'être au point. Elle s'est beaucoup raffinée ces dernières années pour en arriver à un système efficace cadrant dans les normes de bien-être à venir (Le Bas, 2005).

En effet, ce système alloue la possibilité aux truies de se nourrir de façon individuelle à l'intérieur d'une station qui les protège complètement des autres truies. Lorsque la truie est entrée, elle est identifiée par un contrôle électronique à l'aide d'une puce attachée à son oreille et la ration qui lui revient lui est servie (Edwards, 2008). Cette détection électronique permet

également un tri automatique des truies pour toute intervention ou sortie pour la réforme ou vers la maternité. À cet égard, des alertes sont activables et paramétrables pour retrouver une truie ou pour signaler un comportement anormal de la part d'une des truies. Une antenne de détection peut également être installée près de l'enclos du verrat afin de signaler le passage répété d'une truie possiblement en chaleur (Le Bas, 2005).

Un effectif d'au moins cent truies et de trois stations DAC semble être le minimum pour assurer un bon fonctionnement et de bonnes performances (Le Bas, 2005). Généralement, il est question de 30 à 40 animaux par appareil (Bracke et al., 2002; Le Bas, 2005) pour une densité de 60 m² parc⁻¹ (Bracke et al., 2002). Dans une salle équipée de DAC, les truies doivent pouvoir circuler à leur guise à l'entrée comme à la sortie de la station, d'où l'importance de la disposition des appareils. Elle doit aussi comporter des aires d'activité et de déjection sur caillebotis ainsi qu'une zone de couchage, qui peut parfois être munie de litière (figure 10; Le Bas, 2005).



Explanation

1. Sows resting in lying area. Ideally they should have line of sight to the feeder. The next sow in the feeding queue may not be the one nearest to it!
2. Sows waiting to enter the feeder should neither obstruct nor be obstructed by sows returning from the dunging area. This minimises agonistic encounters.
3. Sow must be completely protected while feeding.
4. Sows must be able to exit the feeder with out fear of being attacked by other sows. Therefore, the exit gate must not allow any sow to enter the feeder from the wrong side.
5. Drinkers should be positioned away from the feeders in the dunging area so that sows are drawn away from the feeders once they have exited. In hot climates nose operated sprays can also be positioned in this area so that sows can cool themselves.
6. Sows will dung and urinate after eating/drinking.
7. If an oestrus detection gate is to be included in the design this should be positioned so that it draws sows away from the main thoroughfare. This will minimise agonistic encounters
8. Return route to the lying area should direct the sow away from the feed queue.
9. Returning sow should have a good view of the lying area and the access to it should be wide enough so that agonistic encounters are reduced.
10. Returning sow locates an appropriate resting place.

Figure 8. Schéma d'une vue d'ensemble des déplacements d'une truie dans un enclos oeuvrant avec des DAC.

Tirée de Brooks (2003)

Même s'il est difficile de faire des comparatifs entre différents systèmes de logement en raison des nombreuses variables pouvant survenir, la « Meat and Livestock Commission » a tout de

même démontré que les DAC pouvaient donner d'aussi bonnes performances que d'autres systèmes (tableau 10) (Brooks, 2003).

D'autres configurations du système DAC peuvent aussi être réalisées en des plus petits groupes de six truies nourries simultanément trois fois par jour (système Hurnik-Morris) ou en donnant aux truies un accès extérieur à un hectare de pâturage (Bracke et al., 2002).

Tableau 10. Comparaison des performances de truies élevées sous différents systèmes de logement en gestation.

	Truies en salles équipées de DAC	Truies en petits parquets	Truies en cages individuelles ou attachées
Nombre moyen de porcelets à la naissance	11,32	11,76	11,64
Nombre moyen de porcelets sevrés par portée	9,41	9,51	9,51
Taux de mortalité (%)	12,0	12,6	11,3
Porcelets sevrés par truie par année	21,7	21,0	21,7

Adapté de Brooks (2003)

4.1.1.14 Modèle SOWEL (SOw WELfare)

Bracke et al. (2002) ont développé un modèle quantifiant le bien-être animal selon différents modes de logement. À partir des sept systèmes les plus communs, ils ont développé les facteurs les plus importants en termes de bien-être d'après les conclusions de divers auteurs ayant réalisé des expériences empiriques sur l'hébergement des truies en gestation. Ils ont ensuite attribué leurs propres cotes à 15 systèmes. Par la suite, ils ont demandé à 29 scientifiques influents dans l'univers du bien-être porcin de compléter un questionnaire pour connaître leur avis sur ces systèmes en évaluant de 1 à 10 l'importance de chacun des critères et chacun des systèmes. Les attributs énumérés pour l'analyse du bien-être, ainsi que leur importance selon le modèle et les experts, sont illustrés au tableau 10. La liste des quinze systèmes retenus et leur cote d'après les auteurs et les experts sont présentées au tableau 11.

Tableau 11. Importance des 20 facteurs de bien-être relevés du modèle SOWEL.

N°	Attributs	Modèle	Experts
1	Espace par parc	10,00	8,00
2	Statut hygiénique	9,06	8,57
3	Exposition au froid	8,21	5,00
4	Fouissage	8,11	7,89
5	Stabilité sociale	7,45	7,14
6	Contact social	6,60	8,94
7	Privation de nourriture	6,23	7,89
8	Présence de substrat	5,09	7,57
9	Synchronisation	3,96	5,00
10	Accès à l'eau	3,77	8,54
11	Séparation des aires de couchage et de déjection	3,40	5,00
12	Danger d'éraflures sur les équipements	2,74	2,36
13	Confort de l'air de couchage	2,26	5,00
14	Qualité de l'air	2,26	5,63
15	Alimentation appétissante	1,23	3,17
16	Facilité de mouvements	1,13	7,14
17	Présence d'un nid	1,13	2,68
18	Endroits isolés	0,28	3,75
19	Éclairage	0,19	3,88
20	Accès à une mare	0,00	1,38

Adapté de Bracke et al. (2002)

Tableau 12. Les 15 systèmes de logement pour truies gestantes développés pour le modèle SOWEL et leurs cotes.

N°	Système	Modèle	Experts
1	Truies attachées	0,00	0,00
2	Stalles individuelles de gestation	0,66	0,56
3	DAC	2,96	4,00
4	Réfectoire	3,00	4,33
5	Biofix	3,74	4,00
6	Bât-flanc	3,92	5,00
7	Alimentation à volonté	4,03	5,00
8	Alimentation au sol	4,22	4,44
9	Zigzag	4,31	4,00
10	Hurnick-Morris	5,09	6,00
11	Abris isolés extérieurs	6,86	8,00
12	Abris avec stalles	7,12	7,78
13	Parc familial	8,31	8,89
14	DAC et pâturage	9,89	9,00
15	Enclos semi-naturel	10,00	9,50

Adapté de Bracke et al. (2002)

4.1.2 Le logement des truies en lactation

4.1.2.1 La cage de mise bas : historique et situation actuelle

À l'époque, ces cages ont été développées dans le but de contrer la mortalité chez les porcelets. Autrefois, de 12 à 30 % des porcelets nés vivants mouraient avant le sevrage chez les truies domestiques. Même chose pour l'élevage de porcs sauvages en Europe où 25 % des porcelets ne dépassaient pas 7 jours. Aujourd'hui, grâce aux nouvelles cages de mise bas, les taux de mortalité ont relativement diminué : 13,1 % en Australie, 12,7 % au Royaume-Uni et 19,7 % aux États-Unis (Barnett et al., 2001).

Dans années 60, avant l'introduction des cages de mise bas actuelles les truies en lactation étaient simplement logées dans des parcs intérieurs ou extérieurs sur litière ou bien des paddocks extérieurs en pâturage. Avec l'arrivée des cages, les élevages ont pu réduire de moitié l'espace occupée par la truie et sa portée, passant d'entre 6 à 10 m² à seulement 4 m² (Barnett et al., 2001).

Aujourd'hui, le logement des truies lors de la lactation est majoritairement constitué d'une cage de mise bas conventionnelle (figure 9). En effet, selon un sondage fait auprès de quatorze pays européens, 92 % des 3,1 millions de truies lactantes de ces pays sont logées en cages de mise bas ordinaires. Plus précisément, quelque 95 % des truies occupent ce type de logement en Grande-Bretagne, l'un des plus grands pays producteurs de porcs, lors de la période de lactation. Ces proportions sont les mêmes que celles observées en Australie quant à la popularité de la cage de mise bas. Seulement 8 % des truies en lactation ont droit à l'apport de litière et, dans la majorité des cas, elles ne sont pas logées dans ces cages de lactation dites conventionnelles (Barnett et al., 2001).

Les critiques en rapport avec les cages de mise bas sont surtout faites à l'égard du bien-être des truies puisqu'elles sont confinées à l'intérieur d'un espace restreignant leurs mouvements. Toutefois, il semble préférable de considérer l'impact sur la mortalité des porcelets lors du choix du mode de logement pour ce stade de production. Ces mortalités surviennent principalement durant les trois premiers jours (environ 75 %), dont la moitié à l'intérieur des premières 24 heures (Barnett et al., 2001; Guay, 2008a).

Bien que la cage de mise bas demeure acceptable pendant la période de lactation selon les normes européennes de bien-être, certaines exigences envers le confort des truies et des porcelets sont énumérées au tableau 13.



Figure 9. Cage de mise bas conventionnelle (photo, S. Fournel).

Tableau 13. Exigences de la norme européenne en matière de bien-être en lactation.

	Truies en lactation	Porcelets non sevrés
Truies attachées	Interdiction totale à partir du 1 ^{er} janvier 2006.	
Systèmes de logement	Présence obligatoire de dispositifs de protection pour les porcelets dans les systèmes où les truies peuvent se mouvoir librement.	Fournir une source de chaleur et une aire de couchage solide où tous les porcelets peuvent se reposer en même temps.
Planchers	Caillebotis de béton, la largeur minimale des « pleins » est de 80 mm et la largeur maximale des « vides » est de 20 mm. Maximum 15 % d'ouvertures par rapport à la surface totale.	Caillebotis de béton, la largeur minimale des « pleins » est de 50 mm et la largeur maximale des « vides » est de 11 mm.

4.1.2.2 L'apport de litière

Plusieurs études, dont celles recensées par Barnett et al. (2001), Botto et al. (2000) et Salaün et al. (2004), démontrent le vouloir de la truie (comportement naturel) à construire un nid durant leur dernière journée de maternité. Une autre étude citée parmi ces ouvrages en est venue à la conclusion que la présence de litière, telle que la paille dans l'environnement de la truie au moment de mettre bas, augmente les actions en rapport avec la nidification. Par contre, les impacts sur le bien-être en l'absence de substrat n'ont pas été démontrés, même si, lors d'une étude sur le type de surface du sol, Botto et al. (2000) sont arrivés à la conclusion que des parcs sur litière semblent procurer un meilleur bien-être aux truies. Malgré tout, l'absence de litière

réduit considérablement les comportements de nidification de la truie. Ce comportement maternel a pour but de favoriser la survie des porcelets lors de l'accouchement en construisant un endroit chaud, confortable et sécuritaire pour les nouveau-nés.

De plus, ces mêmes auteurs citent également des recherches démontrant que ces actions d'avant mise bas auraient une influence sur le temps d'accouchement et, par le fait même, sur la survie des porcelets. Dans le même ordre d'idée, Barnett et al. (2001) rapportent également que les porcelets naissant dans des parcs avec litière possédaient une meilleure immunité passive durant leurs deux premières semaines de vie que ceux voyant le jour dans une cage de mise bas sans matériel de nidification, même si aucune relation n'existe entre la paille et l'ingestion de colostrum. En effet, dans une étude mettant en relation les types de sol (caillebotis ou litière) et différents niveaux de blocage de la truie, Salaün et al. (2004) ont démontré que le type de sol n'avait pas d'influence sur la présence des porcelets à la mamelle. Qui plus est, la présence de paille diminuerait également les risques d'écrasement lors de la période d'accouchement (Barnett et al., 2001).

4.1.2.3 Les planchers

Les truies en lactation ont besoin d'un sol confortable et sécuritaire. Les pertes relatives aux problèmes de locomotion sont énormes puisqu'elles sont la cause de la mort de 28 % des truies et de 15 % des truies réformées (Barnett et al., 2001).

Malgré tout, ce sont les planchers lattés qui ont toujours la cote comme matériel utilisé pour les équipements de logement. Comme les truies changent de posture, se lèvent et se couchent régulièrement, la résistance au glissement est un critère souvent évalué pour un choix de surface en raison des risques d'écrasement (Barnett et al., 2001). À cet effet, des comparaisons avec de nouveaux types de plancher en métal plastifié ont démontré une baisse de la mortalité des porcelets avec les nouveaux matériaux. Néanmoins, plusieurs auteurs ont également souligné le malaise des truies à se tenir debout sur le nouveau matériel. Il apparaît que les truies préfèrent un plancher solide juste avant la parturition en comparaison avec les matériaux perforés.

La largeur des vides du plancher a aussi une influence sur le confort de la truie et de ses porcelets. Selon Barnett et al. (2001), cette largeur ne devrait pas dépasser celle des pattes du porcelet (10 mm). Malgré tout, une autre étude a recensé des porcelets qui se coinçaient les pattes dans des interstices d'une telle largeur. Un autre auteur révèle quant à lui qu'il faudrait des fentes de 50 à 60 % plus larges pour garder un sol sec et propre.

En fin de compte, des planchers inadéquats peuvent avoir un impact sur la survie des porcelets et sur la santé des membres des truies. Un plancher trop glissant ou des vides trop grands augmentent les risques d'écrasement des porcelets et de boiterie des truies.

4.1.2.4 Mortalité des porcelets

Comme mentionné précédemment, la majorité des décès chez les porcelets survient durant les trois premiers jours suivant la naissance. Puis, la majorité d'entre eux survient en raison d'un traumatisme physique causé par la truie. Dans 75 % des cas, cela arrive lorsque la truie passe de la position debout à la position couchée. Bien que les causes d'écrasement sont souvent liées à

d'autres facteurs, comme la sous-alimentation, les blessures, l'hypothermie et les porcelets non viables, une statistique importante dans l'étude de Barnett et al. (2001) a démontré que 80 % des décès des porcelets viables à l'intérieur des trois premiers jours étaient causés par des écrasements.

Afin de corriger ces pertes, le marché a modifié au cours des dernières années les cages de mise bas en y ajoutant entre autres des barres anti-écrasement, des barreaux verticaux ajoutés à la barre horizontale inférieure (figure 10, Barnett et al., 2001). Malgré tout, aucun impact n'a été observé sur les taux de mortalité.

4.1.2.5 Les alternatives à la cage de mise bas

Il existe différents types de logement pour les truies en lactation mis à part la cage de mise bas. D'abord, il y a d'autres logements individuels tels les parcs intérieurs ou les paddocks extérieurs dont il était question précédemment (Barnett et al., 2001). Edwards (2008) rapporte aussi des cages dont le confinement serait réduit et qui seraient en mesure, de par leur géométrie, de favoriser les déplacements de la truie. C'est le cas des « turn round crates » dont les barreaux latéraux peuvent être déplacés pour permettre à la truie de changer de côté. Permettant la même fonction, mais avec un principe différent, la « Ottawa crate » est une autre option de cage développée. Un autre concept est cité dans Edwards (2008); il s'agit d'une cage de forme ellipsoïdale permettant aussi le retournement de la truie. Ces autres concepts ont des grandeurs comparables aux cages conventionnelles (1,8 X 1,8 X 2,3 m) et sont composés de planchers complètement lattés. Pour l'utilisation de litière, la boîte Schmid, faisant 2,5 par 3 m, sépare les aires de couchage et de déjection et peut s'avérer un choix intéressant (Edwards, 2008). Le « Werribee farrowing pen » décrit par Cronin et al. (1998) se divise aussi ainsi. Ce dernier occupe près du double de l'espace d'une cage de mise bas ordinaire (2,4 X 3,8 m).

Dans un second temps, certaines truies sont logées en groupes avec leur portée, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Pour l'extérieur, des paddocks plus grands peuvent être utilisés comportant des huttes pour chaque truie. Il existe également un concept extérieur développé par Cruz et al. (2000) pour tout le cycle de reproduction de la truie ainsi que pour le logement du porcelet. Établi au Portugal en fonction des conditions s'y retrouvant, il comporte un design autre que la cage de mise bas conventionnelle en période de lactation. L'enclos rond et fermé de mise bas a une surface de 12,3 m². Il possède des murs d'aluminium et de polyuréthane et une surface ouverte sur plancher de béton sur lequel se retrouvent les mangeoires. Tandis qu'à l'intérieur, différents designs ont été essayés, tels de simples nids en bois ou des parcs carrés avec des aires de couchage ou des systèmes plus sophistiqués comme le « Freedom Farrowing System » (Edwards, 2008).

Puis, il existe des systèmes hybrides où les truies sont en cages pour une certaine période, allant de l'accouchement à quelques jours de lactation, pour ensuite être libérées en groupes (Barnett et al., 2001; Edwards, 2008; Dubois et al., 2008). Différentes études ayant pour but d'évaluer divers degrés de liberté chez la truie suggèrent une contention minimale durant les 48 premières heures suivant la mise bas avec ajout de litière pour satisfaire le besoin de nidification de la truie et une libération dans un espace accru, voire en groupes avec d'autres truies allaitant (Dubois et al., 2008). Les performances de ce mode d'hébergement restent par contre méconnues (Dubois et al., 2008). Ces mêmes auteurs ont réalisé une expérimentation comprenant quatre places

individuelles et quatre places pouvant se mélanger en paires de truies à sept jours après la parturition (figure 10). La surface disponible pour chacune des truies est de 7,8 m² dont 3,4 m² pour l'espace libre et le reste se composant d'une cage de mise bas conventionnelle de 2,53 X 1,73 m. Selon les résultats obtenus, la productivité des truies est équivalente dans les deux cas. Par contre, les pertes de porcelets tendent à être plus élevées pour les truies en groupes après l'ouverture des stalles, surtout lors de la première semaine. De plus, la principale cause de mortalité chez les porcelets de mères ayant plus de liberté demeure l'écrasement (61,5 %), tandis que ceux contenus en cages individuelles avec leur mère meurent autant écrasés, que pour d'autres causes. Quant au poids des porcelets, il est le même à deux jours d'âge qu'au moment de libération, mais il diffère au sevrage où ceux qui sont maintenus en cages obtiennent un gain de poids moyen de 610 g. Le comportement d'investigation des truies, évalué grâce à l'ajout de quatre caméras, a pris plus d'ampleur pour les truies en groupes, mais cela s'est produit au profit des activités d'allaitement et de repos.

Tel que remarqué par Dubois et al. (2008), le regroupement de truies lactantes peut causer certains problèmes. En effet, il a été mentionné par Barnett et al. (2001) que les logements en groupes lors de la lactation avaient généralement des taux plus élevés de mortalité chez les porcelets. De plus, les risques d'agression entre les truies sont toujours présents, surtout entre les truies n'étant pas familières entre elles. Il est aussi rapporté qu'une plus grande liberté et un plus grand espace pour les truies et leur portée peuvent perturber le bien-être des porcelets. En effet, les risques d'écrasement sont toujours présents, mais il est possible que, autant la truie que ses porcelets, s'éloignent suffisamment longtemps pour contrevenir au bien-être des porcelets.

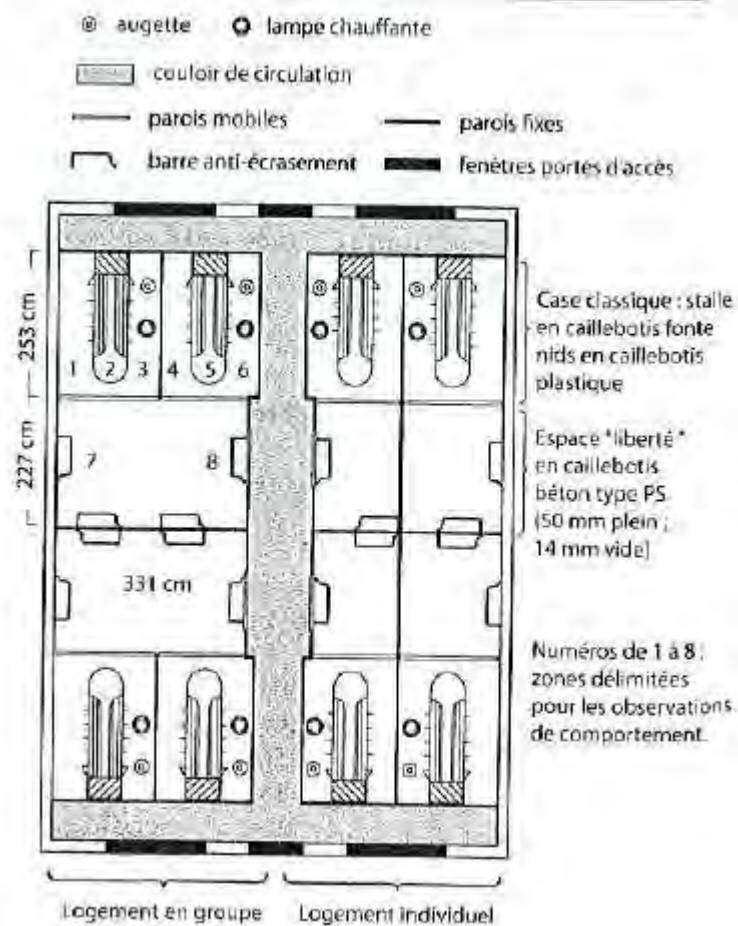


Figure 10. Plan de la maternité expérimentale.

Tirée de Dubois et al. (2008)

À ce sujet, les médianes des taux de mortalité pour différents systèmes ont été rapportées par Barnett et al. (2001) : 12,7 % pour les portées logées en cages de mise bas conventionnelles, 11,3 % pour celles logées en petits parcs ou en cages modifiées et 24,2 % pour les enclos ouverts. Similairement, Edwards (2008) indique que les truies gardées en groupes lors de la lactation offrent les pires taux de survie chez les porcelets. Quant aux nouvelles méthodes, deux études citées par Barnett et al. (2001) ont démontré des taux inférieurs de la part des systèmes alternatifs de logement individuel comparativement aux cages de mise bas conventionnelles : 13,5 et 15,5 % pour les techniques alternatives et 15,7 et 17,5 % pour les cages. À ce sujet, Edwards (2008) rapporte aussi le potentiel des options alternatives au niveau commercial en termes de réduction du taux de mortalité et des écrasements dans les cages de mise bas.

4.1.3 La pouponnière

Les performances en pouponnière semblent dépendre de l'âge au sevrage (Patience et al., 2000; Main et al., 2004; Smith et al., 2008) et cet âge peut varier en fonction des époques et des auteurs (Guay, 2008b; Connor et al., 2005). De plus, il semblerait qu'une pouponnière extérieure à la

maternité permettrait de meilleures performances (de 12 à 20 % supérieures; Patience et al., 2000).

La croissance en pouponnière peut également être influencée par la taille des groupes de porcelets et l'espace alloué pour chacun d'eux. Comme l'expliquent Wolter et al. (2000), certains modèles ont été développés à partir de projets de recherche servant à déterminer les effets de la densité animale et du nombre de porcs par parc (6 à 16 porcelets par groupe). Comme les activités commerciales comportent dorénavant des groupes d'environ 25 porcelets et, de plus en plus, jusqu'à 50, 100 ou même 200 porcelets, ces travaux ne sont plus applicables de nos jours.

Les mêmes auteurs ont tenté d'évaluer l'incidence économique et l'impact sur les performances de grands groupes (100 porcelets) par rapport à de petits groupes (20 porcelets) et d'une densité animale réduite par rapport à une densité animale adéquate. Ainsi, quatre traitements ont été définis en combinant chacune des possibilités :

1. petit groupe (20 porcelets/enclos), espace alloué adéquat (0,17 m²);
2. petit groupe (20 porcelets/enclos), espace alloué réduit (0,15 m²);
3. grand groupe (100 porcelets/enclos), espace alloué adéquat (0,17 m²);
4. grand groupe (100 porcelets/enclos), espace alloué réduit (0,13 m²).

Au total, 1 920 porcs ont été utilisés sur une période de quatre semaines en pouponnière. L'analyse économique s'est basée sur un bâtiment de 409 m² de superficie et sur les bases de données économiques des fermes américaines entre 1988 et 1998.

En l'espace d'un an, les concepts à espace réduit ont produit plus de porcelets (23 040, 26 880, 24 000 et 28 800) et ont par conséquent obtenu des coûts fixes par porc vendu plus bas (0,21, 0,19, 0,20 et 0,17 \$). Cependant, les porcelets élevés à de plus petites densités étaient 2,7 % plus légers à la sortie de la pouponnière que ceux logés à une densité adéquate. Même résultat du côté des porcelets établis en grands groupes qui étaient plus légers de 4,3 % à la fin du test que ceux élevés en groupes de 20. Quant aux coûts totaux, la différence entre les quatre traitements était marginale, passant de 34,91 à 34,56 \$ du premier au dernier groupe. Puis, en raison des poids plus élevés à la fin des traitements avec de petits groupes, les retours par porcelet vendu ont été supérieurs (32, 41, 31, 44, 30,89 et 30,16 \$).

Sur une échelle plus petite, Pluske (2006) cite des auteurs qui ont expérimenté trois superficies (0,23, 0,28, 0,35 m²) pour trois différents groupes (16, 20 et 24 porcs par parc). Ils en sont arrivés à la conclusion qu'une augmentation de l'espace par porc de 0,23 à 0,35 m² améliorerait considérablement les performances. Ces valeurs correspondent pratiquement aux valeurs élaborées par la législation européenne pour des porcelets de moins de 30 kg (tableau 33).

Pluske (2006) tire les mêmes conclusions pour des élevages en « wean-to-finish ». Quant à Brumm (2004) (référant à l'une de ces expériences antérieures), il a évalué l'influence de la superficie entre des porcs mixés ou non à la sortie de la pouponnière sur leurs performances. Dans les deux cas, des améliorations du gain journalier de poids des porcs à l'engraissement sont visibles lorsque l'espace par porc augmente (de 0,56 à 0,78 m² et de 0,60 à 0,74 m² respectivement pour des porcs mixés ou non mixés).

4.1.4 L'engraissement

À l'opposé des résultats de Wolter et al. (2000), la production à grande échelle en engraissement entraînerait certains bénéfices (Schmolke et al., 2003). Ces résultats ont favorisé une tendance vers les unités en grands groupes (Schmolke et al., 2003; Street et Gonyou, 2008) dépassant aujourd'hui largement les 100 porcs par parc (Pluske, 2006; Street et Gonyou, 2008). En effet, le logement des porcelets en grands groupes, lorsqu'établi avec la bonne densité animale, réduirait les coûts de construction et simplifierait la gestion du troupeau (Schmolke et al., 2003).

Cette théorie est aussi défendue par une étude parue dans Pluske (2006) indiquant qu'une augmentation du nombre de porcelets par parc de 5 à 100 n'a que très peu d'influence sur la productivité, à condition de respecter l'aire requise par porc ainsi que les nombres adéquats de mangeoires et d'abreuvoirs. De plus, il semblerait que les besoins en espace seraient inférieurs pour une régie en grands groupes (Gonyou et Whittington, 2005). En effet, l'espace par porc en engraissement est passé de 0,83 m² à 0,69 m² entre 1982 et 2001 (Brumm, 2004).

Or tout indique que la régie en grands groupes en post-sevrage est de plus en plus présente, surtout depuis l'implantation de la conduite en bandes qui permet de composer avec des groupes plus nombreux de porcs (Gonyou et Whittington, 2005). De plus, l'un des avantages de cette technique, est qu'elle permet de réduire les coûts initiaux de construction en diminuant les besoins pour ce qui est des murs et des barrières qui séparent les parcs et en nécessitant moins d'allées de circulation pour l'éleveur (Gonyou et Whittington, 2005; Pluske, 2006), en plus d'entraîner des coûts moindres relativement à l'entretien et au nettoyage (Pluske, 2006).

Gonyou et Whittington (2005) soulignent également le fait que les agressions soient similaires entre des parcs de 10 à 20 porcs et d'autres qui en contiendraient plus de 100. Toutefois, Guay (2008b) affirme que les agressions seraient plus fréquentes à l'intérieur de plus petits enclos. En effet, comme elles surviennent normalement au moment de l'ajout de nouveaux porcs, plus le parquet est grand, plus il sera facile pour l'animal d'échapper à ses agresseurs.

Bien évidemment, même si ces affirmations sur les avantages de la conduite en grands groupes vont à l'encontre des résultats obtenus en pouponnière par Wolter et al. (2000), il semble que la même évaluation de l'ensemble de la période de croissance, incluant la phase d'engraissement, en arriverait à des résultats différents. C'est ce qu'indiquent Schmolke et al. (2003) en rapportant deux autres sources qui font état d'une baisse de la croissance chez des porcelets regroupés en larges bandes lors du stade de la pouponnière. Gonyou et Whittington (2005) rapportent également que ce type de conduite entraîne une légère baisse de la productivité, surtout lors des deux premières semaines. Ce phénomène serait dû au fait que les porcs doivent s'habituer à manger plus souvent de courts repas. Néanmoins, au cours des semaines qui suivent, leur développement est semblable sinon meilleur aux porcs logés en petits groupes (Gonyou et Whittington, 2005). Schmolke et al. (2003) ont par ailleurs remarqué cette théorie lors de leur expérimentation concernant différentes tailles de porcelets par parc. En effet, ils ont établi que les porcs logés en groupes de 40 étaient 12 % plus légers que ceux en groupes de 10 après les deux premières semaines en pouponnière.

Cette étude de Schmolke et al. (2003) comportait 640 porcelets en croissance-finition. Durant 12 semaines, leurs performances ainsi que le mordillement de la queue ont été évalués. Ils ont été

répartis aléatoirement entre différents traitements correspondant à la taille des groupes, soit 10, 20, 40 ou 80 porcelets par enclos. La répartition de ces groupes dans la chambre d'expérimentation est illustrée à la figure 11 et l'espace alloué par porc était de $0,76 \text{ m}^2$, tel que recommandé par le Code de pratique d'Agriculture Canada (Schmolke et al., 2003). Les résultats ont permis aux auteurs de constater que, sur douze semaines, il n'y avait aucun effet de la taille du groupe sur le GMQ. Pour des groupes de 10, 20, 40 et 80 porcs par parquet, les GMQ ont été respectivement de 861, 873, 854 et 845 g jour^{-1} . Quant à la prise alimentaire, à la conversion alimentaire et à la variabilité du poids final, les résultats n'étaient pas influencés par les regroupements de porcs. De même, il n'y a eu aucune augmentation des événements de mordillage de la queue.

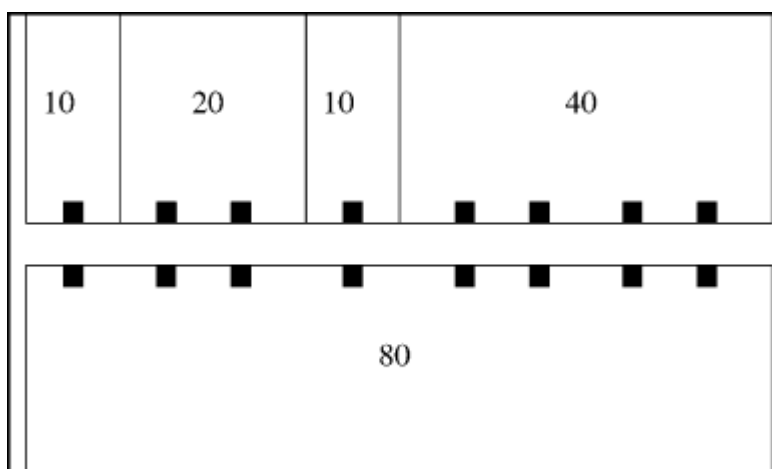


Figure 11. L'agencement et le nombre de porcs dans les différents groupes de porcs de l'expérimentation de Schmolke et al. (2003). Les carrés noirs étant les trémies.

Tirée de Schmolke et al. (2003)

Ainsi, selon cette source, tout indique que le logement en grands groupes jusqu'à 80 porcs ne semble pas produire d'effets indésirables sur la productivité ou la santé des porcs, tant que la densité animale allouée soit adéquate et que les porcs aient de la nourriture en quantité suffisante (Schmolke et al., 2003).

De leur côté, Street et Gonyou (2008) ont comparé les performances, la santé, le comportement et les réponses physiologiques de petits groupes (18 porcs par parc) et de grands groupes (108 porcs par parc) à des densités de $0,52 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ (restreinte) et $0,78 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ (non restreinte). Ainsi, 2 304 porcs ont été divisés aléatoirement en 8 blocs, dont 2 comportaient des porcs multisexes et le reste, seulement des porcs mâles castrés. Tous les porcs âgés de dix à onze semaines entraient dans le complexe expérimental et devaient y demeurer pendant sept à huit semaines. Chaque unité était installée sur un plancher latté. Une mangeoire à alimentation liquide pour neuf porcs leur a été assignée. Des enregistrements vidéos ont aussi été réalisés afin d'évaluer leur comportement.

Les résultats démontrent que les porcs logés à une densité réduite ont été 2,1 % plus légers, 4,2 % moins productifs et 6,6 % moins efficaces que ceux logés sur une plus grande surface.

Comparativement aux grands groupes, les petits groupes ont également une productivité supérieure de 3,5 % et un poids final excédant de 3 %. Puis, comme Schmolke et al. (2003) et Gonyou et Whittington (2005), Street et Gonyou (2008) ont aussi remarqué des performances plus prononcées en faveur des petits groupes lors des deux premières semaines. Toutefois, la prise alimentaire quotidienne ne semble pas différer entre les différents traitements, même si le nombre de repas significatifs chez les porcs placés dans des espaces restreints est plus bas et que ceux-ci surviennent à des fréquences moins répétées. À l’opposé, les porcs en grands groupes ont des périodes de repas de plus longue durée.

Quant à la santé des porcs, les blessures aux pattes et la boiterie ont été identifiées comme étant plus fréquentes à l’intérieur des parcs plus grands. Ceci serait probablement dû au fait que les porcs ont de plus larges espaces pour courir ou, peut-être, puisqu’ils se couchent davantage sur le côté selon les observations faites à la caméra. Bien évidemment, les espaces plus confinés ont aussi un impact sur le nombre de blessures aux pattes. Malgré tout, les taux de morbidité et de mortalité n’ont pas été affectés par les différents traitements. En général, les porcs ont passé moins de temps à manger, à se tenir debout et à dormir sur le ventre entre le début de l’expérience et sa fin. À l’inverse, le temps passé couché sur le côté a considérablement augmenté. La réduction des moments à s’alimenter et à se tenir assis s’est surtout observée chez les animaux placés à $0,52 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$, tandis que les porcs avec beaucoup d’espace s’assoient et se couchent latéralement plus souvent. De plus, les analyses salivaires visant à quantifier les concentrations de cortisol n’ont révélé aucune différence notable entre les traitements. Ainsi, aucun de ceux étudiés n’a accentué le stress que peuvent éprouver les porcs. Finalement, l’étude des sexes a permis de constater que les porcs mâles castrés croissaient plus rapidement que les porcelets femelles.

Massabie et al. (2006) ont été plus loin en termes de densité que Street et Gonyou (2008) en octroyant jusqu’à $1,20 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$. Pour des porcs à l’engrais, ils ont testé quatre densités ($0,66$, $0,84$, $1,02$ et $1,20 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$) selon trois températures (20 , 24 et 28 °C) et examiné les effets sur les performances et les concentrations d’ammoniac, de poussière et de germes. Quatre salles identiques (tableau 14) ont été conçues et trois bandes de 154 porcs, tous issus du même éleveur et élevés en post-sevrage à la même station expérimentale, y logèrent. Les porcs ont été regroupés en lot de treize et affectés à la densité recherchée. La salle a été ensuite remplie avec le nombre de porcs nécessaires pour atteindre la surface par porc souhaitée.

Tableau 14. Schéma expérimental de Massabie et al. (2006).

Traitement	Animaux en expérimentation	Animaux hors expérimentation	Total des animaux dans la salle
$0,66 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$	2 cases de 13 porcs	2 cases de 13 porcs	52 porcs
$0,84 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$	2 cases de 13 porcs	2 cases de 8 porcs	42 porcs
$1,02 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$	2 cases de 13 porcs	2 cases de 4 porcs	34 porcs
$1,20 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$	2 cases de 13 porcs	aucun	26 porcs

Tiré de Massabie et al. (2006)

Selon cette étude, pour toute la durée de l’élevage, les performances tendent à s’accroître avec l’augmentation de la densité et la diminution de la température, notamment le GMQ. Il semble que cette amélioration de la croissance provienne du fait que les porcs mangent plus lorsque la

densité augmente (jusqu'à $1,02 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$) et que l'indice de consommation soit meilleur pour des températures plus froides (20 et $24 \text{ }^\circ\text{C}$). Ces résultats sont donc en accord avec des travaux antérieurs réalisés par les mêmes auteurs qui quantifient la baisse de la consommation liée à la température de $40 \text{ g j}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ entre 17 et $28 \text{ }^\circ\text{C}$ (Massabie et al., 2006). De manière générale, ces auteurs ont constaté l'atteinte d'un plafond des performances. À $20 \text{ }^\circ\text{C}$, elles stagnent au-delà d'une densité de $0,84 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ et, à 24°C , le plateau est atteint à $1,02 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$. Ces faits rejoignent les conclusions d'un autre auteur suggérant que les performances n'évoluaient pas passé une surface de $0,93 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ (Massabie et al., 2006). Quant aux teneurs en viande maigre des animaux, un seul effet significatif a été détecté pour les porcs à $24 \text{ }^\circ\text{C}$ logés à $0,66 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$, lesquels ont obtenu un score plus élevé que ceux à $1,20 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$. Considérant les environnements thermiques et les conditions expérimentales testées, Massabie et al. (2006) concluent que la valeur optimale se situerait entre $0,84$ et $1,02 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$.

Jusqu'à ce jour, les différentes études concernant la densité animale ont évalué des surfaces de $0,52$ et $0,78 \text{ m}^2$ (Street et Gonyou, 2008), de $0,76 \text{ m}^2$ (Schmolke et al., 2003) et de $0,7$ à $1,0 \text{ m}^2$ (Pavicic et al., 2006). Certaines d'entre elles ne se conforment pas aux nouvelles normes de bien-être apparues en Europe au cours des dernières années (tableau 15; Turgeon, 2002; Nicks et al., 2002), considérant que le poids d'abattage atteint maintenant jusqu'à 125 kg (Guay, 2008a).

Tableau 15. Nouvelle réglementation européenne de surface par porc.

Poids du porc (kg)	Surface par porc (m^2)
≤ 10	0,15
10 à 20	0,20
20 à 30	0,30
30 à 50	0,40
50 à 85	0,55
85 à 110	0,65
> 110	1,00

Tiré de Nicks et al. (2002)

Pour combler ce manque d'espace, la première option, mais souvent la plus coûteuse, demeure la construction d'un nouveau bâtiment. Mais les producteurs ont vite fait de rechercher de nouvelles alternatives. Dans cette optique, Vermeij et al. (2003) ont expérimenté un système de parc à deux étages (figure 12) afin de s'harmoniser avec l'augmentation de la surface minimale de la réglementation néerlandaise de 1998 ($0,7 \text{ m}^2$ à $1,0 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$) sans travaux majeurs.



Figure 12. Parc à deux étages réalisé sur la ferme expérimentale de Vermeij et al. (2003)

Tirée de Vermeij et al. (2003)

L'expérimentation de Vermeij et al. (2003) s'est effectuée à l'intérieur de deux chambres de deux parcs de 19 porcs. Deux séries ont été réalisées sur des porcs engraisés de 25 à 112 kg. Le premier étage, de 4,47 X 3,25 m, comportait une largeur centrale en béton de 1,55 m (norme de 0,6 m² porc⁻¹ sur un plancher plein) et le plancher restant était latté. La plate-forme, construite à 1 m de hauteur, s'étendait sur toute la longueur de l'enclos par une largeur de 1,28 m. La surface de ce deuxième étage était composée aux deux extrémités par des espaces lattés de 0,75 X 0,92 m et, au centre, par un plancher solide en matières synthétiques. Les rampes en plancher latté étaient inclinées de 28°. Les étages inférieur et supérieur représentaient respectivement 73 et 27 % de la surface totale allouée (1,05 m²), dont 0,6 m² consistait en un plancher plein.

Des caméras ont été installées au cours des deux séances pour surveiller le comportement des porcs et comptabiliser leurs faits et gestes. Les observations ont été réalisées à toutes les quinze minutes lors de deux périodes de trois semaines : de 60 à 85 kg et de 85 à 110 kg. Les enregistrements ont permis de constater que les porcs occupaient généralement tout l'espace disponible. Même qu'environ 95 % des porcs se sont rendus au moins une fois sur l'espace surélevé. En général, 20 % des porcs se retrouvaient en tout temps sur la plate-forme. Cette proportion est de beaucoup inférieure à celles obtenues par la littérature nord-américaine où de 40 à 45 % des porcs se promenaient en permanence sur le deuxième étage. Cette différence peut entre autres avoir été causée par l'absence de mangeoires et d'abreuvoirs sur le niveau supérieur. Il a également été noté que les porcs appréciaient se coucher sous l'espace occupé par le deuxième étage. Finalement, l'accessibilité de ce dernier à partir de la rampe donna de bons résultats. En aucun moment, les observations vidéos n'ont montré qu'un porc avait glissé ou même chuté. De plus, les caméras n'ont révélé aucun signe que le design du parc ait eu une incidence sur les blessures aux jambes.

Toutefois, les auteurs ont constaté un engorgement du deuxième étage lorsque les porcs pesaient entre 25 et 60 kg et que cette conception particulière apporte une charge de travail supplémentaire lors du nettoyage.

Quoi qu'il en soit, cette méthode demeure une alternative à la construction de nouvelles installations dans le cas où la nécessité d'agrandir se présente. Tel que l'indiquent Vermeij et al. (2003), son coût serait 50 % moins élevé qu'un nouveau bâtiment (256 vs 525 euros par m², soit 378 vs 774 \$ CAN par m²).

4.1.5 Le « wean-to-finish »

Cette technique, décrite par Le Moan et Guivarch (2002), consiste à conduire les porcelets du sevrage à l'abattoir dans un même et unique enclos. Il s'agit en fait d'une salle d'engraissement à laquelle certains aménagements sont réalisés afin d'accueillir des porcelets plus jeunes. Le « wean-to-finish » permet donc d'éviter le mélange d'animaux entre la pouponnière et l'engraissement en plus du transport parfois occasionné si les deux bâtiments d'élevage sont distancés l'un de l'autre.

Par contre, les coûts d'investissement sont supérieurs à un élevage conventionnel avec un coût global de 0,204 euro (0,30 \$ CAN) par kg de carcasse vendu comparativement à 0,166 (Le Moan et Guivarch, 2002). Puis, comme des porcelets de 5 kg utilisent la même salle qu'un porc de 100 kg, il y a sous-utilisation de la surface utile par porc, rendant la rentabilité moindre. Cela rend aussi la maîtrise des conditions d'ambiance plutôt difficile.

Quant aux effets sur la productivité, cette même source rapporte les avis mitigés de la technique « wean-to-finish ». Certains chiffres circulent tantôt favorables tantôt réservés. Cependant, selon une étude de l'Université du Missouri, il semble que les deux façons de faire offrent des rendements semblables. Selon Guay (2008b), cette incapacité à qualifier la pratique comme bonne ou mauvaise a empêché la technique de s'implanter chez les producteurs.

Malgré tout, les performances de cette méthode intriguent (Wolter et al., 2001). Brumm et al. (2000) ont donc voulu comparer les performances de la méthode du « wean-to-finish » avec celles couramment employées par les producteurs sur la période du sevrage à l'abattoir. Ainsi, 240 porcelets mâles castrés ont été répartis à l'intérieur de trois essais. Le premier représente l'enclos en « wean-to-finish » (WF) à 0,69 m² porc⁻¹ (15 porcs par parc). Le deuxième, appelé élevage à double densité (DS), comporte deux phases; pendant huit semaines, les porcs seront logés à 0,35 m² porc⁻¹ (30 porcs par parc) pour ensuite être divisés en deux parcs à 0,69 m² porc⁻¹. Le troisième illustre le passage d'une phase en pouponnière (N) de huit semaines à 0,35 m² porc⁻¹ (15 porcs par parc) à une période d'engraissement dans une nouvelle salle à 0,69 m² porc⁻¹.

Durant la phase de pouponnière, les résultats démontrent que les porcs logés en « wean-to-finish » mangent et croissent plus, sans toutefois avoir une meilleure conversion alimentaire. Ces performances favorisent le traitement WF au détriment du traitement N et seraient entre autres reliées au contrôle de la température. Les porcelets du premier groupe auraient l'opportunité de choisir la température appropriée à leurs besoins, ce qui aurait pour effet d'améliorer leurs performances. En effet, la technique du « wean-to-finish » dispose de lampes chauffantes sous

lesquelles les porcelets peuvent se réchauffer lorsque la température de 22 à 24 °C ne suffit plus, tandis que la salle de pouponnière n'offre qu'une température de consigne allant de 28 à 30 °C la première semaine, en s'abaissant chaque semaine, jusqu'à 19 °C. Quant au traitement DS, il se classe derrière le « wean-to-finish » en ce qui concerne le GMQ et la prise alimentaire en raison, selon les auteurs, de la différence qui existe dans le nombre de porcs par parc entre les deux traitements. Mis à part le fait que ce sont les porcs issus du traitement en « wean-to-finish » qui atteignent le poids d'abattage en premier, étant les plus lourds après huit semaines, aucun des traitements n'a eu d'impact sur les performances durant la phase d'engraissement.

Même si la technique semble prometteuse, comme en engraissement conventionnel, la problématique de la taille optimale des groupes de porcs se pose. Une question à laquelle Wolter et al. (2001) ont tenté de répondre. Il semble que des groupes supérieurs à 100 porcs soient une tendance (Wolter et al., 2001), mais une étude précédente (Wolter et al., 2000) a démontré une croissance réduite des porcs logés en grands groupes. En maintenant un ratio constant entre mâles et femelles, 1 400 porcelets sevrés à 17 jours ont donc été répartis aléatoirement, en trois groupes de 25, de 50 ou de 100 porcelets par parc (Wolter et al., 2001). Ces porcelets logés à une densité de 0,68 m² sur des lattes de béton ont été suivis sur l'ensemble des phases de croissance et de finition (wean-to-finish). Ils ont été nourris à volonté dans des mangeoires trois places (1 pour 25 porcs). La température a été réglée à 24 °C au début de l'expérimentation et diminuée de 2 degrés à chaque semaine jusqu'à atteindre 18 °C. Le poids, le gain moyen quotidien, la prise alimentaire journalière et la conversion alimentaire ont été les données évaluées.

Tout comme Wolter et al. (2000), Schmolke et al. (2003) ainsi que Street et Gonyou (2008), les premiers résultats après le sevrage de Wolter et al. (2001) favorisent les plus petits groupes. En effet, à la fin de la 8^e semaine, les groupes de 50 et 100 porcelets étaient plus légers et leur GMQ et ratio alimentaire étaient inférieurs aux groupes de 25. Cette tendance marquée envers la diminution des performances des grands groupes lorsque les porcs sont jeunes et plus légers a été aussi rapportée par bon nombre de sources dans la revue de littérature émise par Wolter et al. (2001). Ces sources évoquent surtout des valeurs moins élevées en termes de GMQ pour des porcs jusqu'à 65 kg logés en grands groupes. Néanmoins, la prise alimentaire a été jugée similaire parmi les différents traitements sur toute la longueur de l'expérience. Par contre, de la semaine 8 à la fin de l'expérimentation (poids final de 116 kg), ce sont les porcs logés en groupes de 100 qui ont obtenu les meilleurs GMQ et conversion alimentaire devant les groupes de 25 et 50 porcs respectivement. Au final, sur toute la longueur du test, les trois groupes se sont retrouvés avec des résultats équivalents sur les plans du GMQ, du ratio et de la conversion alimentaire, de l'âge et du poids à l'abattage, du taux de mortalité et des mesures en carcasse. La revue de littérature fait également état des meilleures performances des grands groupes lors des phases de finition. Même que cette différence entre les performances des porcs en début et en fin d'engraissement serait due au changement de comportement à la mangeoire (Wolter et al., 2001). En effet, il semblerait que la taille des groupes influence à la baisse les habitudes alimentaires des porcs plus légers. À l'inverse, lorsque les porcs sont plus âgés, une présence plus accrue d'autres porcs dans le même parc ne dérange pas leur comportement à l'auge.

4.1.6 Les systèmes de logement alternatifs en engraissement

4.1.6.1 Élevage extérieur

D'autres systèmes d'élevage ont été relevés dans la littérature tels que les systèmes d'hébergement extérieurs et les modes de logement sur litière, autant intérieur qu'extérieur. Un peu moins de 5 % des porcs sont élevés à l'extérieur aux États-Unis et un autre 9 % dans un bâtiment y donnant accès (Gentry et al., 2002). Malgré tout, la réussite de ce type de système de logement dépend de plusieurs facteurs, dont la conception, la gestion et la location (type de sol et conditions climatiques) (Gentry et al., 2002).

Ainsi, Gentry et al. (2002) ont entamé trois expériences à Texas Tech University examinant la croissance et la qualité de la viande de porcs logeant à l'extérieur sur terre et sur pâturage (alfalfa) et à l'intérieur sur litière en comparaison avec un logement intérieur sur lattes. Le premier test comporte des porcs de 30 kg tous sevrés le même jour. Quarante porcelets nés et élevés à l'extérieur dans une pouponnière ont été placés dans un parc extérieur ($2 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$) sur un sol nu comprenant deux refuges paillés de $9 \times 15 \text{ m}$ comme abri. Vingt porcelets provenant de la chaîne de production conventionnelle ont été logés à $1 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ dans un parc sur lattes de béton. Ils ont tous été pesés aux jours 0, 43 et 94. La seconde expérimentation comprend des porcs de 52 kg. Les porcelets logés sur lattes de béton à $1,2 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ provenaient d'élevages intérieurs ayant passé par la pouponnière (de 21 jours à 5 semaines). À l'opposé, $212 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ ont été alloués à ceux logés sur pâturage. Quatre abris paillés leur étaient aussi fournis. Ils ont tous été pesés aux jours 0, 28, 56 et 87. Le troisième essai portait sur la comparaison entre des porcs logés sur lattes de béton en groupes de 25 à $7,5 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ et des porcs logés sur litière dans un poulailler converti et offrant aux porcs une surface de $12 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$. Tous les porcelets provenaient du même élevage. Les lésions aux pattes, aux orteils et aux poumons ont été évaluées.

Les résultats de la première expérimentation suggèrent que les porcs élevés à l'extérieur sur un sol terreux ont un meilleur GMQ et sont plus lourds de 13,7 kg à la fin du test puisqu'ils gagnent en moyenne $0,1 \text{ kg jour}^{-1}$ de plus que les porcs logés conventionnellement. De plus, ces derniers avaient un développement musculaire moins imposant et plus de gras que leurs opposants. Les résultats de la deuxième expérimentation démontrent que les caractéristiques de croissance et de viande ont été établies comme similaires, autant pour les porcs logés à l'intérieur qu'à l'extérieur. Finalement, la troisième expérience a permis de conclure que les porcs logés sur lattes avaient un taux supérieur de lésions aux pattes, même si les lésions les plus sévères sont apparues sur les porcs établis sur litière. Aucune différence n'a été établie entre les deux groupes pour les lésions sévères aux poumons. Par contre, le nombre de lésions aux poumons était le double pour le groupe sur lattes de béton. Les porcs sur litière avaient de meilleurs rendements en carcasse, mais possédaient également plus de gras dorsal.

Neser et al. (2003) ont aussi testé des systèmes de logement extérieur, mais à l'intérieur d'un bâtiment ouvert à l'air libre. Deux compartiments ont été expérimentés : l'un sur un plancher partiellement latté, l'autre sur 100 à 200 g de litière paillée. Soixante-quatre porcs de 27 à 115 kg étaient élevés dans chacun des compartiments. Les performances, le comportement et le bien-être des porcs, les conditions microclimatiques, les émissions et le coût à l'intérieur de ces salles ont été évalués en comparaison avec un bâtiment intérieur conventionnel sur plancher partiellement

latté et à air forcé. Selon les résultats, il n'y a eu aucune différence de la performance, du bien-être et du comportement des animaux entre les traitements.

4.1.6.2 L'élevage sur litière

Au Québec, les porcs sur litière ne représentent que 1 % du cheptel québécois (Pouliot et al., 2006). Mais en raison des nouvelles règles du bien-être accordé aux porcs (Spoolder et al., 2000), des activités d'investigation qu'elles permettent (Nicks et al., 2002) et de la réduction des odeurs qu'elles apportent (Pouliot et al., 2006), la litière dans les élevages porcins demeure toujours d'actualité.

Selon Pouliot et al. (2006), il existe six modes distincts de gestion solide : les litières biomâtrisées, accumulées, minces profondes et à écoulement continu ainsi que le système « High-Rise ». D'après le même auteur, il y aurait 38 producteurs de porcs finisseurs sur litière au Québec dont la majorité utilise la sciure de bois comme intrant. En 2006, il n'y avait pas de litière biomâtrisée au Québec. Les constructions High-Rise™ ne sont pas non plus bien présentes au Québec où un seul producteur s'est doté d'un tel système. Pouliot et al. (2006) ont aussi recensé différents ouvrages comparant les performances zootechniques des élevages sur litière et des élevages en gestion liquide. Étrangement, aucun consensus n'intervient entre toutes les sources. En effet, parfois le GMQ et la conversion alimentaire sont plus favorables à la production en gestion solide, parfois ils favorisent la gestion liquide.

L'élevage sur litière est plus populaire en Europe qu'au Québec. Le nombre d'études récentes disponibles le démontre bien. En 2009, une étude de Paboeuf et al. a considéré l'influence de la nature du sol (caillebotis ou litière), de la surface par porc et du mode d'alimentation sur les performances et la production d'effluents pour des porcs sur l'ensemble de la phase de croissance (de 28 jours à l'abattage). Ils ont testé sept lots dans deux systèmes d'élevage différents (tableau 16).

En post-sevrage, il a été observé que la moyenne des gains moyens quotidiens (GMQ) des porcelets élevés sur des planchers conventionnels était significativement supérieure à celle des porcelets élevés sur litière (554 vs 493 g; tableau 16) avec une consommation d'aliments plus grande de 4 % et un indice de consommation plus bas de 6 %. Les porcelets étaient plus lourds à l'entrée en engraissement (29,1 vs 26,9 kg). Durant cette phase, seul le GMQ des porcs sur paille est légèrement, mais significativement inférieur aux trois autres groupes (967 vs 990 g en moyenne). Aucun effet significatif n'a été démontré entre les traitements de surface et de support en ce qui a trait à la prise et à la conversion alimentaire. L'âge à la vente a par contre été significativement inférieur de quatre jours du côté des porcs logés sur litière (161 vs 157 jours). Par ailleurs, ce sont les porcs élevés sur litière qui obtiennent des carcasses plus grasses.

Tableau 16. Résultats des travaux de Paboeuf et al. (2009.)

Paramètres	Résultats et caractéristiques			
	Lattes	Lattes	Paille	Sciure bois
Post-sevrage				
Densité (m ² /porc)	0,31	0,55	0,99	0,99
Poids au sevrage (kg)	8,7	8,4	8,5	8,5
GMQ (g)	547	562	514	473
Consommation journalière (kg)	0,77	0,79	0,76	0,74
IC (kg/kg)	1,41	1,40	1,45	1,53
Engraissement				
Densité (m ² /porc)	0,70	1,00	1,50	1,50
Poids entrée (kg)	29,2	29,3	27,3	26,5
GMQ (g)	990	993	967	988
Consommation journalière (kg)	2,45	2,44	2,45	2,47
IC (kg/kg)	2,50	2,47	2,53	2,53
Poids à la vente (kg)	119,0	121,3	120,1	119,6
Âge à la vente (jours)	157	157	161	161

Adapté de Paboeuf et al. (2009)

Cette étude démontre également que 2 % des porcs en mode conventionnel éprouvaient des troubles locomoteurs alors que seulement 0,2 % de ceux élevés sur litière avaient ce problème. Étrangement, les données prises à l'abattoir démentent cette tendance puisque seulement 0,67 % des porcs élevés de façon conventionnelle ont été jugés aux prises avec des problèmes articulaires, comparativement à 0,77 % du côté des porcs élevés sur litière. Quant au taux de mortalité, les pertes ont été faibles et non significatives entre les différents traitements.

La quantité de litière employée a été plus grande pour le système à paille que pour le système sur sciure de bois (Sc) (92,5 vs 56,6 kg). Paboeuf et al. (2009) ont constaté que leurs résultats ne peuvent être vérifiés puisqu'il existe une variation entre les conclusions de différents auteurs à savoir quel mode de logement (conventionnel ou litière) offre les meilleures performances pour les porcs. Paboeuf et al. (2009) expliquent que cette variation est reliée au confort thermique entre les systèmes. Puis, contrairement aux études de Wolter et al. (2000), Brumm et al. (2000) et Street et Gonyou (2008), l'augmentation de la surface offerte aux animaux en post-sevrage et en engraissement sur un plancher conventionnel n'a pas résulté en une croissance plus importante. Paboeuf et al. (2009) ont constaté que la littérature faisait aussi état d'une influence positive de l'augmentation de la surface par porc sur les performances zootechniques. Selon les auteurs, cette absence de différence serait le résultat d'un statut sanitaire impeccable et d'une conduite rigoureuse au cours de l'expérimentation. Par contre, des carcasses plus grasses d'animaux provenant d'élevages sur litière ont aussi été notées par d'autres auteurs.

Au cours d'une étude, Laligant et al. (2003) démontrent que l'élevage sur litière amène une réduction des performances. En effet, le gain moyen quotidien est inférieur de 32 g (795 vs 763), l'indice corporel (IC) est de 0,16 point supérieur (2,96 vs 2,82) et le taux en viande maigre est de 1,5 point (58,6 vs 60,1) comparativement à l'élevage sur caillebotis.

Les porcs élevés sur litière ont aussi une productivité inférieure pour Gaudré (2008). Il a lui aussi comparé deux bandes de 72 porcs, l'une élevée sur litière et l'autre sur caillebotis. Au cours de l'ensemble de la période d'engraissement, la vitesse de croissance des porcs élevés sur litière était inférieure de 8 %. Dans le même ordre d'idée, la consommation d'aliments s'est aussi avérée en diminution de 3 % du côté de la litière en comparaison au caillebotis. À l'abattoir, on a aussi constaté des porcs plus légers d'environ 2,3 kg de carcasse chaude pour ceux provenant de l'élevage sur litière. Quant au GMQ, le caillebotis offre de meilleurs rendements en période de croissance-finition : 867 g/j comparativement à 795 g/j pour la litière. Similairement à Laligant et al. (2003), le taux de viande maigre des porcs sur litière est en deçà de la valeur du caillebotis de 0,9 point.

Laligant et al. (2003) ont également fait un bilan économique des deux modes de recouvrement de planchers. La litière, inférieure en termes de productivité face au caillebotis, se retrouve également avec un désavantage supplémentaire concernant son coût. Les coûts de main-d'œuvre, de la paille, de l'aliment et du porcelet sont tous supérieurs pour un élevage sur litière. Le coût de production pour une telle entreprise, selon cette source, est de 0,13 euro (0,19 \$ CAN) par kg de carcasse vendu.

À cet égard, près de la moitié de cette somme est déterminée par le travail supplémentaire apporté par la litière en ce qui concerne le curage et l'entretien. Puis, l'achat de paille est un aspect à ne pas dédaigner représentant, selon Laligant et al. (2003), un autre tiers du coût additionnel. Sans oublier la dégradation des performances en termes de GMQ et de l'IC, entraînant des pertes de 0,02 euro (0,03 \$ CAN) par kg chacun. Malgré tout, la valorisation du fumier ou du compost peut se révéler un avantage puisque la vente de ce dernier peut apporter un revenu supplémentaire.

Par ailleurs, la litière est reconnue comme assurant un plus grand bien-être aux porcs de par les possibilités de fouissage et d'exploration, ses demandes en superficie plus élevées et son caractère isolant, voire chauffant. Mais les conditions peuvent aussi être dégradées dans le cas où la litière est souillée. Même qu'il y a danger d'un contact plus direct avec les déjections animales pouvant entraîner des problèmes de santé.

Les élevages sur litière amènent un surplus de travail causé par la manutention de la litière, de la pesée des porcs, qui s'effectue plus difficilement compte tenu des plus grands espaces, et de la valorisation de la litière en raison des volumes imposants qu'il faut épandre, vendre ou composter. De plus, les émissions d'odeurs, de gaz et les concentrations en micro-organismes sont comparables sur plusieurs plans à celles de l'élevage conventionnel.

La gestion solide des déjections pour les porcs en engraissement (1 % des porcs au Québec), quoique plus adaptée à leur confort, présente des inconvénients majeurs ne permettant pas de recommander ce type d'élevage. Les coûts de production élevés, l'impact non significatif sur les performances zootechniques, l'approvisionnement et le coût de la litière, les frais appréciables de

gestion des fumiers, l'ajout et la pénibilité du travail liés à la gestion de la litière et le manque d'expertise québécoise dans ce domaine font en sorte que la gestion solide n'a pu se développer.

4.1.6.3 Cas particulier du High-Rise

Les dernières études concernant les granges-dômes ont surtout fait état de la performance des porcs à l'intérieur de ce mode de logement. Rausch et Keener (2003) ont voulu aller plus loin en explorant la rentabilité de trois systèmes (comprenant les granges-dômes) au niveau de la manutention du lisier et du contrôle des odeurs. Les trois types de bâtiments comprennent le bâtiment de confinement conventionnel avec fosse sous le plancher (CC), le bâtiment High-Rise™ (HR) et la grange-dôme (GD). Tel que présenté à la figure 13, l'élevage de porcs en HR ressemble à celui en CC sur plancher latté, sauf que les déjections sont gérées sous forme solide sous l'étage supérieur (Stowell et al., 2000).

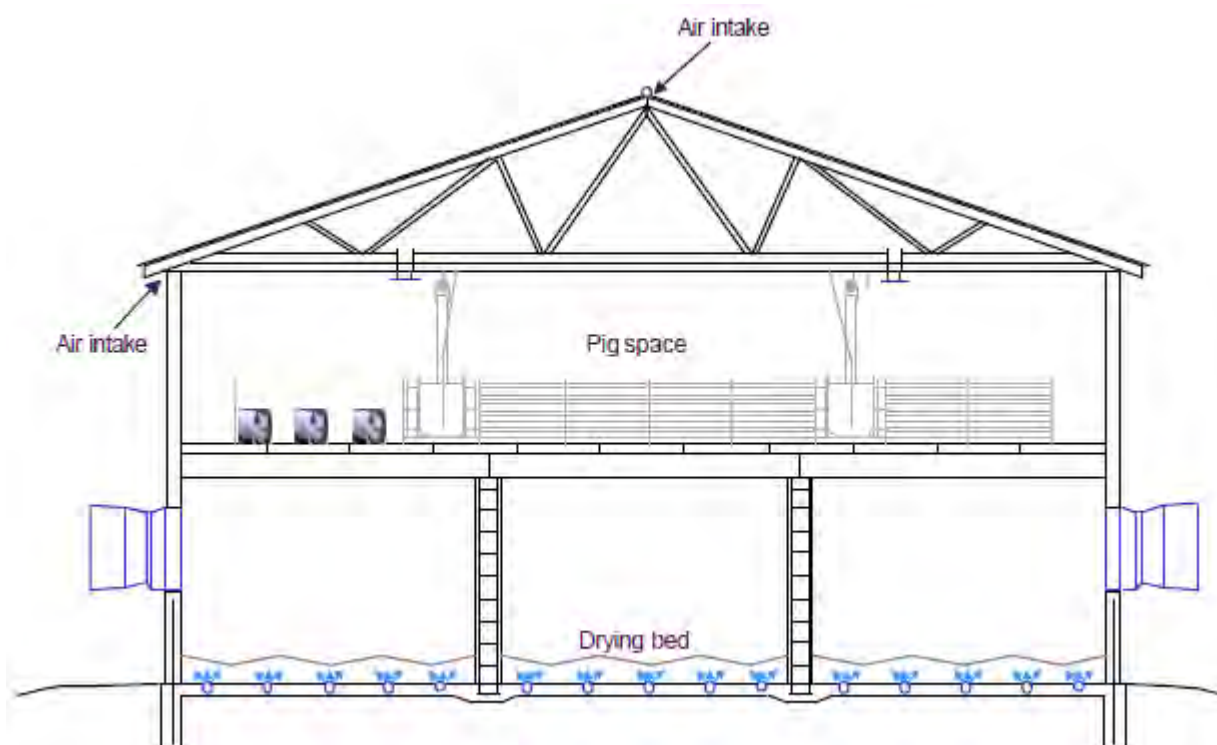


Figure 13. Vue de coupe d'un bâtiment d'élevage High-Rise™.

Tirée de Stowell et al. (2000)

Les paramètres de production (tableau 17) utilisés par Rausch et Keener (2003) sont tirés de la compilation de onze bâtiments conventionnels, d'une étude sur un bâtiment HR durant six cycles et de deux essais sur des granges-dômes.

Tableau 17. Paramètres de production pour chaque système de Rausch et Keener (2003).

	CC	HR	GD
Nombre de porcs	1000	960	451
Poids initial (kg)	22,7	22,7	16,4
Poids final (kg)	116,4	117,7	118,6
Gain de croissance (kg)	93,6	95,0	103,2
Nombre de jours nourris	119,0	115,0	133,0
GMQ (kg j⁻¹)	0,786	0,836	0,772
Conversion alimentaire	2,62	2,6	3,05
Taux de mortalité (%)	3,15	4,19	3,7

HR : High Rise; CC : conventionnel avec réservoir sous le plancher; GD : grange-dôme
Adapté de Rausch et Keener (2003)

4.1.6.4 Cas particulier des granges-dômes

Un autre type de structure d'engraissement de porcs est décrit par Wastell et Lubischer (2000), puis par Honeyman et Harmon (2003). Il s'agit de bâtiments, nommés « hoop barn », formés d'un toit arqué composé de tubes d'acier courbés recouvert d'une toile en polypropylène résistante aux rayons UV et attachée à des murs de bois ou de béton (figure 14; Wastell et Lubischer, 2000; Honeyman et Harmon, 2003). Les porcs sont souvent logés directement sur le sol avec une certaine épaisseur de litière (Wastell et Lubischer, 2000; Honeyman et Harmon, 2003). Malgré tout, l'aire d'alimentation, incluant les abreuvoirs, est généralement bétonnée (Wastell et Lubischer, 2000; Honeyman et Harmon, 2003).

L'étude de Wastell et Lubischer (2000) portait sur les performances de deux élevages, l'un en Australie et l'autre au Nebraska, en comparaison avec les engraissements conventionnels. Les granges-dômes du Nebraska mesuraient 9,15 X 27,5 m et se composaient d'une dalle de béton de même largeur et d'une longueur de 6,1 m. De 30 à 45 cm de litière était fournie aux porcs logés à une densité de 1,1 m² porc⁻¹ (225 porcs par grange). À l'opposé, les bâtiments conventionnels du Nebraska, de 12,8 X 62,4 m, étaient divisés en quatre chambres de dix parcs sur lattes contenant chacun 27 porcs (0,7 m² porc⁻¹). Du côté de l'Australie, les granges-dômes ont été de type « Ecosystem » et pouvaient contenir 400 porcs à 1 m² porc⁻¹. Quant aux bâtiments australiens typiques, les parcs aux deux tiers lattés de béton pouvaient contenir 20 porcs avec une surface allouée de 0,7 m² porc⁻¹.



Figure 14. Illustration d'une *hoop barn* (photo : www.animallaw.info).

Les résultats ont été partagés. D'un côté, les bâtiments conventionnels du Nebraska atteignirent un GMQ de 816 g j^{-1} , ce qui surpasse largement les 712 g j^{-1} des granges-dômes. De l'autre, ces dernières ont obtenu de meilleures performances avec un GMQ à 789 g j^{-1} , dépassant de 29 g les structures types d'engraissement. Néanmoins, dans les deux cas, les granges-dômes ont requis plus de nourriture aux animaux. En ce qui a trait au coût des deux systèmes, celui des granges-dômes représenterait 53 % de celui des bâtisses usuellement utilisées. Ce taux de gain est dans le même ordre que le $0,772 \text{ kg/jour}$ mesuré par Rausch et Keener (2003) (tableau 16).

Honeyman et Harmon (2003) ont également comparé les performances et les caractéristiques de la viande des porcs logés sous des granges-dômes avec ceux élevés dans des bâtiments conventionnels. Durant trois ans, 3 518 porcs de 16 kg, tous sevrés au même âge, ont été les cobayes de six expérimentations : trois durant l'été (juin à octobre) et trois autres durant l'hiver (décembre à avril). Trois granges-dômes de $9,1 \times 18,3 \text{ m}$ pouvant contenir 150 porcs sur litière à $1,11 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$ ont été utilisées. L'élevage conventionnel consistait en six parcs lattés ($4,11 \times 3,96$) de 22 porcs à $0,74 \text{ m}^2 \text{ porc}^{-1}$. Les porcs étaient engraisés jusqu'à un poids de marché d'au moins 109 kg et ils étaient pesés à tous les 28 jours.

À la lumière des résultats de cette expérience de Honeyman et Harmon (2003), les porcs engrangés ont généralement gagné du poids plus rapidement et ont ainsi atteint le poids de marché avant les porcs logés à l'intérieur. Cependant, ces derniers avaient une viande moins grasse, sur toute la durée des tests. Les analyses saisonnières ont révélé, quant à elles, une tendance à l'effet que les porcs logés sous un dôme atteignaient le poids voulu 3,6 jours avant les porcs confinés en été, mais 3,8 jours plus tard en hiver. Les conditions hivernales ont également eu un impact sur la prise alimentaire qui a été 8 % plus importante du côté des bêtes nourries à l'extérieur, tandis que celle-ci n'a subi aucune différence en été. De plus, les porcs en granges-dômes ont eu une croissance 4 % plus rapide durant l'été par rapport à leurs vis-à-vis logés à la

manière typique des producteurs, même si celle-ci a permis une croissance identique en hiver. La conversion alimentaire, équivalente des deux côtés en été, a par contre été de 8 % plus faible pour les porcs du logement alternatif. Néanmoins, ni les saisons ni le mode de logement n'eurent d'influence sur les taux de mortalité qui n'ont pas différé entre les traitements.

Tout comme Honeyman et Harmon (2003), Patton et al. (2008) ont comparé les systèmes de granges-dômes en litière profonde au système de logement traditionnel. Les performances de croissance, la qualité de la viande et la composition en gras de 68 cochettes d'environ quatre mois (59-71 kg) ont été analysées durant 45 jours. Cinquante d'entre elles ont été assignées au mode de logement extérieur contre 18 au système conventionnel. L'expérimentation a été répliquée cinq fois. À la fin de chacune, six porcs ont été choisis et envoyés pour des analyses des carcasses.

4.1.6.5 Autres types

Harmon et al. (1998) ont également étudié des systèmes de logement alternatifs aux bâtiments conventionnels. En plus du bâtiment typique qu'est le « curtain-sided facility » (CS), les performances animales ont aussi été évaluées à l'intérieur des options nommées « modified open front » (MOF) et « cargill unit » (CU) durant près de deux ans. La température et les coûts relatifs à l'exploitation de ces trois types de bâtisses ont été comparés. Chacun des établissements pouvait accueillir 400 porcs. La construction CS de 12,5 X 48,8 X 2,4 m a été divisée en deux chambres. La bâtisse, construite sur fondation de béton, comportait un plancher latté du même matériau et une fosse intégrée sous le bâtiment. La ventilation s'effectuait par extraction basse l'hiver et de façon naturelle l'été. L'élevage MOF, quant à lui, se composait de douze parcs partiellement lattés de 3 X 7,6 m en ventilation naturelle. Le bâtiment CU était une grange à toit monopente de 5,5 X 36,6 m comportant une dalle de béton extérieure de 9 m.

Les porcs logés dans le MOF ont eu une croissance plus rapide avec un GMQ et une conversion alimentaire légèrement supérieurs aux deux autres types de structure (tableau 18; Harmon et al., 1998). Les bâtiments CS et CU ont obtenu des GMQ similaires, mais les porcs issus du CS sont beaucoup plus efficaces. Cependant, les porcs de l'élevage CS sortirent à 118,6 kg, soit 3,6 kg de plus que les porcs des MOF.

Tableau 18. Sommaire de l'expérimentation de Harmon et al. (1998).

	Curtain-sided	Modified Open front	Cargill Unit
GMQ (kg/jour)	0,74	0,76	0,73
Prise alimentaire (kg/jour)	2,14	2,10	2,26
Conversion alimentaire	2,91	2,76	3,09
Taux de mortalité (%)	2,6	2,7	3,2
Coût (\$/kg)	0,478	0,444	0,504

Adapté de Harmon et al. (1998)

4.1.7 Les systèmes d'alimentation, d'abreuvement et de tri

4.1.7.1 Les mangeoires et abreuvoirs

La conception des parcs de post-sevrage et de finition ne peut passer sous silence le nombre, le type et la dimension des équipements d'alimentation et d'abreuvement. Mangeoires et abreuvoirs sont parfois séparés, parfois annexés à l'intérieur de la même trémie. Néanmoins, l'eau demeure essentielle car, lorsque fournie en quantité suffisante, elle permet une prise alimentaire optimale et évite d'induire un stress inutile aux porcs (Pouliot et al., 2005).

L'alimentation humide attire l'attention (Wastell et Pettigrew, 2000). Selon les études citées dans Brumm (2004), l'ajout d'eau lors du repas apporte soit une amélioration de la prise alimentaire et/ou de la croissance des porcs jusqu'à 5 % dans les deux cas. Les 48 différentes études recensées par Wastell et Pettigrew (2000) arrivent à des résultats similaires avec un taux de croissance moyen de 4,8 % supérieur pour les trémies à alimentation humide comparativement aux trémies à alimentation sèche. De plus, dans 79 % des cas, les porcs nourris dans une mangeoire à alimentation humide ont eu une plus grande prise alimentaire. Puis, comme ce type d'alimentation fournit l'eau et la nourriture au même endroit, le gaspillage d'eau serait réduit d'environ 38 %, ce qui représente 3,9 L porc⁻¹ j⁻¹.

De leur côté, Pouliot et al. (2005) ont testé quatre combinaisons trémies-abreuvoirs durant 63 jours (13 avril au 15 juillet 2004) pour comparer leurs effets sur la consommation et les performances des porcs. Dans une unité expérimentale contenant 39 parcs de 1,45 X 4,27 m logeant 7 porcs (castrats) chacun, les 29 premiers enclos impliquaient des trémies sèches à une place (figure 15a) jumelées à un type d'abreuvoirs : 9 de type Drik-O-Mat (figure 15b), 10 du type bol avec couvercle muni d'un pousse-tube (figure 15c) et 10 du type bol à couvercle contrôlé par une valve VHR (figure 15d). Les dix dernières loges étaient équipées de trémies-abreuvoirs de deux places munies d'un pousse-tube (figure 15e). Le débit d'eau des abreuvoirs a été de 2 L min⁻¹ pour les abreuvoirs Drik-O-Mat et de type bol avec couvercle (pousse-tube), de 5,5 L min⁻¹ pour les trémies-abreuvoirs et de 18 L min⁻¹ pour l'abreuvoir avec valve VHR.



Figure 15. Les différents types de trémie et bols en croissance-finition : a) trémie sèche individuelle; b) trémie-abrevoir deux places avec pousse-tube; c) abrevoir de type Drik-O-Mat utilisé avec trémie sèche; d) bol avec couvercle muni d'un pousse-tube utilisé avec une trémie sèche; e) bol à couvercle contrôlé par une valve VHR utilisé avec trémie sèche.

Tirées de Pouliot et al. (2005).

Au total, ce sont 273 castrats d'un poids moyen de 25,4 kg qui ont été nourris à volonté avec une moulée cubée lors de l'expérience de Pouliot et al. (2005). À la fin de l'expérimentation, après avoir été pesés lors de leur entrée, à chaque changement de moulée (2) et à la sortie pour l'abattoir, le poids moyen des castrats était de 91,3 kg. En plus des performances, une évaluation du gaspillage sera effectuée par un observateur. Un système subjectif de cotation selon le degré de propreté (0 à 3) a donc été instauré.

Les résultats obtenus par Pouliot et al. (2005) confirment que le type d'abreuvoirs n'a pas eu d'impact sur le poids final et sur le GMQ. Par contre, l'ingestion journalière d'aliments a été 6 % plus importante pour les porcs se nourrissant dans une trémie-abrevoir par rapport aux trois autres types d'abreuvoirs avec trémie sèche. Or, la consommation quotidienne ne différait pas entre les modèles de bols à eau. Alors que la prise alimentaire augmente, la conversion alimentaire, elle, diminue de 3 % chez les porcs nourris à la trémie-abrevoir comparativement aux trois autres systèmes. Cette détérioration pourrait s'expliquer, selon les auteurs, par un gaspillage d'aliments, qui a été observé au cours de l'expérience lors des évaluations de propreté

du milieu. Par ailleurs, Pouliot et al. (2005) croient que le type de moulée a pu influencer les résultats qui auraient pu être différents avec une moulée farineuse.

Aussi, l'utilisation quotidienne d'eau a été d'environ $5,9 \text{ L j}^{-1} \text{ porc}^{-1}$ pour les trémies-abreuvoirs, du bol Drik-O-Mat et du bol à couvercle avec valve VHR, tandis que les porcs utilisant un bol à couvercle muni d'un simple pousse-tube ont consommé $5,1 \text{ L j}^{-1}$. Cette réduction de $0,8 \text{ L j}^{-1} \text{ porc}^{-1}$ permettrait, pour un engraissement de 1000 porcs, une réduction annuelle d'utilisation de l'eau de 266 m^3 (Pouliot et al., 2005). De même, la hausse de la conversion alimentaire a un impact sur l'environnement puisqu'elle tend à augmenter la charge fertilisante. Pour un élevage de 3000 porcs, cela représente 197 kg de P_2O_5 de plus à épandre, ce qui nécessiterait une surface d'environ 2,6 ha en maïs-grain.

Quant aux cotes d'évaluation du gaspillage, réalisées à trois reprises durant le test, les moyennes tendent à démontrer un gaspillage plus important des trémies-abreuvoirs. Suivent ensuite dans l'ordre, les bols avec valve VHR, les Drik-O-Mat et l'autre modèle de bol à couvercle. Étrangement, on assiste à la même tendance que l'utilisation d'eau. En effet, les bols avec couvercle et pousse-tube sont ceux qui utilisent le moins d'eau et qui ont obtenu la meilleure cote d'évaluation par rapport au gaspillage. De plus, il semblerait que le débit des abreuvoirs avec pousse-tube soit plus facilement ajustable que celui de la valve VHR, ce qui pourrait expliquer les différences entre les types d'abreuvoirs.

D'un point de vue économique, les trémies-abreuvoirs représentent un coût de production plus élevé, allant de 0,32 à 0,86 \$ porc^{-1} de plus que les trémies sèches jumelées aux abreuvoirs de type bol. Cette analyse économique prend en compte tous les revenus et toutes les dépenses habituelles d'un élevage, incluant l'amortissement et les intérêts. Ces frais additionnels des trémies-abreuvoirs seraient principalement le résultat d'une consommation supplémentaire de moulée et des coûts plus élevés lors de l'épandage, malgré une productivité supérieure expliquée par un meilleur GMQ (même si non significatif statistiquement).

Traditionnellement, il était recommandé d'installer une mangeoire pour 4 ou 5 porcs avec un espace de 59 mm par porc de 50 kg et un espace de 74 mm par porc de 100 kg (Brumm, 2004). Les pensées et les pratiques ont évolué, ce qui fait qu'aujourd'hui la tendance est plus d'une unité d'alimentation pour 10 porcs.

Quant à l'espace requis à la mangeoire, Brumm (2004) rapporte l'équation de Petherick donnant approximativement la largeur adéquate selon le poids des animaux : $6,1 * P^{0,33}$, où P est le poids de l'animal en kg. Pour un porc de 50 kg, cela donne une largeur de 24,8 cm et, pour un porc de 120 kg, on obtient une largeur de 32,8 cm. D'autres auteurs cités par cette même source suggèrent des largeurs entre 20 et 30 cm pour des porcs à l'engraissement.

Ces auteurs ont élaboré un tableau résumant les différentes dimensions adéquates pour réduire le gaspillage en fonction d'une alimentation à volonté (tableau 19).

Tableau 19. Dimensions critiques pour une mangeoire simple ou multiple pour des porcs en engraissement avec un accès illimité.

Spécifications	Dimensions
Largeur	300-360 mm
Hauteur	100-125 mm
Profondeur	200-300 mm
Nombre de porcs par place	10 (alimentation sèche) 12 (alimentation humide)

4.1.7.2 Stations de tri

Comme les élevages en engraissement stockent les porcs en groupes allant jusqu'à 2000 porcs (Hill et Gentry, 2000; Hill et Wasdell, 2000; Morrison et Johnston, 2003), les techniques de maniement et de tri des porcs voient leur popularité s'accroître en raison des difficultés à gérer d'aussi grands troupeaux (Guay, 2008b).

Turgeon (2008) a par ailleurs effectué une enquête sur ces systèmes dans les entreprises québécoises. Neuf d'entre elles ont été évaluées pour un total de 17 bâtiments, deux conventionnels (figure 16) et 15 bâtis selon le modèle américain (figure 17). Le premier comporte une portion près de chaque mur de séparation permettant aux porcs de circuler d'un parc à l'autre. La station de tri pour ce système se trouve dans un couloir central. Le deuxième type comporte trois zones principales : la zone d'alimentation, la zone de repos et la zone d'expédition. Pour accéder à la première, les porcs doivent passer par une station de tri où ils sont pesés automatiquement avant de ressortir par des barrières anti-retour.



Figure 16. Salle avec station de tri dans un bâtiment conventionnel.

Tirée de Turgeon (2008)



Figure 17. Salle avec station de tri de type américain.

Tirée de Turgeon (2008)

Les producteurs rencontrés ont remarqué que les systèmes de station de tri offrent les avantages suivants :

1. Pesée des porcs plus facile;
2. Moins de main-d'œuvre;
3. Lavage du bâtiment plus facile;
4. Travail plus agréable;
5. Obtention de bonnes performances zootechniques;
6. Optimisation de l'espace;
7. Traitement de masse dans l'eau justifiable.

Dans un dossier s'intitulant « Conduite en grands lots : c'est par tri pour les stations », Le Bas (2007) rapporte une tendance de ce type d'équipement sur le continent nord-américain. Cette technologie permet une gestion globale du troupeau tout en s'assurant le contrôle de l'alimentation, ce qui assure ainsi un bon rendement. Cet avantage est aussi amené par Gonyou et Whittington (2005) qui expliquent qu'il est possible de combiner les stations de tri avec la gestion d'un programme d'alimentation par phases. Pour Guay (2008b), les systèmes de balance ont un énorme potentiel qu'il faudra mettre de l'avant.

4.1.8 La conduite en bandes

Dans une production allant de la naissance à la finition, les porcs et les truies sont généralement gérés selon une pratique de conduite en bandes (Guiriec, 2000; Hébert et al., 2007; Lurette et al., 2008). Celle-ci consiste à diviser en bandes égales des truies du même stade de reproduction et des porcs du même âge. Cette gestion en bandes permet, entre autres, de réguler les périodes de conception et les mises bas pour qu'elles surviennent à un intervalle fixe, ce qui amène un éleveur à procéder en tout plein tout vide. Ce système alloue donc un moment de pause entre deux bandes pour le nettoyage et la désinfection des chambres. De plus, cette méthode assure un

contrôle sanitaire de la production, en évitant les contacts entre les bandes de porcs qui peuvent être logés dans différentes salles, de même qu'une amélioration du GMQ et de la charge de travail, surtout en maternité (Guiriec, 2000; Hébert et al., 2007; Lurette et al., 2008). En plus de la conduite en bandes aux 3 semaines, l'intervalle le plus fréquent en France (85 %), il existe également celle à la semaine et celles à 2, 4 et 5 semaines, dont la fréquence tend à augmenter (Guiriec, 2000; Hébert et al., 2007).

Bien souvent, le choix d'une conduite dépend de différents facteurs relatifs aux conditions offertes par le bâtiment (Guiriec, 2000). En effet, le choix d'une conduite peut dépendre du nombre de places disponibles, du nombre de chambres en pouponnière et en engraissement ou en maternité. En 1997, la conduite en bandes aux trois semaines a été la plus utilisée en France, car c'est celle qui optimise le mieux le temps de travail (Guiriec, 2000). De plus, elle s'adapte à la majorité des tailles d'entreprise, assure un vide sanitaire en maternité d'une semaine et correspond au cycle naturel de la truie.

Quant aux conduites à la semaine, elles représentent 7 % selon la même étude. Le grand nombre de bandes (20 ou 21) selon l'âge au sevrage des porcelets (21 ou 28 jours) s'adapte particulièrement aux exigences des gros élevages. Par contre, multiplier le nombre de bandes signifie également multiplier le nombre de salles de mise bas. Les conduites en 4 et 5 semaines (5 %) conviennent mieux aux petites entreprises en augmentant le nombre de têtes par bande. Finalement, celle aux deux semaines ne correspond qu'à 3 % des types de conduites utilisées. Elle est intéressante pour ceux prévoyant des agrandissements et où il est facile de passer de sept bandes de dix truies à dix bandes du même nombre sans chambarder le roulement du bâtiment.

D'un autre côté, lorsque les producteurs sont dans l'obligation d'envoyer des porcs à un poids de marché donné et fixe à l'abattoir, la variation du poids des porcs à l'intérieur des bandes peut occasionner une certaine problématique. Cette variabilité implique que certains porcs plus légers devront soit demeurer dans la salle et réduire le temps de décontamination, soit se joindre à la bande suivante, ce qui, dans les deux cas, va à l'encontre du principe du tout plein-tout vide (Hébert et al., 2007; Lurette et al., 2008). Il faut donc éviter toute surcharge, car les mélanges entre bandes ne sont pas recommandés non plus car ils sont des sources de dérapage. À cet égard, en maternité, les retours de chaleur sont souvent sources de problèmes (Guiriec, 2000).

À l'aide d'un modèle mathématique représentant la dynamique de toute une production de la naissance à la finition, Lurette et al. (2008) ont voulu étudier l'influence de la conduite en bandes sur les contacts et sur la finition à terme des porcs. Seize systèmes de gestion ont été évalués, combinant le principe de tout plein-tout vide ou non, le mixage des bandes, l'utilisation d'une chambre supplémentaire, la suppression de la phase de séchage après désinfection et la vente de bandes de porcs en post-sevrage. Deux types de contact ont été considérés : entre animaux directement ou entre le porc et la salle dont la décontamination n'a pas été totalement complétée.

Les résultats ont varié considérablement d'après une croissance normale ou lente des porcs en engraissement. Dans le premier cas, une régie en tout plein-tout vide a permis de prévenir autant les contacts entre animaux qu'avec la chambre partiellement désinfectée. Malgré tout, 9 % des porcs ont atteint leur poids d'abattage en dehors du temps prévu. Par contre, l'utilisation d'une autre chambre ou du mixage entre bandes a permis de réduire ce pourcentage. Quand la croissance des porcs est lente, le tout plein-tout vide mène à un taux de 80 % des porcs envoyés à

l'abattoir à l'intérieur d'une bande autre que celle d'où ils proviennent. L'élimination de la période de séchage ou la vente d'une bande en post-sevrage permet de réduire jusqu'à la moitié de ce pourcentage.

Ainsi, l'évolution plus ou moins rapide de la croissance des porcs pousse les producteurs à prendre des décisions. Ils doivent choisir entre diminuer leurs revenus en raison de porcs finis en retard ou sacrifier la conduite de biosécurité. Ce modèle permet donc d'illustrer le compromis qu'ils ont à réaliser.

Hébert et al. (2007) ont aussi passé en revue les inconvénients de la conduite en bandes. En plus des nombreux mélanges entre bandes et de la négligence envers le principe de tout plein-tout vide, certaines études citées ont démontré une dégradation de la santé des porcs, notamment en termes de pertes et de saisies sevrage-vente plus élevées et une fréquence supérieure de porcs excréteurs de salmonelles ou d'autres bactéries. À leur tour, ils ont voulu répertorier les adaptations auxquelles se livrent les producteurs pour contrer les difficultés occasionnées par une conduite en bandes réelle par rapport à une conduite en bandes théorique.

Pour ce faire, ils ont sollicité 49 entreprises françaises parmi lesquelles seuls deux élevages ont été rejetés par manque de données exploitables. Des 47 élevages, 45 sont naisseurs-finisateurs et les deux autres correspondent à des maternités collectives. L'échantillon représentait les proportions de chaque type de bandes : 32 fonctionnaient avec la conduite en 7 bandes, 10 avec celle à la semaine et 6 avec celle en 10 bandes. Au final, 62, 53 et 70 % des élevages indiquent avoir eu recours au mélange de bandes en maternité, en post-sevrage et en engraissement. Dans le cas des maternités, ce résultat serait attribué principalement à un surplus de truies en lactation en raison d'une sous-estimation du taux de réussite de l'insémination artificielle et de leur prolificité élevée. Quant aux périodes de croissance-finition, la variabilité de croissance est en partie la cause du mélange des bandes.

4.1.9 La ventilation

Les types de systèmes de ventilation sont multiples (ventilation mécanique, ventilation naturelle, centralisée), de même que les types d'entrée et de sortie d'air, les consignes, etc. Selon Wang et Zhang (2005), la ventilation mécanique est la plus largement utilisée à l'intérieur des porcheries.

Malgré tout, quelques études ont permis d'établir les limites et les contraintes de certains systèmes. Le maintien des conditions optimales est loin d'être chose aisée. Dans un premier temps, la ventilation mécanique n'offre pas une homogénéisation complète de l'air à l'intérieur de la porcherie. En investiguant sur l'environnement thermique et le transport des contaminants dans une porcherie à ventilation mécanique de 2 chambres contenant chacune 72 porcs répartis en 11 parcs, Wang et Zhang (2005) ont établi grâce à un modèle permettant de voir la distribution de la vitesse de l'air que celle-ci est relativement plus faible à la hauteur des porcs. En effet, il semble qu'une couche d'air stable, située à une hauteur juste en-dessous de l'entrée d'air par les ventilateurs, empêcherait le mélange avec les couches d'air avoisinantes. Des relevés de température ont par contre démontré que la température était passablement homogène à l'intérieur du bâtiment, excepté à l'entrée de l'air où un courant plus froid circule. Quant aux mesures des concentrations de poussière, elles ont révélé une variation spatiale semblable au flux d'air, même qu'une très forte corrélation a été établie entre les deux.

Similairement à Wang et Zhang (2005), Morsing et al. (2000) ont testé les flux d'air, mais à l'intérieur d'une porcherie à ventilation naturelle exposée à de forts vents. À l'aide d'un modèle réduit d'un bâtiment (échelle 1:20), ils en sont arrivés à la conclusion qu'une variation de hauteur dans l'ouverture influençait la direction prise par l'air. Une ouverture complète de 25 mm dans un mur haut de 120 mm permettait de diriger le courant d'air vers le sol, tandis qu'une réduction de 50 % de la hauteur d'ouverture entraînait le courant d'air à monter vers le haut.

Dans les systèmes à ventilation mécanique, il existe également une ventilation s'effectuant à extraction basse, laquelle est surtout employée dans des bâtiments avec une fosse située sous la porcherie. Le problème de ce type de ventilation est que des débits trop importants font remonter les gaz et les odeurs de la fosse vers les animaux. Dans un bâtiment expérimental de l'Iowa, Nicolai et Hoff (2003) ont ainsi fait varier l'ouverture des caillebotis et le débit d'air entrant. Leurs résultats démontrent que les conditions idéales sont obtenues grâce à un débit de 45 à 50 cfm porc⁻¹.

À la lumière des dernières sources, il semble évident que chaque système de ventilation possède ses inconvénients en termes de régie. Comme mentionné précédemment, les systèmes de ventilation se différencient souvent par les différentes entrées et sorties d'air utilisées. À cet effet, Van Wagenberg et Smolders (2000) et Roelofs et al. (2000) ont comparé des ventilations mécaniques comprenant différents systèmes d'entrée et de sortie d'air en pouponnière. Chacune des deux études comportait un lot de 70 porcelets à l'intérieur de chaque chambre.

Van Wagenberg et Smolders (2000) ont évalué les trois systèmes illustrés à la figure 18 selon un modèle basé sur l'homogénéité de la température et des concentrations en gaz carbonique (CO₂). Une efficacité de ventilation (VE) égale à 1 signifiait un mélange d'air homogène à travers la porcherie. En deçà d'une valeur de 1, le système est inefficace et, à l'inverse, un résultat supérieur à 1 indique un système de ventilation plus qu'efficace. Ainsi, les VE pour le CO₂ et la température ont été de 1,20 et 1,15 pour le compartiment 1 (ventilation au sol), de 1,01 et 0,85 pour le compartiment 2 (ventilation par plafond diffuseur à travers l'isolant) et de 1,17 et 0,94 pour le troisième compartiment (ventilation avec entrée d'air par la porte).

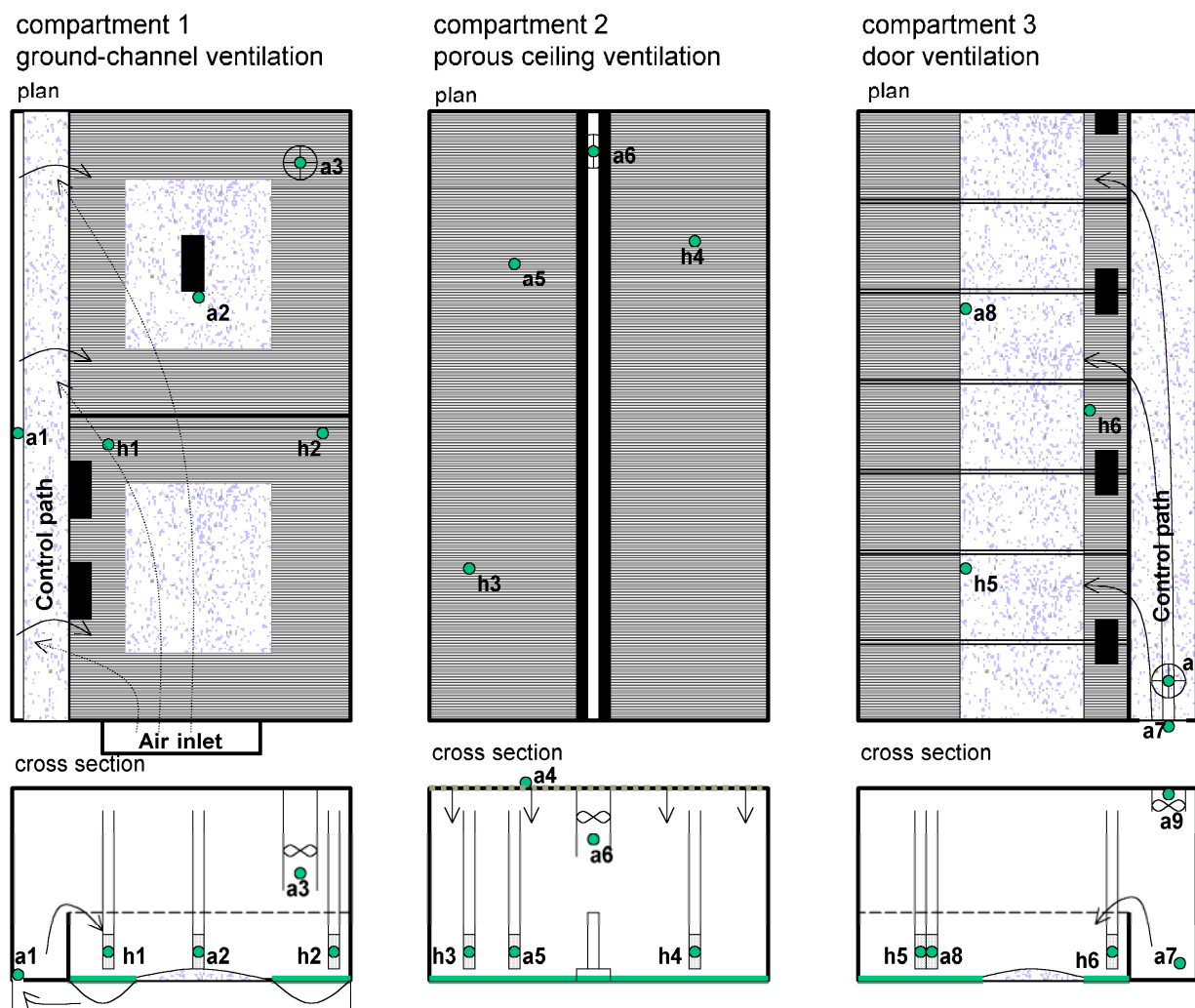


Figure 18. Plans et section des trois systèmes de ventilation de Van Wagenberg et Smolders (2000).

Tirée de Van Wagenberg et Smolders (2000)

Quant à Roelofs et al. (2000), le système de ventilation adapté (figure 19) avec une entrée d'air par plafond diffuseur et une sortie d'air sous les lattes a obtenu de meilleurs résultats au chapitre de la concentration en poussières en comparaison avec le système traditionnel (figure 19). En effet, à 1,70 m du sol au milieu de l'allée de circulation, les concentrations des poussières respirables étaient respectivement 19 et 21 % moins grandes. À 1 m au-dessus du parc des porcelets, la concentration des poussières respirables était 25 % plus élevée du côté de la chambre avec ventilation traditionnelle. À noter que les performances zootechniques n'ont pas été affectées par les traitements. Roelofs et al. (2000) ont même indiqué leurs estimations concernant le coût. Un système conventionnel coûterait entre 625 et 1300 US \$ (654 et 1360 \$ CAN), tandis que la ventilation adaptée vaudrait environ 1800 US \$(1884 \$ CAN).

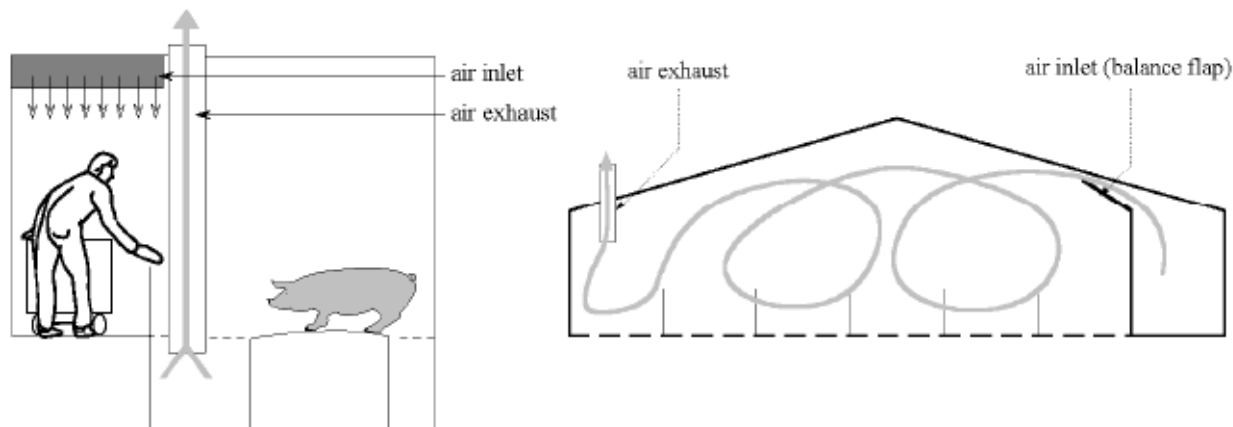


Figure 19. Schéma des deux systèmes de ventilation de Roelofs et al. (2000).

Tirée de Roelofs et al. (2000)

Certains documents rapportent des études sur les installations de « recyclage d'air » afin de réduire les coûts de ventilation et de chauffage. À cet effet, Rousseau et al. (1998) ont expérimenté en trois phases (observation, essai 1 et essai 2) deux systèmes de ventilation : l'un en « tout air neuf » et l'autre par recyclage de l'air. La porcherie était constituée de deux chambres comportant chacune une seule rangée de six enclos de 10 porcs et l'étude visait à comparer le système classique à un système à recyclage variable. Les auteurs ont remarqué que, malgré une différence de température moyenne de 1 °C, les caractéristiques de l'air, la température et les teneurs en gaz (CO₂ et NH₃) sont similaires, peu importe le type de ventilation. Ainsi, il semble que les quantités d'air neuf introduites dans les salles sont pratiquement identiques. Les performances zootechniques (GMQ et conversion alimentaire) et le statut sanitaire des porcs n'ont pas différencié entre les traitements.

En Europe, le développement des systèmes de ventilation centralisée est en plein essor. En effet, Bartolomeu et Massabie (2006) affirment que les nouvelles constructions en production porcine s'orientent de plus en plus vers une centralisation de l'air vicié de type gaine basse.

C'est le cas d'un producteur français ayant choisi cette option pour son nouvel engraissement (Gilot, 2003). Même s'il existe déjà sur le marché des ventilations centrales dans les combles, l'éleveur indique que le choix du concept sous forme de gaine basse (en béton dans le cas présent) est relié à la volonté de prolonger la durée de vie de la gaine et assurer une meilleure fixation à la charpente. Selon Bartolomeu et Massabie (2006), il ne serait pas le seul. En effet, en réalisant une enquête auprès de 27 éleveurs, ils ont remarqué une tendance marquée envers l'extraction basse pour les constructions plus récentes. De plus, la gaine basse offrirait une sécurité accrue en termes de risque d'incendie et une plus grande facilité de nettoyage par rapport à une gaine haute dans les combles.

Le concept Centracem (figure 33) élaboré par Gilot (2003) repose sur l'utilisation d'une gaine centrale en béton située sous l'allée centrale du bâtiment. Les entrées d'air sont assurées dans les combles par des volets motorisés qui permettent d'éviter une surpression. Dans la gaine, on

recherche une dépression constante entre 0 et -5 Pa, tout en tentant de réguler les débits par salle. Tel qu'illustré à la figure 8, des trappes en acier inoxydable fixées dans la gaine effectuent un pompage latéral directement sous le caillebotis. Puis, des ventilateurs triphasés avec virole polyester conique extraient l'air vicié par des cheminées situées à chaque bout du bâtiment. Fait intéressant, ce système de ventilation se couple facilement à un système de désodorisation puisque l'air est acheminé en un seul et même endroit. Ce type de ventilation coûterait 300 euros (442 \$ CAN) par place en engraissement.

En plus de son prix compétitif, Bartolomeu et Massabie (2006) ont identifié plusieurs avantages à ce type de ventilation, tels que la réduction du bruit dans les salles, un couloir plus tempéré, la possibilité de lavage d'air et la récupération de chaleur. Toutefois, quel que soit le système, il comporte également des inconvénients et, dans ce cas-ci, ils sont liés au vieillissement prématuré des structures : oxydation des parties métalliques, niveau de dépression élevé, accumulation importante de poussière et de développement de ténérions. Néanmoins, il est possible de contrer ces effets avec des matériaux inoxydables moins sensibles au vieillissement.

Bartolomeu et Massabie (2006) ont remarqué que la puissance installée des ventilateurs est inférieure. En plus de la simplicité de fonctionnement, la position des ventilateurs dans la conception (figure 20) limite l'effet des vents sur ceux-ci et réduit également le bruit à l'intérieur du bâtiment. Le choix d'un ventilateur doit être fait en considérant les conditions optimales d'utilisation en regard des pertes de charge pouvant exister dans la gaine.

Le coût moyen des unités visitées par Bartolomeu et Massabie (2006) et Gilot (2003) est respectivement d'environ 213 et 300 euros (314 et 442 \$ CAN) par place-porc en engraissement, ce qui est beaucoup moins que celui avancé par Gilot (2003).

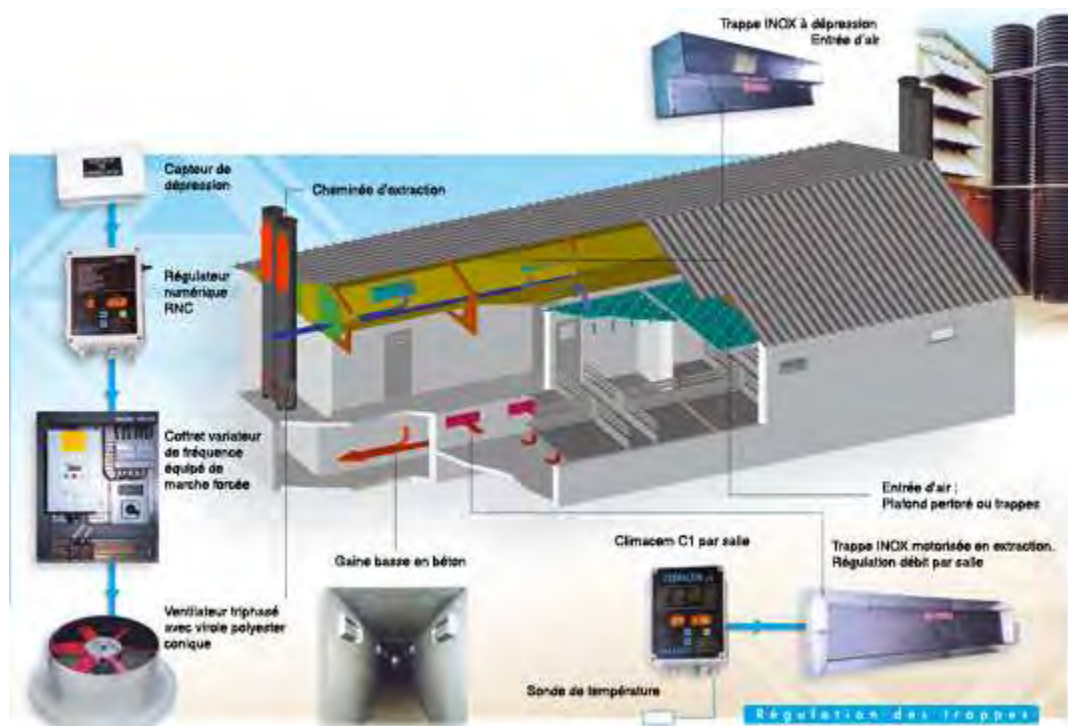


Figure 20. Ventilation centralisée à extraction basse Centracem (photo : www.acemo.com).

4.2 Architecture

4.2.1 Aspects généraux

Ce créneau aborde toute l'architecture des bâtiments porcins en regard d'un design fonctionnel et esthétique. En effet, le bâti agricole est un élément important du paysage rural. Dans l'optique d'ériger un futur bâtiment porcin vert, l'objectif est de conserver un bâtiment bien adapté aux sphères du travail en production porcine, en plus de lui donner un aspect visuellement acceptable auprès de la population. Cette affirmation est partagée par Blanchin (2003) qui déclare que, « aujourd'hui, les propositions de bâtiments d'élevage doivent prendre en compte l'amélioration fonctionnelle du bâtiment tout en se préoccupant de la qualité architecturale ». Il ajoute de surcroît que « le paysage qui se crée ainsi doit être vu mais également pouvoir être vécu » (Blanchin, 2003).

Désormais, la mentalité du développement durable devra même s'appliquer dans le cas de l'architecture des bâtiments agricoles. Pour ce faire, plusieurs aspects sont à envisager afin d'établir une architecture dite « durable ». Il devient donc primordial de s'interroger sur le type d'architecture qui pourrait se distinguer aussi bien sur le plan technique qu'esthétique. Ainsi, en vue d'établir une architecture pouvant répondre aux demandes d'efficacité de la chaîne de production par une structure organisée, tout en s'harmonisant avec son environnement, il sera important d'établir la disposition du ou des bâtiments, leur forme, leur couleur et leurs dimensions. À cet égard, il faudra tenir compte du patrimoine agricole du Québec. Puisque, selon l'Institut de l'élevage (2003), les bâtiments doivent s'inspirer des référentiels présents dans le voisinage d'une construction, qu'on parle des matériaux, des couleurs ou de la végétation.

4.2.2 Résultats de la recherche bibliographique

Peu de documents ont pu être identifiés à partir du développement de la stratégie de recherche. Une recherche a donc été faite à la bibliothèque du MAPAQ. Une quinzaine d'ouvrages ont été retenus en raison de leur titre pouvant répondre aux critères d'inclusion. Puis, suite à un survol des ouvrages, un seul correspondait directement aux éléments recherchés.

Le mot d'ordre avant de construire un bâtiment porcin, comme tout autre bâtiment agricole d'ailleurs, est de prendre le temps. Prendre le temps nécessaire pour bien s'accaparer l'essence du lieu : la végétation, les cours d'eau, les vents, les dénivellations et l'aspect du domaine à bâtir selon chacune des saisons (La Semaine Verte, 2008). Un bâtiment construit hâtivement peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité esthétique du paysage en lui nuisant considérablement du côté de sa valorisation et de son intégration. Le design d'un nouveau bâti doit être mûrement réfléchi. « L'intégration dans le paysage, c'est d'abord la justesse de l'implantation et le traitement volumétrique adéquat pour éviter l'agression visuelle ou la disharmonie avec le contexte (Pays des Moulins de Flandre, 2008). »

De façon générale, le nouveau bâtiment se doit de bien s'uniformiser avec son environnement, tout en demeurant le plus fonctionnel possible. Pour un concept de bâtiment porcin vert, les points apportés par le LEED ou les autres organisations en matière d'écoconception lors de la construction d'un nouveau bâtiment peuvent être suivis.

4.3 Matériaux

4.3.1 Aspects généraux

Les matériaux pouvant réduire l'impact environnemental dans l'ensemble du cycle de vie du bâtiment devraient être priorités pour l'élaboration d'un concept de bâtiment porcin vert. Évidemment, le bois ainsi que les métaux (acier, aluminium) sont des matériaux incontournables pour la construction des bâtiments d'élevage. L'utilisation de matériaux recyclés ou recyclables doit également être considérée. Outre les facteurs économiques (coût des matières premières, installation, entretien, durée de vie utile, etc.), le choix d'un matériau devrait aussi tenir compte des aspects liés aux concepts d'énergie grise¹ et de bilan CO₂². Par exemple, l'utilisation de bois d'œuvre (énergie grise : 400 à 700 kWh/tonne) devrait être privilégiée aux dépens des matériaux tels que l'acier (énergie grise : jusqu'à 7 300 kWh/tonne) lorsque cela est possible. Les matériaux offrant une durabilité accrue du bâtiment ou permettant d'augmenter la productivité d'une ou plusieurs étapes à l'intérieur du cycle de production de la ferme porcine sont à considérer.

¹ L'énergie grise correspond à la somme de toutes les énergies nécessaires à la production, à la fabrication, à l'utilisation et au recyclage des matériaux ou des produits industriels. En théorie, un bilan d'énergie grise additionne l'énergie dépensée pour toutes les étapes comprises dans le cycle de vie du produit ou service (conception, extraction, transport, transformation des matières premières, fabrication, commercialisation, usage ou la mise en œuvre, entretien, réparations et démontages).

² Bilan CO₂ = CO₂ émis – CO₂ absorbé (en kg)

4.3.2 Corrosion des matériaux

La corrosion du béton dans les bâtiments d'élevage est souvent causée par la présence de solutions corrosives provenant du mélange d'eau et de nourriture des animaux. Cette dégradation est provoquée par l'acide lactique et l'acide acétique et affecte généralement les surfaces près des auges d'alimentation des porcs (De Belie et al., 1997). Cette attaque du béton, jumelée au lavage à pression et au passage des bêtes, fait en sorte d'en accentuer la dégradation. Les gaz retrouvés dans ces bâtiments peuvent aussi occasionner des attaques sur ce matériel. Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est un agent corrosif puissant affectant les planchers lattés en béton se trouvant au-dessus des déjections. Plusieurs types de béton résistant à la corrosion peuvent être utilisés afin de réduire les dommages aux bâtiments porcins et d'en prolonger la durée de vie.

Une étude d'Idriss et al. (2000) a comparé la résistance à la corrosion, causée par les émanations de H_2S , de 6 mélanges de béton de type Portland utilisés dans les bâtiments porcins et de diverses substances ajoutées (additifs). Les mélanges qui ont démontré la meilleure résistance suite à une exposition de 650 jours au H_2S sont dans l'ordre : un béton composé de 8 % de fumée de silice (Silica Fume), un béton conventionnel résistant aux sulfates et un béton conventionnel additionné de fibres de polypropylène. Comparativement à ces trois mélanges, dont certains offrent une meilleure durabilité et de meilleures caractéristiques mécaniques, l'étude a démontré que le béton standard de type Portland avait une résistance plus faible à la corrosion. Toutefois, les aspects économiques n'ont pas été abordés dans cette étude.

Dans le même ordre d'idée, De Belie et al. (1997) ont publié des résultats concernant l'amélioration de la résistance à la corrosion du béton occasionnée par les acides produits dans le mélange d'eau et de nourriture des porcs. La perte de volume et de masse des échantillons de béton et de mortier a été mesurée suite à deux expositions, de 17 et 20 jours respectivement, à trois solutions acides ($pH = 2,1$; $pH = 3,8$; $pH = 4,5$), suivies d'un brossage. L'addition de cendres « Fly Ash » appelées aussi « Belgian Low-Calcium Coal Fly Ash » au béton conventionnel de type Portland de même qu'à un béton résistant aux sulfates a permis d'augmenter de manière significative leur résistance à la corrosion. Lors d'une première exposition aux acides, l'ajout de cendres (10,7 %) au béton résistant aux sulfates permet d'améliorer sa résistance à la corrosion comparativement au béton conventionnel. Ceci peut s'expliquer par l'absence d'aluminate tricalcique (C_3A) dans le ciment résistant aux sulfates. Ne contenant pas de C_3A , les produits d'hydratation du béton produisent une plus grande proportion de silicates hydratés (CSH) de nature résistante, et une proportion moindre d'aluminates hydratés (CAH) de nature instable et soluble. Par conséquent, l'ajout de cendres au mélange de béton offre une durabilité accrue des planchers bétonnés des bâtiments agricoles. De plus, l'application d'une couche de surface, ou mortier, sur ces bétons permet de réduire davantage les vitesses de dégradation.

Comme pour les mélanges d'eau et de nourriture mentionnés précédemment, les déjections fraîches sont également une source d'acide acétique causant la corrosion des planchers de béton. Le plancher détérioré devient alors une cause de blessures pour les animaux et rend le nettoyage plus difficile, favorisant ainsi l'émergence de maladies au sein de l'élevage. Une étude de Kymäläinen et al. (2008) a évalué l'effet d'enduits à base de plastique recouvrant un plancher de béton sur l'efficacité du nettoyage et la résistance à la corrosion de ce dernier. Les différents matériaux utilisés pour ces enduits étaient à base d'époxy, de polyuréthane et d'un mélange de

polyuréthane et de caoutchouc. Lors de cette étude, les échantillons de planchers de béton ont été soumis à trois lavages à pression. L'évaluation de l'efficacité du nettoyage a été faite par une méthode radiochimique et colorimétrique. Les échantillons ont aussi été soumis à un traitement abrasif, pour simuler un sol usé. Les résultats ont démontré une amélioration du nettoyage ainsi qu'une diminution du temps de cette tâche lors de la présence d'enduits recouvrant le béton. Par contre, malgré la diversité des enduits utilisés, aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements. L'utilisation d'enduits à base de plastique permet de faciliter les opérations de lavage (sol neuf ou usé) et de réduire la consommation d'eau de lavage. Soulignons toutefois que ces produits sont tous fabriqués à partir de composés chimiques et de pétrole.

Les différents matériaux présentés amènent une amélioration au niveau de la durabilité du bâtiment, plus particulièrement du plancher de béton. Une amélioration de la productivité, dans le cas de la diminution du temps de lavage, est également observée pour l'utilisation des enduits à base de plastique. L'utilisation de ces produits est à envisager dans la construction de nouvelles fermes porcines. Les endroits les plus susceptibles de subir une dégradation par la corrosion sont ceux exposés au lisier et aux accumulations d'eau et de nourriture. Des planchers lattés faits en béton avec de la fumée de silice permettent de retarder la dégradation de ce dernier. Les endroits où le plancher est régulièrement aspergé du mélange d'eau et de nourriture, devant les trémies-abreuvoirs par exemple, pourraient être recouverts d'un enduit protecteur en époxy ou en polyuréthane. L'époxy demeure un composé plus stable, dur et moins poreux comparativement au polyuréthane qui lui est plus mou, plus poreux, plus résistant aux chocs et antidérapant. Le coût de ces produits est très similaire à environ 10-15 \$/kg. Toutefois, en cas d'incendie, l'uréthane, plus riche en azote, émettra plus de NO_x dans l'atmosphère, des composés néfastes pour l'environnement. Mentionnons également que les revêtements d'époxy et de polyuréthane sont déjà commercialisés au Québec notamment dans le secteur agroalimentaire (abattoirs) et agricole par des entreprises telles que Duochem inc., AlphaPlast (Polyjet), Soprema inc. et Service Tecno-science inc. (icriq.com).

Une autre étude de De Belie et al. (1997) présente les résultats d'un sondage mené auprès de producteurs porcins de la Belgique concernant les causes de dégradation du béton à l'intérieur de leurs bâtiments d'élevage. Un échantillon de 100 producteurs porcins, représentatif de ce secteur en Belgique ont été sondés. Les résultats obtenus ont démontré la nécessité de consulter des professionnels lors de la fabrication et de l'utilisation de béton. La dégradation du béton est plus précoce lorsque ce dernier est fait et posé par le producteur agricole, tel qu'observé au tableau 20. Il a aussi été démontré que le type de gestion alimentaire influence la dégradation du béton. L'utilisation d'un système d'alimentation des porcs favorisant le mélange d'eau et de nourriture contribue à accentuer la dégradation du béton situé à proximité (tableau 21). Selon les mêmes auteurs, plus une source d'eau est près de la nourriture, plus la dégradation du béton apparaîtra rapidement. Cet aspect doit donc être considéré lors de la conception des bâtiments porcins.

Tableau 20. Pourcentage de fermes démontrant une dégradation du plancher de béton en relation avec l'âge du plancher et la fabrication du béton.

Âge du plancher (année)	Béton produit par	
	producteur agricole	firme spécialisée
5	22	< 5
15	71	22

Tiré de De Belie (1997)

Tableau 21. Pourcentage de fermes démontrant une dégradation des lattes de béton en relation avec l'âge du plancher et du système d'alimentation.

Âge du plancher (année)	Système d'alimentation	
	Alimentation sèche	Alimentation liquide principalement
2	10	55
5	35	73
15	87	82

Tiré de De Belie (1997)

4.3.3 Émanation d'odeurs des matériaux

Le choix des matériaux utilisés pour la construction d'une porcherie peut également influencer les émissions d'odeurs à l'intérieur du bâtiment. Plusieurs auteurs ont démontré un lien entre la porosité, la rugosité des matériaux ainsi que les émissions de gaz et d'odeurs qui s'en dégagent. Une étude de Pelletier et al. (2005) a quantifié les unités d'odeurs et les émissions de plusieurs gaz provenant de divers matériaux, communément retrouvés dans une porcherie, suite à leur immersion dans du lisier de porcs pendant 72 heures. Les résultats des émissions d'odeurs ont démontré que le Plastisol (mélange de PVC et d'un liquide de plastification), le HDPE (polyéthylène de haute densité) et le contreplaqué (Plywood) étaient les matériaux les plus odorants. Ceux dégageant le moins d'odeurs, en ordre croissant, étaient le béton, le PVC (polyvinylchloride), l'acier galvanisé et la fonte (Cast Iron). En ce qui a trait aux émissions de gaz, les dégagements d'ammoniac (NH_3) étaient constants pour l'ensemble des matériaux. Parmi les matériaux qui ont été évalués, le béton demeure celui qui émet le plus d'ammoniac dû à son caractère alcalin. Cependant, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les émissions de NH_3 et les odeurs. Cette étude démontre que certains matériaux ont avantage à être utilisés dans les endroits où ces derniers sont en contact avec le lisier de porcs afin de minimiser les odeurs et les émissions de NH_3 à l'intérieur des bâtiments porcins.

4.4 Traitement de l'air

4.4.1 Aspects généraux

Les seize bases de données utilisées lors de la deuxième étape du processus de revue systématique des écrits ont fourni environ 72 000 titres d'articles distincts, tous basés sur des investigations à l'aide des mots-clés et expressions de recherche. Une grande partie de ces titres n'ont pas été retenus suite à leur évaluation préliminaire avec les critères formels de sélection présentés plus haut. Du nombre obtenu préalablement, seuls 243 articles ont été soumis à l'étape 3. Les étapes 3 et 4 ont, quant à elles, permis de retrancher respectivement 116 articles et 91 articles. Les 36 articles identifiés par ces dernières étapes ont été retenus pour une analyse approfondie de leur contenu. La démarche d'évaluation de la validité des écrits réalisée à l'étape 5 a ensuite permis le retranchement de 12 des 36 articles retenus lors de l'étape précédente. Vingt-quatre documents ont donc été retenus pour la recension finale des écrits dans le cadre de cette revue systématique. Chacun des articles retenus apporte des informations pertinentes et de qualité en lien avec la question de recherche et a été utilisé pour réaliser l'analyse systématique.

Les applications industrielles disposent depuis longtemps d'une grande diversité de systèmes pour le traitement de l'air. En effet, les usines de traitement des eaux usées, les usines chimiques et pétrochimiques, l'industrie des plastiques, des pâtes et papier et l'industrie alimentaire ne sont que quelques exemples des domaines qui ont requis le développement de systèmes de traitement de l'air.

Les méthodes de traitement de l'air pour le contrôle des odeurs se classifient en deux grandes catégories, soit les méthodes de traitement non biologique (physico-chimique) et les méthodes de traitement biologique (Manuzon et al., 2007 ; Sheridan et al., 2002a ; Kim et al., 2000 ; Revah et Morgan-Segastume, 2005). Les industries utilisent l'une ou l'autre de ces méthodes de traitement ou une combinaison des deux (Devinny et al., 1999; Revah et Morgan-Segastume, 2005). La gamme des contaminants est très vaste, les débits d'air à traiter atteignent des valeurs extrêmement élevées et les conditions de température et de pression des gaz à traiter sont très souvent différentes des conditions atmosphériques. Les applications agricoles, notamment pour les bâtiments d'élevage, nécessitent le développement de solutions particulières pour le traitement de l'air émis. Les débits d'air sont importants et les concentrations des polluants plus faibles comparativement aux applications industrielles. De plus, les systèmes de traitement doivent être simples, faciles à exploiter et à entretenir (Devinny et al., 1999). Dans ce cas, les principaux objectifs des traitements de l'air sont l'abattement des odeurs, du NH₃, du H₂S et des poussières. Les conditions de température et de pression de l'air à traiter sont similaires à celles de l'air ambiant, mais le facteur climatique constitue parfois un élément important à prendre en considération

4.4.2 Méthodes de traitement physico-chimique

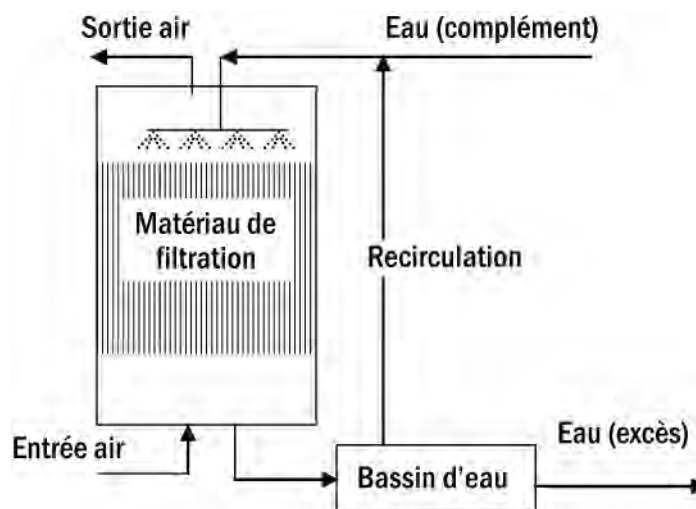
4.4.2.1 Lavage d'air (scrubbing)

Parmi les méthodes non biologiques de traitement de l'air émis par les bâtiments d'élevage, le lavage d'air présente un potentiel fort intéressant à cause de sa simplicité et de ses performances concernant la réduction de poussière, de même que l'abattement du NH_3 et du H_2S . Ses principaux avantages sont sa structure compacte, le contrôle facile du pH et de la température, l'utilisation des matériaux inertes et leur adaptation assez rapide au changement de la composition des gaz. Le lavage de l'air consiste à mettre en contact le gaz polluant avec un liquide dans lequel il est soluble. Le transfert de masse du gaz au liquide est réalisé par l'utilisation d'un matériau de remplissage qui constitue le filtre de l'appareil (Devinny et al., 1999). L'eau est souvent utilisée comme solution de lavage et le pH peut être ajusté (basique ou acide) en fonction du polluant afin d'augmenter la solubilité des gaz qui le constituent.

Le système de lavage d'air le plus habituel est de type « tour de lavage », soit un réacteur vertical rempli avec un matériau inorganique ou inerte (figure 21). Ce matériau doit présenter une grande porosité et une grande surface spécifique (couramment entre 100 et 200 $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$). La solution utilisée est pulvérisée à partir de la partie supérieure de l'appareil afin d'humidifier uniformément et continuellement le médium. L'air vicié peut circuler soit horizontalement dans l'appareil (courant croisé), soit à partir du bas vers le haut (contrecourant). Une fois le traitement par lavage réalisé, un traitement du liquide peut être nécessaire et des mesures doivent être prévues pour sa disposition une fois qu'il est évacué de l'appareil (Devinny et al., 1999).

Manuzon et al. (2007) considèrent que les laveurs d'air avec pulvérisation de solution acide ont le plus grand potentiel d'adaptation aux installations de production d'animaux puisqu'ils causent peu de réduction du débit d'air (pertes réduites de pression), de l'abattement simultané des particules et des gaz polluants et du fait qu'il n'y a pas de génération de déchets puisque les effluents liquides sont utilisés comme fertilisants.

Selon les exemples cités par Melse et Ogink (2005), des laveurs d'air à l'acide (pH de 1,3 à 4,4) utilisés dans des bâtiments porcins, fonctionnant à des débits d'air compris entre 4 000 à 4 500 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ et pour des temps de résidence compris entre 0,5 et 0,9 s, ont permis la réduction de l'ammoniac de 77 à 100 %. Selon un autre exemple cité par la même étude, un laveur d'air à l'acide (pH = 4) utilisé avec un débit d'air maximal de 15 000 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ a permis une réduction des odeurs de 3 et 55 % pour un temps de résidence de 0,6 s.



Adapté de Melse et Ogink, 2005

Figure 21. Schéma d'un laveur d'air à contrecourant.

L'une des solutions pour augmenter les performances de ce type d'appareil consiste à combiner plusieurs étages. Un prototype proposé par Manuzon et al. (2007) a été testé pour un, deux et trois étages. Dans sa configuration à un étage, la réduction moyenne de l'ammoniac se situait entre 60 et 27 % respectivement pour des concentrations de 5 et 100 ppm_v de NH₃. Dans les mêmes conditions, la réduction moyenne de l'ammoniac pour deux étages a été de 60 et 35 % et de 63 et 36 % pour les essais avec trois étages. Ces résultats correspondent à une vitesse superficielle de l'air de 6,6 m s⁻¹. La réduction de la vitesse superficielle à 3,3 m s⁻¹ (temps de résidence de 0,2 à 0,4 s) a eu un impact majeur sur les performances de l'appareil. En conservant des conditions équivalentes aux autres essais, la réduction de la vitesse a eu pour effet de réduire l'ammoniac entre 98 et 46 % pour un étage, entre 77 et 57 % pour deux étages et entre 70 et 64 % pour trois étages. La figure 22 présente le prototype expérimental de l'installation avec trois étages et l'installation de pulvérisation adaptée pour cette application.

Cependant, les résultats expérimentaux ont montré que ce type d'installation exige un nombre important d'optimisations au niveau du type et du nombre de pulvérisateurs, de la pression et de l'aire de pulvérisation, de la concentration de l'acide et du temps de résidence en fonction de la concentration du NH₃ à l'entrée. Le fonctionnement à plusieurs étages a aussi mis en évidence des phénomènes d'interactions entre les étages, ce qui réduit les performances. Malgré une efficacité relativement élevée pour l'enlèvement de l'ammoniac, l'efficacité de réduction du H₂S est nulle. L'utilisation de solutions acides impose un contrôle optimal du pH et une bonne maîtrise du procédé afin d'éliminer les phénomènes de largage de NH₃ par volatilisation. L'efficacité de certains additifs chimiques ajoutés pour améliorer les performances d'absorption des solutions de lavage a été faible. La modélisation des phénomènes de transfert de gaz n'est pas encore au point et d'autres essais sont nécessaires.

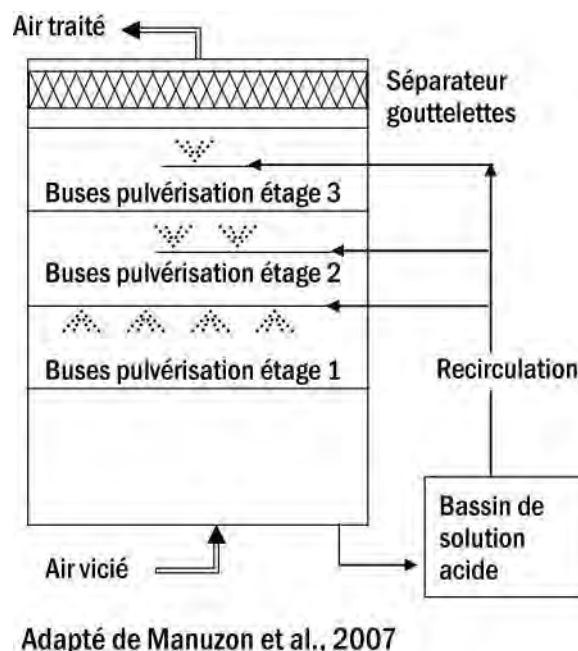
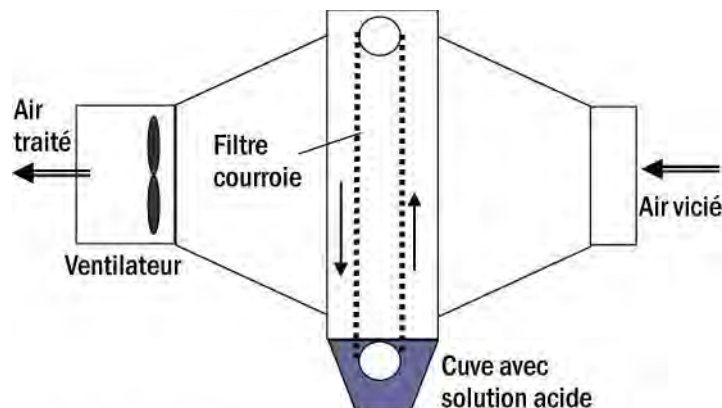


Figure 22. Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide à trois étages.

Dans une autre étude, Gabriel et Deshusses (2003) considèrent le traitement par lavage d'air à solution fortement alcaline ($\text{pH} > 12$) assez évolué et performant pour contrôler les émissions de H_2S (temps de résidence réduit, situé entre 1,3 s et 2,0 s), mais dont la disposition des résidus et des substances chimiques représente des désavantages assez sérieux.

Une étude récente (Shah et al., 2007) présente le développement et les performances d'un nouveau type de laveur chimique d'air à voie humide (wet scrubber) pour la réduction de l'ammoniac dans les bâtiments d'élevage d'animaux. La nouvelle solution de laveur (figure 23) consiste à utiliser un écran filtrant mobile, conçu sous la forme d'une courroie sans fin en propylène qui se déplace avec une vitesse réduite (2,7 m/min) afin d'être humidifiée en continu par l'immersion dans une cuve contenant une solution d'alun ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$). L'ammoniac contenu dans l'air vicié est absorbé par la solution acide qui imbibe le matériau du filtre qui est ensuite transféré vers le liquide de la cuve. Un effet de régénération des qualités absorbantes du filtre est réalisé grâce à cette immersion en continu du matériau du filtre dans la cuve (filtre régénératif).

À partir d'air évacué d'une fosse à lisier et d'une installation de compost, le taux de réduction des émissions d'ammoniac assuré par ce type d'appareil varie respectivement entre 57 et 63 % pour des essais avec de faibles ($< 5 \text{ mg m}^{-3}$) et de hautes (11 à $26,6 \text{ mg m}^{-3}$) concentrations d'ammoniac. Selon les résultats de l'étude, le remplacement de l'eau de lavage ($\text{pH} = 5,77$) par une solution de 1 % d'alun (pH moyen = 3,46) permet une augmentation de l'efficacité d'environ 17 fois. Par contre, ce type de traitement n'a aucune efficacité pour la réduction du H_2S . Les pertes d'eau du système représentent $3,7 \text{ l h}^{-1}$ pour un débit d'air de $0,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Il n'y a pas de résultats sur la réduction des particules en suspension. L'un des avantages de cette solution est la perte réduite de pression des circuits de ventilation ($< 100 \text{ Pa}$) par rapport aux solutions classiques de laveurs d'air ($> 250 \text{ Pa}$).



Adapté de Shah et al., 2007

Figure 23. Schéma d'un système de laveur d'air à l'acide avec filtre - courroie.

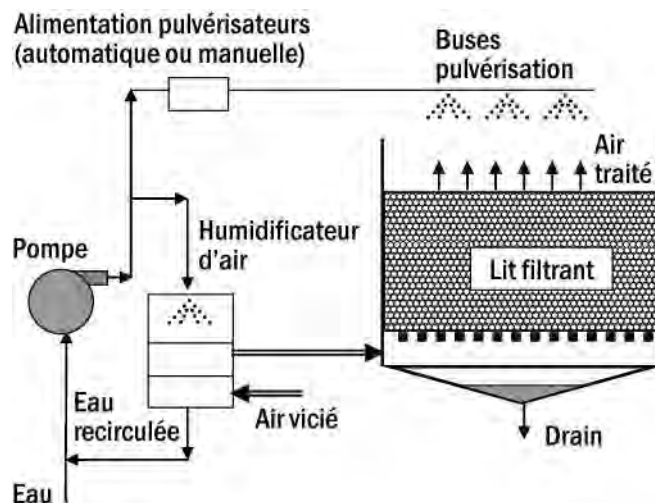
Selon Shah et al. (2007), pour les bâtiments d'élevage, le traitement par lavage d'air reste encore limité pour des considérations techniques, dont la consommation de l'eau et les exigences de nettoyage.

4.4.3 Méthodes de traitement biologique

4.4.3.1 Biofiltration

Selon Devinny et al. (1999), les traitements biologiques des gaz résiduels ont commencé à être utilisés depuis les années 1950 (biofiltres utilisant le sol comme lit filtrant) dans le cadre de fermes ou d'installations de traitement des eaux usées. À partir des années 1970, l'intérêt pour la biofiltration a augmenté par le renforcement des réglementations concernant la qualité de l'air. Entre 1980 et 1990, la biofiltration a progressé rapidement en Europe, mais plus lentement en Amérique du Nord. Les systèmes fermés conçus pour le traitement des odeurs et des composés organiques volatils (COV) sont devenus de plus en plus informatisés. De nombreuses recettes pour le lit filtrant sont alors testées et des modèles mathématiques essaient d'optimiser les processus. Aujourd'hui, la recherche dans le domaine de la biofiltration se concentre principalement sur une meilleure compréhension des voies de dégradation biologique, sur le traitement des mélanges de polluants, sur la suppression du surdéveloppement de la biomasse et sur la modélisation des processus.

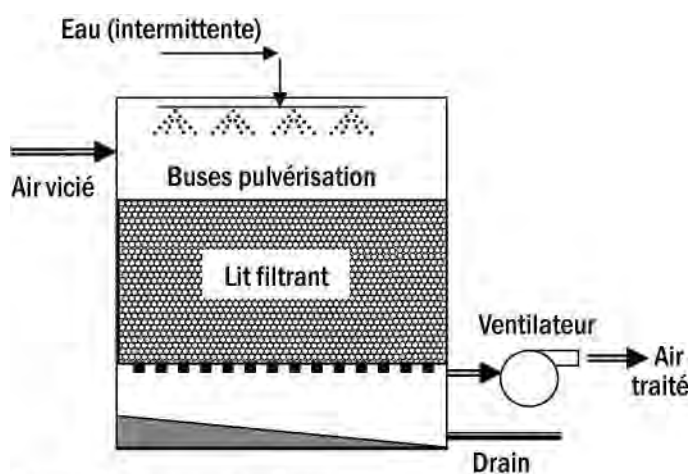
L'application la plus connue de ce type de traitement est le biofiltre de type ouvert (figure 24). Ses particularités en font un équipement qui peut être exposé aux conditions atmosphériques et qui peut être installé au niveau du sol. De plus, il utilise en général des matériaux de remplissage facilement disponibles et abordables (sol, compost). La hauteur habituelle du lit de filtration d'un biofiltre ouvert se situe entre 1,0 et 1,5 m. Les systèmes ouverts sont idéals pour des applications où l'espace n'est pas une contrainte et ils sont reconnus comme étant les solutions les moins dispendieuses pour le contrôle des odeurs (Devinny et al., 1999).



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 24. Schéma d'un système de biofiltre ouvert.

Les biofiltres fermés (figure 25) sont généralement plus complexes et peuvent présenter une section qui est soit circulaire, soit rectangulaire. Ces systèmes de traitement de l'air permettent de mieux contrôler certains paramètres d'opération (température, humidité, nutriments, pH) tout en étant moins sensibles aux facteurs climatiques. Le lit de filtration utilisé dans les biofiltres fermés a généralement une hauteur qui varie entre 1,0 et 1,5 m et il est composé de matériaux organiques et/ou inorganiques. Un plénum d'entrée et un plénum de sortie facilitent la distribution uniforme de l'air dans l'appareil. Pour la majorité des applications avec un biofiltre fermé, la circulation descendante de l'air s'avère plus performante que la circulation ascendante, car le contrôle de l'humidité du matériau de filtration est meilleur dans le premier cas (Revah et Morgan-Segastume, 2005).



Adapté de Devigny et al, 1999

Figure 25. Schéma d'un système de biofiltre fermé.

Une étude de Nicolai et Janni (2001) recommande le maintien d'un taux d'humidité compris entre 35 et 65 % dans le matériau de filtration. La réduction moyenne du H₂S pour un taux d'humidité relative qui est bas, moyen et haut a été respectivement de 3, 72 et 87 %. Dans les mêmes conditions, la réduction des odeurs a été respectivement de 42, 69 et 79 % et celle de l'ammoniac a été respectivement de 6, 49, et 81 %. Le ratio optimal de compost et de copeaux de bois recommandé par l'étude pour le traitement de l'air des bâtiments porcins est d'un minimum de 30 % de compost et de 70 % de copeaux de bois (sur une base pondérale).

Sheridan et al. (2002a) ont étudié une installation pilote de biofiltration pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement. Le lit de filtration avait une hauteur de 0,5 m et a été réalisé avec des copeaux de bois de 20 mm et plus. Les conditions d'humidité du lit filtrant ont varié entre 64 et 69 %. Des essais préliminaires ont démontré que l'installation d'un filtre mécanique à l'entrée de l'air dans le biofiltre permet de réduire plus de 99 % des particules en suspension avec pour impact une réduction des odeurs de 19 %. Lors de l'expérimentation, le système de biofiltration a atteint une efficacité d'enlèvement comprise entre 73 et 87 % pour le NH₃. Quand la charge en ammoniac est passée de 967 à 2 057 mg h⁻¹ et pour une charge volumique maximale de 1 898 m³_{air} m⁻³_{matériau filtrant} h⁻¹, l'efficacité d'enlèvement a été réduite de 19 %. L'étude démontre donc que les copeaux de bois de plus de 20 mm sont recommandables pour les biofiltres utilisés pour le traitement de l'air émis par les installations de production porcine. La charge volumique maximale recommandée est de 1350 m³_{air} m⁻³_{matériau filtrant} h⁻¹ dans le but d'assurer une efficacité d'enlèvement des odeurs supérieure à 90 %. Dans les conditions d'exploitation estivale, le dimensionnement du réacteur de biofiltration correspond à 0,148 m² porc⁻¹. Une réduction des pertes de pression a été possible grâce au type de matériau utilisé et à une hauteur du lit de filtration de seulement 0,5 m. L'étude recommande d'assurer une humidité du lit de filtration d'au moins 63 %. Un système d'humidification efficient (humidificateur de l'air à l'entrée et dispositif de pulvérisation intermittente du lit de filtration) et un design approprié du système de distribution de l'air sont des facteurs déterminants pour la conception et l'exploitation des solutions de traitement pour les grands volumes d'air.

Dans une autre étude, Sheridan et al. (2002b) ont comparé les efficacités de deux installations pilotes de biofiltration pour le traitement de l'air des bâtiments d'élevage de porcs. Le premier biofiltre utilisait des copeaux de bois de plus de 20 mm et le deuxième des copeaux de bois avec des dimensions comprises entre 10 et 16 mm. L'humidité du lit de filtration a été maintenue à 69 % et la charge volumique a varié entre 769 et 1847 m³_{air} m⁻³_{matériau filtrant} h⁻¹ pour une période d'expérimentation de 63 jours. Les deux filtres ont réduit les odeurs de 88 à 95 %. La réduction de l'ammoniac a été de l'ordre de 64 à 92 % pour le premier biofiltre et de 69 à 93 % pour le deuxième. Le H₂S a été réduit de 9 à 66 % pour le premier biofiltre alors que les résultats pour le deuxième vont d'une augmentation de 147 % à une diminution de 51 %. Le pH est resté constant, entre 6 et 8. Les investigations démontrent qu'il existe un risque de formation de zones anaérobiques (deuxième biofiltre) et de largage de composants sulfureux. L'étude conclut que la biofiltration est une technologie intéressante pour l'enlèvement des odeurs et de l'ammoniac de l'air provenant des installations en production porcine.

Hartung et al. (2001) ont réalisé une étude sur deux biofiltres de type ouvert qui correspondent aux modèles couramment utilisés pour le traitement de l'air dans les bâtiments porcins en Allemagne. La surface du lit de filtration était de 18 et de 30 m² et la hauteur de 0,5 m. Le matériau de filtration était constitué d'un mélange de fibres de noix de coco et de fibres de

tourbe. L'efficacité de réduction obtenue pour l'ammoniac a été de 15 % pour le premier biofiltre et de 36 % pour le deuxième. Au niveau de la réduction des odeurs, les efficacités des deux biofiltres ont été respectivement de 78 et 81 %. En conclusion, l'étude semble en contradiction avec d'autres recherches antérieures, car l'efficacité d'enlèvement de l'ammoniac a augmenté (15 à 39 %) avec l'accroissement de la charge volumique en ammoniac à l'entrée (1 000 à 6 000 $\text{mg m}^{-3} \text{h}^{-1}$).

Hoff et Harmon (2006) ont tenté de combiner une stratégie de ventilation du débit minimal et de la biofiltration. Un débit minimal d'air de $75 \text{ m}^{-3} \text{h}^{-1} \text{ porc}^{-1}$, qui correspond aux conditions des nuits d'été, a été établi comme référence. Les essais ont été faits sur un biofiltre utilisant les copeaux de bois, ayant une hauteur de lit filtrant de 27 cm et une surface de 80 m^2 . Les résultats ont montré une efficacité moyenne de réduction de 44 % pour l'ammoniac, de 58 % pour le H_2S et de 54 % pour les odeurs. Les résultats assez modestes sont en partie compensés par les volumes réduits d'air à traiter.

Kaligan et al. (2004) ont étudié l'efficacité des biofiltres sur la réduction de l'ammoniac émis par les bâtiments d'élevage. Le but de la recherche a été d'expérimenter un lit filtrant composé de matériaux organiques et inorganiques non dispendieux en combinaison avec une charge microbienne diversifiée (multiculture). Les essais se sont déroulés sur un banc d'essai avec un réacteur de type fermé ayant une hauteur de 500 mm. Le matériau du lit de filtration était composé de tourbe (91 % organique), de vermiculite et de perlite (ratio 3:1:1). Dans une seconde série d'essais, le matériau de filtration a été réalisé à partir de tourbe et de polystyrène (ratio 3:1). Les résultats de l'étude démontrent que l'efficacité de réduction de l'ammoniac peut être très élevée (99 à 100 %) dans des conditions où la concentration de NH_3 à l'entrée est de 200 ppm_v et les débits se situent entre 0,03 à 0,06 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$.

Une première série d'expérimentations a permis de mettre au point un banc d'essai pour un biofiltre de type ouvert qui utilise des copeaux de bois de dimensions réduites (2 mm à 5,6 mm) (Sunghyoun et al., 2007). Le temps de rétention a été de 5, 7 et 9 s et le taux d'humidité du matériau de filtration a varié entre 40 et 63 %. L'efficacité de réduction de l'ammoniac a enregistré des valeurs de 92,7 à 95,2 %. La concentration de l'ammoniac à l'entrée a varié de 3,0 à 24,2 ppm (moyenne de 6,5 ppm). La hauteur du lit de filtration était de 60 cm, le temps de résidence de 7 s et le taux d'humidité du matériau de filtration a été maintenu à un niveau supérieur à 50 %. L'efficacité de réduction de l'ammoniac a varié de 67 à 97 % (moyenne de 89 %) pour l'air provenant d'une fosse à lisier et de 68 à 96 % (moyenne de 86 %) pour l'air provenant d'une installation de fermentation. L'étude ne fait aucune estimation de la réduction des odeurs ou du H_2S .

Une étude sur une installation pilote à l'échelle réduite a permis à Luo (2001) d'investiguer sur les performances de réduction des odeurs avec des biofiltres contenant différents matériaux de filtration, tels que le sable, l'écorce de bois et des mélanges sol et écorce. La réduction des odeurs par des méthodes olfactométriques a atteint des niveaux d'efficacité entre 29 et 99,9 % pour une concentration à l'entrée de 143 100 et 890 000 UO m^{-3} . L'étude a mis en évidence la présence du lixiviat qui résulte de l'humidification du lit de filtration. Ce liquide joue un rôle très important dans le maintien du taux d'humidification, mais il peut aussi avoir d'autres effets sur la qualité du lit de filtration, tels que des phénomènes de lavage, l'accumulation d'importantes quantités de polluants, des interférences avec le flux d'aération, la formation de chemins

préférentiels, la favorisation des zones de réactions anaérobiques et un largage de NH_3 et de H_2S . L'étude démontre la nécessité d'effectuer d'autres recherches pour clarifier ces aspects qui ont une influence directe sur les performances et la longévité du système de biofiltration.

Dans une étude portant sur la biofiltration pour le contrôle de la pollution de l'air, Deviny et al. (1999) ont analysé en détail les aspects particuliers de cette technologie de biotraitement. Ils ont démontré que le choix d'une solution optimisée pour une application particulière impose des connaissances théoriques approfondies et des résultats validés par voie expérimentale sur une large gamme de problèmes dont les plus importants sont les mécanismes de biofiltration, le matériau de filtration, le contrôle des paramètres et de l'opération du biofiltre, et l'écologie microbienne. En accord avec les recherches de plusieurs chercheurs, l'étude démontre l'importance du contrôle du contenu en eau dans le biofiltre. Si un biofiltre ne reçoit pas d'irrigation, le contenu en eau devra être contrôlé par l'humidité de l'air qui alimente l'appareil. Ce type de contrôle du contenu en eau du matériau filtrant n'est pas toujours efficace et les variations de l'humidité et de température de l'air à l'entrée peuvent affecter les performances du biofiltre.

D'un autre côté, quand la quantité d'eau excède la capacité du lit filtrant, l'eau est drainée sous la force de la gravité. L'eau de drainage contient des cellules, des polluants non dégradés, des produits résiduels, des matériaux humiques, des nutriments, des acides et des sels. La perte de nutriments réduit les performances du biofiltre, mais un faible drainage peut aussi diminuer les phénomènes d'acidification et d'accumulation des sels et de la biomasse, de même que les risques d'encrassement du lit de filtration. Le lixiviat nécessite souvent un traitement en vue de sa disposition.

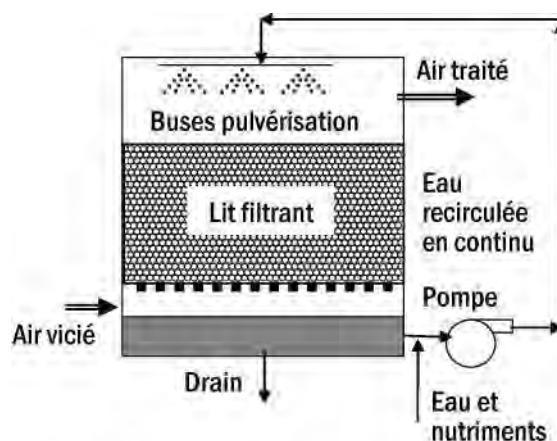
Des études plus approfondies sur les effets du lixiviat dans les systèmes de biofiltration en corrélation avec l'accumulation des composants azotés et le taux d'application de l'eau ont été développées par Armeen et al. (2007a et 2007b). Ces études ont tenté d'identifier les facteurs physiques et chimiques qui influencent à long terme la performance et la stabilité des biofiltres pour l'enlèvement des contaminants de l'air. Selon ces auteurs, l'efficacité d'un bioréacteur est influencée principalement par des facteurs tels que la charge du polluant à l'entrée du biofiltre, le pH, de même que le contenu en humidité et la température du lit de filtration.

En réponse aux questions soulevées par l'accumulation des composés azotés dans le lit filtrant suite à de grandes concentrations d'ammoniac dans l'air à l'entrée du biofiltre, une étude menée par des chercheurs japonais (Kim et al., 2000) propose l'utilisation d'une nouvelle bactérie (*Vibrio alginolyticus*) qui est capable de dégrader efficacement de grandes concentrations d'ammoniac. L'étude a démontré la possibilité d'utiliser cette bactérie marine pour des concentrations de l'ammoniac comprises entre 120 et 2 000 ppm_v avec une efficacité d'enlèvement supérieure à 85 % pour plus de 60 jours d'opération.

4.4.4 Biofiltres percolateurs

Selon Deshusses et Gabriel (2005), les biofiltres percolateurs (biotrickling filters) constituent l'une des techniques biologiques les plus prometteuses pour le contrôle des odeurs et des COV. Contrairement aux biofiltres qui utilisent en majorité des matériaux organiques pour le lit filtrant et qui opèrent avec un minimum d'écoulement d'eau, les biofiltres percolateurs utilisent

exclusivement des matériaux inorganiques et l'écoulement de l'eau se fait par percolation en continu. Dans les biofiltres percolateurs, l'air vicié passe à travers un matériau filtrant inerte dans lequel le liquide est recirculé en continu (figure 26). Le matériau filtrant est similaire à celui utilisé dans les laveurs chimiques et doit avoir une grande porosité et une grande surface spécifique (100 à 400 m² m⁻³). Le temps de résidence est de l'ordre de 30 secondes, mais il peut descendre à des valeurs plus basses, notamment dans le cas du traitement pour l'enlèvement de H₂S (1,2 s; Revah et Morgan-Segastume, 2005).



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 26. Schéma d'un système de biofiltre percolateur.

Le traitement de l'air par les biofiltres percolateurs (biotrickling filters) est une technologie relativement nouvelle et la majorité des résultats expérimentaux proviennent des essais effectués sur des installations pilotes (Iranpour et al., 2005). Différents matériaux de filtration, tels que la roche de lave, des pièces en plastique disposées aléatoirement, des blocs structurés en plastique et de la mousse de polyuréthane, ont été utilisés. La grande porosité de ces matériaux permet des pertes minimales de pression sur le flux d'air. Des vitesses supérieures d'écoulement de l'air sont ainsi réalisables. L'une des caractéristiques principales des biofiltres percolateurs est l'écoulement continu par percolation du liquide dans la masse du lit de filtration. Il est ainsi possible d'avoir un meilleur contrôle sur l'addition des nutriments, le pH, l'enlèvement des produits résiduels du processus et sur la température. Dans le cas de la réduction des odeurs et de l'élimination du H₂S, la production d'acide sulfurique et la réduction du pH et/ou l'accumulation du sulfate de sodium constituent des paramètres de contrôle essentiels du biofiltre percolateur.

Les exemples cités par Iranpour et al. (2005) démontrent que ces réacteurs ont une bonne efficacité d'enlèvement pour des concentrations élevées de H₂S à des temps de résidence (EBRT) qui sont bas. Les biofiltres percolateurs semblent une bonne option pour le traitement des gaz avec une haute concentration en H₂S et possiblement pour d'autres composés sulfureux. Les expérimentations sur des applications industrielles ont illustré le potentiel des biofiltres et des biofiltres percolateurs pour l'enlèvement combiné des odeurs, du H₂S et des COV. Sur un total de huit cas d'application de biofiltres percolateurs utilisés pour l'enlèvement du H₂S et pour des concentrations à l'entrée de 1 à 1 000 mg m⁻³, l'efficacité de réduction a été de 95 à 99 %.

Dans le cas de cinq applications concernant la réduction des odeurs, l'efficacité de réduction a été de 65 à 99 %.

Les biofiltres percolateurs ont certains avantages par rapport aux autres biotraitements pour le contrôle des polluants de l'air (Deshusses et Gabriel, 2005). Parmi ceux-ci, la hauteur du lit de filtration plus importante, la meilleure longévité du matériau filtrant (dépasse 10 ans), la facilité de contrôle et la possibilité de traiter de l'air contenant de la poussière et de la graisse sont toutes des caractéristiques intéressantes de ce type de système.

Dans le cas des biofiltres percolateurs, l'ajout de nutriments devient un outil d'optimisation des performances du réacteur. En effet, les biofiltres percolateurs doivent être inoculés avec une variété de microorganismes, car la charge initiale ne contient pas de bactéries. La demande en nutriments dépend du type de polluant à traiter, de sa concentration, de la charge polluante totale et de la stratégie d'opération du réacteur. Un excès de nutriments peut engendrer un surdéveloppement de la biomasse et l'encrassement du réacteur. Les biofiltres percolateurs utilisés pour la réduction du H₂S sont moins exposés au risque d'encrassement, probablement à cause de la relative inefficacité des organismes autotrophiques.

Quelques recherches traitant de la conversion des laveurs d'air en biofiltres percolateurs (Gabriel et Deshusses, 2003; Deshusses et Gabriel, 2005) ont permis de démontrer qu'il est possible d'utiliser des biofiltres percolateurs dans des régimes de laveurs d'air (temps de résidence comparables de 1 à 2 s), mais avec l'avantage de pouvoir dégrader, en plus des charges inorganiques, les composantes organiques sans faire appel à des substances chimiques toxiques et dangereuses. Les résultats des essais à long terme montrent une efficacité de plus de 97 % pour l'enlèvement du H₂S ayant des concentrations à l'entrée de 15 à 95 g m⁻³ h⁻¹. Des concentrations plus élevées de 100 g m⁻³ h⁻¹ provoquent une réduction graduelle de l'efficacité à moins de 80 %.

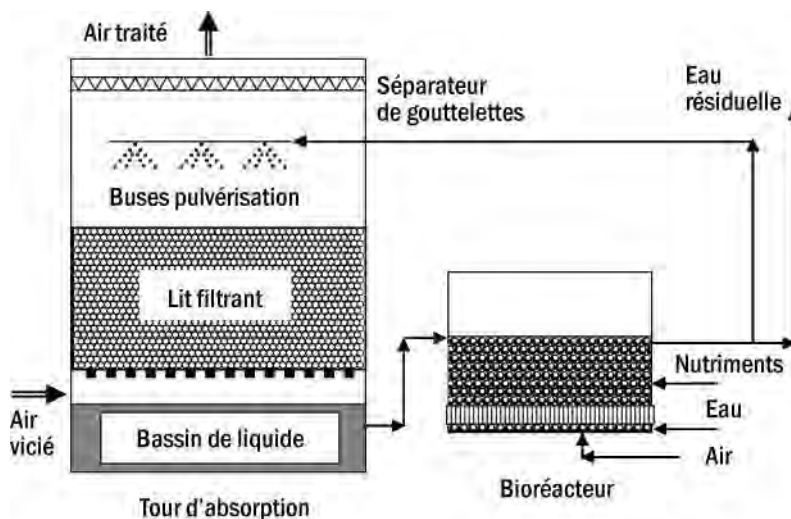
4.4.5 Biolavage (bioscrubbing)

Les filtres biolaveurs (bioscrubber filters) utilisent un schéma qui comprend un absorbeur dans lequel se fait le transfert du polluant du gaz vers le liquide et un bioréacteur où la dégradation biologique se poursuit dans la masse de liquide. Selon un schéma présenté à la figure 27, l'absorption est effectuée dans une tour de lavage à pulvérisation (absorbeur) et la biodégradation dans un bassin d'activation (bioréacteur) contenant la biomasse en suspension (boues activées). Singh et al. (2005) ont répertorié plusieurs variantes d'absorbeur, dont la tour avec un matériau de remplissage, le cyclone à voie humide, la tour de pulvérisation et le scrubber de type venturi.

L'écoulement des flux d'air et d'eau peut se réaliser soit en contrecourant, cocourant ou encore en courant croisé. La vitesse de l'air peut varier de 1,5 m s⁻¹ à 20 m s⁻¹ dans les variantes avec tour, elle peut atteindre 25 m s⁻¹ pour la variante cyclone et elle se situe entre 40 et 50 m s⁻¹ pour la variante venturi. Les biolaveurs ont les mêmes avantages d'encombrement, de flexibilité et de contrôle que les filtres percolateurs et ils offrent la possibilité de traiter des composés peu solubles dans l'eau (coefficients d'Henry $H < 0,01$) ou toxiques pour les microorganismes.

Les biolaveurs (bioscrubbing filters) ont permis d'augmenter le domaine d'application des technologies de traitement biologique des gaz résiduels. Les biolaveurs peuvent être définis

comme une unité composée de deux réacteurs et d'un système de recirculation de l'eau entre les deux réacteurs (Kraakman, 2005). Dans la première unité, appelée absorbeur, le polluant est absorbé par la phase liquide. Le transfert de masse a alors lieu entre la phase gazeuse et la phase liquide. Dans la deuxième unité, appelée bioréacteur en phase liquide, le polluant est dégradé par les microorganismes qui sont dispersés en suspension dans le liquide ou fixés sur un matériau de filtration.



Adapté de Revah et Morgan-Segastume, 2005

Figure 27. Schéma d'un système de biolaveur (bioscrubber filter).

Le plus grand avantage des biolaveurs par rapport aux biofiltres et aux biofiltres laveurs est la capacité de produire et de maintenir une quantité plus importante de masse microbienne active dans de plus petites unités de procédé. Par contre, Kraakman (2005) considère que les biolaveurs et les biofiltres percolateurs présentent une plus grande complexité au niveau de leur construction et de leur opération.

Singh et al. (2005) sont arrivés à la conclusion que les biolaveurs offrent les plus grandes efficacités d'élimination du H_2S , du NH_3 et des composés organiques sulfurés. L'analyse des performances des laveurs d'air utilisés dans l'industrie dans le but de réduire le H_2S , révèle des efficacités de plus de 98 %, autant pour des concentrations faibles, élevées qu'extrêmement élevées à l'entrée (entre 0 et 75 mg m^{-3} ; $2\,000 \text{ mg m}^{-3}$; entre 10 000 et $15\,000 \text{ mg m}^{-3}$). Les résultats cités pour la réduction des odeurs présentent une efficacité de 80 % (application pour la réduction des sulfures organiques avec des concentrations à l'entrée de 4 000 à 22 000 U.O.). Kraakman (2005) confirme les performances réalisées avec des biolaveurs pour la réduction du H_2S , pour des débits de l'ordre de 160, 450 et $6\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ et pour la réduction des odeurs pour des débits d'air de $40\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

4.5 Traitement des déjections

4.5.1 Aspects généraux

Les technologies traitant les déjections porcines peuvent être classifiées en deux grandes catégories, soit les procédés physico-chimiques et les procédés biologiques. Cette dernière catégorie inclut les traitements aérobies (en présence d'oxygène) et anaérobies (absence d'oxygène gazeux). Les technologies peuvent également combiner les deux types de traitement (ex. : traitement physico-chimique suivi d'un traitement biologique).

Le traitement des déjections animales est un sujet d'intérêt depuis plusieurs années dans le milieu agricole. Un article publié en 1976 par Osborne et al. proposait un système de traitement du lisier de porcs par l'intégration d'un système de séparation solide/liquide, d'une tour de filtration, d'un réservoir de sédimentation et d'un bassin de déshydratation des boues, fait à partir de balles de paille. La production porcine comporte plusieurs types de ferme, maternité, pouponnière, engraissement et naisseur-finisserie. Chacune de ces fermes renferme des porcs ayant des besoins spécifiques en fonction de leur âge et de leur rôle dans la chaîne de production. Leur alimentation est donc différente d'un établissement à l'autre, produisant des déjections différentes. Au Québec, la taille des fermes peut varier grandement d'un élevage à l'autre, allant de quelques centaines de bêtes à plusieurs milliers, générant ainsi des quantités de lisier très variables d'une ferme à une autre. Les technologies doivent donc être en mesure de s'adapter à ces différents cas.

4.5.2 Traitement physico-chimique

Les traitements physico-chimiques des déjections font généralement référence à la séparation des phases solide/liquide constituant le lisier et à la capture du phosphore majoritaire compris dans la fraction solide. Le développement de nouvelles membranes filtrantes (microfiltration, ultrafiltration, osmose inverse) permet également de cibler d'autres constituants du lisier tels que l'azote et le potassium. Un des avantages de ces différents types de traitement est qu'ils sont généralement plus rapides à mettre en œuvre comparativement aux procédés biologiques, car ils ne dépendent pas de la croissance et de l'activité des microorganismes. C'est pourquoi, ils sont considérés plus robustes (Burton et Turner, 2003). Toutefois, les procédés physico-chimiques requièrent dans la plupart des cas des éléments mécaniques, électroniques de même que des intrants (produits chimiques, matériaux spécifiques, etc.) qui contribuent à augmenter la complexité et le coût de ces procédés.

La filtration est décrite comme un procédé applicable à plusieurs cas. Une étude de Pieters et al. (1999) fait mention d'une chaîne de traitement du lisier de porcs composée d'un prétraitement effectuant une séparation solide/liquide, d'une microfiltration et d'un traitement d'osmose inverse. Cette étude a évalué l'efficacité de cette chaîne de traitement en fonction de 4 prétraitements différents : presse à chambre filtrante, cyclone liquide, tamis vibrant et presse à vis. La presse à chambre filtrante s'avère être la meilleure technologie testée avec des résultats d'efficacité de la séparation solide/liquide du lisier de l'ordre de 51 % pour la matière sèche, 71 % pour les matières en suspension, 62 % pour l'azote ammoniacal, 31 % pour l'azote total, 42 % pour le phosphore et 31 % pour le potassium (Pieters et al., 1999). Malgré ces résultats, l'auteur rapporte que la décantation naturelle est favorable d'un point de vue technico-

économique et que cette dernière sera priorisée pour la suite de son expérimentation. La microfiltration, produite par des membranes ayant un espacement entre les mailles de 100 µm, n'a pas eu une grande capacité épuratoire de la fraction liquide du lisier, sauf pour l'élimination complète des matières en suspension. L'osmose inverse, suivant la microfiltration, a permis un enlèvement complet de la matière sèche ainsi qu'une réduction importante de l'azote, du phosphore et du potassium (tableau 22).

Tableau 22. Caractéristiques des différentes phases liquides de la chaîne de traitement.

	Fraction liquide	Microfiltrat	Perméat
MS mg l ⁻¹	11 600	9 100	2
MES mg l ⁻¹	4 800	0	0
Kj-N mg l ⁻¹	2 200	2 074	191
NH ₄ ⁺ -N mg l ⁻¹	2 004	1 976	175
P ₂ O ₅ mg l ⁻¹	428	302	4
K ₂ O mg l ⁻¹	2 800	2 550	188
DCO mg l ⁻¹	15 000	5 100	198

MS, matière sèche; MES, matière en suspension; Kj-N, azote Kjeldhal; DCO, demande chimique en oxygène

Tiré de Pieters et al. (1999)

Pieters et al. (1999) ont ensuite amélioré ce système en ajoutant une petite quantité d'acide sulfurique pour déterminer l'effet des valeurs du pH sur l'efficacité du traitement. Cette modification a accentué l'efficacité épuratoire pour l'azote et le phosphore ainsi que pour la DCO. Ceci peut s'expliquer par une plus grande rétention des molécules polaires de NH₄⁺ que des molécules non polaires de NH₃ et du fait que les acides gras sont plus chargés à de faibles valeurs de pH. De plus, un deuxième traitement de microfiltration et d'osmose inverse a été testé afin d'optimiser la chaîne de traitement. La fraction liquide sortant de ce traitement correspond à 77 % du volume initial du lisier. Ce système peut traiter jusqu'à 4 800 m³ de lisier par année avec une capacité d'opération de 600 l/h. La fraction solide peut être valorisée comme fertilisant agricole par le producteur, être exportée à l'extérieur de la ferme ou être compostée.

L'ultrafiltration a aussi été étudiée par Fugère et al. (2005) pour le lisier de porcs suite à différents types de prétraitement (tamisage, traitement biologique, sédimentation). L'utilisation en mode discontinu, ou « batch », de l'unité d'ultrafiltration a permis d'établir les paramètres d'opération optimaux, offrant ainsi une prise en charge des MES, du phosphore particulaire, de l'azote et de la DCO, ainsi que l'élimination de plus de 99 % des coliformes. Étant donné que les fractions solubles du P et de N ne sont pas prises en charge, si les objectifs d'épuration sont un contrôle de la DCO, du P et/ou du N soluble, un pré ou post-traitement biologique est recommandé. Selon les auteurs, ce système de traitement des déjections n'est pas approprié pour les petites entreprises agricoles. Un traitement régional des volumes de lisier de porcs en usine serait à privilégier afin d'obtenir un débit de traitement plus important. Toujours selon les auteurs, l'ultrafiltration pourrait être une technologie applicable à une majorité d'effluents si les objectifs d'assainissement sont l'abaissement du P particulaire, des coliformes et des MES. Une autre méthode d'ultrafiltration, nommée « Vibratory Shear Enhanced Process » (VSEP), mise en place l'entreprise californienne New Logic, présente les mêmes caractéristiques de traitement que la technologie étudiée par Fugère et al. (2005). La différence majeure entre ces deux

traitements est que la technologie VSEP possède une membrane « vibrante » limitant la congestion de ses pores (Johnson, 2002).

Les déjections de porcs peuvent être décontaminées par un processus d'échange ionique. Une étude d'Henriksen et al. (1998) a mis en place une chaîne de traitement pouvant réduire les impacts environnementaux des déjections de porcs. Cette dernière est composée d'une séparation solide/liquide par sédimentation naturelle à l'intérieur d'un réservoir, d'une filtration pour retirer les particules grossières, tels des poils, dents, paille, sacs de plastique et autres, d'une double floculation/sédimentation effectuée par l'ajout de Geko-bentonite (argile), pour finalement conclure par un échange cationique par l'ajout d'Agrolith permettant le retrait du NH_3 et des sels inorganiques dissous. Selon les résultats de cette étude, presque toute la matière organique de la fraction liquide du lisier est prise en charge grâce à la double floculation/sédimentation. De plus, une diminution du volume à 30 % du volume initial de lisier, diminuant ainsi le volume nécessaire à l'entreposage, ainsi que l'obtention d'une boue de sédimentation ayant un taux de matière sèche pouvant atteindre 15 % (au-delà de 15 %, le pompage devient plus difficile) sont observables. Par contre, cette technologie s'adresse aux moyennes et grandes entreprises agricoles uniquement.

Le phosphore est fortement adsorbé à la fraction solide du lisier, une séparation des fractions solide et liquide est donc essentielle pour gérer cet élément. Un plancher en forme de « V » localisé sous les lattes et permettant une séparation efficace de ces fractions, est présenté dans une étude de von Bernuth et al. (2005). La partie liquide des déjections s'écoule vers le milieu de ce plancher, qui est l'endroit le plus bas, et la partie solide demeure sur les parois inclinées de ce dernier. Une gratte circule ensuite pour acheminer la fraction solide vers un collecteur isolé des déjections liquides. Ce système relativement simple permet de recueillir 91 % du phosphore de la fraction solide. De plus, des mesures des concentrations de NH_3 et H_2S dans l'air du bâtiment ont été faites. Ces dernières ont révélé des concentrations de NH_3 toujours inférieures à 7,5 ppm ainsi que des concentrations de H_2S jamais supérieures au minimum détectable de 0,5 ppm (von Bernuth et al., 2005).

4.5.3 Les procédés biologiques

4.5.3.1 Les procédés biologiques aérobies

Afin de pouvoir utiliser la digestion aérobie dans le traitement des déjections animales, un apport d'air suffisant doit être obtenu afin de créer un milieu favorable aux microorganismes aérobies ciblés. Pour respecter cette dernière condition, la matière organique réactive, représentée par la demande biologique en oxygène (DBO_5), est rapidement oxydée en eau et en CO_2 . Ce processus est valable autant pour la fraction liquide que solide (Burton et Turner, 2003). Suite à la digestion aérobie, plusieurs effets bénéfiques sont notables, dont la réduction des mauvaises odeurs, l'occurrence de nitrification et dénitrification favorisant la minéralisation des composés azotés vers une forme gazeuse et une récupération efficace des composés insolubles, tels les phosphates et les métaux lourds (Burton et Turner, 2003). En ce qui concerne le phosphore, l'effet des traitements biologiques est limité, mais ils peuvent tout de même affecter sa solubilité (Burton et al., 2007).

Une technologie utilisant la biofiltration aérobie est décrite par Buelna et al. (1998). La biofiltration implique le passage d'un effluent gazeux et liquide à l'intérieur d'un filtre contenant un substrat organique. Les polluants sont captés par ce substrat et par la suite dégradés par les microorganismes présents sur ce dernier. Les produits de dégradation de ces polluants sont le CO₂ et l'eau. Le biofiltre est composé d'un substrat organique, constitué de copeaux de bois, d'écorce et de tourbe, qui possède des groupements fonctionnels polaires pouvant adsorber, grâce à leurs charges, les molécules organiques et les métaux de transition (Buelna et al., 1998). Le traitement présenté implique une décantation du lisier brut, suivie d'une filtration et de l'introduction de l'effluent liquide dans le haut du biofiltre. L'air vicié est quant à lui injecté à la base du biofiltre. Ce traitement a été installé sur une ferme de 150 truies qui produit environ 2 000 porcs par année. Le système de traitement, d'un volume de 400 m³, permet d'épurer jusqu'à 12 m³/j de lisier et 15 000 m³/h d'air vicié. Pour l'effluent liquide, ce système de biofiltration permet une réduction, de > 95 % pour la DBO₅, > 97 % pour les matières en suspension, > 75 % pour le TKN et de > 87 % pour le P_{tot}. L'effluent gazeux est traité à 94-100 % pour l'ammoniac et à 100 % pour le sulfite d'hydrogène. De plus, une importante diminution de l'intensité des odeurs est observée (Buelna et al., 1998). La partie solide produite représente 15-20 % du volume total du lisier. Cette dernière a préservé sa valeur fertilisante et peut être utilisée à des fins agricoles. L'utilisation de ce biofiltre permet donc une décontamination importante des fractions liquide et gazeuse produites à l'intérieur d'un bâtiment de production porcine et réduit grandement le volume des déjections à épandre (Buelna et al., 1998). Cette dernière caractéristique, selon les auteurs, permet une réduction des coûts de transport liés à l'épandage et peut ainsi augmenter le taux d'acceptabilité du lisier à l'intérieur d'une distance économique pour les producteurs.

Griffing et al. (2004) ont réalisé une comparaison de quatre technologies de traitement des lisiers de porcs selon une approche basée sur l'analyse du « cycle de vie ». Ces auteurs ont donc évalué ces technologies selon quatre différents critères 1) le lagunage conventionnel avec irrigation, 2) un procédé de lagunage couvert avec irrigation (fraction liquide), méthanisation (fraction solide) et production d'énergie, 3) un procédé de biofiltration (Ekokan Biofiltration Treatment System) et, finalement, 4) l'épandage des déjections brutes sans entreposage. Cette dernière technique ne peut être pratiquée au Québec en raison des périodes restreintes pour l'épandage. Selon cette étude, la biofiltration représente la méthode de traitement des déjections la plus efficace par rapport au critère NH₃ (contrôle des émissions d'ammoniac). Le procédé de lagunage couvert avec irrigation, méthanisation et production d'énergie constitue la technologie à privilégier en regard du critère GES (réduction des émissions de gaz à effet de serre).

Comme il est mentionné précédemment, les traitements biologiques aérobies doivent utiliser l'oxygène afin de maintenir une population microbienne constante, nécessaire à la décontamination, dans ce cas-ci, d'eaux usées agricoles. Le taux d'aération peut avoir une influence importante sur cette population microbienne, surtout en ce qui a trait à son rôle dans la prise en charge des composés azotés dommageables pour l'environnement. Une étude de Liao et al. (1994) s'est penchée sur une problématique occasionnée par une aération continue dans les procédés de boues activées. L'aération continue permet d'obtenir un taux d'enlèvement élevé pour la DBO₅ et le carbone organique total (TOC). Cependant, elle ne permet pas d'obtenir un enlèvement suffisant de l'azote, selon les normes taïwanaises (non mentionnées dans l'article), étant donné sa proportion élevée de la DBO₅ des eaux usées d'origine porcine, de l'ordre de 20 – 40 %. Selon Liao et Maekawa (1994), cet effet est causé par une baisse graduelle de la

nitrification lors d'une aération continue. La présence d'azote oxydé ($\text{NO}_x - \text{N}$), occasionnée par cette aération, provoque une chute de pH des eaux usées traitées. Pour remédier à ce problème, deux traitements d'aération intermittente ont été évalués sur une ferme porcine soit un ratio avec et sans aération de 1:1 et de 3:1. La chaîne de traitement des déjections de cette ferme est composée d'une séparation solide/liquide, d'une digestion anaérobie, de sédimentation, d'activation des boues dans un réacteur (la composition du réacteur n'est pas mentionnée) (où a lieu l'aération intermittente), d'une sédimentation additionnelle et finalement d'un épandage de l'effluent sur une culture de graminées (*Paspalum conjugatum* berg.). Les résultats des traitements d'aération intermittente ont démontré une meilleure efficacité du ratio 1:1 par un abaissement de l'azote total et de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) de 30 et 40 %, respectivement, supérieure au ratio 3:1. De plus, le taux de dénitrification atteint grâce au ratio 1:1 est de 79 % (Liao et al., 1994). Des traitements similaires ont été effectués dans une usine pilote et les résultats obtenus permettent de valider les conclusions de cette étude.

Une chaîne de traitement aérobie a été présentée par Vanotti et al. (2007) dans le cadre d'une entente entre le gouvernement de la Caroline du Nord, aux États-Unis, et plusieurs producteurs porcins de cet état pour remplacer les traitements de lagunes anaérobies par des technologies jugées plus performantes que cette dernière et plus respectueuses de l'environnement. La chaîne de traitement proposée est composée d'une séparation solide/liquide, d'une unité de nitrification/dénitrification et, finalement, d'une unité d'extraction du phosphore soluble (figure 28). La première technologie utilisée dans la chaîne est le module de séparation solide/liquide Ecopurin, de l'entreprise espagnole Selco MC. Elle utilise un polymère de polyacrylamide (PAM) cationique pour augmenter la floculation des solides, suivi d'une filtration. La deuxième unité de traitement est le module de retrait de l'azote Biogreen de Hitachi Plant Engineering & Construction de Tokyo au Japon. Ce module est composé de deux réservoirs, l'un étant aéré pour la nitrification, contenant des gels de polymère comme substrat bactérien, et l'autre sans aération pour la dénitrification. L'unité de retrait du phosphore a été développée par le USDA-ARS (United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service). Elle est conçue pour récupérer le phosphore soluble, sous forme de phosphates de calcium, et pour détruire les pathogènes par un pH alcalin (Vanotti et al., 2007). Grâce à cette chaîne de traitement, des réductions importantes des divers contaminants présents dans la fraction liquide des déjections de porcs ont été observées : 97,6 % des matières en suspension (MES), 99,7 % de la DBO_5 , 98,5 % de l'azote total Kjeldahl (TKN), 98,7 % d'azote ammoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 95 % de phosphore total, 98,7 % de cuivre, 99 % de zinc, 97,9 % des composés odorants et réduction des indicateurs de pathogènes à des niveaux non détectables (Vanotti et al., 2007). Cette étude a démontré que ces technologies sont utilisables et qu'elles ont des impacts bénéfiques sur l'environnement et l'industrie porcine en Caroline du Nord (Vanotti et al., 2007).

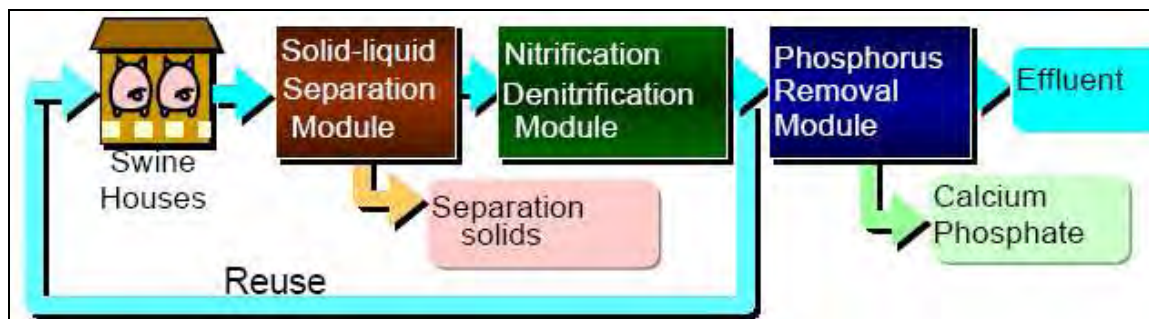


Figure 28. Schéma du système de traitement des déjections porcines sans utilisation de lagune.

Tirée de Vanotti et al. (2007)

4.5.3.2 Les procédés biologiques anaérobies

La digestion anaérobie est également un procédé biologique, comme la biofiltration, mais elle se produit principalement en absence d'oxygène en favorisant les microorganismes méthanogènes, c'est-à-dire capables de transformer le carbone de la matière organique en méthane (CH_4). Le CH_4 produit peut alors avantageusement être valorisé sous certaines conditions (concentration, volume, etc.) en énergie thermique (brûleur) ou électrique (génératrice). Cette production de méthane demande trois étapes : hydrolyse, acétogénèse et formation de méthane (Burton et Turner, 2003). Des bactéries fermentatives provoquent une hydrolyse des substrats complexes pour produire des composés solubles. Une deuxième dégradation de ces composés, principalement par les bactéries fermentatives, assure la production d'acides gras volatils (AGV), majoritairement sous forme d'acétates, ainsi que de CO_2 . Finalement, une production de méthane et de CO_2 s'effectue par des bactéries méthanogènes selon deux voies possibles. La plus importante voie, responsable de la formation de 70 % du méthane, est réalisée grâce à des bactéries méthanogènes acidotrophes à partir des AGV, principalement l'acide acétique. La deuxième voie, responsable de la production du méthane restant (30 %), est effectuée par des bactéries hydrogéntrophiques à partir d'hydrogène (H) et de CO_2 (Burton and Turner, 2003).

L'utilisation de la digestion anaérobie comme procédé de traitement des déjections permet de produire du biogaz à partir d'un déchet (lisier), une réduction des mauvaises odeurs liées à la gestion des lisiers, une dégradation de la demande chimique en oxygène (DCO) et de la DBO_5 , une réduction des pathogènes, une diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'entreposage (réservoir avec couverture) et à l'épandage ainsi qu'une diminution de la demande d'énergie fossile (Burton et Turner, 2003).

Une étude de Couton et al. (2000) mentionne certains bienfaits de l'utilisation des lagunes dans le traitement des déjections, précédé par une séparation solide/liquide par tamisage. Le milieu anaérobie de la lagune, couplé au tamisage, permet une réduction de 88 % de la matière organique initiale, de 46,7 % de l'azote, 91 % du phosphore et de 11 % du potassium de la fraction liquide résiduelle destinée à l'épandage (Couton et al., 2000). Cependant, une volatilisation de 17 % de l'azote, avant l'épandage, est causée par la lagune, faisant ressortir

l'importance de contrôler ces structures d'entreposage pour éviter l'émission de polluants. La décantation à l'intérieur de cette lagune permet par contre une récupération de 14 % de l'azote, de 32 % de la DCO et de 82 % du phosphore dans les boues. Couton et al. (2000) proposent de sécher ces sédiments sur lits et de les utiliser comme matière fertilisante. Le lagunage présenté dans cet article permet donc l'obtention d'un lisier moins contraignant en charge de polluants, mais qui pourrait être encore plus épuré. Le lagunage offre aussi la possibilité de récupérer le méthane pour éviter l'émission de GES, produisant ainsi une source d'énergie.

Des systèmes d'automatisation à faible coût sont également développés afin de faciliter le contrôle des traitements biologiques et de rendre accessibles ces derniers auprès des producteurs sans qu'ils aient à engager du personnel technique. Selon Chou et al. (2000), trois étapes principales existent pour 95 % des fermes porcines de Taïwan : la séparation solide/liquide, la digestion anaérobie et les processus de boues activées. Cette dernière étape est la plus difficile à contrôler. Pour la maîtriser, l'auteur a maintenu au même niveau le taux du mélange des matières solides en suspension. Malgré une automatisation du système de traitement, ce dernier a tout de même pu réduire de 94 % la DBO5, de 89 % la DCO et de 89 % les matières en suspension des boues activées. Ce système, vers la fin des années 90, coûtait près de 5 000 US \$ (5 235 \$ CAN) et est conçu de manière « User Friendly », deux aspects pouvant inciter la plupart des producteurs porcins à s'en munir, selon Chou et al. (2000).

Aux États-Unis, un regroupement d'acteurs de différents états, oeuvrant dans les milieux environnemental et agricole, effectuent des recherches dans le cadre du projet « Animal Manure and Waste Utilization, Treatment and Nuisance Avoidance for a Sustainable Agriculture : 2006 Annual Report ». Ce projet découle de certaines politiques américaines visant la protection de l'eau et il comprend des secteurs de recherche tels que l'épandage des déjections, le traitement des fumiers/lisiers, le traitement de l'air et la régie d'alimentation des animaux d'élevage (USDA-CSREES, 2006). Le plus grand avantage de ce projet est la coopération inter-états permettant de comparer les résultats de diverses régions géographiques, représentant différents climats, différents types de culture et de régies de production (USDA-CSREES, 2006).

4.6 Efficacité énergétique

4.6.1 Aspects généraux

L'efficacité énergétique est un sujet vaste pouvant englober un nombre important de matériaux, procédés et technologies applicables aux bâtiments porcins. L'utilisation de matériaux, procédés ou technologies peut faire en sorte de diminuer les coûts énergétiques des bâtiments (réduction des intrants, diminution de la consommation d'énergie fossile, etc.) tout en favorisant une réduction des impacts sur l'environnement (réduction des émissions de GES, utilisation de matériaux recyclés, réduction de la consommation d'eau, etc.). Toutefois, l'énergie ne représentant que 3 % (environ 25 k\$/année) des dépenses totales des exploitations porcines québécoises (Groupe Agéco, 2006). L'adoption de meilleures pratiques d'efficacité énergétique vise d'abord et avant tout les aspects liés à la protection de l'environnement et l'acceptabilité sociale des exploitations porcines. Près de la moitié des dépenses énergétiques liées aux exploitations porcines sont consacrées au chauffage et à l'éclairage des bâtiments. Les principales sources d'énergie utilisées sont l'électricité (43 %), le propane (27 %), le diesel (20 %) et l'essence (10 %). La recherche de littérature critique a fait ressortir 3 principaux volets

pour ce créneau. Il s'agit de la récupération d'énergie, de l'intégration de technologies à faible dépense énergétique et de l'utilisation d'énergie alternative.

4.6.2 Récupération d'énergie

L'utilisation de procédés permettant de récupérer l'énergie, normalement perdue sous forme de chaleur, peut être envisageable sur une ferme porcine. Toutefois, l'adoption de tels procédés par les exploitations est directement liée au prix de l'énergie. Par exemple, lors de la première crise énergétique au début des années 80, les pertes de chaleur dans les bâtiments d'élevage sont devenues un problème important pour les producteurs de porcs britanniques. En effet, Gaisford (1984) rapportait déjà à l'époque l'utilisation de pompes à chaleur, ou « Heat Pump », pour préchauffer l'air provenant de l'extérieur, récupérer cette énergie et servir de chauffage d'appoint pour une porcherie.

Cette efficacité à récupérer la chaleur a même été utilisée comme unique source de chauffage dans une chambre d'une porcherie en Italie dans le cadre d'une étude menée par Riva et Pedretti (2000). Ces auteurs ont comparé trois systèmes de chauffage différents : une pompe à chaleur avec utilisation d'échange thermique (air-air), une bouilloire à gaz liquide jumelée à un système de ventilation naturelle ainsi qu'un système de ventilation naturelle avec chauffage convectif d'urgence. La pompe à chaleur a pu maintenir la température et le taux d'humidité à des niveaux optimaux de productivité (26,2 °C et 64,2 % respectivement). De plus, la pièce chauffée par la pompe à chaleur maintenait des écarts de température plus faibles que les chambres chauffées par les autres systèmes. La pompe à chaleur a également permis des économies d'énergie et ce, avec une consommation énergétique 11 % inférieure à celle de la bouilloire à gaz liquide. Sur une période de 2 ans, ces auteurs ont étudié le gain de poids des porcelets selon les systèmes de chauffage testés. Les porcelets de la chambre équipée de la pompe à la chaleur ont obtenu un gain de poids supérieur (jusqu'à 10 % environ) comparativement aux autres systèmes de chauffage visés par l'étude.

L'efficacité de la pompe à chaleur a aussi été démontrée par Nawrocki et al. (2000) lors d'une étude réalisée en Pologne dans un élevage porcin d'engraissement sur litière profonde. Le système testé comprenait un échangeur de chaleur relativement simple constitué de tuyaux de polyéthylène intégrés au plancher de béton recouvert de litière. Le système comprenait également une pompe à chaleur (CETUS 14). L'étude a été menée dans une chambre d'élevage contenant un parc de 80 porcs à l'engraissement. La chaleur ainsi récupérée a été utilisée pour le chauffage de la chambre d'une surface de 40 m². La chaleur produite par la fermentation de la litière et captée par la pompe à chaleur a été suffisante pour maintenir une température de 18-21 °C de la pièce en période hivernale. Les économies potentielles d'énergie n'ont toutefois pas été quantifiées. L'augmentation de la température lors du processus de fermentation a pour effet d'augmenter les émissions d'ammoniac produites par la litière. Le fait de récupérer une partie de la chaleur par le système a pour effet de réduire la température de la litière et donc de diminuer les émissions d'ammoniac. Comparativement à une autre chambre d'élevage (témoin), l'utilisation d'une pompe à chaleur n'a pas eu pour effet de modifier l'humidité, la température de l'air ambiant ainsi que la fermentation de la litière.

4.6.3 Technologies à faibles dépenses énergétiques

Des appareils spécifiques ayant une consommation énergétique faible, comparativement à d'autres modèles de même type, sont à prioriser dans un esprit de développement durable. À ce sujet, Xin et al. (1997) ont comparé pendant une année les dépenses énergétiques, les performances de production (gain de poids des porcelets) et l'impact économique de la production des lampes chauffantes infrarouges utilisées dans les maternités pour garder les porcelets au chaud. Deux types de lampe ont été étudiés, l'une conventionnelle avec une ampoule de 250 W et l'autre utilisant une ampoule de 175 W. L'étude a révélé que l'utilisation des lampes à 175 W était responsable d'économies de 36 \$/année/lampe, en considérant un tarif de 0,10 \$/kWh (économies directes), ainsi qu'en diminuant la ventilation (économies indirectes) (Xin et al., 1997). Une diminution des bris des lampes de 45 % a aussi été observée, provoquant ainsi une économie de temps pour les ouvriers. Les avantages se répercutent également sur la production, une baisse de 1,2 % de mortalité des porcelets ainsi qu'un léger gain de poids ont été observés (Xin et al., 1997). Cette solution, quoique très simple, s'avère donc avantageuse sur le plan de l'efficacité énergétique.

4.6.4 Énergies alternatives

Plusieurs types de stratégies peuvent être employés pour capter de l'énergie et utiliser cette dernière afin de diminuer la consommation électrique ou de combustible fossile des bâtiments porcins. L'énergie solaire et la géothermie constituent les deux principales sources d'énergie alternative identifiées. Une étude de Sokhansanj et al. (1990), effectuée en Saskatchewan, révèle que les pertes de chaleur des bâtiments porcins bien isolés, en climat froid, sont causées à 75 % par le système de ventilation. En réchauffant de 10-15 °C l'air extérieur entrant pour ventiler le bâtiment, 60 – 70 % des coûts totaux annuels du chauffage sont comblés. Afin de chauffer cet air, l'utilisation de l'énergie solaire a été envisagée. Dans l'étude de Sokhansanj et al. (1990), des collecteurs ont été installés sur les murs extérieurs du bâtiment les plus ensoleillés. Deux modèles de collecteurs ont été mis à l'essai, l'un comprenant des éperons d'aluminium ainsi qu'un panneau en fibre de verre et l'autre une membrane d'acier et un panneau ondulé en fibre de verre (figure 29). Grâce à ces structures (technologies à énergie solaire passive), l'air de ventilation provenant de l'extérieur est réchauffé par l'énergie solaire avant d'être introduit à l'intérieur du bâtiment. Selon les résultats présentés, ces structures ont une efficacité accumulative de chaleur de 61 %. La quantité de chaleur captée, utilisée comme énergie d'appoint, peut devenir en excès. Des accumulateurs de chaleur peuvent alors être prévus afin d'entreposer cette dernière pour une utilisation lors de périodes sans ensoleillement. Deux accumulateurs, l'un composé d'eau et l'autre de sel de Glauber, ont été testés. L'eau a une capacité d'accumulation thermique de $4200 \text{ kJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$. Lors de son changement de phase à 0 °C, un dégagement d'énergie de 317 kJ kg^{-1} lors du gel a lieu, ainsi qu'un stockage de la même quantité d'énergie lors du dégel. Pour le sel de Glauber, le changement de phase s'effectue à 32 °C et un dégagement/stockage d'énergie de 238 kJ kg^{-1} a lieu. L'eau, comme accumulateur de chaleur, s'est révélée plus efficace que le sel de Glauber à des températures oscillant entre 0 et – 20 °C. L'utilisation de ce système, couplant les collecteurs et les accumulateurs, a permis de contribuer, pour un an, à 48 % du chauffage du bâtiment porcin.

Toujours dans un esprit d'efficacité énergétique, une porcherie de type pouponnière a été conçue en Caroline du Sud (États-Unis) sous l'appellation CULESS (Clemson University Low Energy

Swine System). Cette porcherie a été comparée à des bâtiments conventionnels. Elle possède des planchers chauffants, une ventilation naturelle et un chauffage par énergie solaire passive. Une étude menée par Harmon et al. (1994) l'a comparée à une maternité utilisant une ventilation mécanique. Les résultats ressortant de cette recherche démontrent que le chauffage du bâtiment porcin CULESS, par les planchers radiants, est efficace et durable pour ce type d'établissement et que la dépense énergétique pour le chauffage et la ventilation naturelle est moindre que l'estimation d'un bâtiment avec environnement contrôlé. Les auteurs ont aussi démontré que ces chambres isolées et chauffées des bâtiments CULESS, malgré une légère diminution du gain de poids quotidien et d'une mortalité comparable aux bâtiments conventionnels, constituent un environnement satisfaisant pour les porcelets. Une deuxième étude utilisant la porcherie CULESS, menée cette fois par Christenbury et al. (1991), arrive aux mêmes conclusions.

Lors de notre recherche littéraire, très peu de documents traitant de la géothermie ont été répertoriés, malgré le fait qu'il y ait plusieurs documents techniques traitant de ce sujet au Québec (Groupe Agéco, 2006).

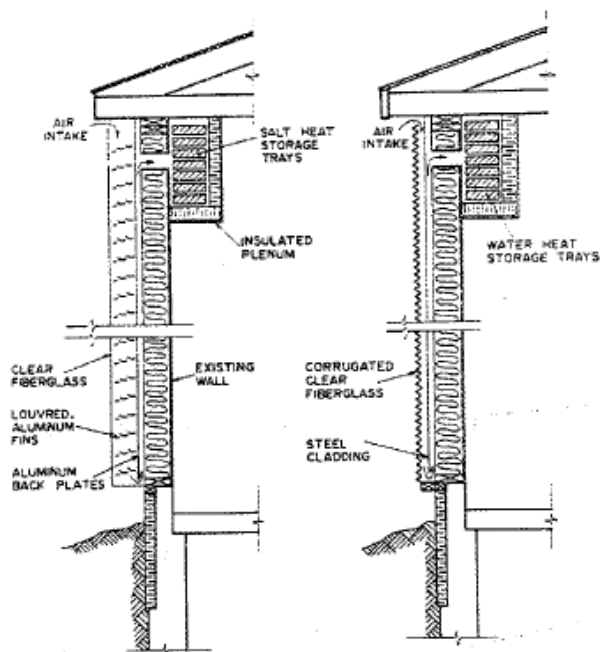


Figure 29. Aperçu des collecteurs d'énergie solaire.

Tirée de Sokhansanj et al. (1990)

5 Conclusion

L'approche de revue systématique utilisée pour réaliser cette revue de littérature a permis de regrouper la littérature pertinente et de grande qualité. L'approche par créneaux a permis d'organiser la recherche et le texte de façon efficace. Les éléments les plus importants concernant la régie, l'alimentation et le bien-être pour l'établissement d'un concept de bâtiment porcin durable du futur ont été soulevés. En considérant les différents modes de logement et concepts au chapitre des performances, du comportement et du bien-être, il semblerait que l'élevage tel que conçu par les acteurs actuels soit toujours celui le plus en vogue. La maternité devrait s'en maintenir aux logements qui lui ont servi de tremplin pour une meilleure productivité, c'est-à-dire la stalle individuelle et la cage de mise bas. Malgré tout, il faudra surveiller l'ampleur que prendront les lois européennes en matière de bien-être, car les systèmes DAC pourraient être l'avenir de l'hébergement de groupes en gestation. Aussi, pour conserver une biosécurité de pointe, la conduite en bandes, surtout celle aux trois semaines, pourrait s'étendre comme méthode de gestion du troupeau. Après le sevrage, les porcelets seraient amenés en pouponnière, puis en engraissement où les grands groupes avec stations de tri prévaudraient. Selon les auteurs, la ventilation centralisée aurait plusieurs avantages. Selon la littérature, les systèmes biologiques seraient à favoriser pour les traitements de l'air et des déjections. Le gain à obtenir avec l'efficacité énergétique est faible par rapport au coût global de production et les efforts à ce niveau devraient surtout être concentrés sur les bâtiments de maternité et de pouponnière où les besoins en chauffage sont plus importants.

Malheureusement, il y a peu d'informations sur l'architecture des bâtiments agricoles. La revue des matériaux indique que le béton est là pour demeurer. Toutefois, certains recouvrements pourraient être utilisés pour réduire la détérioration des surfaces en béton.

CHAPITRE 3 : LES DIFFÉRENTS PROGRAMMES DE CERTIFICATION

1 Introduction

L'étude des systèmes de certification environnementale des bâtiments consiste à recenser les principaux systèmes existants, à réviser les derniers développements dans ce domaine et à identifier quels seraient les meilleurs systèmes pour la certification d'un concept de bâtiment porcin vert. Cette étude a été réalisée par la Direction d'information stratégique du CRIQ sous la responsabilité de Vincent Vallée, technicien en information. Les informations ont été récupérées principalement sur Internet par le biais du moteur de recherche Google. Pour chaque système, des informations telles que des statistiques sur le nombre de projets certifiés et leur répartition en fonction notamment du pays d'origine et du type de bâtiments (édifice à bureau, usine manufacturière, bâtiment agricole, etc.) ont été répertoriées. Finalement, des contacts téléphoniques avec des personnes ressources des organisations identifiées par les sites web ont été faits afin d'obtenir, au besoin, des informations plus détaillées.

La recherche et la mise à jour des informations concernant les systèmes de certification environnementale et d'écoconception de bâtiments ont permis de recenser les principales organisations actives en Amérique du Nord et en Europe dans ce domaine, à savoir LEED, BREEAM, Green Globes, Go Green/Visez vert de BOMA, HQE et ISO.

2 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), développé par le U.S. Green Building Council (USGBC), est le système de certification environnementale de bâtiments le plus reconnu en Amérique du Nord. En 2008, environ 1 700 projets commerciaux étaient déjà certifiés LEED et cela principalement aux États-Unis (figure 30). On retrouve également une centaine de bâtiments canadiens (3 %), ainsi qu'une petite proportion de projets provenant des pays en émergence, tels que la Chine et l'Inde (1 % chacun). La figure 31 montre que les deux tiers des projets certifiés LEED sont des édifices à bureau (41 %) et des bâtiments d'enseignement (25 %). Aucun bâtiment agricole (élevage ou autre) n'a été certifié LEED à ce jour.

Les critères d'évaluation de ce système sont l'aménagement écologique des sites, la gestion efficace de l'eau, l'énergie et l'atmosphère, les matériaux et ressources, la qualité des environnements intérieurs ainsi que l'innovation et le processus de design. Ces critères couvrent donc les volets environnemental et économique du développement durable. Présentement, aucun volet du système LEED ne s'applique au domaine agricole. Par contre, la version LEED EB (Existing Building) (Operation and Maintenance) permet une évaluation des opérations, donc un regard non seulement ponctuel sur les activités de production, mais pouvant offrir une évaluation dans le temps. Il s'agit d'une caractéristique indispensable afin d'instaurer une méthode d'évaluation continue. Cependant, LEED ne tient pas compte de l'analyse du cycle de vie (ACV), ni des considérations sociales et il est très rigide quant à son adaptabilité régionale. De plus, la certification canadienne d'aménagement forestier CSA n'est pas reconnue par ce dernier, rendant presque toute utilisation du bois canadien problématique. Effectivement, ce système ne reconnaît que la certification FSC, qui ne représente que 18 % des superficies des forêts

certifiées au Canada. Le point fort de ce système est donc sa notoriété acquise en Amérique du Nord.

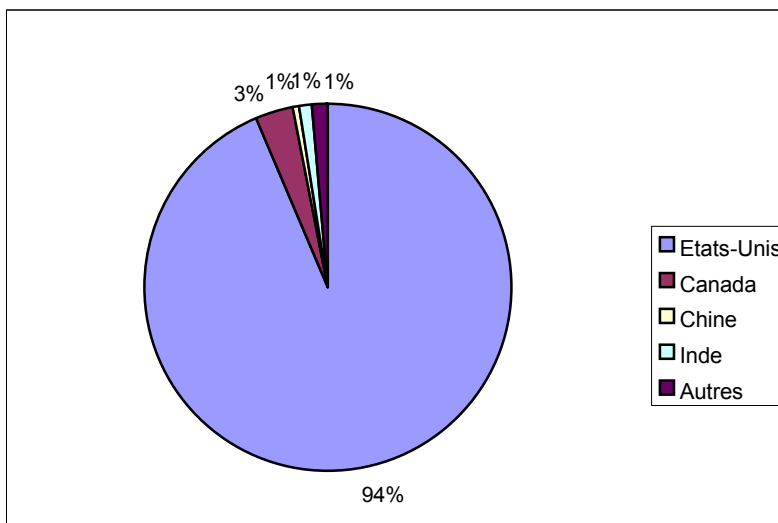


Figure 30. Répartition des projets certifiés LEED en fonction de leur pays de provenance.

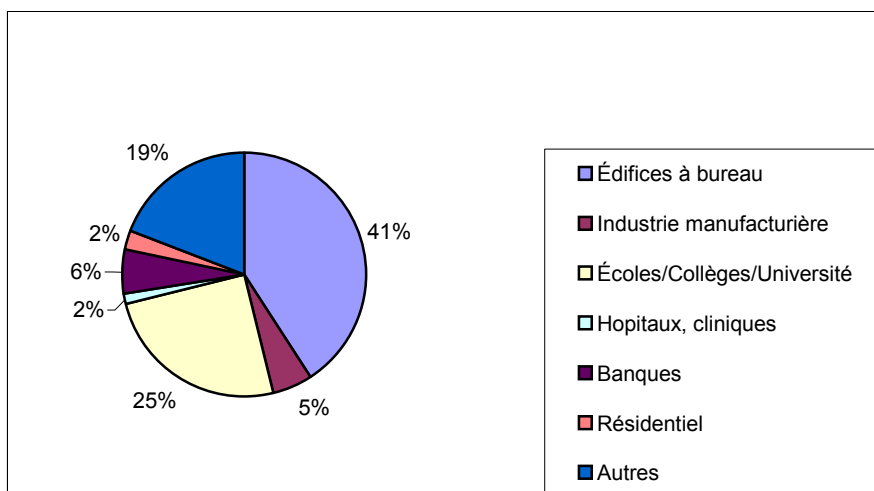


Figure 31. Répartition des projets certifiés LEED en fonction de l'utilisation du bâtiment.

Un volet canadien de LEED existe sous l'appellation LEED CA. Mis en place par le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa), il s'agit de la version américaine mais conçue en fonction des climats, pratiques de construction et règlements canadiens. En 2008, 113 bâtiments étaient certifiés LEED CA. L'utilisation éventuelle du système LEED pour la reconnaissance d'un bâtiment porcin durable sur le territoire canadien devra, si un concept est mis en œuvre, s'effectuer par cette version canadienne.

3 BREEAM et les programmes Green

3.1 Breeam

Un autre système d'évaluation et certification environnementale en importance a été conçu par la BRE (Building Research Establishment) et se nomme BREEAM (BRE Environmental Assessment Method). BREEAM concentre ses activités en Grande-Bretagne, en Europe et au Moyen-Orient. En février 2008, plus de 100 000 unités étaient certifiées selon une des versions de ce système. L'évaluation des bâtiments par BREEAM se fait avec les critères suivants : gestion du chantier et des procédures, énergie, santé et bien-être, pollution de l'air et de l'eau, transport (facteurs liés à la production de CO₂), usage du terrain et écologie, matériaux (tenant compte de leur cycle de vie), utilisation optimale de l'eau ainsi que les rejets et déchets. BREEAM couvre donc les volets environnemental, économique et social du développement durable en plus de l'ACV. Depuis la fin de 2008, BREEAM possède aussi un volet d'évaluation des opérations et de l'entretien, afin de faire une évaluation en continu du bâtiment (BREEAM In-use). Aucune version du système BREEAM ne s'applique aux bâtiments agricoles, car elles ont toutes été conçues pour des bâtiments occupés par des humains.

La notoriété et la qualité de ce système ont fait en sorte qu'il est le point de départ pour plusieurs systèmes d'évaluation et certification environnementale en Amérique du Nord, principalement au Canada. La Canadian Standards Association (CSA) s'est basée sur le système BREEAM pour produire, en 1996, *BREEAM Canada pour les bâtiments existants*. En 1999, ECD Energy and Environment ainsi que TerraChoice le simplifient pour développer *BREEAM Green Leaf*. Jusqu'en 2000, ce système a évolué constamment pour devenir *Green Globes for Existing Buildings*. Il a de nouveau été modifié et une seconde version, applicable aux bâtiments neufs, a vu le jour. Green Globes est ensuite adopté par deux organismes : The Building Owners and Managers Association of Canada (BOMA), connus maintenant sous les noms de Go Green/Visez vert, et le Green building initiative (GBI), qui acquièrent les droits de Green Globes pour leur utilisation aux États-Unis. Les quatre systèmes suivants sont donc tous issus du système de certification environnementale BREEAM.

3.2 Green Globes Design for New Buildings and Retrofits

3.2.1 Description générale

Ce système est un guide pour l'intégration des principes de design écologique et un protocole d'évaluation accessible par le Web. Plusieurs catégories (7) servent à l'évaluation des bâtiments, soit la gestion du projet, le site, l'énergie, l'eau, les ressources (tenant compte du cycle de vie des matériaux), les émissions et effluents ainsi que la qualité de l'environnement intérieur. Les aspects environnemental et économique sont couverts, contrairement à l'aspect social. Ce système d'évaluation se fait en deux étapes, soit l'évaluation préliminaire à l'étape du concept initial et l'évaluation finale à l'étape des documents de construction. Green Globes tient compte de différentes certifications forestières, dont FSC, SFI et CSA (cette dernière étant en importance au Canada).

3.2.2 Go Green/Visez vert

Go Green/Visez vert de BOMA est un programme national de reconnaissance et de certification environnementale pour les bâtiments commerciaux existants. Ce système utilise 10 critères répartis en 5 catégories : Ressources (1. réduction de la consommation d'énergie, 2. réduction de la consommation d'eau potable), Déchets de construction et recyclage (3. gestion des déchets de construction, 4. recyclage), Matériaux de construction (5. gestion des produits dangereux, 6. utilisation de matériaux sains et recyclés, 7. gestion des substances appauvrissant la couche d'ozone), Environnement intérieur (8. qualité de l'air intérieur, 9. maintenance des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation) et Sensibilisation des occupants (10. programme de communication). Toutefois, les critères d'acceptabilité sociale liés aux principes du développement durable ne sont pas pris en compte par ce système. En décembre 2007, 155 bâtiments commerciaux avaient obtenu la certification Go Green/Visez vert.

3.2.3 Go Green Plus/Visez vert Plus

Go Green Plus/Visez vert Plus est un outil d'étalonnage en ligne permettant de mesurer avec précision la performance environnementale d'un bâtiment par rapport au référentiel Go Green/Visez vert. Cette certification permet d'élaborer des plans d'action d'économie de ressources et de réduction de déchets, de valoriser la qualité environnementale d'un immeuble en termes de marketing et de relation avec les locataires ainsi que de favoriser une sensibilité écologique accrue dans la conception et l'exploitation d'immeubles. Comme le système Go Green/Visez vert, le volet social n'est pas considéré. En date de décembre 2007, le nombre de bâtiments certifiés Go Green Plus/Visez vert Plus était de 28.

3.2.4 Green Globes GBI

Green Globes GBI (aux États-Unis) possède les mêmes critères d'évaluation que son homologue canadien. Le volet social du développement durable n'est donc pas couvert. La version *Green Globes™ Continual Improvement for Existing Buildings* contient des applications Web permettant d'évaluer, de quantifier et d'améliorer la performance environnementale des bâtiments. Cette version intègre les meilleures pratiques de gestion et d'opération des bâtiments. Elle fournit également des suggestions d'amélioration et des liens Web vers les technologies de construction verte. Ces dernières ont pour objectifs d'économiser l'énergie, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de conserver les ressources en eau et de réduire les autres sources de pollution. Comme son nom l'indique (*Continual Improvement*), une évaluation du bâtiment dans le temps est donc possible. Green Globes GBI distribue gratuitement le *Green Globes™ LCA Credit Calculator*. Cet outil, basé sur ATHENA®, permet de comprendre l'impact écologique des choix de matériaux, pour l'ensemble de leur cycle de vie. Ce système tient donc compte de l'ACV.

3.3 Démarche HQE (France)

L'Association HQE (Haute qualité environnementale) en France a mis sur pied le système Démarche HQE. Ce dernier est une démarche volontaire de management de la qualité environnementale des opérations de construction ou de réhabilitation de bâtiments. La Démarche HQE se base sur 14 cibles réparties dans plusieurs catégories (figure 32). Ce système intègre

dans sa certification les notions de cycle de vie des matériaux et du bâtiment en considérant sa démolition éventuelle de même que la gestion et maintenance du bâtiment.

MAÎTRISER LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR	CRÉER UN ESPACE INTÉRIEUR SAIN ET CONFORTABLE
<p>ECO-CONSTRUCTION</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 Relation du bâtiment avec son environnement immédiat ▶ 2 Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction ▶ 3 Chantier à faible impact environnemental <p>ECO-GESTION</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 4 Gestion de l'énergie ▶ 5 Gestion de l'eau ▶ 6 Gestion des déchets d'activités ▶ 7 Maintenance-Pérennité des performances environnementales 	<p>CONFORT</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 8 Confort hygrothermique ▶ 9 Confort acoustique ▶ 10 Confort visuel ▶ 11 Confort olfactif <p>SANTÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 12 Qualité sanitaire des espaces ▶ 13 Qualité sanitaire de l'air ▶ 14 Qualité sanitaire de l'eau

Figure 32. Cibles du système Démarche HQE.

HQE travaille présentement à l'établissement d'un programme d'évaluation environnementale des bâtiments d'élevage, dans le cadre d'un programme de recherche mené par l'Institut de l'élevage, intitulé « Éco-construction et bâtiments d'élevage ». Ces travaux français démontrent un intérêt réellement présent quant à l'instauration de bâtiments agricoles respectant le développement durable et justifient l'intérêt des producteurs porcins québécois à l'établissement de tels bâtiments.

3.4 SBTool 2007

Le dernier système d'évaluation et certification environnementale présenté dans le survol a été développé dans le cadre du Green Building Challenge (GBC), une initiative de Ressources naturelles Canada (RNC) mise de l'avant en 1996. Ce système a été conçu sous la forme de logiciels et s'intitule Green Building Tool (GBTool). Ce logiciel a évolué pour devenir, en 2007, le Sustainable Building Tool 2007. SBTool 2007 est géré depuis 2002 par l'organisme International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE). Le SBTool 2007 est une plate-forme générique permettant de classifier la performance environnementale et la durabilité des bâtiments. C'est également une trousse d'outils permettant de mettre au point des systèmes de classification. Sa pondération est donc modifiable et peut s'adapter à l'environnement de chaque région où il peut être implanté, grâce à la modification de la pondération des critères. Une version SBTool 2007 développée avec le savoir local est susceptible d'être beaucoup plus pertinente que les autres systèmes d'évaluation (Larsson, 2007). De plus, il couvre les trois volets du développement durable (le volet social étant souvent négligé par les autres systèmes). Le SBTool 2007 est le plus flexible des systèmes observés. Il peut être utilisé pour de petits ou de grands projets, résidentiels ou commerciaux, pour des bâtiments neufs ou existants ou une combinaison des deux.

3.5 Autres systèmes

D'autres systèmes d'évaluation et de certification environnementale de bâtiments existent. Ils peuvent être d'ordre national, régional (états) et municipal. En voici quelques-uns : The Toronto Green Development Standard (Canada) d'ordre municipal, le Built Green Colorado (États-Unis) d'ordre régional ainsi que le NAHB National Green Building Program (États-Unis), le Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) (Japon), le PromisE (Finlande), le Green Star (Australie) et le National Australian Built Environment Rating System (NABERS) (Australie) d'ordre national.

Outre les systèmes d'évaluation et de certification environnementale, la nouvelle norme *Développement durable dans la construction – Principes généraux* (ISO 15392), mise en place par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) en 2008, pourrait être avantageuse pour la construction de nouvelles porcheries durables. La norme ISO 15392 établit une base commune de communication des informations entre les parties intéressées et est applicable aux bâtiments et ouvrages de construction dans une approche « du berceau au tombeau ». Les éléments fondamentaux de cette norme sont adaptés aux bâtiments et autres ouvrages de construction individuels et collectifs ainsi qu'aux matériaux, produits, services et processus. Les principes élaborés dans cette norme tiennent compte du fait que l'enjeu du développement durable est global mais que les stratégies de développement durable applicables dans la construction sont locales et différentes, quant au contexte et au contenu, d'une région à l'autre. Cette norme reconnaît que ces stratégies reflèteront le contexte, les conditions préalables et les priorités et besoins, non seulement dans le cadre bâti mais également dans l'environnement social. Ce dernier comprend l'équité sociale, les aspects culturels, les traditions, le patrimoine, la santé, le confort, l'infrastructure sociale et la sécurité sanitaire des environnements.

4 Conclusion

Comme il a été montré, il existe plusieurs systèmes d'évaluation et de certification environnementale et d'écoconception de bâtiments. Tous ont leurs avantages et inconvénients ainsi qu'un mode de fonctionnement distinct. Il est important de mentionner qu'aucun des systèmes répertoriés ne s'applique aux bâtiments agricoles. Seule, la démarche HQE projette la mise en œuvre, en collaboration avec l'Institut d'élevage en France, d'un système d'évaluation environnementale spécifiquement conçu pour les bâtiments d'élevage sur litière. Les développements dans le cadre de ce projet seront à surveiller. L'inscription d'un bâtiment porcin durable québécois à l'un ou l'autre de ces systèmes de certification environnementale constituerait donc une première. Étant donné la complexité de certains systèmes (démarches administratives et techniques parfois coûteuses), il faut donc s'interroger sur l'impact que pourraient avoir les différents systèmes de certification sur l'augmentation de l'acceptabilité sociale des entreprises porcines afin de justifier une telle démarche.

CHAPITRE 4 : UN NOUVEAU CONCEPT DE SYSTÈME DURABLE DE PRODUCTION PORCINE

1 Introduction

Cette section consiste à développer un concept original pour l'établissement d'un système de production porcine durable. Afin de bien camper les travaux, il est de mise de rappeler les limites de l'étude, soit que :

- le concept a été développé en considérant qu'un nouveau bâtiment était construit. Donc, les contraintes reliées aux travaux de rénovation n'ont pas été considérées;
- la vitalité économique du secteur n'était pas remise en cause et que tous les animaux produits selon le nouveau concept trouvaient preneur;
- la société avait une perception positive de la production porcine et des bâtiments porcins.

De plus, compte tenu qu'il n'a pas été possible de cerner entièrement les aspects sanitaire et vétérinaire reliés aux différents concepts de quarantaine, la présente étude n'a donc pas considéré cette section ou bâtiment dans le nouveau concept. Également, l'équipe scientifique ne porte aucun jugement quant à la pertinence ou non de l'existence du bâtiment ou de la section quarantaine à l'intérieur du système de production. Finalement, pour les mêmes raisons, les auteurs ne traitent pas de l'âge de sevrage.

2 Méthodologie

Le système de production porcine est un agencement complexe de différentes techniques et technologies toutes interreliées les unes aux les autres. La méthodologie devait tenir compte de cet aspect. L'approche préconisée s'articule autour d'un comité formé de cinq experts en agroenvironnement et était réalisée en trois étapes, soit :

1. Lecture de la revue de littérature et du survol des différents systèmes de certification et réflexion individuelle;
2. Discussions et échanges sur les revues et les points de vue de chacun;
3. Rencontre de remue-méninge et établissement d'un consensus autour d'un concept de gestion et de construction d'une unité d'élevage porcin.

3 Discussion

Les membres du comité sont unanimes à l'effet qu'un système de production porcine durable doit être économiquement viable, socialement acceptable et en harmonie avec l'environnement. Lors des discussions, il est apparu que pour être durable, le système de production porcin du futur doit être en équilibre agronomique. Cela sous-entend que les systèmes sans sol sont voués à disparaître. Avec l'avènement de la limite reliée au phosphore, il n'est vraiment pas évident d'être en harmonie avec l'environnement à l'échelle provinciale. En effet, fertiliser sur une base

azote amène une accumulation du phosphore dans le sol alors qu'une fertilisation sur une base phosphore peut imposer (pour certaines cultures) l'importation sur la ferme de fertilisants de synthèse azotés. D'un point de vue environnemental, la fabrication et le transport de ces fertilisants sur de longues distances génèrent notamment une production importante de gaz à effet de serre. Dans le cadre d'un système de production durable, il serait avantageux que les déjections produites soient valorisées le plus possible sur les terres agricoles possédées ou gérées par l'entreprise. Dans ce contexte, il serait intéressant d'avoir accès à un lisier adapté aux besoins spécifiques des cultures en matière d'éléments fertilisants. Donc, la séparation de phase pourrait permettre de gérer deux phases distinctes (l'une riche en azote et l'autre en phosphore) à l'aide de techniques spécialement développées pour reconstituer un lisier adapté au plan annuel de fertilisation.

En gestation, il est difficile d'en arriver à un concept unanime. L'évolution du mode de logement vers la stalle individuelle depuis 1960 a permis d'améliorer les performances et les rendements des entreprises porcines. Mais les dernières normes européennes au chapitre du bien-être font leur chemin jusqu'en Amérique du Nord. Ainsi, les logements en groupes reprennent vie. À ce sujet, les nouvelles technologies des systèmes de distribution d'aliments individuels automatisés ou encore les systèmes de tri ont un important potentiel. De plus, ces systèmes permettent aux truies de s'alimenter en un lieu sûr et une gestion efficace de l'effectif.

La cage individuelle devrait demeurer au moins dans les bâtiments pour les truies qui en sont à leurs 30 premiers jours de gestation. Par la suite, il est difficile de tirer une recommandation claire de la littérature. Toutefois, il est évident que les truies en gestation seront soit en grands groupes ou dans des stalles nouveau genre. En salle de maternité, le même problème se pose. Le bien-être des truies à l'intérieur des cages de mise bas conventionnelles est remis en question, même si elles sont utilisées par environ 92 % des producteurs. Le confinement et l'absence de litière (dans la majeure partie des cas) ne permettraient pas aux truies de procéder à leurs comportements naturels comme la nidification. Mais à la base, la cage de mise bas a été conçue dans le but de réduire la mortalité chez les porcelets durant les premiers jours après parturition. Même si plusieurs alternatives ont été avancées telles que les « turnaround crates », la « Ottawa crate », la « Schmid box », ou bien les paddocks et les niches intérieures comme extérieures, les résultats ne sont pas encore concluants. Des systèmes hybrides combinant la contention de la truie durant sept jours avant d'être libérée pour le reste de la période de lactation en groupes ne donnent pas de bons résultats. En effet, les taux mortalité ont tendance à être plus élevés lorsque la truie et sa portée se retrouvent en groupes. Quoi qu'il en soit, la cage de mise bas demeure encore aujourd'hui la meilleure option pour loger les truies et leurs porcelets. Que ce soit en pouponnière ou en engraissement, il semble évident que l'approche en grands groupes sera celle du futur. Il reste toutefois des travaux de recherche à réaliser pour connaître les densités et les aménagements optimaux. Il y a eu quelques travaux sur l'approche « wean-to-finish », toutefois, le comité est d'avis que cette approche a peu d'avenir.

Il existe d'autres alternatives aux bâtiments conventionnels de post-sevrage comme notamment les systèmes de logement extérieur. Ceux-ci contiennent entre autres les pâturages ou les abris partiellement ouverts sur litière (« kennels », « hoop barns », etc.). Ces systèmes peuvent paraître intéressants. Toutefois, ils n'ont pas été évalués dans des conditions climatiques aussi rigoureuses qu'au Québec et les aspects liés aux contrôles sanitaires s'intègrent difficilement.

Les alternatives intérieures aux bâtiments conventionnels se résument principalement aux élevages en gestion solide. Même si seulement 1 % des porcs québécois sont logés sur litière, il n'en reste pas moins que ce mode de logement semble être plus adapté au bien-être porcin. D'un autre côté, plusieurs auteurs s'accordent pour dire que les performances en élevage traditionnel sur lattes sont supérieures aux élevages sur litière. Toutefois, les planchers partiellement lattés seront de plus en plus utilisés par les producteurs. Les coûts (achat des intrants et main-d'œuvre) et la disponibilité de la litière sont les principaux éléments qui limitent l'adoption de cette pratique d'élevage.

Il semble que la conduite en bandes soit celle qui soit maintenant la plus adaptée au contexte d'élevage actuel, malgré quelques inconvénients relatifs au mélange des bandes. Cette méthode assurerait un contrôle sanitaire de la production en évitant les contacts entre les bandes de porcs qui peuvent être logés dans différentes salles, une amélioration du GMQ et de la charge de travail de l'éleveur. Même s'il existe différents types de conduite, la conduite aux trois semaines semble celle à privilégier, car elle s'adapte à la majorité des tailles d'entreprise, assure un vide sanitaire en maternité d'une semaine et correspond au cycle naturel de la truie.

Finalement, toutes les unités doivent être ventilées de façon optimale pour assurer le confort et le maintien des conditions d'ambiance. Même s'il est reconnu que la ventilation naturelle soit la technique la moins coûteuse, tout en assurant une certaine efficacité dans les bâtiments où il est possible de le faire, les ouvrages consultés portaient principalement sur différentes variantes de la ventilation mécanique. Selon le comité d'experts, le concept de ventilation mécanique centralisée sera celui qui s'imposera au cours des prochaines années. Le maintien facile des conditions microclimatiques et la réduction considérable du bruit à l'intérieur des bâtiments en raison de l'absence des ventilateurs favorisent leur implantation. De plus, dans le cadre d'une porcherie durable, les possibilités de traitement d'air et de récupération de chaleur que ce système permet lui valent un intérêt particulier.

Par le passé, les projets de construction agricole n'étaient pas vraiment soumis à l'obligation d'être encadrés par un architecte et c'était l'ingénieur qui le concevait en totalité. Le bâtiment était donc construit que pour un rôle fonctionnel. L'aspect architecture délaissé depuis plusieurs années devrait reprendre sa place afin de développer de nouveaux styles de bâtiment s'intégrant au milieu.

L'utilisation de béton plus résistant à la corrosion et aux attaques des divers produits retrouvés dans les porcheries (gaz, résidus solides et liquides) est à favoriser afin d'augmenter la durée de vie utile des bâtiments d'élevage. Dans certains cas, l'application de recouvrements spéciaux à des endroits stratégiques devrait être envisagée (mangeoires, abreuvoirs, caniveaux). Aucun document traitant de matériaux recyclés ou valorisés en installation porcine n'a pu être identifié à partir de la stratégie de recherche utilisée. Ce manque de documentation vient souligner un important besoin de recherche dans le domaine des matériaux utilisés dans la conception des bâtiments porcins. Le choix des matériaux testés ou développés devrait être appuyé par des notions d'écoconception appliquée et d'analyse du cycle de vie.

L'analyse systématique de l'ensemble de la littérature sur le traitement de l'air démontre qu'actuellement il n'existe pas de technologies permettant la réduction efficace des odeurs, poussières, NH₃, H₂S et des COV émis par les bâtiments agricoles. Plusieurs des technologies présentent des configurations similaires tout en étant à la fois différentes sur le plan du principe

de fonctionnement. Il serait donc possible de convertir certains de ces équipements afin qu'ils effectuent un traitement différent de celui auquel ils étaient destinés. Cependant, les technologies qui auraient le plus grand potentiel d'application pour réduire les contaminants devraient, selon toute vraisemblance, provenir de la combinaison de systèmes de traitement de l'air existants. En effet, la combinaison d'une unité de lavage de l'air (scrubbing) et d'un lit bactérien ou la combinaison d'un lit bactérien et d'un biofiltre pourrait constituer une solution plus intéressante que les technologies utilisées individuellement. Par contre, il n'existe pas d'informations dans la littérature sur l'efficacité de traitement de ces différentes combinaisons de technologies.

Une grande variété de traitements des déjections porcines existe comme le laissent voir les différentes sources d'information citées précédemment. Ces systèmes de traitement peuvent intégrer plus d'une technologie afin de répondre adéquatement aux attentes environnementales. Toutefois, dans un contexte durable, il serait avantageux de privilégier les traitements biologiques. Ces derniers peuvent être divisés en deux grandes catégories soit, les procédés de digestion aérobie et anaérobie. Cette dernière catégorie peut-être particulièrement intéressante pour la réduction des gaz à effet de serre lorsqu'elle est couplée à une valorisation énergétique.

Finalement, comme il a été montré, il existe plusieurs systèmes d'évaluation et de certification environnementale et d'écoconception des bâtiments. Tous ont leurs avantages et inconvénients ainsi qu'un mode de fonctionnement distinct. Il est important de mentionner qu'aucun des systèmes répertoriés ne s'applique aux bâtiments agricoles. Seule, la démarche HQE projette la mise en œuvre en collaboration avec l'Institut d'élevage en France d'un système d'évaluation environnementale spécifiquement conçu pour les bâtiments d'élevage. Les développements dans le cadre de ce projet seront à surveiller. L'inscription d'un bâtiment porcin durable québécois à l'un ou l'autre de ces systèmes de certification environnementale constituerait donc une première et les experts sont d'avis que la pression sera grande pour mettre en place un tel système. Cela pourrait se mettre dans la même foulée de bien positionner le porc du Québec sur le plan mondial. Toutefois, vu la complexité de certains systèmes (démarches administratives et techniques parfois coûteuses), il faut s'interroger sur l'impact que pourraient avoir les différents systèmes de certification sur l'augmentation de l'acceptabilité sociale des entreprises porcines afin de justifier une telle démarche. Pour les bâtiments porcins et la filière, l'idéal serait un programme basé sur une combinaison des normes HACCP, ISO, Traçabilité et LEED.

4 Établissement du concept

4.1 Aspects généraux pour tous les stades de production

Basé sur les différentes informations et discussions, il apparaît que le système de production durable devrait insérer des éléments incontournables aux yeux des experts. Dans son ensemble, la conception des bâtiments de production porcine devrait :

- Adopter une approche uniformisée de conception et d'implantation selon des critères précis intégrant des notions d'écoconception;
- Utiliser une architecture permettant une intégration au paysage et au patrimoine architectural régional. Les recouvrements extérieurs de bois devraient être favorisés puisqu'ils peuvent améliorer l'allure générale (texture, couleur, esthétique, etc.) tout en étant plus écologiques. Cet aspect pourrait être accompagné d'un programme inspiré des normes existantes de certification environnementale de bâtiment, tel LEED;
- favoriser la lumière naturelle (puits de lumière, couloir central avec éclairage naturel, etc.);
- permettre le captage des eaux de pluie et pouvoir être utilisé pour le lavage par exemple;
- favoriser l'aménagement pour élever les porcs en grands groupes;
- permettre l'implantation de systèmes d'alimentation automatique avec puce sur les animaux facilitant la traçabilité et l'alimentation dynamique;
- obligatoirement imposer un toit, d'une allure lui permettant de s'intégrer au paysage, sur toutes les structures d'entreposage;
- prévoir l'aménagement de plusieurs silos et systèmes d'alimentation pour une alimentation dynamique la plus près possible des besoins de l'animal et réduisant les rejets;
- prévoir dans l'approche globale un accès vers l'extérieur pour le bétail. Même si cela semble peu probable selon les experts, il serait préférable d'envisager que cette option puisse être ajoutée plusieurs années après la construction;
- privilégier un système de ventilation (entrée et sortie) et de chauffage centralisé (moins de bruit, puissance installée plus faible, réduction des systèmes de contrôle, facilité de traitement, récupération de chaleur, une flexibilité pour l'utilisation de différentes sources d'énergie alternative, etc.);
- prévoir un système de chauffage à l'eau chaude. Ce type de système de chauffage pourrait faciliter l'utilisation de différentes sources d'énergie renouvelable (géothermie) sans modifications majeures et même, dans certains cas, permettre une accumulation.

4.2 Aspects particuliers

4.2.1 Régie, alimentation et bien-être

Les cages pour saillies et confirmation feront partie des aménagements pour encore plusieurs années. Une section du parc devrait être réservée pour que les truies puissent jouer ou se reposer. Cette aire de jeux devrait être couverte de paille, occuper environ 10 % de la superficie et être sur plancher plein. Le reste du parc, pourrait-être 100 % latté. Il apparaît également opportun de

favoriser l'implantation de cages et d'équipements permettant de réduire le bruit et d'économiser l'eau.

Le comité d'experts est d'avis que les cages en maternité seront encore présentes afin de favoriser l'isolement des truies et de leur portée mais que les systèmes actuels devraient être optimisés.

En pouponnière, les planchers devraient être entièrement lattés puisque les habitudes de défécation des porcelets ne sont pas encore développées. Dans un concept idéal, une zone spécifique devrait abriter des jeux amovibles ou tout autre aménagement pour faciliter la transition en début de stade.

En engraissement, les grands parcs (pour des groupes de 500 porcs et plus) seront la norme dans le futur et ils ont l'avantage de permettre une grande flexibilité, comme lors d'une augmentation du poids d'abattage. Toutefois, des paravents devront être judicieusement disposés puisque le porc aime se prélasser le long des parois. Une aire de repos avec litière devrait aussi être envisagée. Cette aire de repos pourrait être ajoutée après la construction par le biais de mezzanines. Les planchers en béton devraient être fortement lattés.

4.2.2 Matériaux

Le béton demeurera un des matériaux les plus prisés dans la construction, surtout pour l'aspect fondation, plancher et structure d'entreposage, etc. L'utilisation localisée d'enduits protecteurs, par exemple sur le béton sous les mangeoires, pourrait ralentir la détérioration, réduire les émissions et la dérive sanitaire.

Les plastiques sont également incontournables, toutefois, la prudence est de mise dans la sélection des types de plastique ou autres dérivés. Certains offrent un milieu propice à l'accumulation des micro-organismes.

Les métaux inoxydables, galvanisés ou recouverts d'autres enduits de protection auront également la cote au cours des prochaines années pour la fabrication de cages, d'équipements d'alimentation et d'abreuvement, et de structures pour supporter les portes et autres équipements.

Le rôle du bois sera plus pondérant dans le futur surtout pour les aspects extérieur, structural et d'écoconception. De plus, le bois est intéressant pour l'aspect sanitaire puisque certaines essences sont répulsives envers les microorganismes.

4.2.3 Ventilation et contrôle des émissions

Dans les prochaines années, il serait important de travailler à la réduction à la source des émissions, entre autres par rapport à l'alimentation. Idéalement, il serait opportun dans le futur de filtrer l'air à l'entrée et de traiter l'air à la sortie. Cependant, conscient des coûts et des avancements techniques à venir dans ce domaine, le comité recommande en priorité la filtration

de l'air à l'entrée pour les maternités, gestation et pouponnière. À l'opposé, pour les bâtiments d'engraissement, il serait plus avantageux de traiter l'air à la sortie pour un meilleur contrôle des émissions atmosphériques (odeurs, COV, GES).

Pour la filtration, un système de filtre physique ou de membrane est à privilégier. Le traitement biologique devrait être favorisé pour le traitement de l'air à la sortie.

À plus long terme, puisqu'un traitement biologique ne peut être efficace à 100 %, il pourrait être opportun de coupler d'autres technologies au traitement biologique primaire pour éliminer complètement les risques de contamination. À cette fin, les installations devraient permettre ces ajouts.

4.2.4 Gestion et traitement des déjections

Il apparaît que les productions sans sol ou en déficit de terre ne sont pas viables dans un contexte durable. Pour être durable, un système de production porcine devrait être en équilibre avec la demande de fertilisation. Afin de répondre à cette contrainte, il sera incontournable d'implanter une approche permettant de reformuler le lisier afin d'en faire un fertilisant flexible et performant. La séparation de phase couplée à une technique de reconstitution pourrait permettre de séparer deux phases distinctes, l'une riche en azote et l'autre en phosphore, et de reconstituer un lisier adapté au plan annuel de fertilisation. Cela suggère également l'élimination des métaux pour éviter une trop grande concentration dans la phase solide et dans les sols. De plus, il serait possible d'utiliser l'efficacité de séparation en travaillant sur les systèmes ou encore sur le contenu de la ration alimentaire. D'autres aspects liés à la gestion des déjections devraient également être retenus lors de la construction d'une unité de production porcine durable :

- toutes les structures extérieures d'entreposage devraient être couvertes;
- un traitement simple des déjections avant l'application au champ devrait faire partie des éléments de base. Dans le futur, l'application de déjections non traitées deviendra de moins en moins populaire. Peut-être qu'un simple et rapide traitement anaérobie pourrait être suffisant de façon à abaisser la charge en organismes pathogènes pour l'homme;
- un système de séparation ou la collecte sélective des déjections devrait être présent;
- lorsque le lisier liquide est géré de façon traditionnelle, l'expérience a démontré que son entreposage sous le bâtiment peut rendre la reprise difficile et que les émissions gazeuses constituent un risque majeur pour les travailleurs et les animaux. Dans un contexte de séparation à la source, l'approche cave profonde pour l'entreposage de la partie liquide pourrait devenir sécuritaire et viable éliminant ainsi la fosse extérieure traditionnelle.

4.2.5 Efficacité énergétique

Il faut se rappeler que les coûts reliés à l'énergie représentent que 3 % du coût de production. La majorité de ces frais sont reliés aux pouponnières et maternités. Des techniques simples et peu coûteuses devraient être privilégiées.

Aussi, en supposant que l'éclairage naturel sera largement favorisé, une fenestration adéquate et efficace pourrait permettre une réduction des coûts d'éclairage et de chauffage.

Enfin, il est opportun de mentionner à nouveau que la ventilation centralisée permet de réduire les coûts énergétiques et qu'un système de chauffage à l'eau permet la récupération de chaleur et l'utilisation de sources diverses d'énergie renouvelable.

5 Conclusion

Le présent chapitre avait pour but de mettre en place les éléments de base pour le développement d'un bâtiment porcin conforme au principe de développement durable. Ces éléments sont issus de la lecture de la littérature et du consensus d'un groupe de travail formé d'experts en agroenvironnement. Des éléments clés issus de ce travail peuvent être tirés en guise de conclusion.

Selon la présente étude, pour être durable, l'unité de production porcine devrait être en harmonie architecturale et patrimoniale avec le milieu, être en équilibre de fertilisants, adopter un traitement léger des déjections et comporter une régie d'élevage en bandes. À l'exception des premiers jours de gestation et dans la maternité, l'approche par grands groupes, la ventilation centralisée et la séparation au bâtiment devraient être adoptées pour la conception de cette unité. La filtration de l'air à l'entrée et le traitement de l'air à la sortie seront des atouts majeurs. Toutes les structures d'entreposage devraient être couvertes. De plus, dans un contexte de séparation à la source, l'approche cave profonde pour l'entreposage de la partie liquide pourrait devenir sécuritaire et viable éliminant ainsi la fosse extérieure traditionnelle.

CHAPITRE 5 : FAITS SAILLANTS ET RECOMMANDATIONS

Le but du projet visait à établir les meilleures pratiques et technologies disponibles pour la conception d'un bâtiment porcin durable adapté au contexte québécois d'élevage et permettant des gains sur les plans économique, environnemental et social.

Le projet a été réalisé dans des limites préalablement établies et en trois volets, soit une revue systématique des écrits techniques et scientifiques, une revue des différentes normes de certification environnementales et d'écoconception des bâtiments verts et enfin une analyse par des experts en agroenvironnement afin d'établir un concept durable pour la production porcine.

L'approche de revue systématique utilisée pour réaliser la littérature a permis de regrouper une littérature importante et de grande qualité. Selon cette revue, les bâtiments de maternité devraient conserver la stalle individuelle et la cage de mise bas. Il faudra surveiller l'ampleur que prendront les lois européennes en matière de bien-être, et les systèmes DAC joueraient assurément un rôle important dans l'avenir de l'hébergement de groupes en gestation. Aussi, pour conserver une biosécurité de pointe, la conduite en bandes, surtout celle aux trois semaines, pourrait s'étendre comme méthode de gestion du troupeau. Après le sevrage, les porcelets seraient amenés, d'abord en pouponnière, puis en engraissement où les grands groupes avec des stations de tri prévaudraient. Il est apparu que la ventilation centralisée comporte beaucoup d'avantages. Les systèmes biologiques seraient à favoriser pour les traitements de l'air et des déjections. L'architecture des bâtiments agricoles et les matériaux de construction sont des sujets peu traités dans la littérature.

Comme il a été montré, il existe plusieurs systèmes d'évaluation et de certification environnementale et d'écoconception des bâtiments. Tous ont leurs avantages et inconvénients ainsi qu'un mode de fonctionnement distinct. Il est important de mentionner qu'aucun des systèmes répertoriés ne s'applique aux bâtiments agricoles. Seule la démarche HQE projette la mise en œuvre, en collaboration avec l'Institut d'élevage en France, d'un système d'évaluation environnementale spécifiquement conçu pour les bâtiments d'élevage sur litière. Les développements dans le cadre de ce projet seront à surveiller.

Les discussions en comité démontrent que, pour être durable, l'unité de production porcine devrait être en harmonie architecturale et patrimoniale avec le milieu, être en équilibre au niveau des fertilisants, adopter un certain traitement des déjections et comporter une régie d'élevage en bandes. À l'exception des premiers jours de gestation et dans la maternité, l'approche par grands groupes, la ventilation centralisée et la séparation au bâtiment devraient être adoptées pour la conception de cette unité. La filtration de l'air à l'entrée et le traitement de l'air à la sortie seront des atouts majeurs. Toutes les structures d'entreposage des déjections animales devraient être couvertes. Considérant les nouvelles techniques telles que la séparation à la source et la ventilation centralisée, l'entreposage de la phase liquide directement sous le bâtiment d'élevage devrait faire partie de nouvelles études de conception à explorer.

Afin d'élaborer certaines pistes pour des travaux de recherche et de développement, les auteurs ont également établi des recommandations couvrant différents aspects. Ces recommandations sont :

- Développer des éléments de remplacement des métaux dans les rations;
- Développer les connaissances et de nouvelles techniques pour faciliter la transition des porcelets vers la pouponnière;
- Amorcer des travaux de recherche visant l'amélioration des cages en priorité;
- Accélérer les travaux sur les méthodes d'alimentation automatique et d'identification électronique;
- Revoir la conception des bâtiments à cave profonde dans un contexte de séparation à la source;
- Travailler sur les efficacités de séparation, la formulation des rations alimentaires et du contenu N-P-K des fractions liquide et solide du lisier.
- Accélérer la recherche de traitements biologiques simples et efficaces pour un traitement de base des déjections avant épandage;
- Continuer de supporter la recherche dans le domaine du traitement de l'air en tentant de développer des techniques permettant la réduction voire d'éliminer les gaz (NH₃, H₂S, COV, GES) et bioaérosols (virus, bactéries, etc.);
- Étudier la possibilité de développer des recouvrements spécifiques (époxy, nano-peinture, nano-recouvrement) pour les métaux et les bétons afin de prolonger leur durée de vie et éviter la dérive sanitaire;
- Démarrer rapidement des travaux de recherche concernant l'analyse du cycle de vie reliée au bâtiment permettant d'optimiser l'utilisation des matériaux, réduire la dérive sanitaire, augmenter la durabilité et développer une approche personnalisée d'écoconception en production porcine. Des comparaisons de quelques types de bâtiment pourraient permettre la sélection des meilleures approches de conception;
- Par la suite, développer un outil d'aide à la conception basé sur les principes d'écoconception et destiné aux producteurs et professionnels impliqués dans la construction de bâtiments porcins;
- Mettre de l'avant des travaux de recherche sur les aspects visuels et architecturaux des bâtiments.

Références

1 Techniques

- Barnett, J.L., P.H. Hemsworth, G.M. Cronin, E.C. Jongman et G.D. Hutson. 2001. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. *Australian Journal of Agriculture Research* 52 : 1-28.
- Bartolomeu, D. et P. Massabie. 2006. Système centralisé d'extraction d'air : bilan technique. *TechniPorc* 29(1) : 13-18.
- Blanchin, J.-Y. 2003. Bâtiments d'élevage, paysage architecture et couleur. Institut de l'élevage. (en ligne) http://www.inst-elevage.asso.fr/html/spip.php?page=article_espace&id_espace=933&id_article=240. Page consultée le 8 juillet 2009.
- Botto, L., S. Mihina, V. Brestensky, A. Hanus et G. Szabova. 2000. Evaluation of impact of farrowing pen design on sow welfare. *Swine Housing, Proc. First Int. Conf. October 9-11, 2000., Des Moines, Iowa*. St-Joseph. pp. 142-146.
- BPR et AGÉCO. 2003. Suivi des plans des interventions agroenvironnementales des fermes porcines du Québec.
- Brooks, P.H. 2003. Group housing of sows – the european experience. *Procedures London Swine Conference – Maintaining Your Competitive Edge 9-10 April 2003*, pp. 37-60.
- Brumm, M.C., A.K. Baysinger, R.W. Wills, E.T. Clemens et R.C. Thalert. 2000. Impact of wean-to-finish facility management on pig performance. In *SwineHousing Procedures, First International Conference 9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa*, pp. 147-151, St-Joseph, Michigan.
- Brumm, M. 2004. Housing decisions for the growing pigs. In *London Swine Conference Procedures – Building Blocks for the Future 1-2 April*, pp. 31-44.
- Buhr, B. 2009. The costs of switching from sow stalls to group housing. *National Hog Farmer* (en ligne) <http://nationalhogfarmer.com/genetics-reproduction/sow-gilt/0215-switching-stalls-costs/>. Page consultée le 15 mai 2009.
- Chénard, L., S. Brillant, S. Godbout et L. Pelletier. 1999. Création d'un élevage porcin : éléments de décision. Centre de développement du porc du Québec (ISBN 2-92276-02-3), 107 pages.
- Connor, J.F., W.L. Hollis et K.R. Erlandson. 2005. Revisiting weaning age trends, dynamics. *National Hog Farmer* (en ligne) http://nationalhogfarmer.com/mag/farming_revisiting_weaning_age/index.html. Page consultée le 15 mai 2009.

- Couton, Y., L. Senez, C. Devroe, J.-P. Lemièrre, J.-C. Coquille et J.-C. Germon. 2000. Bilan du fonctionnement d'une filière de traitement des lisiers de porcs à la ferme avec séparation de phases et lagunage anaérobie. *Ingénieries-EAT* (21) : 29-39.
- Cruz, V.F., E.M. Lucas et F.J. Baptista. 2000. Characterisation of pig production in Portugal – Alternative outdoor housing systems. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 388-394. St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Edwards, S. 2008. Balancing sow and piglet welfare with production efficiency. *Procedures London Swine Conference – Facing the new reality 1-2 April 2008*, pp. 17-30.
- FPPQ, 2009. Portrait de la production. (en ligne) http://www.leporcduquebec.qc.ca/fr/fppq/prod-2_2.html. Page consultée le 9 juillet 2009.
- Gaisford, M. 1984. Energy efficiency: Don't let the heat go up in smoke. *Farmers Weekly*, April 6, pp. 82-83.
- Gaudré, D. 2008. Caillebotis intégral ou litière paillée : comparaison des performances zootechniques en engraissement. *TechniPorc* 31(2) : 13-18.
- Gilbert, D., S. Pigeon et M. Morisset. 1998. Le recensement agroenvironnemental des entreprises porcines du Québec. Groupe de recherche en économie et politique agricoles (GREPA) et BPR. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, 150 p.
- Gilot, C. 2003. 1200 places d'engraissement et une ventilation centralisée à extraction basse. *PORC magazine* (369):107-109.
- Gonyou, H.W. et L. Whittington. 2005. Large group housing for grow-finish pigs. 4 p.
- Guay, F. 2008a. Notes de cours – SAN-16726 – Production porcine. FSAA. Université Laval.
- Guay, F. 2008b. Rencontre avec M. Frédéric Guay, professeur en sciences animales. FSAA, Université Laval. Propos recueillis par Sébastien Fournel le 8 mai 2008.
- Guiriec, B. 2000. Les critères d'une bonne conduite en bandes. *PORC magazine* (330):39-43.
- Hill, J.D. et J. Gentry. 2000. Design of loadout systems for deep bed finishing facilities case study. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 317-323, St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Hill, J.D. et M.E. Wastell. 2000. Design criteria for large group deep bed swine finishing facilities. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 303-309, St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Institut de l'élevage. 2003. Bâtiments d'élevage, paysage architecture et couleur. Étude du Département technique d'élevage et qualité (DTEQ). Paris. 16 pp.

- Johnson, G. 2002. Filtration à membrane d'engrais de porc : une solution rentable et agissant en faveur de l'environnement. New Logic International.
- lacoop. 2009. http://www.lacoop.coop/cooperateur/articles/2009/07/images/p30_05.jpg.
- Laligant, D., D. Rimoux et C. Dutertre. 2003. Litière ou caillebotis intégral : ce que cela coûte. *PORC magazine* (370):22-26.
- Le Bas, D. 2007. Conduite en grands lots : c'est par tri pour les stations. *PORC magazine* 413 : 90-117.
- Le Bas, D. 2005. « Échec et Dac » une idée dépassée. *PORC magazine* (391):96-103.
- Le Bas, D. 2008. Option bat-flanc : pas si simple! *PORC magazine* (418):44-87.
- Le Fur, E. 2006. Réfectoire gestante : au bonheur des truies. *PORC magazine* (396):80-85.
- Le Moan, L. et C. Guivarch. 2002. « Wean-to-finish » : un surcoût bâtiment difficile à rentabiliser. *Atout Porc Bretagne* Mai 2002 : 4-5.
- Miller, D. 2009. Turnaround stall worth a second look. *National Hog Farmer* (en ligne) <http://nationalhogfarmer.com/genetics-reproduction/sow-gilt/0315-turnaround-stall-worth-look/index.html>. Page consultée le 15 mai 2009.
- Morsing, S., A. Ikeguchi, J.C. Bennetsen, J.S. Strom, P. Ravn et L. Okushima. 2000. Wind induced airflow patterns in a naturally ventilated barn. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 18-25. St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Neser, S.L., B. Rathmer et A.G. Gronauer. 2003. Outdoor climate housing systems for fattening pigs. *Swine Housings II Proceedings Conference (12 au 15 octobre 2003, Research Triangle Park, North Carolina, USA)*, ASAE 701P1303.
- Nicolai, R. et S. Hoff. 2003. Ventilation requirements to prevent pit air up-drafting in a swine finishing barn. *Swine Housings II Proceedings Conference (12 au 15 octobre 2003, Research Triangle Park, North Carolina, USA)*, ASAE 701P1303.
- National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE). 2007. The guidelines manual. London. (en ligne) www.nice.org.uk. Page consultée le 15 mai 2008.
- Nicks, B., M. Laitat et M. Vandenheede. 2002. Prise en compte du bien-être des animaux dans l'aménagement des porcheries : les aspects réglementaires. *Annales de médecine vétérinaire* 146 : 39-42.
- Pays des Moulins de Flandre. 2008. Recommandations pour l'intégration des bâtiments agricoles dans le paysage. Document disponible en version électronique. Adresse URL : <http://www.paysdesmoulinsdeflandre.com>.

- Pluske, J. 2006. New approaches to weaner room management. *Procedures London Swine Conference – Thinking Globally, Acting Locally 5-6 April 2006*, pp. 113-123.
- Pouliot, F., N. Plourde, Y. Richard, R. Fillion et C. Klopfenstein. 2006. État actuel des systèmes d'élevage et leur perspective de développement. Rapport de l'étude, Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ), 59 p.
- Rausch, J.N. et H.M. Keener. 2003. More than pig performance : the case of three feeder pig systems. *Swine Housings II Conference Proceedings (12 au 15 octobre 2003, Research Triangle Park, North Carolina, USA)* pp. 83-93.
- Roelofs, P.F.M.M., G.P. Binnendijk et N. Verdoes. 2000. Dust Concentration in air form weaner rooms reduced by adaptation of the ventilation system. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 167-174. St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Rousseau, P., P. Massabie, R. Granier et M. Larnaudie. 1998. Ventilation d'une porcherie d'engraissement par recyclage partiel de l'air ambiant. *Journées de la recherche porcine* 30 : 343-347.
- Salaün, C., N. Le Roux, C. Vieuille, M.-C. Meunier-Salaün et Y. Ramonet. 2004. Effet du mode de logement et du niveau de liberté de la truie allaitante sur son comportement, celui de ses porcelets et conséquences au niveau zootechnique. *Journées recherche porcine* 36 : 371-378.
- Semaine Verte (La). 2008. Construire l'avenir. Entrevue avec M. Pierre Thibault. Radio-Canada. (en ligne) http://www1.radio-canada.ca/actualite/semaine_verte/reportage.aspx?idDocument=60842&idItemMenu=27. Page consultée le 18 juin 2008.
- Statistique Canada. 2009. Statistiques de porc : premier trimestre 2009. (en ligne) <http://www.statcan.gc.ca/pub/23-010-x/23-010-x2009002-fra.pdf>. Page consultée le 9 juillet 2009.
- Turgeon, M.-J. 2002. Bien-être animal : considérations reliées aux bâtiments. CRAAQ. 3^e Colloque sur les bâtiments porcins : Le bâtiment porcin en évolution. Drummondville.
- Turgeon, M.-J. 2008. L'engraissement en grands groupes avec stations de tri. *Porc Québec* Février 2008 : 30-33.
- USDA-CSREES. 2006. Animal manure and waste utilization, treatment and nuisance avoidance for a sustainable agriculture: 2006 annual report, Multistate Project S-1000, October 1, 2001-September 30, 2006.
- Van Wagenberg, A.V. et M.A.H.H. Smolders. 2000. The effectiveness of ventilation in pig facilities : development and practical operation of a new measuring technique. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 10-17, St-Joseph, Michigan : ASAE.

- Vermeij, I., A.I.J. Hoofs, J. Enting, H. Hopster et E.W. Ruesink. 2003. Additionnal floor space for fattening pigs in a two-level pen. *Swine Housings II Proceedings of the 12-15 October 2003 Conference (research Triangle Park, North Carolina, USA)* pp. 174-181, ASAE Publication Number 701P1303.
- Wastell, M.E. et P.R. Lubischer. 2000. Hoop shelters – a system for raising pork. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 383-387, St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Wastell, M.E. et J.E. Pettigrew. 2000. Dry VS wet/dry feeders, is there a difference. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 103-109, St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Wang, X. et Y. Zhang. 2005. Experimental study of ventilation on animal environment in a swine building. *Proceedings of the Seventh International Symposium (18 au 20 mai 2005, Beijing, China)*, pp. 7-12. ASAE Publication number 701P0205.
- Wolter, B.; M.Ellis, S. Curtis, E. Parr et D. Weibel. 2000. Effects of group size, floor space on piges evaluated. *Feedstuffs*, avril: 12-14.
- Wolter, B.F., M. Ellis, S.E. Curtis, G.D. Schmitkey, E.N. Parr et D.M. Weber. 2000. Group size and floor-space allowance affect the economic performance of a four-week nursery system for weanling pigs. *Swine Housing Proceedings (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 205-213, St-Joseph, Michigan : ASAE.

2 Scientifiques

- Anil, L., S.S. Anil, J. Deen, S.K. Baidoo et J.E. Wheaton. 2005. Evaluation of well-being, productivity, and longevity of pregnant sows housed in groups in pens with electronic sow feeder or separately in gestation stalls. *AJVR* 66 (9):1630-1638.
- Anil, L, S.S. Anil, J. Deen, S.K. Baidoo et R.D. Walker. 2006. Effect of group size and structure on the welfare and performance of pregnant sows in pens with electronic sow feeders. *The Canadian Journal of Veterinary Research* 70:128-136.
- Armeen, A., J.J.R. Feddes, J.J. Leonard and R.N. Coleman. 2007a. Biofilters to treat swine facility air: Part 1. Nitrogen mass balance. Still under review by Canadian Biosystems Engineering (submitted 2007).
- Armeen, A., J.J.R. Feddes, J.J. Leonard and R.N. Coleman. 2007b. Biofilters to treat swine facility air: Part 2. Water application rate. Still under review by Canadian Biosystems Engineering (submitted 2007).
- Bates, R.O., D.B. Edwards et R.L. Korthals. 2003. Sow performance when housed either in groups with electronic sow feeders or stalls. *Livestock Production Science* 79:29-35.

- Bracke, M.B.M, J.H.M. Metz, B.M. Spruijt et W.G.P. Schouten. 2002. Decision support system for overall welfare assessment in pregnant sow B : Validation by expert opinion. *Journal of Animal Science* 80:1835-1845.
- Buelna, G., R. Dubé, M.-C. Michel, N. Turgeon, Y. Bernard et P. Lessard. 1998. Comprehensive pig manure treatment using the BiosorTM biofiltration process. *Proceedings of the 8th international Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (Formerly Animal Waste Management)*. Rennes, France, 26-29 May.
- Burton, C.H. et C. Turner. 2003. Manure management: treatment strategies for sustainable agriculture, 2nd edition, Silsoe Research Institute.
- Burton, C., V. Jaouen et J. Martinez. 2007. Traitement des effluents d'élevage des petites et moyennes exploitations : guide technique à l'usage des concepteurs, bureaux d'études et exploitants. Collection Guide pratique, Éditions Quae, Versailles Cedex.
- Chou, C.Y., K.H. Chiang et N. Chang. 2000. An automatically controlled activated sludge process for pig wastewater treatment. Animal, agricultural and food processing wastes. *Proceedings of the Eighth International Symposium, Des Moines, Iowa, USA, 9-11 October*.
- Christenbury, G.D., J.D. Harmon et J.E. Albrecht. 1991. A low energy swine nursery facility: a field study. American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 91-4027, An ASAE meeting presentation, Albuquerque, New-Mexico, USA, June 23-26.
- Cronin, G.M., B. Dunsmore et E. Leeson. 1998. The effects of farrowing nest size and width on sow and piglet behaviour and piglet survival. *Applied Animal Behaviour Science* 60:331-345.
- De Belie, N. 1997. Review paper : A survey on concrete floors in pig houses and their degradation. *J. Agric. Engng Res.* 66: 151-156.
- De Belie, N., M. Debruyckere, D. Van Nieuwenburg et B. De Blaere. 1997. Attack of concrete floors in pig houses by feed acids : influence of fly ash addition and cement-bound surface layers, *J. Agric. Engng Res.* 68 :101-108.
- Deshusses, M.A. and D. Gabriel. 2005. Biotrickling filter technology. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Devigny, J.S., M.A. Deshusses and T.S. Webster. 1999. Biofiltration for air pollution control. Lewis Publishers. Washington, DC, USA.
- Dubois, A., M.-C. Meunier-Salaun et R. Le Gall. 2008. Performances et comportement des truies et de leurs portées dans une maternité alternative en bâtiment : résultats préliminaires. *Journées de la recherche porcine* 40 : 233-238.

- Fugère, R., N. Mameri, J.E. Gallot et Y. Comeau. 2005. Treatment of pig farm effluents by ultrafiltration. *Journal of Membrane Science* 255 : 225-231.
- Gabriel, D. and M.A. Deshusses. 2003. Retrofitting existing chemical scrubbers to biotrickling filters for H₂S emission control. *PNAS*. 100 (11).
- Gentry, J.G., J.J. McGlone, J.R. Blanton jr. et M.F. Miller. 2002. Alternative housing systems for pigs: influences on growth, composition and pork quality. *Journal of Animal Science* 80 :1781-1790.
- Griffing, E.M., M.R. Overcash et S. Kim. 2004. Environmental analysis of swine waste management technologies using the life-cycle method. WRRRI Project No. 70182 and 70193, USGS Project No. 1434-HQ-96-GR-02689, September, 2004.
- Groupe Agéco. 2006. Documentation des innovations technologiques visant l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergie alternatives durables en agriculture : Rapport N° 2 présenté à l'Union des producteurs agricoles (UPA).
- Harmon, J.D., G.D. Christenbury et J.E. Albrecht. 1994. Field evaluation of a low energy swine nursery facility. *Applied Engineering in Agriculture* 10 (4):543-547.
- Harmon, J.D., T.J. Baas, S.J. Hoff et H. Xin. 1998. Case study comparison of three styles of swine finishers. Iowa State University Extension ASL-R 1588.
- Hartung, E., T. Jungbluth and W. Buscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters. *Transactions of the ASABE*. 44 (1): 113-118.
- Hébert, H., A. Lurette, C. Fourichon, H. Seegers et C. Belloc. 2007. Modalités de conduite en bandes en élevage porcin : effet sur les contacts entre animaux. *Journées de la recherche porcine* 39 : 345-350.
- Henriksen, K., L. Berthelsen et R. Matzen. 1998. Separation of liquid pig manure by flocculation and ion exchange, Part 2: Pilot-scale system. *J. Agric. Engng Res.* 69 : 127-131.
- Hoff, S.J. and J.D. Harmon. 2006. Biofiltration of the critical minimum ventilation exhaust air. Workshop on Agricultural Air Quality. Washington, D.C., USA.
- Honeyman, M.S. et J.D. Harmon. 2003. Performance of finishing pigs in hoop structures and confinement during winter and summer. *Journal of Animal Science* 81 : 1663-1670.
- Idriss, A.F., S.C. Negi, J.C. Jofriet et G.L. Hayward. 2000. Corrosion of concrete in swine buildings. American Society of Agricultural Engineers, *Proceedings of the First International Conference, Des Moines, Iowa, USA, October 9-11*.
- Iranpour, R., H.H.J. Cox, M.A. Deshusses and E.D. Schroeder. 2005. Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal. *Environmental Progress* 24 (3).

- Kalingan, A.E., C.M. Liao, J.W. Chen and S.C. Chen. 2004. Microbial degradation of livestock - generated ammonia using biofilters at typical ambient temperatures. *Journal of Environmental Science and Health B* 39 (1): 185-198.
- Karlen, G.A.M., P.H. Hemsworth, H.W. Gonyou, E. Fabrega, A.D. Strom et R.J. Smits. 2007. The welfare of gestating sows in conventional stalls and large groups on deep litter. *Applied Animal Behaviour Science* 105:87-101.
- Kim, N. J., Y. Sugano, M. Hirai and M. Shoda. 2000. Removal of a high load of ammonia gas by a marine bacterium, *Vibrio Alginolyticus*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 90 (4): 410-415.
- Kraakman, A. 2005. Biotrickling and bioscrubber applications to control odour and air pollutants. *Biotechnology for odour and air pollution control*. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Kymäläinen, H.-R., J. Määttä, M. Puumula, K.O. Kaustell, T. Mattila, B.-L. Joutsen, R. Kuisma, K.-R. Hurme, A Ussi-Rauva et A.-M. Sjöberg. 2008. A laboratory study of the effect of coating on cleanability of concrete flooring for use in piggeries. *Biosystems Engineering* 99: 88-98.
- Lammers, P.J., M.S. Honeyman, J.W. Mabry et J.D. Harmon. 2007. Performance of gestating sows in bedded hoop barns and confinement stalls. *Journal of Animal Science* 85:1311-1317.
- Larsson, N. 2007. Rating systems and SBTool. The International Initiative for a Sustainable Built Environment.
- Lemay, S.P., D. Zegan, J.J.R. Feddes, M. Belzile, S. Godbout et M. Martel. 2008. Revue systématique de la littérature sur les systèmes de traitement de l'air vicié émis par les bâtiments porcins. Rapport final. IRDA. 49 pages.
- Liao, C.-M. et T. Maekawa. 1994. Nitrification/denitrification in an intermittent aeration process for swine wastewater. *J. Environ. Sci. Health*, 29(5):1053-1078.
- Luo, J. 2001. A pilot-scale study on biofilters for controlling animal rendering process odours. *Water Science and Technology*. 44 (9): 277-285.
- Lurette, A., C. Belloc, S. Touzeau, T. Hoch, H. Seegers et C. Fourichon. 2008. Modelling batch farrowing management within a farrow-to-finish pig herd: influence of management on contact structure and pig delivery to the slaughterhouse. *Animal* 2:1, pp. 105-116.
- Main, R.G., S.S. Dritz, M.D. Tokach, R.D. Goodband et J.L. Nelssen. 2004. Increasing weaning age improves pig performance in a multisite production system. *Journal of Animal Science* 82: 1499-1507.

- Manuzon, R.B., L.Y. Zhao, H.M. Keener and M.J. Darr. 2007. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings. *Transactions of the ASABE*. 50 (4): 1395-1407.
- Massabie, P., R. Granier et V. Larrère. 2006. Densité et température ambiante : incidence sur les performances du porc à l'engrais. *Journées de la recherche porcine* 38 : 407-414.
- McGlone, J.J., E.H. von Borell, J. Deen, A.K. Johnson, D.G. Levis, M. Meunier-Salaün, J. Morrow, D. Reeves, J.L. Salak-Johnson et P.L. Sundberg. 2004. Review: Compilation of the scientific literature comparing housing systems for gestating sows and gilts using measures of physiology, behaviour, performance and health. *The Professional Animal Scientist* 20 : 105-117.
- Melse, R.W. et N.W.M. Ogink. 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASABE*. 48 (6): 2303-2313.
- Morrison, R. et L. Johnston. 2003. Handling and sorting pigs in large groups housed in deep-litter systems. *Swine Housings II Proceedings (Conférence, 12 au 15 octobre 2003, Research Triangle Park, North Carolina, USA)* pp. 196-200.
- Nawrocki, L., A. Myczko et J.L. Jogowar. 2000. Effect of the application of a heat pump to accumulate heat generated during deep litter fermentation on limiting ammonia emission in pig breeding. *Natur. Sc.* (4):105-113.
- Nicolai, R.E. et K.A. Janni. 2001. Biofilter media mixture ratio of wood chips and compost treating swine odors. (Dept of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, USA). *Swine Housings II Proceedings Conference (12 au 15 octobre 2003, Research Triangle Park, North Carolina, USA)*, ASAE 701P1303.
- Osborne, L.E., R.Q. Hephherd et R.W. Sneath. 1976. An integrated separation, aerobic treatment and sludge de-watering system for pig slurry. *J. agric. Engng Res.* 21: 109-120.
- Paboeuf, F., M. Gautier, R. Cariolet, Y. Ramonet et J.-Y. Dourmad. 2009. Effet de la surface, de la nature du sol et du mode d'alimentation sur les performances zootechniques et la production d'effluents des porcs en croissance. *Journées de la recherche porcine* 41 : 209-216.
- Patience, J.F., H.W. Gonyou, D.L. Whittington, E. Beltranena, C.S. Rhodes et A.G. Van Kessel. 2000. Evaluation of site and age of weaning on pig growth performance. *Journal of Animal Science* 78 :1726-1731.
- Patton, B.S., E. Huff-Lonergan, M.S. Honeyman, J.D. Crouse, B.J. Kerr et S.M. Lonergan. 2008. Effects of deep-bedded finishing system on market pig performance, composition and pork quality. *Animal* 2:3, pp. 459-470.

- Pavicic, Z., T. Balenovic, H. Valpotic, A. Tofant, M. Popovic, M. Balenovic, K. Matkovic et I. Valpotic. 2006. Influence of porcine housing density on species diversity and number of airborne microorganisms at fattening facilities. *Acta Vet. Brno* 75 : 533-540.
- Pelletier, F., A. Marquis, S. Godbout, R. Joncas, J.-P. Larouche, J.-P. Massé et D. Bégué. 2005. Gas and odor emissions from swine building materials. *Transactions of the ASAE* 48 (2):721-728.
- Pieters, J.G., G.G.J. Neukermans et M.B.A. Colanbeen. 1999. Farm-scale membrane filtration of sow slurry. *J. Agric. Engng Res.* 73 : 403-409.
- Pouliot, F., M.-J. Turgeon et H. Guimont. 2005. Abreuvoirs économiseurs d'eau en engraissement : comparaison des effets sur la consommation d'eau et sur les performances des porcs. *Colloque sur la production porcine « Le porc du Québec : une production tournée vers l'avenir ! » (18 octobre 2005, Saint-Hyacinthe)*, pp 1-11.
- Revah, S. and J.M. Morgan-Sagastume. 2005. Methods of odor and VOC control. Biotechnology for odour and air pollution control. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Riva, G. et E.F. Pedretti. 2000. Utilization of a heat pump in pig breeding for energy saving and climate and ammonia control. *J. agric. Engng Res.* 77 (4):449-455.
- Schmolke, S.A., Y.Z. Li et H.W. Gonyou. 2003. Effect of group size on performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 81 :874-878.
- Salak-Johnson, J.L., S.R. Niekamp, S.L. Rodriguez-Zas, M. Ellis et S.E. Curtis. 2007. Space allowance for dry, pregnant sows in pens : body condition, skin lesions, and performance. *Journal of Animal Science* 85:1758-1769.
- Shah, S.B., P.W. Westernman, R.D. Munilla, M.E. Adcock and G.R. Baughman. 2007. Performance evaluation of a regenerating scrubber for animal house emissions. International symposium on air quality and waste management for agriculture. ASABE Publication. Broomfield, Colorado.
- Sheridan, B.A., T.P. Curran and V.A. Dodd. 2002a. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. *Bioresource Technology* 84:129-143.
- Sheridan, B.A., T. Curran, V. Dodd and J. Colligan. 2002b. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit - A pilot-scale study. *Biosystems Engineering* 82 (4): 441-453.
- Singh, A., Z. Shareefdeen and O.P. Ward. 2005. Bioscrubber technology. Biotechnology for odour and air pollution control. ed. Z. Shareefdeen and A. Singh. Springer. Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Smith, A.L., K.J. Stalder, T.V. Serenius, T.J. Baas et J.W. Mabry. 2008. Effect of weaning age on nursery pig and sow reproductive performance. *Journal of Swine Health and Production* 16(3):131-137.
- Sokansanj, S., D.M. Gartner et M.A. Stumbord. 1990. Air-type solar collectors and liquid thermal storage for a livestock building. *Canadian Agricultural Engineering* 32: 105-109.
- Spoolder, H.A.M., S.A. Edwards, A.W. Armsby et S. Corning. 2000. A within-farm comparison of three different housing systems for finishing pigs. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 40-48. St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Stowell, R.R., H. Keener, D. Elwell, T. Menke et S. Foster. 2000. High-Rise™ hog facility. *Swine Housing Proceedings, First International Conference (9 au 11 octobre 2000, Des Moines, Iowa)* pp. 273-282, St-Joseph, Michigan : ASAE.
- Street, B.R. et H.W. Gonyou. 2008. Effects of housing finishing pigs in two group sizes and at two floor space allocations on production, health, behaviour, and physiological variables. *Journal of Animal Science* 86:982-991.
- Sunghyoun, L., Y. Namkyu, K. Gyeongwon and H. Youngki. 2007. Development of an odor abatement system for swine manure treatment facilities. International symposium on air quality and waste management for agriculture. ASABE Publication. Broomfield, Colorado.
- Vanotti, M.B., A.A. Szogi, P.G. Hunt, P.D. Millner et F.J. Humenik. 2007. Development of environmentally superior treatment system to replace anaerobic swine lagoons in the USA. *Bioresource Technology* 98 : 3184-3194.
- Von Bernuth, R.D., J.D. Hill, E. Henderson, S. Godbout, D. Hamel et F. Pouliot. 2005. Efficacy of a liquid/solid isolation system for swine manure. *Transactions of the ASAE* 48 (4):1537-1546.
- Wolter, B.F., M. Ellis, S.E. Curtis, N.R. Augspurger, D.N. Hamilton, E.N. Parr et D.M. Webel. 2001. Effect of group size on pig performance in a wean-to-finish production system. *Journal of Animal Science* 79: 1067-1073.
- Xin, H., H. Zhou et D.S. Bundy. 1997. Comparison of the energy use and piglet performance between conventional and energy-efficient heat lamps. *Applied Engineering in Agriculture* 13 (1):95-99.

Annexe A : Régie et bien-être

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 23. Bases de données du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».

<i>Nom</i>	<i>Site web</i>
Cab Abstract	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Biosis	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Agrobase	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Asabe Technical Library	http://asae.frymulti.com/
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
AgEcon Search	http://ageconsearch.umn.edu/
Base de données bibliographiques BDESR- SAE2	http://www.inra.fr/
PorkNet	http://www.porknet.com/
Prairie Swine Centre	http://prairieswine.usask.ca/
London Swine Conference	http://www.londonwineconference.ca/
Journées de la recherche porcine	http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/index.htm
BAPE	http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/listedocuments.htm
Iowa State University Extension	http://www.extension.iastate.edu/
University of Illinois Extension	http://web.extension.uiuc.edu/state/
University of Minnesota Extension	http://www.extension.umn.edu/
The Pig Site	http://www.thepigsite.com
Google Scholar	http://scholar.google.ca

Tableau 24. Mots-clés et expressions du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».

Version française	Version anglaise
Porc	Swine, Pig, Hog, Pork
Production porcine	Pig or pork production
Porcherie verte	Green piggery
Perspective d'avenir	Future perspective
Producteur naisseur-finisser	Farrow-to-finish producer
Pratique ou technique d'élevage	Breeding method
Alimentation	Feeding strategy
Bien-être animal	Welfare
Quarantaine	Quarantine
Biosécurité	Biosecurity
Cochette	Gilt
Maternité	Farrow
Truie	Sow
Gestation	Gestation
Cage de gestation	Gestation stall
Lactation	Lactation
Cage de mise bas	Farrowing crate
Porcelet	Piglet
Sevrage (précoce ou conventionnel)	(segregated early or conventional) Weaning
Pouponnière	Nursery
Engraissement	Growing-finishing
Du sevrage à l'abattoir	Wean-to-finish
Régie tout-plein/tout-vide	All-in/all-out
Mode de logement	Housing system
Surface par porc	Space allowance
Densité animale	Animal density
Nombre de porcs par parc	Optimum group size
Contrôle des conditions d'ambiance	Ambient conditions control
Température	Temperature
Ventilation	Ventilation system
Unités de chauffage	Heating equipment
Équipement	Facility
Biosécurité	Biosecurity
Flux d'animaux	Pig flow
Conduite en bandes	Batch farrowing

Tableau 25. Critères d'inclusion du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».

Numéro	Critère	Réponse (oui/non)
1	L'article traite d'un concept avant-gardiste, récent ou nouveau dans la construction d'un bâtiment porcin.	
2	L'article traite d'une technique de régie d'élevage, d'un système, d'une pratique ou d'un équipement ayant une influence sur la conception et/ou le dimensionnement d'une porcherie.	
3	L'article traite d'une technique de régie d'élevage reliée au système d'exploitation de la production (flux d'animaux dans le bâtiment ou entre les bâtiments).	
4	Systèmes, pratiques, équipements ou conditions relatifs au logement (cages, systèmes d'alimentation, planchers, etc.).	
5	Systèmes, pratiques, équipements ou conditions en relation avec le bien-être animal (confort de l'animal et contrôle des conditions d'ambiance).	
6	L'article traite d'une technique de régie d'élevage, d'un système, d'une pratique ou d'un équipement étant possible d'implanter dans le contexte québécois.	

Tableau 26. Critères de pertinence du créneau « Régie, alimentation et bien-être ».

#	Critère	Description	Cote de pertinence et sa définition		
			Excellent (++)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
1	Élément(s) de régie d'élevage applicable(s) à la ferme	La ou les technique(s) d'élevage peut ou peuvent être employée(s) dans des bâtiments porcins	La ou les technique(s) est ou sont déjà existante(s) sur des sites d'élevage	La ou les technique(s) est ou sont à l'étape de la recherche et du développement	La ou les technique(s) est ou sont non applicable(s) sur les fermes porcines
2	Perspective d'avenir du ou des élément(s) de régie d'élevage	La ou les technique(s) d'élevage risque(nt) de représenter la norme ou la tendance future pour la construction de bâtiments porcins	La ou les technique(s) sera ou seront une base dans l'élaboration d'un bâtiment porcin	La ou les technique(s) est ou sont déjà établie(s) mais est ou sont en perte de vitesse	La ou les technique(s) est ou sont dorénavant désuète(s) en production porcine
3	Impacts du ou des élément(s) de régie d'élevage	Des renseignements concernant l'impact de cette ou ces technique(s) sur l'environnement, la santé et le bien-être du bétail ainsi que sur la productivité de l'élevage sont inclus	L'impact sur l'environnement et/ou la santé et/ou le bien-être et/ou la productivité du troupeau est mentionné et mesuré	L'impact sur l'environnement et/ou la santé et/ou la productivité du troupeau est simplement mentionné	Aucun renseignement n'est disponible
4	Coûts relatifs à ou aux élément(s) de régie d'élevage	Des renseignements de nature économique sur l'implantation de cette ou ces technique(s) dans un bâtiment porcin sont inclus	L'ordre de grandeur des prix de cette ou ces technique(s) est clairement indiqué	Une comparaison relative entre différentes techniques est réalisée	Aucun renseignement n'est disponible

Annexe B : Architecture

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 27. Bases de données du créneau « Architecture ».

Nom	Site web
Cab Abstract	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Biosis	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Agrobase	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Asabe Technical Library	http://asae.frymulti.com/
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
AgEcon Search	http://ageconsearch.umn.edu/
BDESR-SAE2	http://www.inra.fr/
Prairie Swine Centre	http://prairieswine.usask.ca/
Institut de l'élevage	http://www.inst-elevage.asso.fr/
Canada service de plans	http://www.cps.gov.on.ca/french/fframeindex.htm
Iowa State University Extension	http://www.extension.iastate.edu/
University of Illinois Extension	http://web.extension.uiuc.edu/state/
University of Minnesota Extension	http://www.extension.umn.edu/
The Pig Site	http://www.thepigsite.com
Art abstract	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Arts & humanities search	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
ARTstor	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Avery index to architectural periodicals	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
URBAMET	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Civil engineering database	http://www.bibl.ulaval.ca/mieux/chercher/bd
Google Scholar	http://scholar.google.ca

Tableau 28. Mots-clés et expressions du créneau « Architecture ».

Version française	Version anglaise
Bâtiment de ferme	Farm or agricultural building
Bâtiment porcin	Swine barn, pig facilities
Design	Design
Conception	Conception
Architecture	Architecture
Structure	Structure
Paysage	Landscape
Charpente	Skeleton
Volume	Volume
Forme	Shape
Couleur	Colo(u)r
Dimension	Dimension
Plan de planchers	Floor plans
Profil	Barn layout
Site unique ou 3 sites	One-site or multi-site

Tableau 29. Critères d'inclusion du créneau « Architecture ».

Numéro	Critère	Réponse (oui/non)
1	Élément de construction (forme, couleur, matériaux, etc.) possible pour un bâtiment agricole	
2	Élément concernant l'organisation des bâtiments	
3	Concept d'intégration au paysage	

Tableau 30. Critères de pertinence du créneau « Architecture ».

#	Critère	Description	Cote de pertinence et sa définition		
			Excellent (++)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
1	Élément d'architecture applicable pour un bâtiment porcin	L'élément d'architecture peut être pris en compte lors de la conception et de la construction d'une porcherie	L'élément d'architecture est visible sur des bâtiments porcins actuels	L'élément d'architecture n'est encore qu'au stade du prototype	L'élément d'architecture n'est pas applicable sur une porcherie
2	Élément d'architecture facilitant la structure de la production	L'élément d'architecture permet que les étapes de la chaîne de production soient bien coordonnées et que le bâtiment soit fonctionnel	L'élément d'architecture établit une organisation fonctionnelle de la production en tous points.	L'élément d'architecture restreint la facilité d'opération de la production.	L'élément d'architecture bloque le fonctionnement normal de la production
3	Élément d'architecture améliorant l'esthétisme et l'acceptabilité sociale de la population	L'élément d'architecture fait appel à des normes esthétiques pouvant améliorer l'opinion publique	L'élément d'architecture conserve son utilité tout en permettant d'améliorer l'apparence générale du bâtiment	L'élément d'architecture est utile pour la construction, mais passe inaperçu auprès de la population	L'élément d'architecture est désuet et ne peut compter ni sur son utilité ni sur son esthétisme

Annexe C : Matériaux

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 31. Concepts et mots-clés du créneau « Matériaux ».

Concepts	Mots-clés ou expressions
1. Matériaux	building?, ecobuilding, construction, ecoconstruction, walls, wall, window, windows, roof, insulation, insulated, ventilation, material, materials, housing, floor, component, energy, resources
2. Porc	swinery, swine, pig, farrowing, pork, hog, piglet, sow, porcine
3. Porcherie verte	sustainable, ecological, green, friendly piggery, piggeries, swinery, hog lot, pig farm, hog farm, farrowing house

Tableau 32. Critères d'inclusion du créneau « Matériaux ».

Numéro	Critères	Réponse (oui/non)
1	Traiter de matériaux utilisés dans un bâtiment porcin	
2	Traiter du bâtiment porcin vert	
3	Traiter de recyclabilité et/ou valorisation	
4	Traiter de l'énergie grise dans les matériaux	
5	Traiter du cycle de vie de matériaux	

Tableau 33. Critères de pertinence du créneau « Matériaux ».

Numéro	Critère	Description	Excellent	Acceptable	Inacceptable
			(++)	(+)	(-)
1	Technologie applicable à la ferme	La technologie doit être compatible aux activités d'un élevage porcin	La technologie est utilisée sur des sites d'élevage existants	La technologie est utilisée sur des sites en état de prototype	La technologie est au stade de recherche ou de tests en laboratoire
2	Nature des données /résultats	Présence des données validant les résultats	Données complètes et pertinentes	Résultats présents mais faiblement appuyés	Aucune donnée sur l'efficacité de la technologie
3	Concept de bâtiment porcin vert	La technologie répond aux trois critères de développement durable	Répond de manière complète aux trois critères	Répond de manière imprécise aux trois critères	Néglige entièrement un ou plusieurs critères
4	Cycle de vie des matériaux	Utilisation de matériaux recyclés, valorisés ou recyclables et à faible énergie grise	Cycle de vie de la majorité des matériaux identifiés	Cycle de vie de certains matériaux identifié	Aucune donnée disponible quant au cycle de vie des matériaux
5	Matériaux améliorant la durabilité du bâtiment	Matériel utilisé améliorant la durabilité des composants du bâtiment	Amélioration efficace de la durabilité du bâtiment	Amélioration moyenne de la durabilité du bâtiment	Aucun changement de durabilité du bâtiment noté
6	Matériaux emmenant une amélioration productive	Matériel utilisé améliorant l'efficacité d'une ou plusieurs étapes de la production	Amélioration efficace de la productivité	Amélioration moyenne de la productivité	Aucune amélioration de productivité notée

Annexe D : Contrôle des émissions atmosphériques

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 34. Bases de données retenues du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».

Bases de donnée	Site web
Prairie Swine Centre Inc.	http://www.prairieswine.com/
University of Alberta	http://www.library.ualberta.ca/databases/
Iowa State University Extension	https://www.extension.iastate.edu
University of Illinois Extension	http://web.extension.uiuc.edu/state/index.html
University of Missouri Extension	http://extension.missouri.edu/explore/
FAR Swine Odor and Manure Management	http://www.livestocktrail.uiuc.edu/
Manure Matters	http://manure.unl.edu/resources.html#Odor%20Control
AgEcon Search	http://agecon.lib.umn.edu/
AgNIC - Agriculture Network Information Center	http://agecon.lib.umn.edu/AgNIC/
ASABE Technical Expertise Database (TED)	http://www.asabe.org
SCOPUS - Database of research literature	http://www.scopus.com/scopus/home.url
Scirus - Science-specific Search Engine	http://www.scirus.com/srsapp/
Elsevier- Bibliographic Databases	http://www.info.embase.com/
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com/
Cemagref Publications Database	http://www.cemagref.fr/
Base de données bibliographiques BDESR-SAE2	http://www.inra.fr/

Tableau 35. Mots clés et expressions du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».

Type de recherche	Termes de recherche
Recherche par mots-clés simples	Ammonia, hydrogen sulphide, odors, swine, livestock, air quality, air treatments, NH ₃ , H ₂ S, pig, scrubber, biofiltre, biotrickling, bioscrubbers, , scrubbing.
Recherche à l'aide d'expression exacte	Air from pig houses, growing-finishing pig, ammonia emissions, odor reduction, odor removal efficiency, hydrogen sulfide removal, ammonia removal, odor removal, air cleaning, treatment of exhaust air from animal houses, biological methods, swine facilities, odor

nuisance, odor abatement.

Tableau 36. Critères d'inclusion du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».

Numéro	Critère	Réponse (Oui/Non)
1	Air traité provenant de bâtiments d'élevage	
2	Enlèvement des odeurs	
3	Enlèvement des contaminants de l'air	
4	Technologie appropriée pour l'industrie porcine	

Tableau 37. Critères de pertinence du créneau « Contrôle des émissions atmosphériques ».

Numéro	Critère	Description	Cote de pertinence et sa définition		
			Excellent (++)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
1	Technologie applicable à la ferme	La technologie doit avoir un lien avec le traitement de l'air provenant des bâtiments d'élevage	La technologie est utilisée sur des sites d'élevage existants	La technologie est utilisée sur des sites de recherche ou est à l'étape du prototype	La technologie n'est pas applicable
2	Caractéristiques des contaminants	Les contaminants ciblés par la technologie doivent inclure l'odeur et les contaminants de l'air Des renseignements concernant les performances des technologies sont inclus	L'odeur et les contaminants de l'air sont mentionnés	L'odeur ou les contaminants de l'air sont mentionnés	Ni l'odeur ni les contaminants de l'air ne sont mentionnés
3	Performance des technologies	Des renseignements concernant les performances des technologies sont inclus	Des critères de performance sont utilisés	Peu de renseignements sur les performances	Aucun renseignement sur les performances
4	Domaine d'application	La technologie doit être applicable pour le traitement de l'air provenant de bâtiments d'élevage.	Traitement de sources provenant de bâtiment d'élevage de porcs en croissance-finition	Traitement de sources provenant de bâtiments d'élevage	Traitement d'autres sources d'air

Annexe E : Gestion et traitement des déjections

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 38. Concepts et mots-clés du créneau « Traitement des déjections ».

Concepts	Mots-clés ou expressions
1. Porc	porc, swine, pig, pork, hog, porcelet, piglet, truie, sow, porcine
2. Extrants à traiter	déjections, lisier, manure, slurry, slurries, slurrey, waste, fumier, purin, dejection, farm effluent
3. Types de traitement	biofiltration, bio filtration, biofilter, biofiltre, biofiltering, bio filter, bio trickling, biotrickling, biological filter, bioreactor, bio reactor, bioréacteur, réacteur biologique, nitrification-dénitrification, polissage, polishing, osmose inverse, invert osmosis, filtration, ultrafiltration, boues activées, activated sludge, lit ruisselant, filtre percolateur, aérobie, aerobic, anaérobie, anaerobic, anaerobic digester, digesteur anaérobique, séparation solide/liquide, solid/liquid separator (separation), fermentation, compostage, composting, compost, lagunage, constructed wetland, vermifiltration, vermiculture, lombrifiltration, décantation, settling, flotation, tamisage, sieving, covered lagoon, flocculation, flocculation, coagulation, absorption, évaporation, evaporation, séchage, drying, pelletizing, granulation, procédé physique, physical treatment, procédé physico-chimique, physico-chemical treatment, procédé biologique, biological process (treatment), microbiological process (treatment)
4. Écodesign	close loop, cradle to cradle, ecological?, écologique, durable, sustainab?, environment? friendly, environment? conscious, environment? responsib?, eco design, ecodesign, green design, greendesign, life cycle, eco friendly, ecofriendly, green building, bâtiment vert, sustainable building?, environmentally friendly construction, eco building, sustainable construction, minimal pollution
5. Porcherie verte	sustainable piggery, sustainable piggeries, green piggery, green piggeries, porcherie verte

Tableau 39. Critères d'inclusion du créneau « Traitement des déjections ».

Numéro	Critère	Réponse (oui/non)
1	Traitement (partiel ou complet) des déjections	
2	Technique ou procédé reconnu ou testé	
3	Traiter du concept de bâtiment porcin vert	
4	Traiter d'un procédé innovant, d'un concept nouveau	

Tableau 40. Critères de pertinence du créneau « Traitement des déjections ».

Numéro	Critère	Description	Excellent (++)	Acceptable (+)	Inacceptable (-)
1	Technologie applicable à la ferme	La technologie doit avoir un lien avec le traitement des déjections provenant des bâtiments d'élevage	La technologie est utilisée sur des sites d'élevage existants	La technologie est utilisée sur des sites en état de prototype (démonstration commerciale)	La technologie est à l'étape de la recherche ou des tests en laboratoire (échelle pilote)
2	Procédé reconnu par l'industrie	Existence de données validant la performance de la technologie	Données complètes et pertinentes	Résultats présents, mais faiblement appuyés	Aucune donnée sur l'efficacité de la technologie
3	Efficacité du traitement des déjections	La technologie doit traiter les déjections porcines de manière partielle ou complète	Efficacité totale de la technologie (100 %)	Efficacité moyenne de la technologie	Procédé inefficace
4	Concept de bâtiment porcin vert	La technologie doit répondre aux trois critères de développement durable : 1- Environnement 2- Économie 3- Social	Répond parfaitement aux trois principes du développement durable	Répond aux trois principes du développement durable de façon imprécise	Néglige complètement un ou plusieurs principes du développement durable

Annexe F : Efficacité énergétique

Banques de données, mots clefs et critères

Tableau 41. Concepts et mots-clés du créneau « Efficacité énergétique ».

Concepts	Mots-clés ou expression
1. Énergie	energ? consumption, low energy, energy efficien?, energy saving, energy recovery embodied(n)energy, thermal resistance, thermal performance?, sustainable energy, renewable energy, luminous efficacy, lightning efficiency, light efficacy, energy(1n)source?, energy assessment
2. Procédés et technologies	insulate, insulation, heating, natural, windows, thermostat, timer, exchange, exchanger, boiler, compressor, solar, storage, store, collector, wall, roof, roofing, reflective, absorbing, absorption, combustion, geothermal, windbreak, waste
3. Porcherie	Swinery, pigger?, farrowing house, hog lot, (hog or hogs or pigs or pig or swine or swines) (house or houses or housing or farm or farms or farming or fattening or pens or stalls)

Tableau 42. Critères d'inclusion du créneau « Efficacité énergétique »

Numéro	Critère	Réponse (oui/non)
1	Parler d'économie d'énergie pour les équipements, le design ou les matériaux	
2	Parler d'énergie alternative	
3	Parler d'efficacité ou d'efficience énergétique	
4	Parler d'énergie ou de gestion de l'énergie tout au long du cycle de vie d'un bâtiment porcin (fonctionnement, construction, déconstruction, valorisation)	
5	Traiter du bâtiment porcin vert	

Tableau 43. Critères de pertinence du créneau «Efficacité énergétique ».

Numéro	Critère	Description	Excellent	Acceptable	Inacceptable
			(++)	(+)	(-)
1	Technologie applicable à la ferme	La technologie doit être compatible aux activités d'un élevage porcin	La technologie est utilisée sur des sites d'élevage existants	La technologie est utilisée sur des sites en état prototype	La technologie est au stade de recherche ou de tests en laboratoire
2	Nature des données /résultats	Présence des données validant les résultats	Données complètes et pertinentes	Résultats présents mais faiblement appuyés	Aucune donnée sur l'efficacité de la technologie
3	Concept de bâtiment porcin vert	La technologie répond aux trois critères de développement durable	Répond de manière complète aux trois critères	Répond de manière imprécise aux trois critères	Néglige entièrement un ou plusieurs critères
4	Technologie applicable au contexte québécois	La technologie doit être compatible avec les types de bâtiment existant, le climat et les ressources techniques présentes	Applicable parfaitement au contexte québécois	Applicable en partie au contexte québécois	Non applicable au contexte québécois
5	Efficacité de la technologie, du processus ou du concept mis en place	Économies énergétiques résultant de l'implantation technologique ou du concept	La technologie ou le concept permet de réduire la consommation énergétique de manière significative	La technologie ou le concept permet de réduire légèrement la consommation énergétique	Aucune amélioration de l'efficacité énergétique