

Évaluation de quelques matériaux organiques pour l'élevage de porcs sur litière mince

Rapport de recherche

Présenté à

Sylvie Gauthier

Ferme-École Desjardins de Lanaudière



Projet # 100 023

Version finale

Par :

Sandrine Seydoux
Marc-Olivier Gasser
François Léveillé

Décembre 2008

CHERCHEURS IMPLIQUÉS :

Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D
Chercheur, IRDA

Sandrine Seydoux, M.Sc.
Professionnelle de recherche, IRDA

François Léveillé, B.Sc.
Technicien en génie de l'agroenvironnement, IRDA

RESPONSABLE DE L'INSTITUTION DE RECHERCHE :

Marc R. Laverdière, agr., Ph.D
Directeur scientifique, IRDA



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 :

Seydoux, S. M.-O. Gasser et F. Léveillé. 2008. Évaluation de quelques matériaux organiques pour l'élevage de porcs sur litière mince. Rapport final. Ferme-École Desjardins de Lanaudière. 76 p. annexes.

ISBN – 13 : 978-2-922851-77-9

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2009

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2009

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Liste des tableaux

Tableau 1 - Matériaux potentiellement utilisables comme litière.....	6
Tableau 2 - Méthode de hachage et longueur approximative des matériaux	12
Tableau 3 - Propriétés initiales des matériaux utilisés pour les essais d'absorption	14
Tableau 4 - Capacité d'absorption en eau sur base massique sèche (CAEM) et sur base volumique et sèche (CAEV).....	16
Tableau 5 - Moment d'échantillonnage et localisation des prélèvements.....	28
Tableau 6 - Consignes d'échantillonnage	28
Tableau 7 - Paramètres analysés selon les échantillons prélevés.....	29
Tableau 8 - Litières testées.....	30
Tableau 9 - Description générale des litières	33
Tableau 10 - Masses volumiques de quelques litières selon leur mode de mesure	34
Tableau 11 - Composition du bran de scie et des pailles utilisés comme litière.....	35
Tableau 12 - Déplacements et ajouts de litière en cours d'élevage.....	36
Tableau 13 - Quantité totale de litière apportée (Bloc 3).....	37
Tableau 14 - Données d'élevage	39
Tableau 15 - Teneurs en <i>E. coli</i> et en coliformes thermotolérants des litières fraîches et souillées	53
Tableau 16 - Composition physicochimique des fumiers à base de bran de scie et de pailles	56
Tableau 17 - Masses et volumes des fumiers vidangés.....	57
Tableau 18 - Bilans massique et volumique (Fumier - litière)	58
Tableau 19 - Masses en N et P des litières et fumiers, et bilans.....	60
Tableau 20 - Temps de gestion de la litière et du fumier	61
Tableau 21 - Évaluation des coûts des litières du bloc 3	62

Liste des figures

Figure 1 - Capacité d'absorption en eau rapportée par masse (CAEM) et par volume (CAEV) de matériaux testés au laboratoire et sur base sèche17

Figure 2 - Capacité d'absorption en eau rapportée par masse (CAEM) et par volume (CAEV) de matériaux testés au laboratoire et sur base sèche en fonction de la masse volumique apparente sèche20

Figure 3 - Conditions d'ambiance (Bloc 1).....42

Figure 4 - Conditions d'ambiance (Bloc 2).....43

Figure 5 - Conditions d'ambiance (Bloc 3).....44

Figure 6 - Extension de la zone de déjection (Blocs 1 à 3).....46

Figure 7 - Épaisseur moyenne de la litière dans la zone de repos (Blocs 1 à 3)47

Figure 8 - Évolution de la teneur en eau des litières (Bloc 3).....48

Figure 9 - Température moyenne de la litière dans la zone de repos (Bloc 3).....50

Figure 10 - Teneur en N_{total} et rapport $N\text{-NH}_4/N_{\text{total}}$ dans la litière (Bloc 3)51

Figure 11 - Profils de litière observés avant la reprise des fumiers de bran de scie et de pailles.....54

Table des matières

Remerciements ii
Avant-propos ii
Liste des tableaux iii
Liste des figures iv

Introduction générale1

Partie I : Litières possibles et critères de qualité3

1.1 Matériaux utilisés en production porcine sur litière3

1.2 Matériaux potentiellement utilisables comme litière3

1.3 Critères de choix d'une litière7

1.4 Conclusion8

Partie II : Capacité d'absorption en eau de matériaux destinés aux litières d'élevage9

2.1 Introduction9

2.2 Matériel et méthodes10

2.2.1 Matériaux à l'essai10

2.2.2 Essai d'absorption10

2.3 Résultats13

2.4 Conclusion21

Partie III : Expérimentation en chambres d'élevage23

3.1 Matériel et méthodes23

3.1.1 Contexte expérimental23

3.1.2 Données recueillies24

Cheptel25

Conditions d'ambiance25

Litière et fumier25

Coûts26

3.1.3 Modes d'acquisition des données26

Mesures de masses, volumes et masses volumiques26

Échantillonnage des litières et fumiers27

Analyses physicochimiques et microbiologiques29

3.2	Résultats et discussion	30
3.2.1	Déroulement général du projet.....	31
3.2.2	Litières testées	32
3.2.3	Quantités de litière utilisées.....	32
3.2.4	Observation du cheptel.....	38
	Superficie par porc	38
	IMQ.....	38
	Mortalité.....	38
	Santé.....	39
	Gain de poids.....	40
	Propreté des animaux	40
3.2.5	Suivi des conditions d’ambiance.....	40
3.2.6	Évolution des litières.....	45
	Extension de la zone de déjection	45
	Profondeur moyenne de la litière.....	48
	Teneur en eau de la litière	48
	Température de la litière.....	49
	Teneurs en azote des litières.....	51
	Niveau de contamination fécale des litières	52
	Profils de litière.....	53
3.2.7	Caractéristiques des fumiers.....	55
	Composition des fumiers	55
	Masses et volumes vidangés.....	57
3.2.8	Bilans massique et volumique.....	57
	Bilans en N et en P.....	59
3.2.9	Temps de gestion de la litière.....	60
3.2.10	Évaluation des coûts	60
3.3	Conclusions et recommandations.....	63
3.3.1	Principaux résultats.....	63
3.3.2	Recommandations	63
	Gestion des élevages et de la litière.....	64
	Suivi expérimental et mesures	65
	Conclusion générale et perspectives de recherche.....	66
	Références	69
	Annexes	77
	1 - Plan du bâtiment d'élevage.	
	2 - Échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair ^{MD} .	
	3 - Composition des moulées	
	4 - Protocole d'observation, d'échantillonnage et de suivi.	
	5 - Médicaments administrés au cours du bloc 3.	
	6 - Température et humidité relative moyennes quotidiennes extérieures (Blocs 1 à 3).	
	7 - Température et humidité relative moyennes horaires extérieures (Bloc 3).	
	8 - Résultats d'analyse des litières du bloc 3.	
	9 - Variabilité des teneurs des échantillons de litière analysés en triplicata.	
	10- Variabilité des teneurs des échantillons de fumier analysés en triplicata.	

Introduction générale

Pour certains producteurs, l'élevage de porc sur litière présente des avantages non négligeables par rapport au mode d'élevage conventionnel sur plancher latté générateur de lisier. Cela permet notamment de réduire les volumes d'effluents et leurs odeurs, et d'exporter à moindres coûts des effluents hors des zones en surplus d'engrais de ferme (la disposition de fumier dans un site de compostage est moins coûteuse qu'un système de traitement des lisiers). Par ailleurs, l'utilisation de litière est requise par certains cahiers de charge en production de « porcs spécifiques » (certifications « biologique » ou « élevage humanitaire/*humanely raised* » par exemple). Bien qu'encore relativement peu développés, ces marchés de niche procurent une valeur ajoutée aux porcs produits.

La litière la plus utilisée, surtout dans les élevages porcins non biologiques, est la sciure de bois (bran de scie). Celle-ci, également recherchée pour d'autres élevages (bovins notamment), pour la fabrication de panneaux agglomérés et pour la cogénération, est cependant de moins en moins disponible à cause du ralentissement de l'exploitation forestière. Le coût croissant du bran de scie et sa disponibilité réduite constituent actuellement une contrainte importante en production porcine sur litière. Le maintien et le développement de ce mode d'élevage requiert donc, entre autres, une diversification des sources de litière qui soient techniquement et économiquement intéressantes.

Cette étude exploratoire avait trois buts :

- Faire le point sur les matériaux utilisés et potentiellement utilisables comme litière en élevage porcine sur litière mince,
- Établir la capacité d'absorption en eau de différents matériaux organiques disponibles au Québec et possiblement utilisables comme litière, et
- Évaluer, à la ferme, quelques produits agricoles courants susceptibles de remplacer avantageusement le bran de scie.

La première partie du rapport présente brièvement les litières possibles et les critères de qualité à considérer. La seconde, rédigée spécifiquement par Marc-Olivier Gasser, discute des mesures de capacité d'absorption en eau de différents matériaux organiques, effectuées à l'IRDA. La dernière partie traite des essais expérimentaux réalisés avec différentes litières en élevages de porcs à l'engrais, dans les installations de la Ferme-École Desjardins de Lanaudière.

Partie I : Litières possibles et critères de qualité

Cette partie a deux intentions : fournir une vision très générale des matériaux utilisés ou potentiellement utilisables comme litière en élevage porcin sur litière mince au Québec et rappeler les différents critères à prendre en considération lors de la sélection d'une litière.

1.1 Matériaux utilisés en production porcine sur litière

En 2004, la litière la plus employée en élevage de porc au Québec était le bran de scié (Guimont et coll. 2005). Certains producteurs utilisaient aussi des rabotures (ripe) (en mélange avec de la sciure), de l'écorce de bois, des pailles de céréales (à petits grains) et des tiges de maïs. Seule une enquête systématique permettrait d'actualiser ces informations. Il semble cependant que les producteurs fassent différents mélanges à base de bran de scié et expérimentent avec divers matériaux. Par ailleurs, plusieurs producteurs de porcs « biologiques », qui cultivent des céréales pour nourrir leurs animaux, utilisent la paille de blé et d'orge comme litière.

La plupart des études réalisées au Québec documentent surtout l'utilisation du bran de scié. En France, les travaux de recherche concernent des élevages sur litière de bran de scié, mais aussi de paille, ou encore de mélanges. Par contre, la nature de la paille utilisée est rarement mentionnée. Enfin, nous n'avons trouvé aucune étude comparant différentes sortes de pailles entre elles.

Des pistes bibliographiques concernant l'élevage porcin sur litière sont rassemblées dans une sous-section des références correspondant à la partie I de ce rapport (voir références). Dans cette liste non exhaustive, la plupart des documents ont trait à l'élevage sur litière profonde de sciure. Les documents relatifs à l'élevage porcins sur litière en couche mince sont peu nombreux. Au Québec, l'étude la plus approfondie sur le sujet est le rapport de Sylvain Pigeon « Technique d'élevage sur litière mince » (Pigeon, 2001) et a été menée pour un mélange de sciures et de rabotures (« planures ») sèches.

1.2 Matériaux potentiellement utilisables comme litière

Dans l'inventaire dressé au Tableau 1, les matériaux utilisés ou potentiellement utilisables comme litière sont répartis en deux groupes : les matériaux qui peuvent être produits à la ferme et ceux qui proviennent de l'extérieur. Cela vise à mettre en évidence les possibilités d'autosuffisance en litière et la variété des plantes utilisables sur une exploitation agricole diversifiée de dimension moyenne. Dans un tel contexte, où la production de la litière, son utilisation en production animale et la valorisation des effluents d'élevage sont rassemblés, le coût d'acquisition des litières pourrait être plus intéressant. De plus, l'utilisation sur place des effluents produits (fumier ou compost) à la ferme contribue non seulement à l'amélioration efficace ou au maintien de la fertilité des sols auxquels la matière organique est restituée, mais aussi à la réduction des gaz à effets de serre par un recours moindre au transport et aux intrants chimiques.

L'inventaire non exhaustif du Tableau 1 s'inspire en grande partie de la « Revue de littérature sur les litières en production bovine » (Catois et Pigeon, 2007), un document, réalisé à la demande de la Fédération des producteurs de bovins du Québec, pour faire écho aux préoccupations des éleveurs concernant l'augmentation du prix du bran de scié et les difficultés d'approvisionnement en sciure de qualité.

Parmi les matériaux non traditionnellement utilisés comme litière en élevage bovin¹, Catois et Pigeon (2007) soulignent l'intérêt de cultures à fort rendement en biomasse telles le **panic érigé**², l'**alpiste roseau**³ et le **kénaf**⁴, et de deux types de matières résiduelles fertilisantes (MRF), soit les **résidus de cour à bois** et les **résidus de désencrage**. Ces auteurs formulent également plusieurs recommandations pour développer ces produits et/ou assurer leur bonne gestion.

Par contre, ils ne considèrent pas le saule comme une source de litière potentielle à court terme et pour de grandes quantités. Pourtant, cette plante adaptée aux conditions climatiques du Québec agricole présente des atouts non négligeables (contrôle de l'érosion, assainissement du milieu, développement en sols plus pauvres, peu ou mal drainés). Il serait donc intéressant d'évaluer les coûts de la production du **saule** (à la ferme ou dans la municipalité) comme source de litière, et bien sûr de le tester.

Catois et Pigeon (2007) ne mentionnent pas non plus, comme source potentielle de litière, l'**herbe à éléphant**⁵ ou l'**agropyron intermédiaire**⁶, qui sont également sous étude au Québec (CRAAQ, 2008; Groleau, 2008; Martel 2008) en vue de leur utilisation comme biocombustibles.

En ce qui concerne les produits forestiers, l'analyse de Catois et Pigeon (2007) pourrait être nuancée. En effet, comme en témoignent la presse (La Terre de chez nous, 2008; L'information du forestier, 2008), la crise forestière déjà sensible en 2007 s'est accentuée. La baisse de la demande en bois d'œuvre, en lien avec la crise immobilière et la récession économique américaine associée à la hausse des coûts du carburant, s'est traduite par la fermeture d'un grand nombre d'usines de sciage. Cela a causé de très nombreuses mises à pied directes et indirectes (pertes d'emplois en forêt et dans le transport, ralentissement des activités dans l'industrie papetière et dans la fabrication de panneaux agglomérés, etc.). Cela a entraîné également une forte perte de revenu pour les propriétaires forestiers privés (dont bien des agriculteurs) et l'accumulation d'un grand stock de bois disponible dans les forêts publiques et privées du Québec.

Dans ce contexte, le développement de la filière énergétique (bois de chauffe, granules, électricité) s'intensifie car elle répond notamment au besoin de diversification des usages de la biomasse ligneuse largement disponible. La fabrication de litière (copeaux, rabotures, bran de scie) à partir de billes entières est aussi un axe en développement⁷. À ce chapitre, les arbres feuillus à développement rapide présentent un potentiel particulièrement intéressant qui mériterait d'être exploité. Parmi ceux-ci, le **peuplier faux-tremble** (ou « tremble »)⁸ et le **peuplier baumier**⁹, sont très répandus dans les écosystèmes forestiers et de plus faible valeur commerciale. De plus, pour un usage comme litière, il n'est pas nécessaire de sécher les produits obtenus par déchetage, rabotage ou sciage. Ainsi, grâce

¹ Comme pour la production porcine sur litière, les matériaux les plus couramment utilisés actuellement sont la sciure, les rabotures (« copeaux de rabotage » ou « ripe ») et les pailles de céréales.

² *Panicum virgatum* L.; Switch grass.

³ *Phalaris arundinacea* L., Reed canary grass.

⁴ Aussi appelé chanvre de Deccan, *Hibiscus Cannabinus* L. et *Hibiscus Sabdarifa* L.,

⁵ *Miscanthus giganteus*.

⁶ *Agropyron intermedium*.

⁷ Il existe déjà des équipements spécialisés dans la transformation de billes de bois en rabotures, à l'échelle industrielle (comme l'entreprise *Ripobec* qui fabrique des litières de haut de gamme pour les chevaux, à base de résineux) ainsi qu'à l'échelle de la ferme (comme les « machines à ripe » commercialisées par la compagnie *Équipements Tremzac*).

⁸ *Populus tremuloides*.

⁹ *Populus balsamifera*.

à une volonté régionale de soutien conjoint des secteurs forestier, énergétique et agricole (élevages sur litière), on pourrait très bien imaginer que les coûts de la litière d'origine forestière redeviennent intéressants pour les producteurs de bovins, de volaille ou de porcs.

N.B. : Dans le Tableau 1, un astérisque (*) indique que le matériau est discuté dans le document de Catois et Pigeon (2007). Tous les matériaux relevés dans ce document n'apparaissent toutefois pas dans le Tableau 1. En effet, nous n'avons pas retenu les produits qui sont valorisés en alimentation animale (les drêches de maïs issues de la fabrication d'éthanol par exemple). Ne figurent pas non plus dans le tableau les matelas industriels (faits de granules en caoutchouc ou de mousse) qui ne permettraient pas le comportement de fouissage propre aux porcs. Le lecteur est invité à consulter la bibliographie de Catois et Pigeon (2007) ainsi que quelques pistes complémentaires fournies dans la section référence du présent rapport.

Tableau 1 - Matériaux potentiellement utilisables comme litière**Produits potentiellement disponibles à la ferme**Résidus de culture

Paille	Céréales	Blé*, Orge*, Avoine*, Millet japonais, ...
	Oléagineux	Soya*, Lin*, Chanvre*, Lupin*, Canola*,...
Tiges		Maïs grain*
Rafles		Maïs grain

Cultures partiellement ou spécifiquement produites pour servir de litière[1]

Espèces non ligneuses	Panic érigé*, Alpiste roseau*, Kénaf*, Chanvre*, Lin*, Miscanthus giganteus
Espèces ligneuses à croissance rapide [2]	Saule*, Peuplier faux-tremble et peuplier baumier (aussi présents dans les boisés de ferme)

Autres produits de la ferme

Vieux foin*
Fumier composté ou non [3]
Espèces ligneuses des boisés de ferme:

Produits provenant de l'extérieurProduits de nature organiques recyclables en agriculture (Plusieurs de ces produits sont aussi utilisables pour générer de l'énergie)

Sous-produits industriels

Issus de l'industrie forestière

Résidus de cour à bois*
Écorces
Copeaux
Rabotures* ("ripe" ou "planure")
Sciure (bran de scie)*

Issus de l'industrie papetière

Boues mixtes papetières (sans doute bcp trop humides pour être utilisées comme litière)
Résidus de désencrage*

Issus d'autres filières industrielles

Autres produits (ou déchets) d'origine urbaine ou non

Boues municipales*, Rejets ménagers compostés*
Feuilles, copeaux d'émondage ou bois raméal fragmenté (BRF), composts*
Papier journal*
Résidus de construction et de démolition*
Phragmites

Produits non renouvelables

Tourbe de mousse de sphagnum*

Produits minéraux ou artificiels réutilisables

Sables et graviers*, Litière de plastique*

[1] Ces plantes sont aussi utilisables pour la production de biocarburants, la cogénération et/ou la fabrication de tissus et de papier.

[2] En France, on parle d'espèces cultivées en "taillis à très courte rotation" (ITCR).

[3] Un chercheur de l'IRDA, Rodrigue Grégoire, avait élaboré avec A. Frève un projet de compostage de fumier de bovin en vue de sa réutilisation comme litière. Faute de subvention et d'appui ce projet n'a pas eu de suites. Pour les fumiers solides utilisés comme litière, la recherche se poursuit aux États-Unis (Harrison *et al.*, 2008)

(*) Matériaux abordés de façon plus ou moins détaillée dans le document de Catois et Pigeon (2007).

1.3 Critères de choix d'une litière

Comment sélectionner dans la longue liste des litières potentiellement utilisables, le matériau le plus approprié? Avant de pouvoir répondre à cette question, il convient tout d'abord de s'interroger sur les critères à prendre en compte dans le choix d'une litière. Outre la question du confort et de la santé des porcs, le seul critère du coût de la litière (acquisition et manutention) n'est évidemment pas suffisant. En effet, dans la perspective d'une production porcine sur litière durable, c'est-à-dire à faible impact environnemental, socialement acceptable et économiquement viable, c'est l'analyse du cycle de vie de la litière, ainsi d'ailleurs que celle du système d'élevage en entier, qu'il faudrait effectuer pour prendre une décision vraiment éclairée. À ce chapitre, les travaux de Basset-Mens et Van der Wer (2005) illustrent toutefois la diversité des paramètres pouvant être pris en compte et la complexité d'une telle analyse. En ce qui concerne la production de litière à la ferme, il est important de la considérer dans un contexte de production agroforestière en tenant compte des biens et services écologiques (BSE) que cela représente. En effet, la biomasse peut provenir de brise-vents, de bandes riveraines, de terres non propices à des cultures annuelles, d'enclaves forestières ou encore de zones à vocation récréo-environnementales. Tous ces aménagements contribuent à la biodiversité du milieu ainsi qu'à sa protection ou sa valorisation.

Autrement dit, une « bonne » litière, au même titre d'ailleurs que toutes les composantes de la production animale et végétale à laquelle son utilisation est associée, devrait non seulement contribuer au bien être animal et à la rentabilité de l'élevage, mais aussi concourir au développement global et durable de l'entreprise, sur les plans agronomique, environnemental et social.

Compte tenu de la spécificité de chaque entreprise, il n'y a évidemment pas de solution universelle. Le type et la taille de l'élevage, sa localisation, la disponibilité de matériaux hors exploitation ou le potentiel de production de litières à la ferme (par des pratiques agroforestières notamment) sont autant d'éléments qui orienteront le choix d'une litière (ou de plusieurs). Le type de bâtiment, l'espace de stockage disponible et le degré de mécanisation de la gestion de la litière peuvent aussi être des critères importants (ou des contraintes) lors du choix d'un matériau.

Dans la revue de littérature sur les litières en production bovine (Catois et Pigeon, 2005), les matériaux ont été évalués selon les 7 critères suivants¹⁰ :

- La capacité d'absorption en eau (sur base humide et base massique);
- Le confort et la santé des animaux;
- La disponibilité du matériau (à une distance raisonnable de l'exploitation et dans le temps);
- Le coût de production ou d'achat du matériau;
- La facilité de la manutention;
- Les modalités de gestion du fumier produit;

¹⁰ Dans les tableaux de synthèse du document de BPR (2007) ces critères sont appréciés pour la plupart de façon qualitative, ce qui permet de comparer les litières entre elles. Les coûts évalués fournissent un ordre de grandeur

- Le niveau de contrôle des odeurs; et
- La qualité du matériau (par rapport à la sécurité, à la santé des animaux et des travailleurs, ainsi qu'en lien avec l'épandage du fumier).

En résumé, une « bonne » litière se doit d'être saine (sans éléments toxiques ou susceptibles de blesser les animaux), pas trop appétissante (pour ne pas nuire à l'engraissement des porcs), bien absorbante et plutôt sèche (pour une meilleure absorption et pour éviter les moisissures pendant l'entreposage). Elle doit être apportée en quantité suffisante pour permettre aux porcs de fouiller dedans et de s'allonger confortablement. De plus, si la litière souillée est d'origine agricole ou pastorale et n'est pas compostée, il est important que le fumier frais à épandre ne contienne pas de graines de « mauvaises herbes » qui se propageraient dans les champs. Enfin, ses coûts d'achat et de manutention doivent être raisonnables pour le producteur, afin de ne pas limiter, au détriment des animaux, la quantité de litière ajoutée ni la fréquence des apports nécessaires.

Sur ce dernier point, il est important de rappeler que la litière est actuellement encore pour de nombreux producteurs une contrainte économique supplémentaire. Dans un contexte où le porc élevé sur litière (porc spécifique « biologique » ou correspondant à un autre label en lien avec une qualité de viande, le souci éthique du bien être des animaux ou de la conservation de l'environnement) serait vendu à un plus juste prix, le coût relatif de la litière serait moindre. Autrement dit, ce n'est pas le coût absolu de la litière qu'il faut considérer, mais bien son coût relatif par rapport à la plus value d'un produit de niche, qui mériterait d'ailleurs d'être plus équitablement rétribué. Pour certains, l'élevage sur litière est tout simplement « une piste de solution incontournable à la crise actuelle de l'industrie porcine » (Bouchard, 2007).

1.4 Conclusion

Ces quelques pages donnent des pistes de référence et de réflexion, mais suggèrent également que beaucoup de recherche reste à faire pour que soient bien documentées les différentes litières potentiellement utilisables en élevage porcin au Québec.

À l'instar de Catois et Pigeon (2007), nous ne saurions que trop recommander la poursuite de travaux de recherche et de développement concernant le panic érigé, l'alpiste roseau et le kénaf. Cependant, d'autres plantes à croissance rapide mériteraient aussi d'être testées en élevage porcin sur litière, notamment des espèces ligneuses comme le peuplier faux-tremble, le saule et le peuplier baumier. Et pourquoi ne pas tester également le potentiel du roseau commun, l'herbe à éléphant ou l'agropyron intermédiaire?

Toutefois, compte tenu de la conjoncture actuelle on pourrait souhaiter que l'immense potentiel agroforestier du Québec méridional soit mieux reconnu et exploité. Non seulement pour la production d'énergie, mais aussi pour la production de litière à partir d'essences de moindre intérêt pour la cogénération telles le peuplier faux-tremble ou le peuplier baumier qui abondent dans les boisés des particuliers.

2 Partie II : Capacité d'absorption en eau de matériaux destinés aux litières d'élevage¹¹

2.1 Introduction

La disponibilité des matériaux pour la confection des litières pose un défi de plus en plus important pour les éleveurs sur litière, particulièrement lorsque les marges de profits sont minces, comme en production porcine. Les coûts élevés et la disponibilité limitée de matériaux conventionnels comme les sciures (bran de scie) imposent l'essai et le choix de nouveaux matériaux.

La capacité d'absorption des matériaux potentiellement utilisables à la ferme a déjà fait l'objet de plusieurs recherches québécoises et internationales. Potvin et Bernard (1995) ont réalisé une étude particulièrement exhaustive dont l'objectif visait à optimiser le compostage du fumier de bovins laitiers (1995). De cette étude et de leur revue de littérature, il s'avère primordial de considérer la teneur en eau initiale des matériaux, le temps d'absorption et d'égouttement ainsi que la manière de rapporter les résultats (base volumique ou massique ; sèche ou humide). À défaut d'utiliser des bases comparatives (mêmes teneurs en eau, par exemple), les résultats peuvent être contradictoires. Par exemple, Potvin et Bernard 1995 citent les travaux de Sobel qui «démontrent que la paille d'avoine hachée et la sciure de bois ont une capacité d'absorption en eau similaire, soit environ 5,3 kg d'eau absorbée/kg de litière sèche alors qu'exprimée sur une base humide, la capacité d'absorption en eau de la paille humide (TEE = 14 %) est neuf fois plus élevée que celle de la sciure de bois humide (TEE = 76 %)».

La finesse de mouture influence la masse volumique apparente des matériaux. Cependant, certains résultats sur la capacité d'absorption en eau et le hachage des pailles s'avèrent contradictoires. Potvin et Bernard citent en exemple les résultats de Ensminger (1980) qui démontrent que les pailles hachées d'avoine et de blé retiennent environ 25 % plus de liquide que les pailles longues. Par contre, les travaux de Fortier (1990) indiquent que les pailles humides lâches d'avoine, de blé et d'orge retiennent en moyenne 9 % plus d'eau que les pailles hachées. Les travaux de Schofield (1986) indiquent par ailleurs une baisse de 20 % de la capacité d'absorption sur une base massique des pailles hachées d'orge par rapport aux pailles longues, avançant l'hypothèse que la quantité d'eau absorbée est accrue par les phénomènes de capillarité et de tension de surface dans le creux des pailles non-hachées et les espaces entre les feuilles et les tiges. Les travaux de Potvin et Bernard (1995) n'ont montré aucun impact important du hachage des pailles d'orge et d'avoine, sur la capacité d'absorption exprimée sur une base volumique ou massique.

De nouvelles cultures, comme le panic érigé, le chanvre, le saule et l'agropyron sont présentement promues dans diverses régions du Québec. Plusieurs de ces cultures offrent la possibilité de produire de la biomasse pouvant servir à la production d'énergie ou encore de matériaux pour la litière d'élevage. Toutefois, peu de ces matériaux ont fait l'objet d'une comparaison systématique quant à leur capacité d'absorption en eau dans le but d'en faire usage comme litière.

Une série de bancs d'essai ont été mis en place à l'IRDA afin de comparer la capacité d'absorption de plusieurs matériaux qui présentaient un intérêt comme matériaux pour la litière.

¹¹ Cette partie a été spécifiquement rédigée par Marc-Olivier Gasser, agr. Ph.D.

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Matériaux à l'essai

La plupart des pailles et des tiges de plantes à l'étude provenaient de plantes cultivées en champ (orge, blé, seigle, soya, canola, tournesol, chanvre, panic, agropyron, alpiste roseau) sauf pour le phragmite commun et les feuilles d'érable (Tableau 2). Les autres matériaux étaient des sciures (brans de scie) de bois franc provenant d'une usine de production de meubles, des sciures de résineux de divers moulins à scie, des rabotures de bois d'œuvre (ripe) et finalement des boues de désencrage humides ou séchées partiellement avec un procédé à l'essai.

Ces divers matériaux ont été évalués au cours de 6 essais réalisés en 2007 et 2008. Quelques-uns des matériaux comme les pailles d'orge et les rabotures de bois ont été utilisés dans plus d'un essai comme matériau témoin. Les matériaux identifiés par Bloc 1 à Bloc 3 ont fait l'objet d'essais comme litière en élevage porcin à la Ferme-École de Joliette et sont décrits plus en détails ailleurs en termes de distribution de leurs tailles et des hachoirs ou des hache-pailles utilisés. Les autres pailles d'orge et de canola ont été hachées avec un hache-paille d'étable conventionnel de marque Dynavent, modèle H.P.G. De ces matériaux, le panic et les feuilles d'érable ont été hachés plus finement afin d'évaluer cet effet sur la capacité d'absorption. Les pailles de panic érigé ont été hachées avec un moulin stationnaire de marque Letz muni de couteaux rotatifs pour produire un premier matériel haché, tandis qu'un moulin Wiley Mill sans tamis a été utilisé pour produire du matériel plus fin. Les feuilles ont été broyées avec une tondeuse à gazon. Le Tableau 2 rapporte les longueurs moyennes approximatives des matériaux obtenus avant et après le hachage.

2.2.2 Essai d'absorption

Pour réaliser les essais d'absorption, chaque matériau a été déposé dans trois contenants (3 répétitions) de six litres ayant un fond perforé et muni d'un filet de moustiquaire pour retenir le matériel lors de l'égouttement. Les matériaux ont été déposés dans les contenants jusqu'à 1 à 2 cm du bord en appliquant une légère pression pour aplanir et homogénéiser les volumes de matériaux utilisés. Une assiette a été déposée sur le contenant pour retenir le matériel lors du trempage.

Avant le trempage, chaque échantillon a été pesé et le volume a été estimé en mesurant la hauteur de litière dans le contenant. Une calibration préalable a permis de relier la hauteur au volume de matériel présent. Les contenants ont été déposés dans des bacs plus gros pour être trempés par immersion durant des périodes cumulées de 1, 3, 6, 22, 27, 44, 138 et 180 heures. Entre chaque période, les contenants ont été égouttés pendant une heure avant la mesure des masses et des volumes des matériaux trempés. La teneur initiale en matière sèche des matériaux (rapportée sur base sèche et base humide) a été déterminée à partir de trois échantillons de chaque matériau séché à 40°C pendant quatre jours ou jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

Lors de ces essais, les paramètres suivants ont été déterminés :

La teneur en eau initiale sur base sèche

$$\text{TEE ini b.s.} = \frac{\text{masse d'eau à TEE ini}}{\text{masse de matériel sec}}$$

La teneur en eau initiale sur base humide

$$\text{TEE ini b.h.} = \frac{\text{masse d'eau à TEE ini}}{\text{masse de matériel humide}}$$

La masse volumique apparente sèche

$$\text{MVA b.s.} = \frac{\text{masse de matériel sec}}{\text{volume de matériel humide}}$$

La masse volumique apparente humide

$$\text{MVA b.h.} = \frac{\text{masse de matériel humide}}{\text{volume de matériel humide}}$$

La teneur en eau à saturation sur base humide

$$\text{TEE sat b.h.} = \frac{\text{masse d'eau absorbée par le matériel sec}}{\text{masse de matériel humide}}$$

La capacité d'absorption en eau sur base massique sèche

$$\text{CAEM b.s.} = \frac{\text{masse d'eau absorbée par le matériel sec}}{\text{masse de matériel sec}}$$

La capacité d'absorption en eau sur base volumique et sèche

$$\text{CAEV b.s.} = \frac{\text{volume d'eau absorbée par le matériel sec}}{\text{volume de matériel humide}}$$

Il est important de noter que la masse volumique apparente sèche (MVA b.s.) et la capacité d'absorption sur base volumique et sèche (CAEV b.s.) sont exprimées sur une base de volume humide. Ce volume correspond à celui qu'occupaient les matériaux lors des essais d'absorption. En général, le volume des matériaux évoluaient peu entre leur état initial, à faible teneur en eau, et leur état final à saturation. Par contre, si les matériaux sont séchés à l'étuve, leurs volumes peuvent être altérés. Ces derniers ne représentent pas les volumes occupés par les matériaux durant leur absorption et ne sont d'aucune utilité pour caractériser le pouvoir absorbant des matériaux à leur état normal ou tel que rencontré à la ferme (Potvin et Bernard, 1995).

Il est à noter aussi que la teneur en eau à saturation et la capacité d'absorption en eau sur base massique sèche sont reliées par l'équation suivante :

$$\text{CAEM b.s.} = \frac{\text{TEE sat b.h.}}{1 - \text{TEE sat b.h.}}$$

Tableau 2 - Méthode de hachage et longueur approximative des matériaux

Matériel	Essai	Méthode de hachage utilisée	Longueur approximative des matériaux (cm)
orge non haché	1	—	20-25
orge non haché	3	—	20-25
orge non haché	4	—	20-25
orge haché	1	hache-paille Dynavent	2-12
orge haché	2	hache-paille Dynavent	2-12
orge haché Bloc 3	6	hache-paille convent.	2-15
avoine hachée Bloc 3	6	hache-paille convent.	2-15
blé haché Bloc 1	4	hache-paille convent.	4-15
blé haché Bloc 2	5	hache-paille convent.	8-17
seigle haché Bloc 2	5	hache-paille convent.	2-25
canola non haché	1	—	15-20
canola haché	1	hache-paille Dynavent	10-15
panic non haché	1	—	15-30
panic haché	1	moulin Letz	<12
panic haché fin	2	moulin Wiley-Mill	<3
soya haché Bloc 1	4	hache-paille convent.	2-10
soya haché Bloc 3	6	hache-paille convent.	2-15
chanvre haché convent.	2	hache-paille convent.	copeau + fibre enroulée
chanvre haché fin	2	hache-paille Teagle	copeau + fibre enroulée
tournesol haché	4	haché à la main	2-7
agropyron haché	3	haché à la main	7-15
alpiste roseau haché	3	haché à la main	7-15
phragmite commun haché	4	haché à la main	2-8
feuille d'érable non hachée	1	—	5-10
feuille d'érable hachée	1	tondeuse à gazon	3-5
rabotures de résineux	1	n.d.	1-3
rabotures de résineux	3	n.d.	1-3
sciure bois franc	1	n.d.	<1
sciure résineux A Bloc 1	4	n.d.	<2
sciure résineux B Bloc 1	5	n.d.	<1
sciure résineux Bloc 2	5	n.d.	<2
sciure résineux Bloc 3	6	n.d.	<1
boue de désencrage humide	4	—	<2
boue de désencrage sèche	4	—	<2

n.d. : non disponible

2.3 Résultats

Le Tableau 3 rapporte la teneur en eau initiale et la masse volumique apparente des matériaux utilisés pendant les six essais d'absorption. La plupart des pailles et des tiges de plantes cultivées avaient des teneurs en eau initiales inférieures à 0,10g/g (sur base humide ou base sèche), soit généralement plus faibles que la teneur en eau de référence de 15 % (b.h.) proposée par Potvin et Bernard (1995) pour les pailles de céréales. En revanche, les pailles et les tiges provenant de la Ferme-École, entreposées en vrac sous abri à l'extérieur étaient un peu plus exposées aux intempéries et avaient des teneurs en eau généralement plus élevées. Finalement, seules les tiges de tournesol avaient une teneur en eau se rapprochant de 15 % sur base humide. Les teneurs en eau initiales sur base sèche des sciures de résineux (bran de scie) à l'essai étaient quant à elles très variables (47 à 115 %) et plus élevées que celles des sciures de bois franc provenant d'une usine d'ébénisterie (7 %). Les rabotures de résineux (ripe) avaient des teneurs intermédiaires de 14 à 23 %. Finalement, les boues humides de désencrage avaient une teneur en eau initiale des plus élevées (100 %), tandis que le procédé de séchage avait ramené la teneur en eau initiale de ces boues à 25 %.

La masse volumique apparente (MVA) sur base sèche de ces matériaux, mesurée lors des essais d'absorption, était relativement contrastée entre les pailles de plantes et les résidus forestiers. Elle était généralement plus faible pour les pailles et les tiges de plantes cultivées, et inférieure à 50 kg/m³, sauf pour le chanvre, le tournesol et le panic haché fin. L'incidence du hachage sur l'augmentation de la MVA est d'ailleurs observable avec le panic. Les MVA des pailles d'orges et de canola ont eu tendance à augmenter avec le hachage, mais n'ont pas dépassé cette valeur de 50 kg/m³.

Les feuilles d'érable avaient une MVA sur base sèche (36 kg/m³) proche de celles des pailles et des tiges de plantes cultivées qui a augmenté quelque peu avec le hachage (55 kg/m³). Les résidus de bois avaient dans ces essais des MVA généralement supérieures à 100 kg/m³. Les rabotures de résineux (ripe) ont une MVA près de 100 kg/m³, tandis que celles des sciures de bois franc et de résineux (bran de scie) sont plus élevées et augmentent généralement avec la finesse des particules, tel qu'en témoignent les sciures de résineux (des blocs 1B et 3) qui avaient des MVA plus élevées (> 200 kg/m³) et une taille des particules plus petite en moyenne (<1 cm) que celles des blocs 1A et 2 (entre 120 et 160 kg/m³ et <2 cm, respectivement). Les boues de désencrage ont des MVA plus élevées avec des valeurs supérieures à 300 kg/m³.

En général, les matériaux avaient atteint leur capacité d'absorption maximale après 44 heures de trempage, mais comme l'ont rapporté Potvin et Bernard (1995), le temps nécessaire pour atteindre l'absorption maximale (ou 95 % de cette valeur) peut varier de quelques heures à quelques jours. Les résultats d'absorption sont donc représentés par une moyenne des valeurs obtenues entre 44 heures et 180 heures de trempage, ou jusqu'à l'obtention de masses constantes de matériaux trempés.

Tableau 3 - Propriétés initiales des matériaux utilisés pour les essais d'absorption

Matériel	Essai	Teneur en eau initiale b.s. kg/kg	Teneur en eau initiale b.h. kg/kg	Masse volumique apparente sèche kg/m ³	Masse volumique apparente humide kg/m ³
orge non haché	1	0,03	0,03	25	25
orge non haché	3	0,08	0,08	23	25
orge non haché	4	0,10	0,09	21	23
orge haché	1	0,06	0,05	40	42
orge haché	2	0,07	0,07	43	46
orge haché Bloc 3	6	0,12	0,10	28	31
avoine hachée Bloc 3	6	0,12	0,11	36	40
blé haché Bloc 1	4	0,09	0,08	29	31
blé haché Bloc 2	5	0,09	0,09	28	30
seigle haché Bloc 2	5	0,08	0,08	23	25
canola non haché	1	0,04	0,04	26	27
canola haché	1	0,03	0,03	29	30
panic non haché	1	0,05	0,05	36	38
panic haché	1	0,05	0,04	45	47
panic haché fin	2	0,05	0,05	86	91
soya haché Bloc 1	4	0,12	0,11	36	41
soya haché Bloc 3	6	0,11	0,10	44	49
chanvre haché convent.	2	0,03	0,03	59	61
chanvre haché fin	2	0,05	0,05	55	58
tournesol haché	4	0,16	0,14	57	66
agropyron haché	3	0,07	0,07	31	33
alpiste roseau haché	3	0,07	0,07	24	26
phragmite commun haché	4	0,08	0,07	59	64
feuille d'érable non hachée	1	0,06	0,06	36	38
feuille d'érable hachée	1	0,05	0,05	55	57
rabotures de résineux	1	0,23	0,19	105	129
rabotures de résineux	3	0,14	0,12	98	111
sciure bois franc	1	0,07	0,07	158	169
sciure résineux Bloc 1A	4	0,81	0,45	162	293
sciure résineux Bloc 1B	5	0,49	0,33	207	309
sciure résineux Bloc 2	5	1,15	0,53	124	266
sciure résineux Bloc 3	6	0,47	0,32	205	301
boue de désencrage humide	4	1,00	0,50	312	623
boue de désencrage sèche	4	0,25	0,20	305	381

Les résultats sur les essais d'absorption en eau des matériaux sont présentés au Tableau 4. En général, comme dans l'étude de Potvin et Bernard (1995), la plupart des matériaux sont saturés à une TEE comprise entre 68 et 82 %. Seules les boues de désencrage humides avaient une TEE à saturation inférieure, d'environ 62 %. Comme la CAEM, la TEE à saturation d'un matériau indique sa capacité maximale à absorber l'eau. Plus cette capacité est élevée, plus la TEE et la CAEM seront élevées. La Figure 1 permet de visualiser et de comparer plus aisément les différences entre les capacités d'absorption en eau des différents matériaux, sur une base massique et sur une base volumique.

Sur une base massique sèche, les capacités d'absorption en eau des pailles et des tiges des plantes cultivées étaient plus élevées que celles des matériaux forestiers. Par ordre décroissant de CAEM, les pailles et tiges de culture se sont classées de la manière suivante :

CAEM : Tournesol > orge > canola > blé = seigle > avoine > soya = alpiste roseau = agropyron = chanvre > panic

Même si les tiges de tournesol semblaient manifester la meilleure capacité d'absorption en eau, ces résidus ne semblaient pas intéressants du point de vue de la résistance au piétinement, car la masse mouillée de ces résidus semblait n'avoir aucune structure. Des essais de compression ou en élevage seraient nécessaires pour le vérifier. Par ailleurs, le hachage de ces matériaux ne semblait pas entraîner d'augmentation de leur capacité d'absorption sur une base massique, que ce soit pour les pailles d'orge, de canola ou de panic. Au contraire, le hachage pourrait réduire les quantités d'eau absorbée par capillarité à l'intérieur des pailles hachées (Schofield, 1986).

Les feuilles d'érable, les sciures, les rabotures de bois et les boues de désencrage avaient sur une base massique des capacités d'absorption généralement inférieures à celles des pailles et tiges de plantes cultivées, sauf pour les feuilles d'érable qui avaient des capacités proches de celles de l'agropyron et du chanvre. Les sciures de bois franc sèches semblaient avoir une meilleure capacité d'absorption que les sciures de résineux à une exception près (les sciures de résineux Bloc 2 dont la CAEM semblait à peu près équivalente ou supérieure). Les rabotures de résineux semblent avoir une capacité d'absorption intermédiaire. Finalement, les boues de désencrage humides sont les moins efficaces en termes de capacité d'absorption sur une base massique, mais celle-ci augmente si les boues sont séchées. Ainsi les résidus forestiers se sont classés de la façon suivante :

CAEM : Feuilles d'érable > sciures de bois franc > sciure de résineux (1 cas) > rabotures de bois > boues de désencrage séchées > sciure de résineux (3 cas) > boues de désencrage humides

La capacité d'absorption de la paille de panic érigé était, sur une base massique, légèrement inférieure à celle de la paille d'orge, lorsque les résultats sont comparés à la même mouture. La paille de canola présentait des valeurs intermédiaires lorsqu'elle n'était pas hachée, mais légèrement inférieure à celles des pailles d'orge et panic lorsqu'elle était hachée plus finement. Le hachage de la paille de canola ne semble pas avoir augmenté de façon significative la masse volumique de ce matériau, ce qui se traduit par une faible augmentation de sa capacité d'absorption sur une base volumique.

**Tableau 4 - Capacité d'absorption en eau sur base massique sèche (CAEM)
et sur base volumique et sèche (CAEV)**

Matériel	Essai	TEE à saturation b.h. %	CAEM b.s. à TEE = 0 % kg/kg	CAEV b.s. à TEE= 0 % L/L
orge non haché	1	82	4,4	0,11
orge non haché	3	82	4,7	0,11
orge non haché	4	82	4,7	0,10
orge haché	1	82	4,5	0,18
orge haché	2	82	4,7	0,20
orge haché Bloc 3	6	81	4,3	0,12
avoine hachée Bloc 3	6	79	3,8	0,14
blé haché Bloc 1	4	80	4,1	0,12
blé haché Bloc 2	5	80	3,9	0,11
seigle haché Bloc 2	5	80	4,1	0,09
canola non haché	1	81	4,3	0,11
canola haché	1	81	4,2	0,12
panic non haché	1	74	2,9	0,10
panic haché	1	76	3,1	0,14
panic haché fin	2	76	3,1	0,27
soya haché Bloc 1	4	79	3,7	0,13
soya haché Bloc 3	6	77	3,3	0,15
chanvre haché convent.	2	76	3,2	0,19
chanvre haché fin	2	78	3,5	0,19
tournesol haché	4	83	4,8	0,27
agropyron haché	3	78	3,5	0,11
alpiste roseau haché	3	79	3,7	0,09
phragmite commun haché	4	73	2,7	0,16
feuille d'érable non hachée	1	77	3,4	0,12
feuille d'érable hachée	1	78	3,5	0,19
rabotures de résineux	1	72	2,6	0,27
rabotures de résineux	3	71	2,4	0,23
sciure bois franc	1	75	3,0	0,47
sciure résineux Bloc 1A	4	69	2,2	0,36
sciure résineux Bloc 1B	5	68	2,1	0,44
sciure résineux Bloc 2	5	76	3,1	0,39
sciure résineux Bloc 3	6	67	2,0	0,41
boue de désencrage humide	4	62	1,6	0,51
boue de désencrage sèche	4	69	2,3	0,69

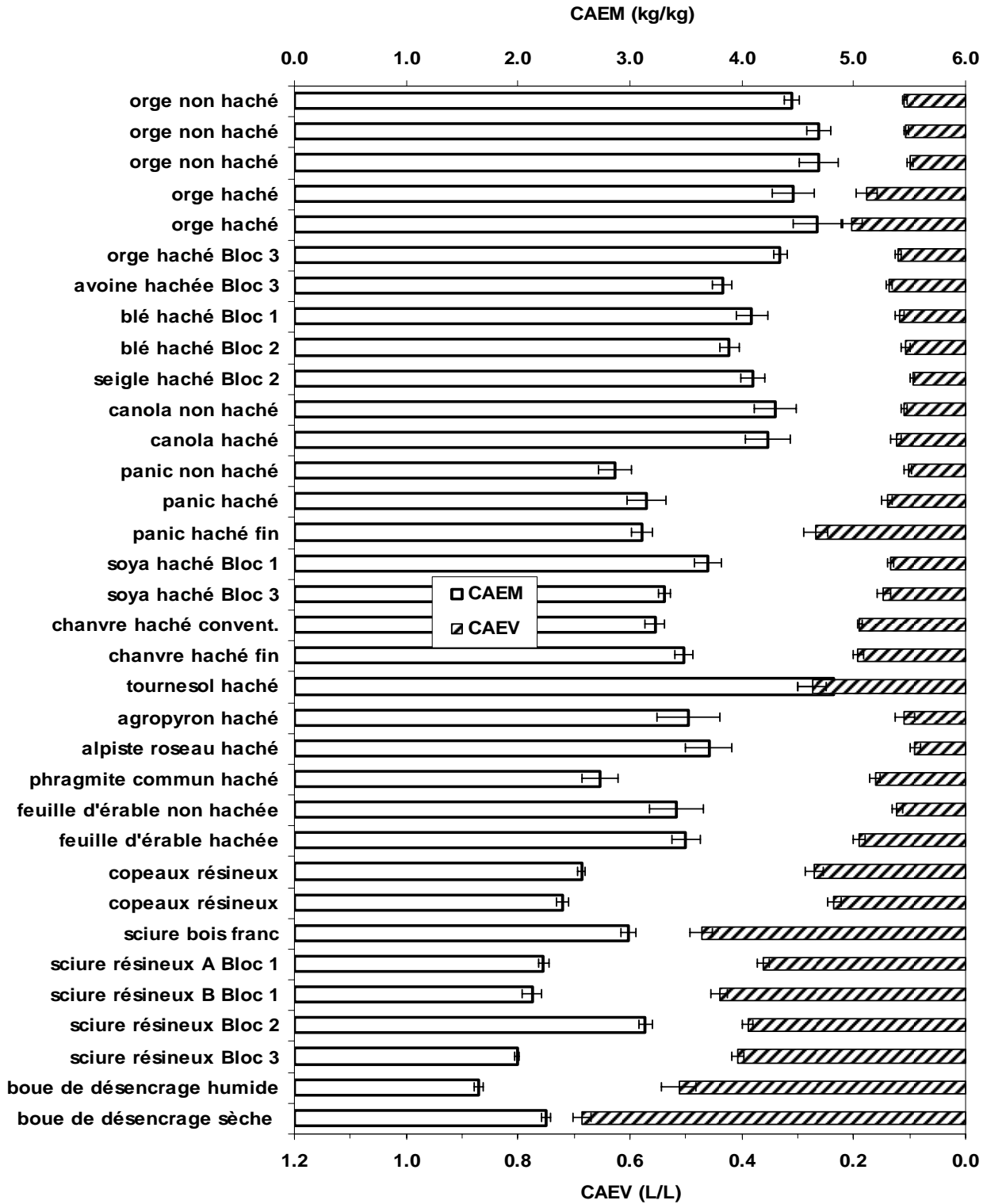


Figure 1 - Capacité d'absorption en eau rapportée par masse (CAEM) et par volume (CAEV) de matériaux testés au laboratoire et sur base sèche

La mouture des matériaux semble aussi avoir un impact important sur leur capacité d'absorption, surtout sur une base volumique et aussi sur une base massique dans le cas du panic érigé. Ainsi, il y aurait peut être avantage à hacher plus finement les pailles de panic érigé qui semblent posséder des caractéristiques intéressantes, soit une rigidité et une siccité suffisantes pour passer au hachoir. Nous avons haché plus finement au laboratoire la paille de panic afin d'évaluer l'augmentation de son pouvoir d'absorption (paille panic hachée fin). Avec une mouture inférieure à 10 mm, la paille de panic présente un pouvoir d'absorption sur une base volumique relativement comparable à celui des rabotures de bois et proches de celui des sciures de bois.

Sur une base volumique, les résidus forestiers ont généralement des capacités d'absorption en eau plus élevées que les pailles et les tiges des plantes cultivées. Les capacités d'absorption sur une base volumique des résidus forestiers se classent par ordre décroissant de la façon suivante :

CAEV : Boue de désencrage sèche ou humide > sciures de bois franc > sciures de résineux, rabotures de résineux > feuilles d'érable

Pour les pailles et les tiges de plantes cultivées, les capacités d'absorption sur base volumique étaient plus importantes dans les tiges de tournesol suivis des matériaux qui ont été hachés plus fins et qui avaient une faible teneur en eau, comme le panic haché fin et certains échantillons de pailles d'orge. Le chanvre haché de façon conventionnelle ou avec un hachoir plus puissant (Teagle) ont absorbé l'eau comme les pailles d'orge hachées. Les tiges et les pailles de soya et d'avoine ainsi que les pailles de panic hachées absorbent un peu plus sur une base volumique que les autres pailles d'orge, de blé, de seigle et de panic lorsque hachées de manière grossière ou non hachées. Sur une base volumique, la capacité d'absorption des pailles et des tiges de cultures se classent de la façon suivante :

CAEV : Tournesol > panic haché fin > orge haché fin = chanvre > soya = avoine = panic haché > orge = canola = blé = seigle = panic = agropyron > alpeste roseau

La relation inverse entre la capacité d'absorption exprimée sur une base massique et celle exprimée sur une base volumique est grande partie reliée aux différentes masses volumiques des matériaux. Ainsi, les pailles et les tiges de culture ayant de très faibles masses volumiques semblent absorber de très grandes quantités d'eau par rapport à leur masse, mais en absorbent moins par rapport aux volumes qu'elles occupent et par rapport à des matériaux plus denses comme les sciures et les rabotures de bois et les résidus forestiers en général.

Ces résultats sont aussi différents de ceux exprimés par d'autres auteurs, probablement en raison des différences de méthodologies employées pour le trempage et l'essorage. Sur une base massique, Kains et al. (1997) rapportent des CAEM de 2,0 kg/kg pour des pailles d'orge en balles ou hachées, après 24 heures de trempage, sans mentionner les conditions d'essorage et la base humide ou sèche des résultats. Schofield (1986) rapporte des CAEM de 3,5 kg/kg pour des pailles non hachées sur base sèche après 2 heures de trempage et 2 heures de drainage et de 2,9 kg/kg pour des pailles hachées. Nous avons obtenus des valeurs entre 4,3 et 4,7 après plus de 5 jours de trempage. Nos pailles d'orge avaient toutefois déjà absorbé plus de 4,1 kg/kg après 27 heures de trempage. Deininger et al. (2000) rapportent des valeurs de 3,7, 3,5 et 4,2 kg/kg après un trempage de 24 heures et un drainage de 15 secondes, respectivement pour de la paille de blé d'hiver entreposée en balles rondes et non hachées, en balles rondes hachées et finalement en balles carrées non hachées. Selon leurs résultats, le hachage des balles rondes ne diminuait pas de façon significative la CAEM, mais l'entreposage en balles carrées l'augmentait par rapport au balles rondes en brisant

davantage la paille; ce qui favoriserait une meilleure absorption. En centrifugeant les pailles après drainage, ces auteurs ont également tenté de caractériser l'eau qui serait plus fortement retenue par ces différentes pailles, soit en moyenne 50 % de la valeur de CAEM, mais sans effet significatif du type de pailles. Les méthodes employées pour le trempage et le drainage des matériaux peuvent donc grandement influencer les résultats obtenus.

Pour des sciures de bois franc et de résineux, Kains et al. (1997) rapportent des valeurs de 1,5 et 2,5 kg/kg respectivement alors que nous avons mesuré des valeurs de 3,0 et entre 2,0 et 3,1 kg/kg pour des sciures de bois franc et de résineux respectivement. Ces différences pourraient être imputables à la base sèche ou humide sur laquelle les résultats sont rapportés. Nous avons choisi de rapporter nos résultats sur base sèche afin de pouvoir comparer les résultats entre les différents matériaux et avec ceux d'autres auteurs.

Peu de résultats de la littérature sont toutefois rapportés sur une base volumique (CAEV), étant donné la variabilité des conditions de masse volumique apparente que peuvent prendre les matériaux pendant les essais d'absorption. En revanche, il semble y avoir une relation linéaire entre la MVA des matériaux de ces essais et la CAEV (Figure 2). Cette relation pourrait s'expliquer par le fait que ce sont tous des matériaux de même nature physicochimique soit des matériaux organiques plus ou moins ligno-cellulosiques, sans fraction minérale importante. En revanche, le degré de mouture de ces matériaux affecte en grande partie leur masse volumique apparente, la quantité et la distribution de la grosseur de leurs pores, et finalement la capacité d'absorption de ces matériaux sur une base volumique. En revanche, sur une même base de masse volumique apparente, certains matériaux comme les pailles d'orge et de canola semblent absorber davantage d'eau sur une base massique, comparativement, aux pailles de panic et aux feuilles d'arbres, probablement en raison de la constitution interne des matériaux. Finalement, la CAEM des matériaux est moins bien reliée à la MVA, même s'il elle tend à présenter une relation inverse avec la MVA.

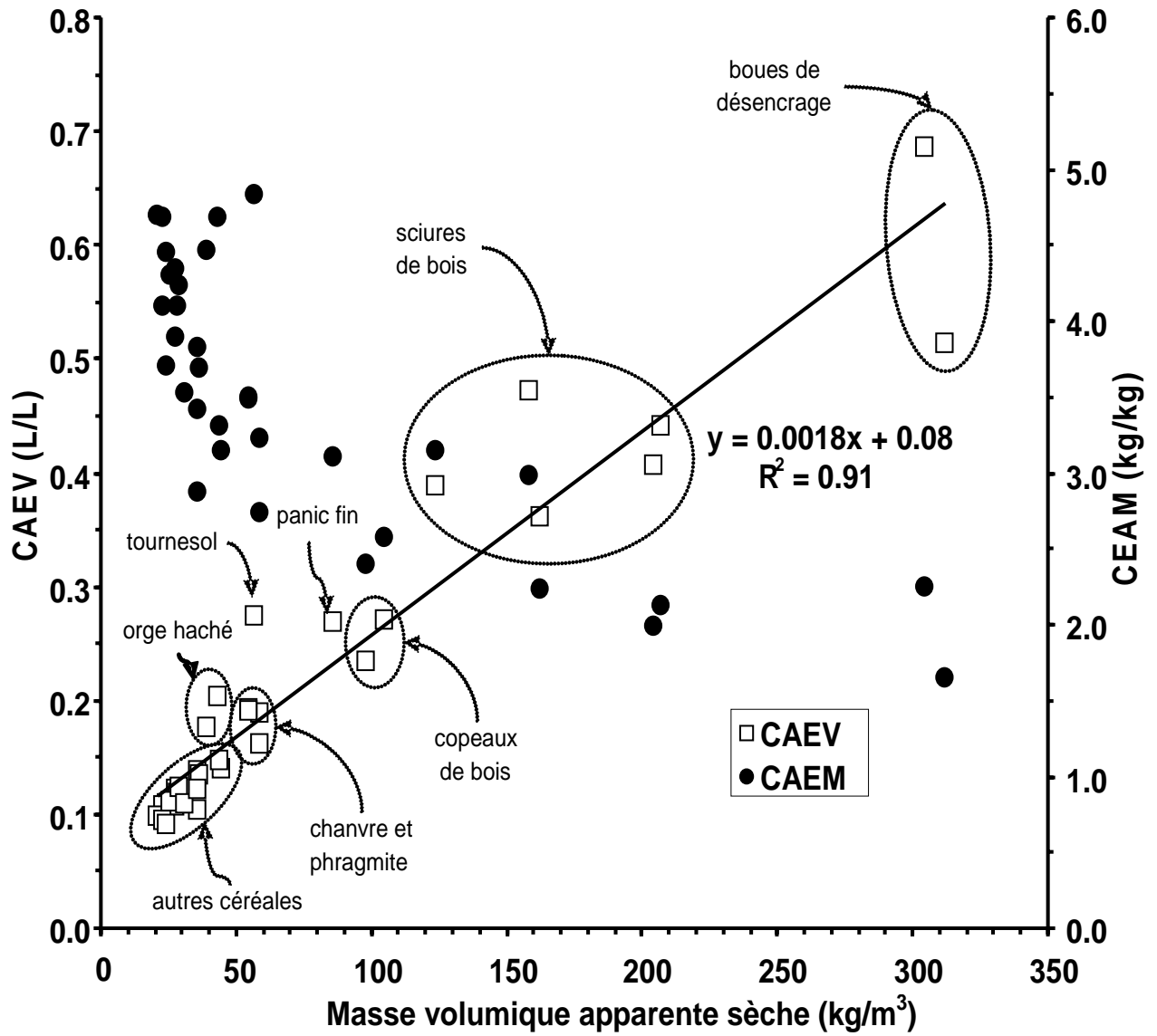


Figure 2 - Capacité d'absorption en eau rapportée par masse (CAEM) et par volume (CAEV) de matériaux testés au laboratoire et sur base sèche en fonction de la masse volumique apparente sèche

2.4 Conclusion

Différents matériaux potentiellement utilisables comme litière ont été testés en laboratoire afin d'évaluer et de comparer leur capacité d'absorber l'eau. Les pailles de céréales semblent présenter une meilleure capacité d'absorption sur une base massique que les autres matériaux conventionnels de l'industrie forestière comme les sciures et les rabotures de scieries, et à l'inverse une moindre capacité d'absorption sur une base volumique. Une bonne partie de ces différences s'expliquerait par la masse volumique apparente des matériaux. En revanche, certains résidus de culture, tiges ou pailles provenant du panic érigé, du soya ou du chanvre présentent des valeurs intermédiaires d'absorption sur une base volumique. Les pailles de panic présentent d'ailleurs des caractéristiques intéressantes, supérieures aux autres pailles en termes d'absorption sur une base volumique qui semble augmenter avec le niveau de hachage des pailles. À cet effet, le hachage des pailles de panic ou d'orge à des niveaux de moutures plus fines mériterait d'être investigué en régie d'élevage. Une simple mesure de la masse volumique apparente du matériel obtenu pourrait permettre d'estimer sa capacité d'absorption sur une base volumique étant donné la relation linéaire qu'il semble y avoir entre ces deux propriétés, pour différents matériaux lignocellulosiques. Rappelons cependant que le comportement des litières pétries et compactées par les porcs pourrait avoir un comportement hydrodynamique très différent de celui observé en laboratoire.

Par ailleurs, plusieurs critères autres que la capacité d'absorption doivent être considérés avant de juger de l'intérêt ou de l'acceptabilité d'un matériau comme litière d'élevage. Ces critères incluent d'autres caractéristiques du matériau liées à la compressibilité, l'abrasivité, la rugosité et l'hydratation superficielle, ainsi que des critères liés à la santé et au confort des animaux et à la présence de contaminants chimiques et de poussières (Kaynes, 1997). Les aspects économiques reliés à l'approvisionnement, aux transports, à la manutention et à l'entreposage sont à prendre en considération, de même que le système de gestion des litières et des effluents déjà en place et son intégration dans le système de production végétale (Kaynes, 1997). Enfin, en production porcine sur litière, d'autres critères devraient aussi être considérés, comme la capacité du matériau à favoriser les processus de compostage et l'évaporation de l'eau, ainsi qu'à maintenir les émissions de gaz tels l'ammoniac, le méthane et les oxydes nitreux à des niveaux acceptables par rapport à la production conventionnelle (Nicks, 2002).

3 Partie III : Expérimentation en chambres d'élevage

Les essais réalisés à la Ferme-École avaient pour objectif général de comparer plusieurs matériaux d'origine agricole au bran de scie, en tant que litière dans l'élevage de porcs en croissance (engraissement) sur litière mince. En élevage sur litière mince, de la litière fraîche est apportée au besoin en cours de l'élevage par dessus la litière mise en place au début (20 à 30 cm); le fumier produit est retiré en totalité en fin de bande. Cette technique diffère de celle dite « en couche profonde » (environ 60 à 80 cm de litière au début, pas totalement récurée entre deux élevages) et de celle dite « litière raclée » (la litière est enlevée et renouvelée plusieurs fois en cours d'élevage) (Pigeon et Drolet, 1996; Pigeon, 2001; Ramonet et Dappelo, 2003).

Les observations et les mesures réalisées ici touchent principalement quatre des domaines d'évaluation d'une litière :

- son impact sur le cheptel (bien être des animaux, salubrité et performance de l'élevage)
- son évolution au cours de l'élevage
- la valeur fertilisante du fumier produit
- son coût d'utilisation (acquisition, transformation, manutention)

Compte tenu des contraintes matérielles et temporelles du projet, l'évaluation des litières, comme la comparaison entre celles-ci, ne pouvait bien sûr être exhaustive. Plusieurs éléments révélateurs de la qualité d'une litière ont cependant été examinés.

Dans les pages qui suivent, les conditions expérimentales, les données recueillies et la méthodologie suivie pour leur acquisition et leur analyse sont tout d'abord présentées (section « Matériel et méthode »). Les observations réalisées au cours de l'expérimentation et les obstacles rencontrés sont ensuite discutées (section « Résultats et discussion »).

3.1 Matériel et méthodes

Cette section illustrée par les photos des planches 1 et 2 présente le contexte pratique de l'étude et les données recueillies. Elle précise également les modalités de mesures et d'échantillonnage des litières observées.

3.1.1 Contexte expérimental

La présente expérimentation en élevage de porc sur litière a porté sur différentes litières produites dans la région ou directement à la Ferme-École (pailles de soya, de blé, d'orge, d'avoine et de seigle) ainsi que sur le bran de scie (litière témoin).

Le suivi des élevages et des litières a été réalisé, entre le 15 novembre 2007 et le 5 septembre 2008 (fin du dernier élevage : le 25 août), au cours de 3 blocs d'expérimentation, pour un total de 10 élevages de porcs à l'engrais. Ces élevages se sont déroulés dans des salles de 67 m² (6 m x 11 m, soit 20 pi x 36 pi) de plain pied (Annexe 1) équipées chacune d'une trémie à clapet d'environ 6 places et de 2 bœux abreuvoirs.

La ventilation de chaque salle était assurée par une entrée d'air côté couloir (d'environ 15 cm de large sur toute la largeur de la salle au niveau du plafond) et de 3 ventilateurs de 12, 14 et 16 po de diamètre respectivement, placés à l'autre extrémité de la salle (de part et d'autre de la porte de garage donnant sur l'extérieur). La capacité totale de ventilation était d'environ 170 m³/minute (6 000 pi³/min.) (en été).

Pour les essais des blocs 1 et 2 en période hivernale, une partie des besoins de ventilation était prise en charge par un échangeur d'air récupérateur de chaleur (Polymair^{MD} 1500, PolyAlto inc. 1 500 pi³/min) installé dans chaque salle (Annexe 2). L'échangeur d'air offre de la souplesse dans la régulation de l'humidité relative et de la température; il constitue donc un atout très intéressant dans un contexte d'élevage sur litière qui génère encore plus d'humidité qu'un élevage conventionnel. Comme les ventilateurs d'appoint (utilisés au besoin en hiver), les échangeurs d'air étaient reliés à un système de contrôle de l'environnement déjà en place. Le chauffage des salles en hiver était assuré par une « couveuse » ou « brûleur » fonctionnant au propane. (Les photos des planches 1 à 12 permettent de visualiser l'aménagement des salles expérimentales. Le numéro de chaque salle est inscrit sur la porte de garage qui s'ouvre vers l'extérieur, à l'opposé de la trémie et de la porte d'accès au couloir).

Les pailles de céréales et de soya (hachées lors du remplissage des salles) ainsi que le bran de scie ont été disposés dans les salles d'élevage sur une épaisseur d'environ 30 cm (12 po) pour le bran de scie et de 46 cm (18 po) pour les pailles, avant l'entrée d'une soixantaine de porcelets de 8 à 11 semaines (pesant de 25 à 40 kg).

Les porcs ont été engraisés durant 16 à 18 semaines, jusqu'à ce qu'ils atteignent 112 kg. La moulée préparée à la ferme et de composition variable selon le stade de croissance (voir Annexe 3), leur était servie à volonté, tout comme l'eau d'abreuvement. La consigne d'humidité relative visée dans les salles était de 65 %, alors que la température de consigne variait de 22 °C en début d'engraissement à 16 °C à partir de la 12^e semaine.

En cours d'élevage, des suppléments de litière ont été apportés au besoin, pour assurer le confort des animaux et des travailleurs, ainsi que la salubrité générale des lieux. Les ajouts de litière effectués dans les zones de déjection et de repos (sur environ 3/4 de la salle du côté de la porte de garage) ont été ajustés selon l'expertise du gérant d'élevage. À la fin de l'engraissement, les salles ont été totalement vidées, nettoyées et désinfectées avant d'être préparées pour un nouvel élevage.

3.1.2 Données recueillies

Les données recueillies concernent à la fois le cheptel, les conditions d'ambiance dans les salles d'élevage, les quantités de litière utilisées (au début et pendant l'élevage), la qualité de la litière (avant, pendant et à la fin de l'élevage), les fumiers obtenus et les coûts associés à l'utilisation de chaque litière.

Le suivi général des élevages et de la litière a été assuré par le gérant de la ferme. Une à deux fois par jour, celui-ci vérifiait l'état des porcs, la température, l'humidité, ainsi que le bon fonctionnement général dans la salle (ventilation, eau et soigneur, flamme du pilote de la couveuse.) Une fois par jour, généralement le matin, il a en outre consigné les informations concernant le cheptel proprement dit, les conditions d'ambiance et l'état qualitatif général de la litière. Plusieurs fois en cours d'élevage, certaines observations supplémentaires, de même que des échantillons de litière, ont

Planche 1 - Préparation des salles d'élevage



a. Bâtiments de la Ferme-École.
c. Godet du chargeur à pelle frontale.
e. Échangeur d'air récupérateurs de chaleur.

b. Pesée des chargements de brans de scie.
d. Placement du bran de scie en salle d'élevage.
f. Porcelets en pouponnière, sur caillebotis.

Planche 2 – litière testées



été recueillis. Enfin, des photos et des clips vidéo ont été pris tout au long de l'élevage pour rendre compte directement de l'activité et de la propreté des porcs, entre autres.

Les données et les échantillons ont été récoltés selon les recommandations et les formulaires présentés dans le « Protocole d'observation, d'échantillonnage et de suivi » joint en annexe (Annexe 4).

Cheptel

Les caractéristiques quantitatives concernant le cheptel relevées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- le nombre de porcs entrés,
- le nombre de porcs sortis (mort ou vendus),
- le poids moyen initial (Pi) des porcs (par lot)¹², la mortalité (en %)¹³,
- l'inventaire moyen quotidien au cours de l'élevage (IMQ)¹⁴.

Des informations de nature plus subjectives ont également été recueillies. Elles concernent notamment le comportement et le niveau d'activité des animaux; leur état de propreté et leur état sanitaire (voir formulaires, Annexe 4).

Conditions d'ambiance

Pour chacune des salles, la température et l'humidité ambiantes ont été relevées manuellement chaque matin. Les températures minimum et maximum l'ont été de façon hebdomadaire. Des appareils de mesure automatique de la température et du taux d'humidité (« Hobo ») ont été en outre installés dans chaque salle pour enregistrer température et humidité en continu (toutes les 15 minutes).

L'appréciation qualitative d'une odeur « anormale » éventuelle (nature et intensité) a également été consignée quotidiennement dans les formulaires de recueil des données.

Litière et fumier

Les quantités de litière (placée dans la salle d'élevage avant l'entrée des porcs, et ajoutée en cours d'élevage) ont été mesurées ou estimées aussi précisément que possible (voir section 3.1.3, mesures). Le volume de litière déplacé (en nombre de fourches) et la zone d'activité des porcs (**R** : Repos, **A** : Alimentation; **D** : Déjection) recevant cette litière ont également été soigneusement consignés le cas échéant.

Chaque semaine, des observations qualitatives et quantitatives de la litière dans les différentes zones R, A ou D ont été réalisées. Ces observations concernent notamment la qualité générale des zones, la

¹² Les porcs sont évacués quand ils ont atteint le poids de sortie (112 kg) ou plus. Le poids final des animaux n'est pas systématiquement enregistré, ni même mesuré.

¹³ Mortalité (%) = 100 x (Nombre de porcs au début de l'élevage – Nombre à la fin)/Nombre au début.

¹⁴ IMQ = JPC/ durée de l'élevage (j), avec JPC (jours-porc cumulés) = cumul des porcs présents chaque jour.

profondeur d'enfoncement des pattes des porcs, l'épaisseur moyenne de la litière dans les zones A et R, ainsi que la superficie totale de la zone D.

De plus, à quatre reprises en cours d'élevage (aux semaines 4, 9, 13 et 16, des échantillons de litière ont été prélevés (voir section 3.1.3, échantillonnage) et l'épaisseur moyenne de la litière en zone de repos (R) ainsi que la température moyenne des moitiés supérieure et inférieure de la litière ont été relevées en 10 points.

Un transect de température a été réalisé entre la zone de déjection et la zone de repos lors du dernier échantillonnage en cours d'élevage. Après la sortie des derniers porcs, le « profil » de la litière a aussi été réalisé pour tenter de mieux comprendre l'évolution de la litière en surface et en profondeur, dans chacune des salles.

Enfin, le fumier retiré de chaque salle a été pesé lors de sa vidange et échantillonné (voir section 3.1.3).

Coûts

Dans ce projet visant la comparaison de différentes litières au bran de scie, les trois variables économiques suivantes ont été prises en compte :

- le coût d'acquisition de la litière,
- le coût associé au hachage de la paille,
- le temps de manutention de la litière.

Ce temps de manutention de la litière concerne les activités suivantes :

- la préparation de la salle (incluant le hachage de la paille, le cas échéant),
- le suivi matinal quotidien en salle d'élevage (incluant le temps de déplacement ou d'ajout de litière en cours d'élevage),
- la vidange du fumier.

3.1.3 Modes d'acquisition des données

Cette section décrit tout d'abord les modalités de mesures de masses et de volumes des litières fraîches et des fumiers vidangés. Elle présente ensuite leur procédure d'échantillonnage, et, enfin, les analyses réalisées sur les échantillons.

Mesures de masses, volumes et masses volumiques

Le plus souvent, les producteurs raisonnent la gestion de la litière et du fumier en termes de volumes plutôt qu'en termes de masses. Ainsi, on commande plutôt un « dix-roues de bran de scie », ou « x balles de paille de céréales », qu'une quantité exprimée en tonnes ou en kg. Cependant, pour pouvoir comparer les matériaux entre eux (litière et fumier), il faut dans certains cas le faire sur une base massique, surtout quand leur masse volumique diffère beaucoup. Il est à noter par ailleurs que

les résultats d'analyses de laboratoire, à partir desquelles est notamment déterminée la valeur fertilisante d'un fumier, sont fournis sur base massique humide (en kg d'élément/Mg de fumier tel que reçu).

Dans cette étude, les quantités de litières et de fumier ont été déterminées autant que possible par mesure directe de la masse (pesée des balles de paille ou du fumier sorti) et du volume (estimation de la capacité du godet ou de l'épandeur) ou par mesure de masse volumique.

La pesée des balles de paille a été réalisée à l'aide d'une balance à camion à quatre plaques (modèle *PT300* de la marque *Intercomp*, poids min et max : 5 et 10 000 kg par plaque; Précision : plus ou moins 2,5 kg par plaque). Les pesées des chargements de fumier (contenu dans l'épandeur) ont été réalisées à l'aide d'une balance à camion formé de deux plaques (modèle *SMR 109* de la marque *Mikros systems*. Capacité max. : 10 tonnes par plaque par essieu. Poids min. détecté : 100 kg par plaque par essieu. Précision plus ou moins 5 %). La masse de bran de scie utilisée dans les salles a été établie par le biais de la masse volumique déterminée à l'aide d'une chaudière de 5 gallons (voir plus loin), du volume du godet du tracteur à chargeur frontal (avec lequel la sciure est transportée de la zone d'entreposage aux salles) et du nombre de godets de brande scie apporté. On fait ici l'hypothèse que la masse volumique du bran de scie est semblable dans la chaudière et dans le godet.

Le volume a été calculé par mesure directe des dimensions des balles (carrées ou rondes) ou des dimensions intérieures des véhicules de transport (remorque ou épandeur). Dans le cas des chargements effectués à l'aide du chargeur à pelle frontale, le volume dépassait la contenance exacte du godet (1,1 m³). Il a été estimé à 1,29 m³ pour le bran de scie et à 2,06 m³ pour les pailles hachées (soit presque deux fois la capacité « à ras » du godet).

Certaines valeurs de masse ou de volume proviennent cependant d'une estimation de la masse volumique du matériau. Cette **estimation de la masse volumique** a été réalisée selon différentes méthodes, correspondant aux différents contenants utilisés : une « chaudière de 5 gallons » (gallons canadiens ou impériaux, équivalent à 4,546 l, soit 22,7 l), un « baril de 45 gallons » (dont la contenance a été établie à 230 l).

Compte tenu de la compactabilité des litières (plus encore des pailles que du bran de scie) la masse volumique peut être très variable selon la méthode de mesure utilisée. C'est pourquoi on établit en fait la *masse volumique apparente (MVA)*, à partir de la formule suivante :

$$\text{MVA (kg/m}^3\text{)} = \text{Masse (kg)} / \text{Volume (m}^3\text{)}$$

La MVA de chaque matériau varie selon la forme et la taille des éléments qui le constituent (donc selon la finesse de mouture du bran de scie ou selon l'intensité du hachage des pailles). Elle dépend aussi de la teneur en eau du matériau considéré et de la pression exercée sur celui-ci, à moins de l'exprimer sur base sèche.

Échantillonnage des litières et fumiers

La procédure d'échantillonnage des litières et des fumiers est résumée dans le Tableau 5 et le Tableau 6. Pour les détails, se reporter au *Protocole d'observation, de mesures et d'échantillonnage* (Annexe 4).

Les échantillons, formés à partir du mélange des prélèvements de litière dans une grande chaudière, ont été envoyés par courrier express au laboratoire de l'IRDA et analysés selon les méthodes décrites dans la section suivante.

Tableau 5 - Moment d'échantillonnage et localisation des prélèvements

Matériau à échantillonner	Moment d'échantillonnage	Localisation des prélèvements (code d'échantillon)
Litière fraîche	Lors de la préparation des salles.	Dans le godet du tractopelle.
Litière souillée	Visites 1 à 3	Zone de repos (R). Dans les 10 premiers centimètres (environ 4 po) de litière (R1).
	Visite 4 : 100 ^e j	Zone de repos (R) Entre 0 et 10 cm (R1) et de 10 cm jusqu'au sol (R2).
		Zone de déjection (D) Dans toute l'épaisseur de la litière (D0).
Fumier sorti	Au cours de la vidange du fumier.	Dans l'amas de fumier formé après son évacuation de la salle.

Tableau 6 - Consignes d'échantillonnage

Matériau échantillonné Visite (zone)	Analyses physicochimiques			Analyses microbiologiques		
	Nombre total d'échantillons par salle	Nombre minimal de prélèvements	Volume de l'échantillon (ml)	Nombre total d'échantillons par salle	Nombre minimal de prélèvements	Masse de l'échantillon (g)
Litière fraîche	1	10	500	1	10	100
Litière souillée Visites 1 à 3 (R)	3	5	500	0	0	0
Litière souillée Visite 4 (R)	2	5	500	2	10	100
Litière souillée Visite 4 (D)	1	10	500	1	10	100
Fumier sorti	1	10	500	0	0	0
Total	8			4		

Analyses physicochimiques et microbiologiques

Les analyses physicochimiques et microbiologiques ont pour but de fournir une description moyenne de la litière en cours d'élevage. Elles visent à donner une vue d'ensemble du niveau de souillure de la litière et non à caractériser d'éventuels processus de compostage. Le dénombrement des coliformes thermotolérants, bon indicateur de contamination fécale, est une tentative de caractérisation du niveau de souillure de la litière en appui aux observations qualitatives réalisées tout le long de l'élevage.

Toutes les analyses ont été réalisées par le *Laboratoire de physique et de chimie inorganique ISO 9002* de l'IRDA et traitées selon les méthodes statistiques standards.

Le Tableau 7 récapitule les analyses de laboratoire associées aux différents échantillons réalisés pendant les essais.

Tableau 7 - Paramètres analysés selon les échantillons prélevés

Matériau échantillonné (code échantillon)	Paramètres mesurés	
	Analyses physicochimiques	Analyse bactériologique
Litière fraîche (L)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	Dénombrement des coliformes totaux thermotolérants
Litière souillée Visites 1 à 3 (R1)	Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄	
Litière souillée Visites 4 (R1, R2, D0)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	Dénombrement des coliformes totaux thermotolérants
Fumier sorti (F)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	

Analyses physicochimiques

Les paramètres physicochimiques des échantillons de litière et de fumier ont été mesurés selon les *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux* (CPVQ. AGDEX 533).

Afin d'appliquer à tous les types d'échantillons (pailles et sciures fraîches, litière plus ou moins souillées et fumiers) la même procédure d'analyse, et étant donné l'hétérogénéité intrinsèque des litières en cours d'élevage, les échantillons bruts n'ont pas été broyés et les analyses ont été réalisées en triplicata. La valeur fournie par le laboratoire correspond donc à la moyenne de 3 répétitions de chaque analyse, pour chaque échantillon. Bien que cela ait occasionné des coûts supplémentaires, cette façon de faire a été jugée comme étant la plus rigoureuse dans les circonstances. Idéalement, il faudrait disposer d'un broyeur aussi efficace pour les matériaux secs et ligneux (pailles et sciures),

que pour les matériaux plus humides et décomposés (fumiers), et qui limite les pertes d'azote ammoniacal.

Dénombrement des coliformes totaux thermotolérants

Le dénombrement des coliformes totaux thermotolérants a été réalisé selon la méthode du *Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec* (MDDEP, 2005).

Cette méthode sert à estimer la quantité de *E. coli* dans des matrices liquides ou solides. Elle utilise la technique des tubes multiples, aussi appelée technique du nombre le plus probable (NPP). Le milieu de culture Colilert® utilisé contient deux substrats enzymatiques : l'ONPG et le MUG. Les coliformes thermotolérants incluant le *E. coli* possèdent l'enzyme ONPG, alors que seul *E. coli* (à l'exception de *E. coli* O157:H7) possède l'enzyme MUG. Une réaction positive à l'épreuve ONPG et MUG confirme la présence de *E. coli*. La table NPP donne une estimation de la concentration en bactéries dans l'échantillon de départ en fonction du nombre de tubes positifs par dilution. La table NPP a été élaborée à l'aide d'une approche statistique basé sur la loi de Poisson.

La limite inférieure de quantification est de 2 NPP/g (humide). La limite supérieure de quantification dépend quant à elle de la série de dilutions effectuée. Pour une série de trois dilutions successives correspondant respectivement à 0,1g, 0,01g et 0,001g d'échantillon par tube, la limite supérieure de quantification est de 1 600 NPP/g (humide) avec une limite de confiance à 95 %.

3.2 Résultats et discussion

Tel que prévu plusieurs matériaux ont été utilisés comme litière dans les salles d'élevage porcin, au cours de 3 blocs d'expérimentation (Tableau 8). Cependant, en raison d'aléas divers, la planification d'origine a été ajustée pour plusieurs aspects et les essais qui devaient se terminer fin juillet ont pris fin au tout début septembre.

Rappelons par ailleurs que les 3 « blocs » d'essai ne correspondent pas à des « répétitions » au sens statistique. Les résultats de l'expérimentation sont présentés ici à titre indicatif. Seul un dispositif expérimental rigoureux, avec des répétitions statistiquement valables et des traitements appliqués dans des conditions uniformes, permettrait de comparer précisément les litières entre elles. Cette étude a toutefois rendu possible un grand nombre d'observations très intéressantes.

Tableau 8 - Litières testées

Bloc 1 (mi nov. 07- mi avril 08)	Bloc 2 (fin jan. 08- mi juin 08)	Bloc 3 (mi avril 08- fin août 08)
Bran de scie (BS)	Bran de scie (BS)	Bran de scie (BS)
Paille de blé (BL)	Paille de blé (BL)	Paille d'orge (OR)
Paille de soya (SO)	Paille de seigle (SE)	Paille d'avoine (AV)
		Paille de soya (SO)

3.2.1 Déroutement général du projet

Tous les essais n'ont pas été menés à terme. En effet, un dégât d'eau survenu dans la salle contenant la paille de blé (bloc 1) a nécessité l'évacuation des porcs et de la totalité de la litière, au bout de 30 jours d'élevage. Ce dégât d'eau a été causé par la chute d'un bol abreuvoir mal fixé.

Dans l'essai avec le soya (bloc 1), la litière était devenue tellement boueuse qu'il a fallu également interrompre l'expérimentation au bout de 14 semaines. Celle-ci était d'ailleurs déjà très humide bien avant 9 semaines (planche 5c). Dans ce cas, l'excès d'eau provenait en partie d'une installation défectueuse de l'échangeur d'air récupérateur de chaleur en place; ce dernier rejetait une partie du condensat sur la litière plutôt que de l'évacuer vers l'extérieur de la salle.

Dans le bloc 2, les litières sont toutes devenues assez pâteuses malgré l'ajout régulier de matériel frais, surtout dans le cas des essais sur blé et seigle qui ont été arrêtés au bout de 85 et 86 jours respectivement. Cela était sans doute aussi dû à une installation incorrecte des échangeurs et à un mauvais ajustement de la ventilation.

Pour le troisième bloc d'essai, les 4 élevages de porcs à l'engrais se sont déroulés sans problèmes particuliers pendant 18 semaines (129 jours) entre la mi-avril et la fin août 2008. Ce sont les essais qui ont été suivis avec le plus de rigueur et pour lesquels les conditions d'ambiance étaient les plus comparables entre les salles d'élevage.

Alexandre Guilbert-Choinière, responsable du suivi expérimental et des échantillonnages, a assumé la gestion totale de ces salles à partir de janvier 2008 (après le départ du gérant d'élevage Patrick Paradis), puis la gérance des élevages pour toute la Ferme-École après le départ du deuxième gérant. Fort de l'expérience acquise au cours des blocs 1 et 2, M. Guilbert-Choinière a opté pour un mode préventif de gestion de la litière dans le bloc 3. Autrement dit, il ajoutait régulièrement de la litière fraîche pour maintenir une qualité acceptable de la zone de repos, plutôt que d'attendre que celle-ci soit devenue vraiment trop souillée.

Les photos des planches 3 à 12 illustrent plusieurs des éléments abordés précédemment ou discutés plus loin, tels :

- ✓ le confort et la propreté des porcs,
- ✓ le comportement des porcs,
- ✓ l'espace disponible aux animaux au fur et à mesure de leur croissance,
- ✓ le changement progressif de l'état de la litière et l'extension de la zone de déjection,
- ✓ « la perte de contrôle » de la litière...(dans certains cas)

Les photos sont parfois floues en raison de leur source (extraits vidéo) et de la grande mobilité des cochons qui, en plus, bousculaient l'opérateur.

Pour les élevages qui ont pu être maintenus normalement sur une même litière, soit le bran de scie (BS) des blocs 1, 2 et 3, ainsi que l'orge (OR), l'avoine (AV) et le soya (SO) du bloc 3, les durées d'élevage varient de 129 à 147 jours (Tableau 14).

3.2.2 Litières testées

Les différentes litières testées dans ce projet sont décrites dans les tableaux suivants (Tableau 9, Tableau 10, Tableau 11) et illustrées par la planche 2. Plusieurs éléments retiennent l'attention, dont les suivants :

- ✓ Les caractéristiques de la sciure de bois utilisée comme « référence » diffèrent d'un bloc à l'autre, et même au cours du bloc 1 (BSa et BSb). La teneur en eau (TEE) varie de 30 à 49 % alors que le rapport C/N passe du simple au triple entre le bloc 3 (C/N = 336) et le bloc 2 (C/N = 1 196).
- ✓ Les pailles de céréales ont un aspect et des caractéristiques semblables, quoique la paille de seigle se distingue par une masse volumique plus faible. Toutes les pailles (soya inclus) sont nettement plus sèches que le bran de scie (10 % de TEE *vs* 30 à 49 %). Elles sont aussi nettement plus riches en éléments majeurs (N, P, K) que les sciures. Le soya échantillonné au début du bloc 3 se démarque de celui du bloc 1 et des autres pailles par des teneurs en N_{total} et en P supérieures. Le C/N de la paille d'orge est supérieur à la valeur rapportée par Potvin et Bernard (1995), soit 87 *vs* 63, alors que pour la paille d'avoine c'est l'inverse (64 *vs* 95). Les teneurs en N, P, K Ca et Mg des différentes pailles du projet ne sont pas toujours comparables à celles rapportées par le *guide de référence en fertilisation* (CRAAQ, 2003). Les teneurs en N notamment des pailles de blé, seigle, orge et avoine sont plus faibles et en ce qui concerne les fanes de soya, les teneurs en P, K et Mg sont plus de 2 fois plus faibles.
- ✓ La TEE des litières fraîches (bran de scie et pailles) sont à des niveaux communément rencontrés sur le terrain et dans la littérature. Dans le cas du bran de scie, cela correspond à des sciures provenant de moulins à scie de bois d'œuvre et non de sciures issues d'usines d'ébénisterie qui sont beaucoup plus rares et sèches.
- ✓ La masse volumique du bran de scie est de 5 à 9 fois plus élevée que les masses volumiques des pailles, qui varient elles-mêmes beaucoup selon leur mode de mesure (Tableau 10). Ainsi, la masse volumique des pailles soufflées dans la salle au moment de leur hachage est jusqu'à 2 fois plus élevée que celle mesurée dans un baril de 45 gallons ou dans une chaudière de 5 gallons. Autrement dit, la paille apportée au moment de l'installation des salles est plus tassée que celle qui est ajoutée en cours d'élevage à l'aide du godet du tracteur.

Par ailleurs, l'analyse microbiologique des litières fraîches a montré un niveau négligeable de contamination fécale (par *E. coli*).

3.2.3 Quantités de litière utilisées

Les ajouts de litière ont été réalisés tel que prévu, c'est-à-dire selon le bon jugement du gérant de l'heure. Le Tableau 12 récapitule les ajouts réalisés au cours des élevages et montre d'emblée que les élevages sur paille ont demandé beaucoup plus de litière (en volume) et donc de temps de manutention que les élevages sur bran de scie.

Le Tableau 13 présente pour sa part les quantités totales de litière utilisées dans le bloc 3 (en masse et en volume). Sur une base massique humide et de « porc moyen » (IMQ, inventaire moyen quotidien) pendant les 129 jours d'élevage, on aurait utilisé 39 et 42 % de moins d'orge et d'avoine

Planche 3 - Litière de bran de scie (Bloc 1)



a. Semaine 1. b. Semaine 3. c. Semaine 6, 3 jours après l'échantillonnage 1 et un ajout de litière. d. Semaine 8, 3 jours avant l'échantillonnage 2. e. Sem. 13, juste après un ajout litière et l'éch. 3. f. Semaine 16, 3 jours avant l'échantillonnage 4.

Planche 4 - Litière de paille de blé (Bloc 1)



a. Semaine 1. b. Semaine 2. c. Semaine 4.

Planche 5 - Paille de soya (Bloc 1)



a. Semaine 2. b. Semaine 4. c. Semaine 6, 3 jours avant l'échantillonnage 1 (litière très tassée).
d. Semaine 9, 10 jours avant l'échantillonnage 2. e. Semaine 11 (juste après un ajout de litière et l'échantillonnage 3).
f. Semaine 13, 4 jours avant l'échantillonnage 4.

Planche 6 - Litière de bran de scie (Bloc 2)



a. Semaine 1.
c. Semaine 9 (4 jours avant l'éch. 2).
e. Semaine 14

b. Semaine 4 (4 jours avant l'échantillonnage 1).
d. Semaine 12 (4 jours avant l'échantillonnage 3).
f. Semaine 15 (4 j avant l'éch.. 4, dans nouvelle salle).

Planche 7 - Paille de blé (Bloc 2)



a. Semaine 1. b. Semaine 4. Semaine 9. c. Semaine 12

Planche 8 - Paille de seigle (Bloc 2)



- a. Semaine 1. b. Semaine 4 (4 jours avant l'échantillonnage 1 (pas assez de litière)).
c. Semaine 9 (4 jours avant échantillonnage 2).
d. Semaine 12. (3 jours après échantillonnage 2 et ajout de litière).

Planche 9 - Litière de bran de scie (Bloc 3)



a. Semaine 1.
c. Semaine 9 (3 jours après l'échantillonnage 2).
e. Semaine 15 (2 jours avant l'échantillonnage 4).

b. Semaine 3 (4 jours avant l'échantillonnage 1).
d. Semaine 13 (3 jours après l'échantillonnage 3).
f. Semaine 17 (13 jours après l'échantillonnage 4).

Planche 10 - Litière de paille d'avoine (Bloc 3)



a. Semaine 1.
c. Semaine 9 (3 jours après l'échantillonnage 2).
e. Semaine 15 (2 jours avant l'échantillonnage 4).

b. Semaine 3 (4 jours avant l'échantillonnage 1).
d. Semaine 13 (3 jours après l'échantillonnage 3).
f. Semaine 17 (13 jours après l'échantillonnage 4).

Planche 11 - Litière de paille d'orge (Bloc 3)



a. Semaine 1.
c. Semaine 9 (3 jours après l'échantillonnage 2).
e. Semaine 15 (2 jours avant l'échantillonnage 4).

b. Semaine 3 (4 jours avant l'échantillonnage 1).
d. Semaine 13 (3 jours après l'échantillonnage 3).
f. Semaine 17 (13 jours après l'échantillonnage 4).

Planche 12 - Litière de paille de soya (Bloc 3)



a. Semaine 1.
c. Semaine 9 (3 jours après l'échantillonnage 2).
e. Semaine 15 (2 jours avant l'échantillonnage 4).

b. Semaine 3 (4 jours avant l'échantillonnage 1).
d. Semaine 13 (3 jours après l'échantillonnage 3).
f. Semaine 17 (13 jours après l'échantillonnage 4).

respectivement que de bran de scie. Par contre, on n'aurait ajouté que 3 % de paille de soya de plus que de bran de scie. Sur une base massique sèche, on a utilisé 7, 2 et 76 % de plus d'orge, d'avoine et de soya que de bran de scie.

Les quantités de litière respectives de bran de scie, paille d'orge, paille d'avoine et paille de soya utilisées par porc moyen (IMQ) et par jour (pour un total de 129 jours) s'élèvent approximativement à 1.1, 0.7, 0.6 et 1.1 kg/j sur base humide, et à 0.6, 0.6, 0.6 et 1.0 kg/j sur base sèche.

Les volumes relatifs de paille utilisée par rapport au bran de scie (et rapportés à l'IMQ durant 129 jours d'élevage) varient beaucoup plus (de 4,5 à 5 fois plus que pour la litière de référence) que les masses relatives (0,6 à 1,8 fois plus, Tableau 13). Ainsi, en volume, les quantités de paille utilisées sont de 350 à près de 400 % supérieures à la quantité de sciure, pour une même durée d'élevage. Rappelons que ces volumes ont été établis sur la base du volume de matériau tel que mesuré dans le godet du tracteur à chargeur frontal lors des ajouts de litière en cours d'élevage (voir Tableau 10 pour les masses volumiques correspondantes).

Si la Ferme-École avait disposé de son propre hache-paille, il l'entreposage des pailles aurait alors nécessité moins d'espace, soit 41, 43 et 50 m³ pour les pailles d'orge, d'avoine et de soya respectivement, comparativement à 32 m³ pour le bran de scie en vrac (qui occupe d'ailleurs un plus grand espace au sol que le même volume de balles empilées) (Tableau 13).

Tableau 9 - Description générale des litières

Type de litière	Bloc Litière	TEE % (b.h.)	Provenance	Date de récolte (pailles) /Date de réception	Conditionnement (1)	Hache-paille (5)
Bran de scie de sapin et d'épinette	1 BSa	30	St Norbert	Nov. 07	Vrac	
	1 BSb	45	Lachute	Nov. 07		
	2 BS	45	St Norbert	Jan. 08		
	3 BS	49	St Norbert	Avr. 08		
Paille de Blé	1 BL	6	Ferme 20-100	Août 07 /Nov. 07	Grosses balles carrées (1)	T
	2 BL	11	St-Cuthbert			T/A
Paille de Seigle	2 SE	11	Ferme de la Pointe	Août 07 /jan. 08	Petites balles carrées (2)	T/A
Paille d'Orge	3 OR	10	Ferme 20-100	Août 08 /	Grosses balles carrées (3)	A
Paille d'Avoine	3 AV	10		Avr. 08		A
Paille de Soya	1 SO	7	Ferme-École	Oct. 07	Balles rondes (4)	A
	3 SO	13				

(1) Volume : 1,7 m³, Masse moyenne : 218 kg.

(2) Volume : 0,14 m³, Masse moyenne : 15 kg.

(3) Volume : 1,7 m³, Masse moyenne des balles : 223 kg (OR) et 205 kg (AV).

(4) Volume : 1,9 m³, Masse moyenne : 287 kg.

(5) T : Hache-paille pour balles rondes de la marque *Tomahawk* (modèle numéro 50 50); A : Hache-paille *Agrichoper* (modèle 56 00), pour balles rondes. Dans le bloc 2 (2 BL et 2 SE), le *Tomahawk* a servi à hacher la paille lors de la préparation des salles, alors que le *Agrichoper* a servi pour la paille ajoutée par la suite.

Tableau 10 - Masses volumiques de quelques litières selon leur mode de mesure

Litière	Bloc	Masse volumique (kg/m ³ , b.h.)					Rapport en balle / en salle
		En balle	En salle ⁽¹⁾	Godet ⁽²⁾	45 gal. ⁽³⁾	5 gal. ⁽⁴⁾	
BS	3			256		256	
BL	2	128			29,7	25,0	
SE	2	107	31,0		19,9		3,5
OR	3	131	56,3	32,8	28,0	27,9	2,3
AV	3	120	51,7	33,1	27,3	27,2	2,3
SO	3	149	82,9	52,8			1,8

(1) Masse totale au début/Estimation du volume occupé par la litière dans la salle (litière soufflée directement lors du hachage dans le cas des pailles).

(2) La masse volumique du bran de scie, mesurée dans la chaudière de 5 gallons est considérée comme semblable dans le godet du tracteur. La masse volumique des pailles contenue dans le godet a été déduite à partir de plusieurs données : le poids moyen des balles, le nombre total de balles utilisées et le nombre de godets de paille ajoutés).

(3) Mesurée avec un baril de 45 gallons (3 répétitions).

(4) Mesurée avec une chaudière de 5 gallons (3 répétitions).

Tableau 11 - Composition du bran de scie et des pailles utilisés comme litière

Bloc	pH	MS % (b.h.)	Cendres % (b.s.)	C/N	N/P	N-NH ₄ / N _{total} %	N _{total}	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
1 BS_a	6,8	70	0,8	606	10	0	0,21	0,54	0	0,08	0,95	2,14	0,25	0,02	0,02	0,00	0,03	0,13	0,01	0,02
1 BS_b	7,0	55	0,8	571	16	0	0,82	0	0	0,05	0,70	1,54	0,20	0,04	0,02	0,00	0,06	0,08	0,02	0,02
2 BS	4,9	55	0,7	1 196	11	0	0,41	0	0	0,04	0,68	0,84	0,16	0,03	0,02	0,00	0,05	0,07	0,01	0,06
3 BS	7,3	51	1,0	336	16	0	1,5	0	0	0,09	0,77	2,80	0,27	0,04	0,01	0,00	0,07	0,20	0,07	0,05
1 BL	6,7	94	5,2	212	6	0	2,2	0	0	0,37	12,0	1,23	0,56	0,15	0,02	0,01	0,09	0,01	0,01	0,04
2 BL	6,8	89	9,2	163	4	2	2,9	0,05	0,02	0,71	11,6	1,56	0,75	0,02	0,01	0,00	0,04	0,04	0,01	0,04
2 SE	6,7	89	5,2	159	4	2	3,0	0,07	0,01	0,81	12,0	2,14	0,34	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,02
3 OR	7,3	90	7,7	87	5	2	5,3	0,11	0,20	1,01	16,6	3,05	1,14	0,02	0,01	0,01	0,05	0,01	0,03	1,63
3 AV	7,4	90	7,9	64	11	1	7,2	0,11	0,36	0,64	17,0	3,84	1,30	0,06	0,03	0,01	0,08	0,04	0,02	1,91
1 SO	6,8	93	4,6	77	16	0	6,2	0,02	0,005	0,38	6,95	9,68	2,59	0,15	0,05	0,01	0,14	0,01	0,01	0,12
3 SO	7,3	87	5,3	35	12	0	13,6	0,03	0,004	1,16	10,4	9,08	3,35	0,12	0,04	0,01	0,13	0,01	0,03	0,12

BS : Bran de scie (BS_a : BS utilisé pour la préparation de la salle; BS_b : BS ajouté en cours d'élevage)
 AV : Avoine SO : Soya Blocs 1, 2 ou 3 (b.s.) : Base sèche

BL : Blé SE : Seigle (b.h.) : Base humide

OR : Orge

N.B. : la variabilité des valeurs du tableau 12 (teneurs en éléments en g/kg sur b.h. analysées en triplicata) est fournie à l'annexe 9.

Tableau 12 - Déplacements et ajouts de litière en cours d'élevage

Bloc	Litière	Nombre de fourches de litière déplacées (Four.) et nombre de godets de litière ajoutés (God., en gras), par semaine dans les zones de repos (R), alimentation (A) ou déjection (D). (Aucune lettre signifie « dans toutes les zones »)																			Total (sem. 1 à 12)		En plus (sem.13 et +)		
		sem.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Four.	God.	Four.
1	BS				20D 16	3				3			2R	5		3R						26	8		8
	BL	20A	38A	4			fin															62			
	SO	79A	74A	4	22A		6	46A		10		10		5R	15		fin					22	30		20
2	BS	49A	55A	20A					5	3R		5		5	6	2				fin	124	13		13	
	BL	49A	45A	10A		7			9	7R	10R			fin								104	33		
	SE	22A	30A	10A		6			9		7R			fin								62	22		
3	BS	20A	40A	20A	10A	30A	10A	20A 5		3					2					fin	18	8		2	
	AV	130 A 8	90A	10A 7	10A 5		10A	10A 10	10A	15A 5	20A 3	3	3	3	3	2		2		fin	305	44		10	
	OR	90A 8	80A	10A 7	10A 5	20A	10A	10A 10	26A	15A 5	20A 3	3	3	3	3	3		3		fin	291	44		12	
	SO	90A 8	80A	40A 7	50A 3	40A	40A	10A 10	30A	40A 5	60A 3	30A 3	20A 3	3	2			0.5		fin	530	42		5.5	

Tableau 13 - Quantité totale de litière apportée (Bloc 3)

Litière (Bloc 3)	IMQ	Nombre de balles	Volume en balles m ³	Quantité de litière fraîche totale utilisée (litière début + ajouts)								Quantité relative par rapport au bran de scie X par porc/ BS par porc		
				MS (%)	Masse				Volume (litière hachée*)			masse (b.h.)	masse (b.s.)	volume
					kg		kg/IMQ		Nombre de godets	m ³	m ³ / IMQ			
					b.h.	b.s.	b.h.	b.s.						
BS	58,1			50,8	8 253	4 193	142	72	25	32	0,56	1,0	1,0	1,0
OR	61,7	24	40,8	89,5	5 345	4 784	87	78	79	163	2,64	0,6	1,1	4,8
AV	62,4	25	42,5	89,9	5 114	4 597	82	74	75	155	2,48	0,6	1,0	4,5
SO	51,2	26	50,2	87,3	7 462	6 514	146	127	69	141	2,76	1,0	1,8	5,0

* Le volume de litière est estimé à partir du volume du godet du tracteur.

3.2.4 Observation du cheptel

L'étude n'avait pas pour but de caractériser de façon approfondie tous les aspects relatifs au cheptel. Elle visait plutôt à relever des informations diverses pour obtenir une vision d'ensemble des interactions possibles entre le cheptel et le « comportement » des litières.

L'état général du cheptel et le niveau de confort des porcs sont révélés ici par plusieurs indices, dont, notamment, la superficie moyenne par porc en début d'élevage, le taux de mortalité, le recours aux médicaments, la propreté et le comportement des animaux.

Superficie par porc

La superficie disponible par porc en début d'élevage était de 1,0 m² dans toutes les salles sauf une (1,1 m²/porc pour le BS du bloc 1)¹⁵. Cela est donc conforme à la recommandation de Pigeon et Bélanger (2000) citée par Guimont et coll. (2005), soit 1,0 à 1,1 m²/porc). Bien sûr, au fur et à mesure que les porcs atteignaient le poids de sortie requis et étaient envoyés à l'abattoir, ou en cas de mortalité, la densité animale dans les salles diminuait. Par contre, les porcs devenaient évidemment de plus en plus gros.

IMQ

L'inventaire moyen quotidien (IMQ) permet de rapporter les valeurs de masse et de volume de litière ou de fumier à un « porc moyen ». Cette valeur est une approximation qui ne tient pas compte de l'âge des porcs qui a pourtant un impact direct sur différents paramètres pouvant avoir une influence sur la qualité de la litière tels les quantités de déjections produites ainsi que la chaleur et l'eau dégagée par les porcs.

Dans les salles du bloc 1 par exemple il y a eu un décalage : tous les porcelets ne sont pas entrés en engraissement à la même date et n'avaient pas le même poids. Dans les salles du bloc 2, le nombre de porc à la 7e semaine, et encore à la 13e semaine pour le bran de scie, était plus élevé que pour les salles des autres blocs (Tableau 14). Des répétitions expérimentales auraient permis de fournir des valeurs finales plus justes pour les différents paramètres mesurés.

Lorsque la valeur d'IMQ est inférieure au nombre de porcs en début d'élevage, c'est l'indice que la mortalité est survenue surtout en début d'élevage, ou que plusieurs animaux ont atteint leur taille d'abattage bien avant les autres. Pour une comparaison plus rigoureuse, il aurait fallu pouvoir associer à cet indicateur le gain de poids total et le gain de poids moyen quotidien.

Mortalité

La mortalité moyenne était de 5,8 % pour les élevages de 129 jours et plus. Elle a été très élevée pour l'essai avec l'orge (10,8 %) et très faible (< 2 %) pour les essais avec de l'avoine et le bran de scie (dans le blocs 1). D'après le gérant, Alexandre Guilbert-Choinière, les valeurs observées sont cependant comparables en moyenne à celles observées en 2007 dans les élevages sur bran de scie « hors expérience », dans les autres salles d'élevage porcin de la Ferme-École. À une exception près

¹⁵ La surface réellement disponible pour les porcs est de 64,4 m² (surface « mur à mur », diminuée de la surface occupée par des murets et la trémie abreuvoir.

(porc décédé au cours de la 17^e semaine dans l'essai avec de l'orge comme litière), il y avait de la mortalité surtout au cours des premières semaines d'élevage.

La mortalité a principalement trois sources : une moins bonne condition physique des porcelets à leur entrée en engraissement (les « radets » sont plus faibles et plus petits), des difficultés à s'alimenter ou à s'abreuver, les excès de chaleur (surtout en été). La première cause de mortalité pourrait être diminuée par l'isolement des porcelets malades ou plus faibles dans une salle « tampon » de la maternité. La deuxième cause de mortalité est liée à la première et peut être accentuée quand les porcelets arrivant en salle d'engraissement n'ont pas un accès facile aux trémies trop hautes pour eux¹⁶. La troisième cause de mortalité peut être limitée par une bonne ventilation dans les salles. Pour les élevages du bloc 3, les quelques pics de température (voir section 3.2.5) n'ont sans doute pas été problématiques.

Tableau 14 - Données d'élevage

Bloc /litière	Nombre initial de porcs	Nombre de porcs à la fin de la semaine 7	Nombre de porcs à la fin de la semaine 13	Durée de l'élevage (j)	IMQ (porc/j)	Mortalité (%)
1 BS	59	58	58	147	56,5	1,7
2 BS	65	65	63	134	57,9	3,1
3 BS	61	58	47	129	58,1	6,6
1 BL	66	-	-	(30)	66,0	(0)
2 BL	66	65	-	(85)	65,2	(1,5)
2 SE	65	65	-	(86)	64,7	(1,5)
3 OR	65	60	58	129	61,7	10,8
3 AV	65	62	52	129	62,4	1,5
1 SO	62	58	58	104	58,9	6,5
3 SO	63	59	59	129	51,2	6,3

N.B. : L'IMQ est l'inventaire moyen quotidien. Les valeurs entre parenthèses correspondent à des élevages incomplets.

Santé

Dans l'ensemble, les animaux ne semblent pas avoir été plus malades que dans les salles « hors expérience ». Cependant, l'état de santé des porcs n'a pas été suivi de façon particulière. Les médicaments administrés aux élevages du bloc 3 ont été rassemblés en annexe, à titre d'information (Annexe 5). À l'exception d'un traitement antibiotique généralisé à tous les porcs dans toutes les salles, à la 7^e semaine d'élevage, 6 animaux ont été traités ponctuellement. C'est dans la salle contenant la litière d'orge qu'il y a eu le plus d'intervention vétérinaire (3 traitements individuels), et c'est d'ailleurs là que la mortalité a été la plus élevée. Les données disponibles ne permettent pas de pousser plus les comparaisons entre litières à ce chapitre.

¹⁶ Il est à noter que les trémies des salles garnies de paille du bloc 3 étaient plus hautes de 4 à 5 pouces que celles de la salle contenant du bran de scie.

Gain de poids

Bien qu'aucune donnée précise de gain de poids (total et quotidien) ne soit disponible, notons que c'est dans les salles tapissées de sciure et d'avoine du bloc 3 que les premiers porcs à atteindre leur poids de sortie sont sortis dès la 13^e semaine. Dans les autres salles, la sortie des porcs à leur poids normal de sortie a commencé à partir des semaines 14 (3 SO), 15 (2 BS) ou 16 (3 OR).

Propreté des animaux

La propreté des animaux est évidemment en lien avec la qualité de la litière dans la zone de repos et l'étendue de la zone de déjection. S'il y a assez de litière fraîche, les porcs seront toujours relativement propres, car en s'allongeant dans celle-ci, ils se nettoient de leur éventuel « bain » dans les zones plus sales.

D'après le responsable des élevages, la propreté n'a été jugée « faible » que dans quelques cas :

- ✓ à partir de la 8^e semaine dans les salles de soya (bloc 1) et de blé (bloc 2);
- ✓ à partir de la 9^e semaine dans la salle de seigle (bloc 2);
- ✓ ponctuellement, au cours des 12, 13 et 14^e semaine dans la salle de soya (bloc 3).

Cette notion de propreté est bien évidemment très subjective. Elle constitue toutefois un élément important dans la prise de décision du gérant quant à la nécessité d'ajouter de la litière fraîche.

3.2.5 Suivi des conditions d'ambiance

Comme en témoignent les figures ci-après, la mesure des conditions d'ambiance dans les salles d'élevage a été inégale. Les données relevées manuellement qui sont disponibles permettent cependant de faire plusieurs observations intéressantes.

Dans l'ensemble la température de salles d'élevage est demeurée dans les limites de la zone de confort optimal pour les porcs, soit entre 10 et 25 °C. On note cependant quelques écarts de température : des températures plus froides entre novembre 2007 et la mi-avril 2008 (entre 5 et 10 °C), puis des températures occasionnellement plus chaudes de la mi-avril à la fin août (entre 25 et 30 °C, avec un pic à 35 °C).

Dans les salles des blocs 1 et 2 équipées d'un échangeur d'air récupérateur de chaleur (Figure 3 et Figure 4), les températures et les niveaux d'humidité présentent dans certains cas de fortes variations par rapport aux valeurs de consigne, soit de 21 à 16 °C entre le début et la fin de l'élevage et moins de 65 % d'humidité en tout temps. Ces fluctuations sont surprenantes dans un milieu où l'ambiance est en principe correctement contrôlée par les systèmes de régulation électroniques

Les périphériques en place devaient en effet permettre de réguler l'humidité relative et la température des salles en réduisant l'amplitude des valeurs autour de la consigne préétablie. Lors d'essais réalisés dans des conditions similaires d'engraissement de porcs sur litière, Martin et coll. (2005) ont démontré la capacité des systèmes récupérateurs de chaleur Polymair^{MD} à maintenir un taux d'humidité particulièrement stable en période hivernale, avec des taux de ventilation de l'ordre

de 9 L/s/porc. Dans les essais à la Ferme-École, le débit de ventilation fourni par les échangeurs pouvaient atteindre le double, soit près de 20 L/s/porc. Tout porte donc à croire que la forte variation du taux d'humidité relative autour de la consigne n'était pas due à un renouvellement insuffisant de l'air à travers les échangeurs de chaleur, mais à un ou plusieurs des facteurs suivants :

- ✓ Le mode de fonctionnement en « tout-ou-rien » des modèles d'échangeurs installés qui ne permettait pas de varier le débit d'air en fonction de la demande. (Ce facteur est probablement celui qui a engendré le plus de variation d'humidité relative et de température dans les salles.)
- ✓ Une capacité de chauffage insuffisante pour maintenir la température près de la consigne lorsque les échangeurs étaient en fonction (voir figures).
- ✓ Une mauvaise harmonisation des consignes fournies par le système de contrôle aux différents équipements des systèmes de chauffage et de ventilation.
- ✓ La localisation dans la salle ou l'imprécision des appareils de mesure (sondes de température et d'humidité).
- ✓ La défectuosité (chronique ou temporaire) des systèmes de chauffage et de ventilation (ex. : veilleuse d'un des systèmes de chauffage qui s'éteint à cause d'un courant d'air).
- ✓ Un problème de gestion de l'eau (fuite du système d'abreuvement, retour d'une partie du condensat de certains échangeurs vers la litière, ...).
- ✓ Une intervention de l'éleveur (l'ouverture des portes de garage pour l'ajout de litière fraîche, l'apport de litière fraîche en lui-même, le retrait d'animaux, ...).
- ✓ Une fluctuation importante de la température et de l'humidité à l'extérieur. (Cela pouvait avoir un impact sensible sur les conditions dans la salle lors des ajouts de litière.)

Les données qui devaient être prises en continu et de façon automatisées grâce aux « hobos » sont incomplètes; elles ne sont donc pas présentées ici.

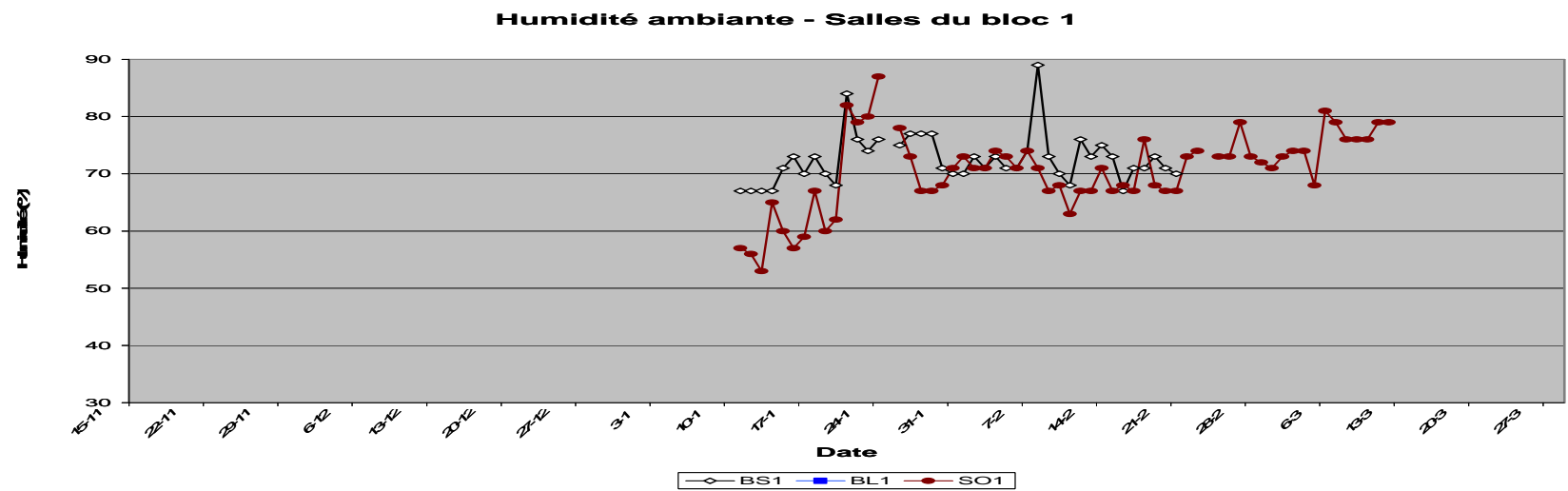
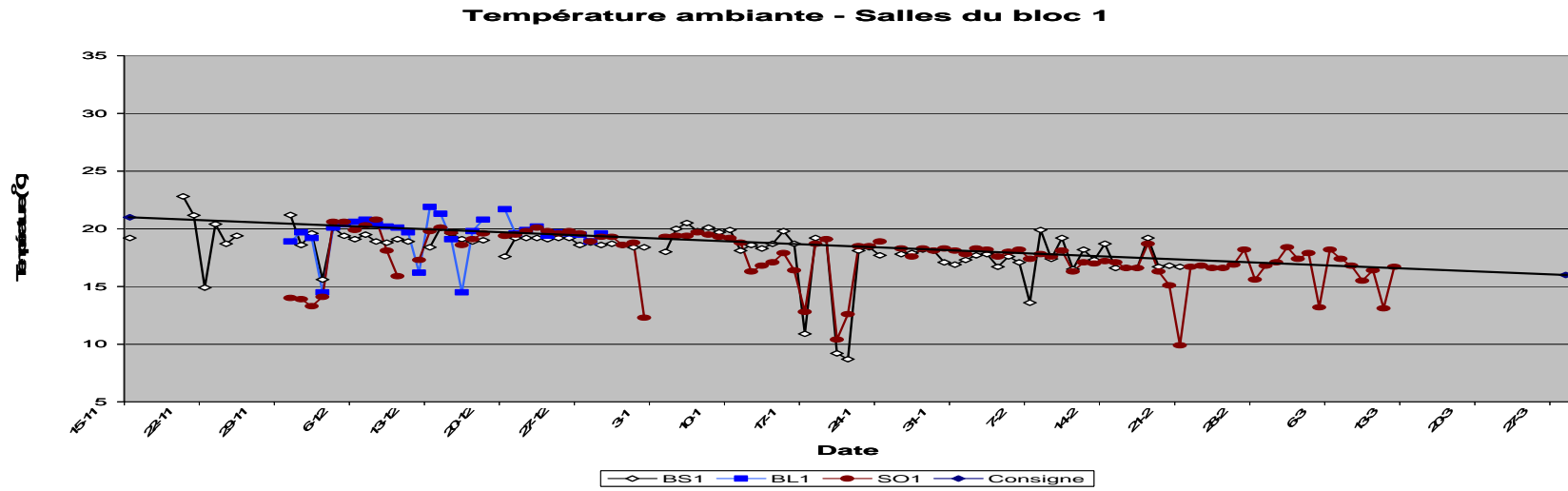


Figure 3 - Conditions d'ambiance (Bloc 1)

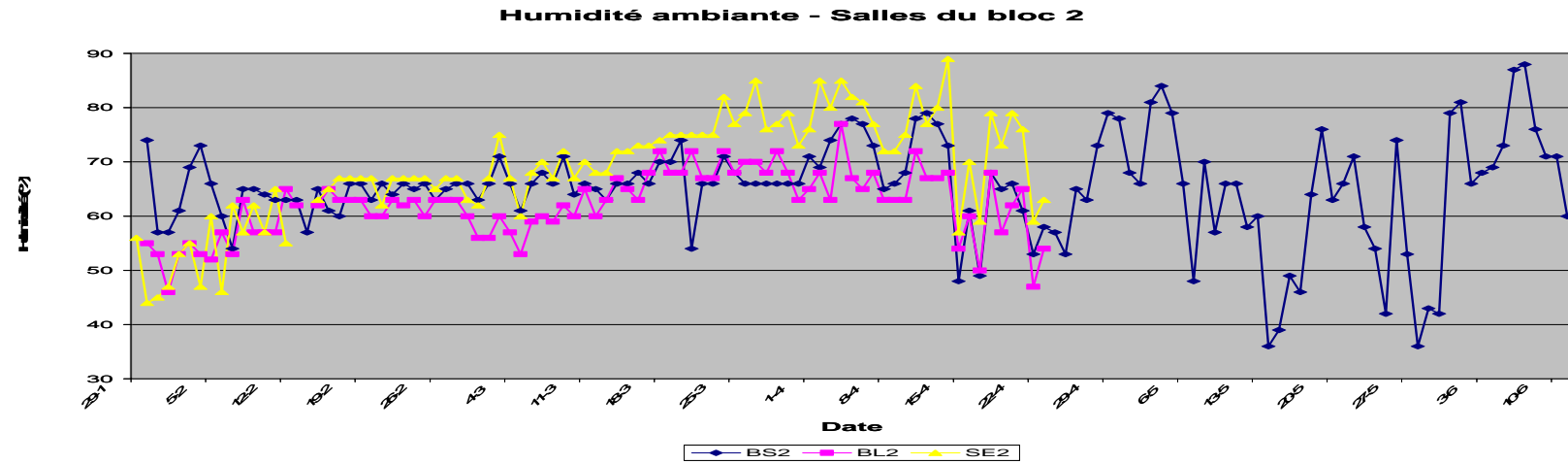
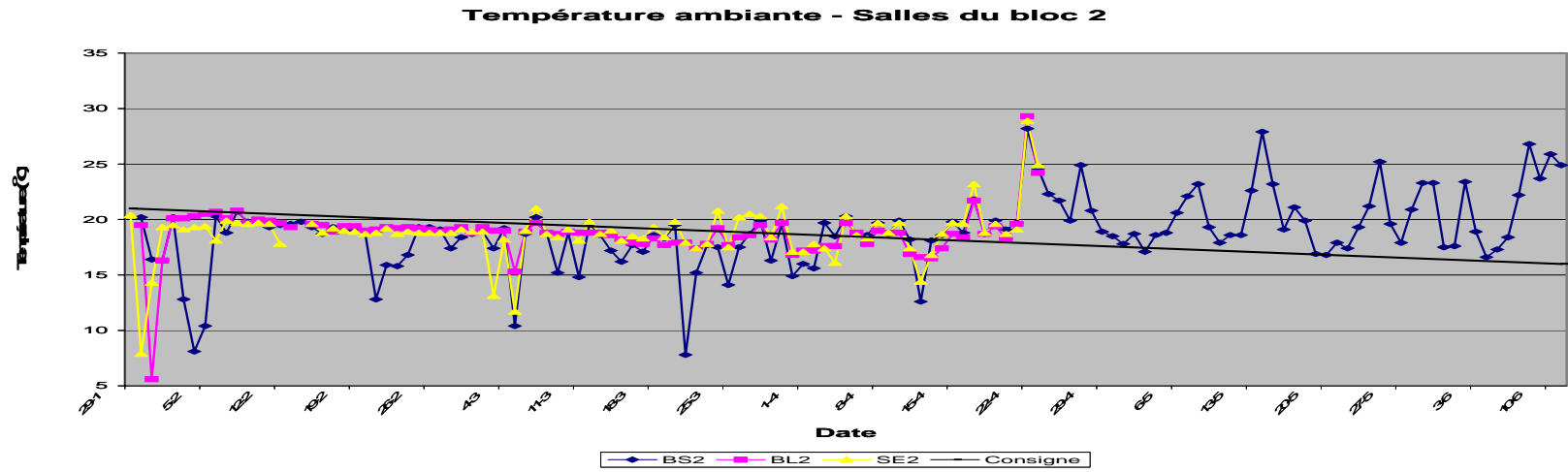


Figure 4 - Conditions d'ambiance (Bloc 2)

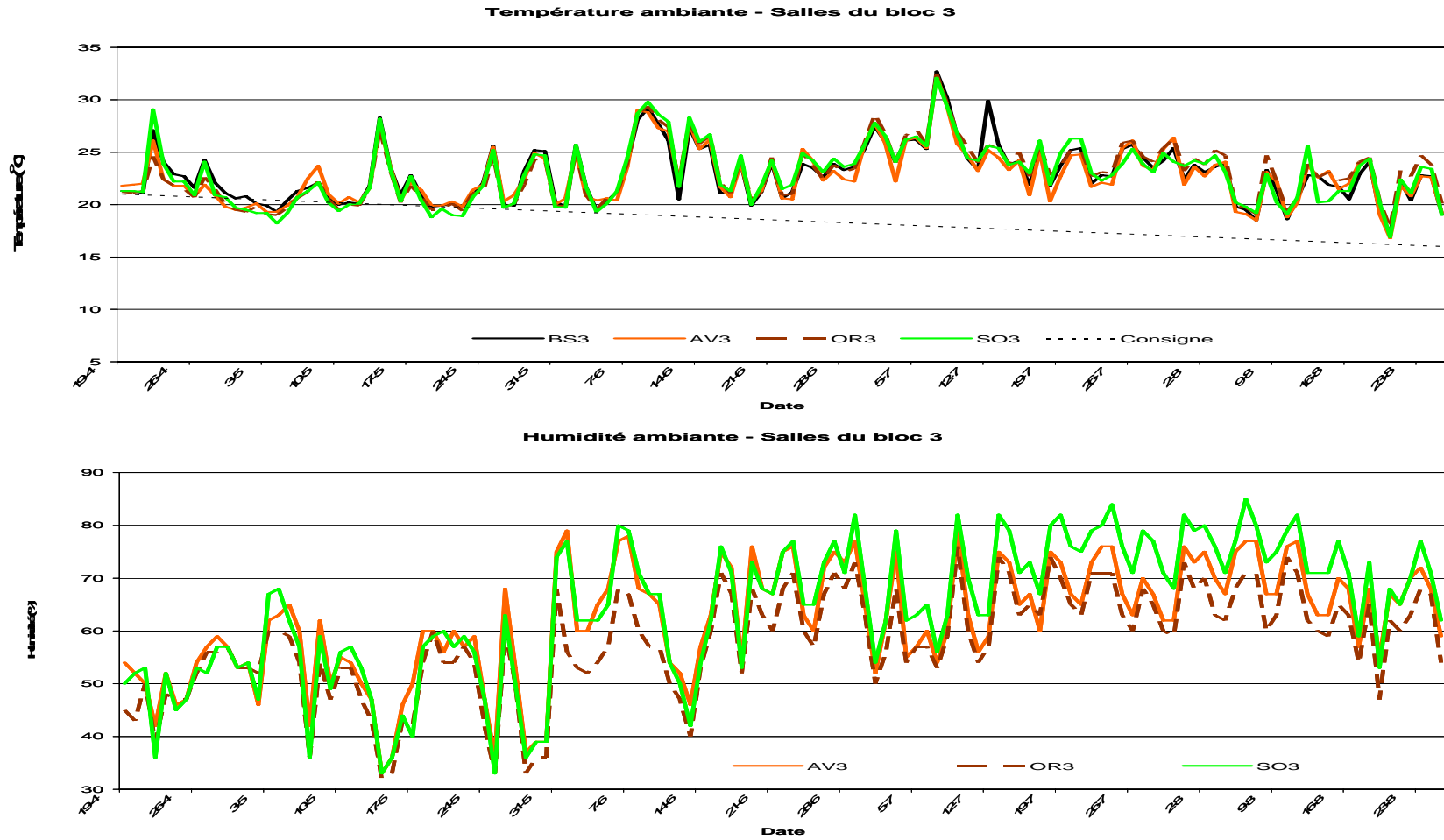


Figure 5 - Conditions d'ambiance (Bloc 3)

N.B. : Aucune donnée d'humidité ambiante n'est disponible pour la salle tapissée de bran de scie.

Les températures mesurées dans les salles du bloc 3 fluctuent de la même manière et sont assez proches entre élevages. Les niveaux d'humidité ambiante suivent globalement les mêmes tendances mais ne sont pas aussi homogènes. Les températures et les valeurs d'humidité relative extérieures relevées à la station météorologique de l'Assomption au cours des périodes correspondant à la période d'étude sont fournies en annexe (Annexe 6 et 7) à titre de comparaison. Avec un système d'enregistrement automatisé des données d'ambiance dans la salle (« hobos », enregistrement toutes les 15 minutes), les valeurs moyennes obtenues auraient présenté moins d'amplitude que les données ponctuelles des figures 3 à 5.

Dans l'ensemble l'été 2008 a été plutôt humide et pluvieux, ce qui explique en partie la difficulté à maintenir l'humidité relative à 65 % ou moins. Toutefois, à partir de la mi-juillet, l'humidité dans la salle d'essai avec le soya est toujours supérieure à celle observée pour l'avoine, elle-même supérieure de plusieurs pourcents à celle mesurée dans la salle garnie d'orge. Cela dénote peut-être un effet de la litière qui mériterait d'être exploré, ou tout simplement une divergence dans la capacité de ventilation de ces salles.

3.2.6 Évolution des litières

Le suivi de la qualité de la litière dans les différentes salles en cours d'élevage a été mené par l'observation et la mesure de plusieurs paramètres.

Extension de la zone de déjection

Au début des élevages, la zone de déjection était localisée le long des murs et au fond de la salle, du côté de la porte donnant sur l'extérieur. En hiver, ce sont les secteurs les plus frais. Comme la litière souillée n'était pas retirée, la zone de déjection a progressé vers le centre de la salle. Il semble que la zone de repos se soit peu à peu souillée par les allées et venues des porcs avant de prendre elle-même des allures de zone de déjection. D'ailleurs, en été (bloc 3), les cochons semblaient aller se « rafraîchir » dans la zone de déjection ainsi que le long des murs. Comme le montre les photos et les clips vidéos (voir planches), la « zone de repos » devenait brune assez vite. Elle était désignée ainsi tant que l'on pouvait la distinguer (en termes de couleur, de texture et de portance) de la zone de déjection.

La progression de la zone de déjection (estimée chaque semaine) par rapport à la superficie totale de la salle est illustrée par la Figure 6. Dans les salles correspondant aux blocs 1 et 2, les courbes correspondant au bran de scie (BS) semblent suivre la même tendance : la zone de déjection occupe environ le tiers de la salle au bout de 5 semaines d'élevage, et la moitié de l'espace au bout de 7 à 8 semaines. Par la suite, malgré les ajouts de litière (qui expliquent les creux dans les courbes), la zone de déjection atteint un maximum de près de 70 % de la superficie totale de la salle d'élevage vers la 11^e ou 12^e semaine. Avec la diminution du nombre de porcs, la superficie de la zone de déjection diminue à nouveau, mais remonte à la 18^e semaine dans les salles de bran de scie des blocs 1 et 2.

Dans le bloc 3, la progression de la zone de déjection sur bran de scie est plus lente (30 % de la salle est occupée par la zone de déjection après la 8^e semaine) et moins importante (le maximum atteint est de 50 %, à la 14^e semaine). Les quantités de bran de scie apportées au début dans chacun des blocs sont pourtant équivalentes (14 ou 15 godets de bran de scie) et les ajouts dans le bloc 3 bien moindre que pour les blocs 1 et 2.

Cela souligne la plus grande facilité qu'il y a, en été, à maintenir à des niveaux acceptables les conditions d'ambiances en salle et la qualité de la litière. En hiver, on ventile généralement moins par souci d'économie de chauffage. Cependant, comme les échangeurs d'air ne semblent pas avoir été utilisés de façon optimale, il serait très pertinent de reprendre les expérimentations hivernales dans des conditions de température et d'humidité mieux contrôlées.

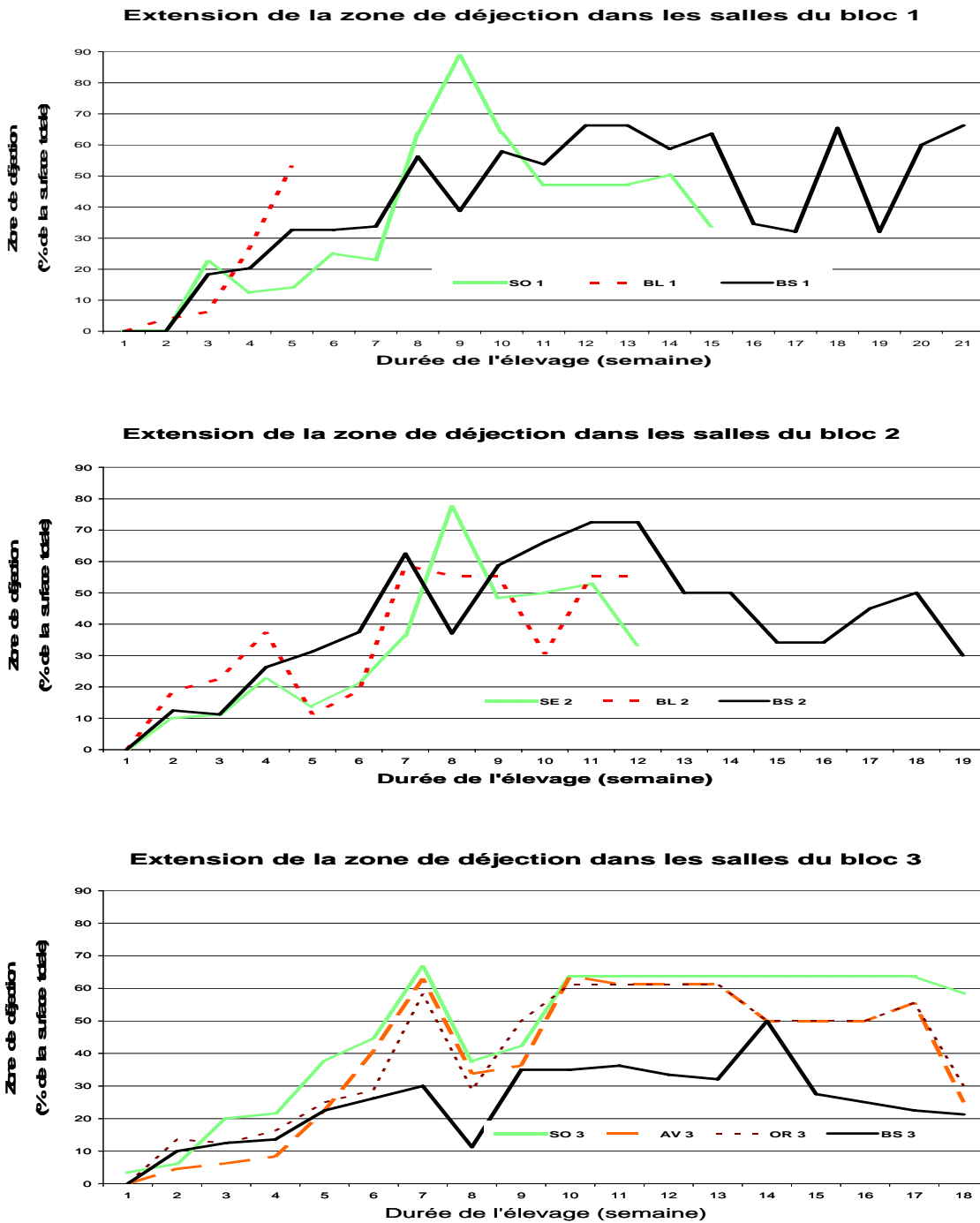


Figure 6 - Extension de la zone de déjection (Blocs 1 à 3)

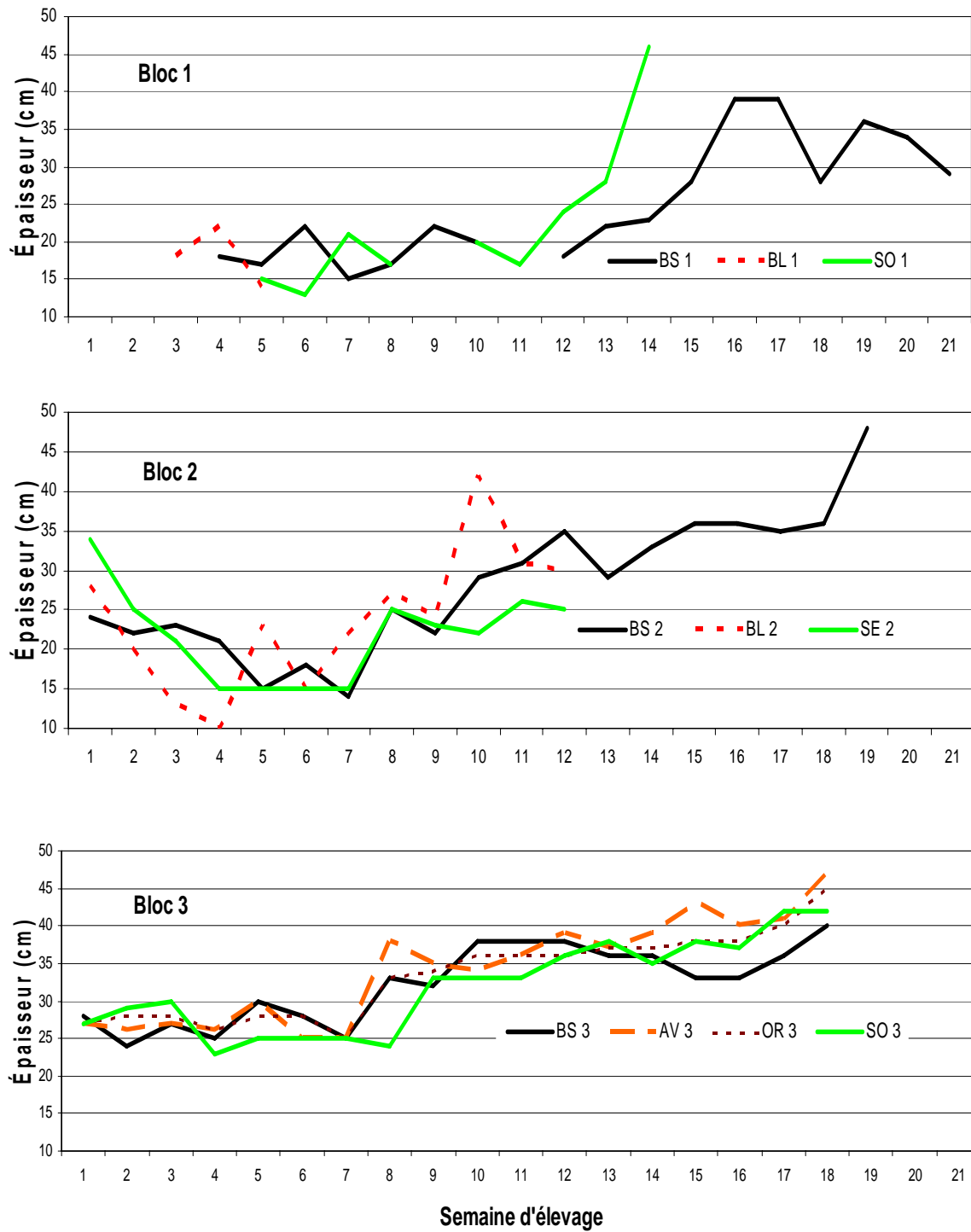


Figure 7 - Épaisseur moyenne de la litière dans la zone de repos (Blocs 1 à 3)

Profondeur moyenne de la litière

La détermination de la profondeur moyenne de la litière suppose de faire des mesures en plusieurs points de la salle. En effet, plus les porcs grandissent, plus ils creusent des trous importants dans la litière, produisant par ailleurs des monticules. Bref, comme en témoignent les photos (et les vidéos, disponibles sur demande), les aires d'élevage étaient faites de creux et de bosses (moins importantes près des mangeoires et le long des murs). Cependant, dans certains cas où la litière a été franchement pâteuse, le niveau était plus constant : non seulement les porcs n'étaient-ils plus en mesure de creuser, mais ils se déplaçaient avec difficulté.

L'évolution de la profondeur moyenne de la litière dans la zone de repos dans les salles des blocs 1 à 3 est représentée à la Figure 7. Les variations d'épaisseur de la litière s'expliquent par le piétinement exercé par les porcs et par les ajouts de litière au cours de l'élevage (Tableau 12). Après 7 semaines d'élevage, les épaisseurs de litière dans les salles du bloc 3 se situaient entre 23 et 30 cm. Par la suite, elles ont varié de 33 à 40 cm, avec un maximum en fin d'élevage de 40 à 45 cm (semaine 18).

Teneur en eau de la litière

L'évolution de la teneur en eau (TEE, sur base humide) des litières du bloc 3 est montrée par la Figure 8. Les relevés sont ponctuels mais on y voit clairement que le bran de scie, quatre fois plus humide que les pailles (49 % vs 10 %), s'est asséché au cours des premières semaines puis a dépassé son taux d'humidité initial. À partir de la 9^e semaine, la litière de la zone de repos n'était pas tellement moins humide (60 % de TEE) que la zone de déjection (66 %) à la 16^e semaine. Le maximum d'humidité dans la zone de repos a été relevé dans la partie inférieure de la litière (zone de repos), à la 16^e semaine d'élevage. La litière semble donc atteindre un état d'équilibre en terme de TEE, dans la zone de repos comme dans la zone de déjection.

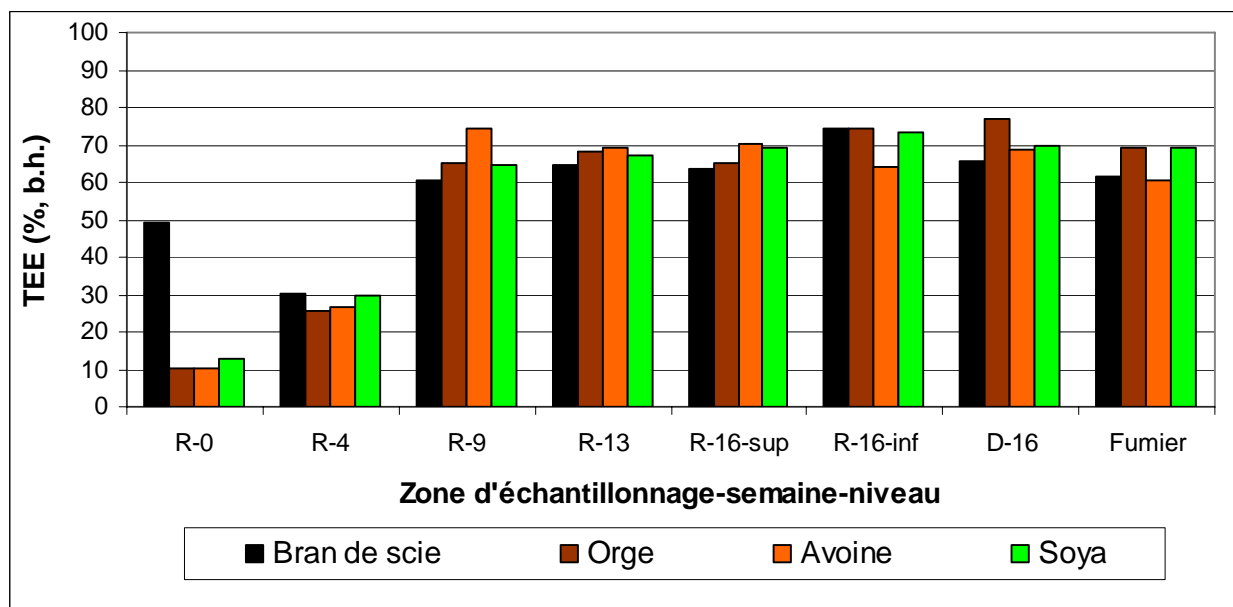


Figure 8 - Évolution de la teneur en eau des litières (Bloc 3)

Dans le cas de pailles, très sèches au début, une teneur en eau de 65 % a été atteinte dès la 9^e semaine dans la zone de repos (et peut-être même avant) et a avoisiné 70 % par la suite. La paille d'avoine était la plus humide à la semaine 9 (75 % de TEE).

Température de la litière

La température de la litière a été mesurée en 10 points de la zone de repos à 4 reprises au cours des élevages (aux semaines 4, 9, 13 et 16) et à 2 niveaux de profondeur : au centre de la moitié supérieure de la litière et au centre de la moitié inférieure (Figure 9). D'une manière générale, les températures de la litière ont varié de 30 °C à 45 °C, le seuil de 40 °C ayant été dépassé dans la litière de bran de scie (43 °C, semaine 9) et celle de soya (45 °C, semaine 4).

La plus forte température dans la litière de soya pourrait s'expliquer par une plus grande activité biologique favorisée par un rapport C/N et des conditions d'aération et d'humidité favorables. La teneur en azote du soya était en effet nettement plus élevée que dans les autres litières (soit 13,6 g/kg de MS, voir tableau 3, faire renvoi), avec une teneur en MO (95 %) assez proche de celle des autres pailles.

En moyenne pour toutes les salles du bloc 3, les températures ont peu différencié entre la partie supérieure et la partie inférieure de la litière (36 °C *vs* 35 °C). L'écart de température entre ces deux couches de litière a cependant été plus marqué (de 2 à 4 °C) à certains moments pour l'avoine (sem. 4 et 9), l'orge (sem. 9) et le soya (sem. 9). Ces différences pourraient être liées à une plus grande activité microbienne en surface grâce à l'apport plus abondant de nutriments par les déjections et à des conditions d'aération plus favorables qu'en profondeur.

En production porcine sur litières, l'activité microbienne reliée aux processus de compostage est essentielle pour évaporer les surplus d'eau et maintenir les litières dans un état suffisamment sec (Robin et coll., 1999). Il est même recommandé de brasser la litière pour favoriser le compostage des déjections. L'activité de fouille du porc pourrait se substituer au travail de l'éleveur si elle est suffisamment intense et efficace pour l'incorporation des déjections et l'aération de la litière (production de chaleur et évaporation d'eau) (Oliveira et coll., 1999).

Parmi les litières à l'essai, les pailles d'orge et d'avoine ont semblé maintenir des températures plus élevées (aux environs de 35 °C) que les litières de bran de scie et de soya, même jusqu'à 16 semaines d'élevage, leur conférant un atout pour le maintien des conditions d'évaporation.

Compte tenu de la température de la litière supérieure ou égale à 30 °C dans la zone de repos et à la température ambiante le plus souvent entre 20 et 25 °C, il est légitime de se demander si les porcs ne seraient pas plus confortables dans des conditions plus fraîches. Alexandre Gilbert-Choinière le gérant a observé que les porcs cherchaient à se rafraîchir en dégageant de sa litière le plancher plus mouillé aux abords des abreuvoirs. En été, ils se couchent aussi le long des murs ou dans la zone de déjection. En été, serait-il donc pertinent de limiter l'épaisseur de litière pour éviter toute source de chaleur supplémentaire? Il faudrait alors évacuer plus souvent la litière souillée. En hiver, par contre, la chaleur procurée par les transformations de la litière contribue au bien-être des porcs (et aux économies de chauffage), à condition d'une extraction efficace de l'humidité.

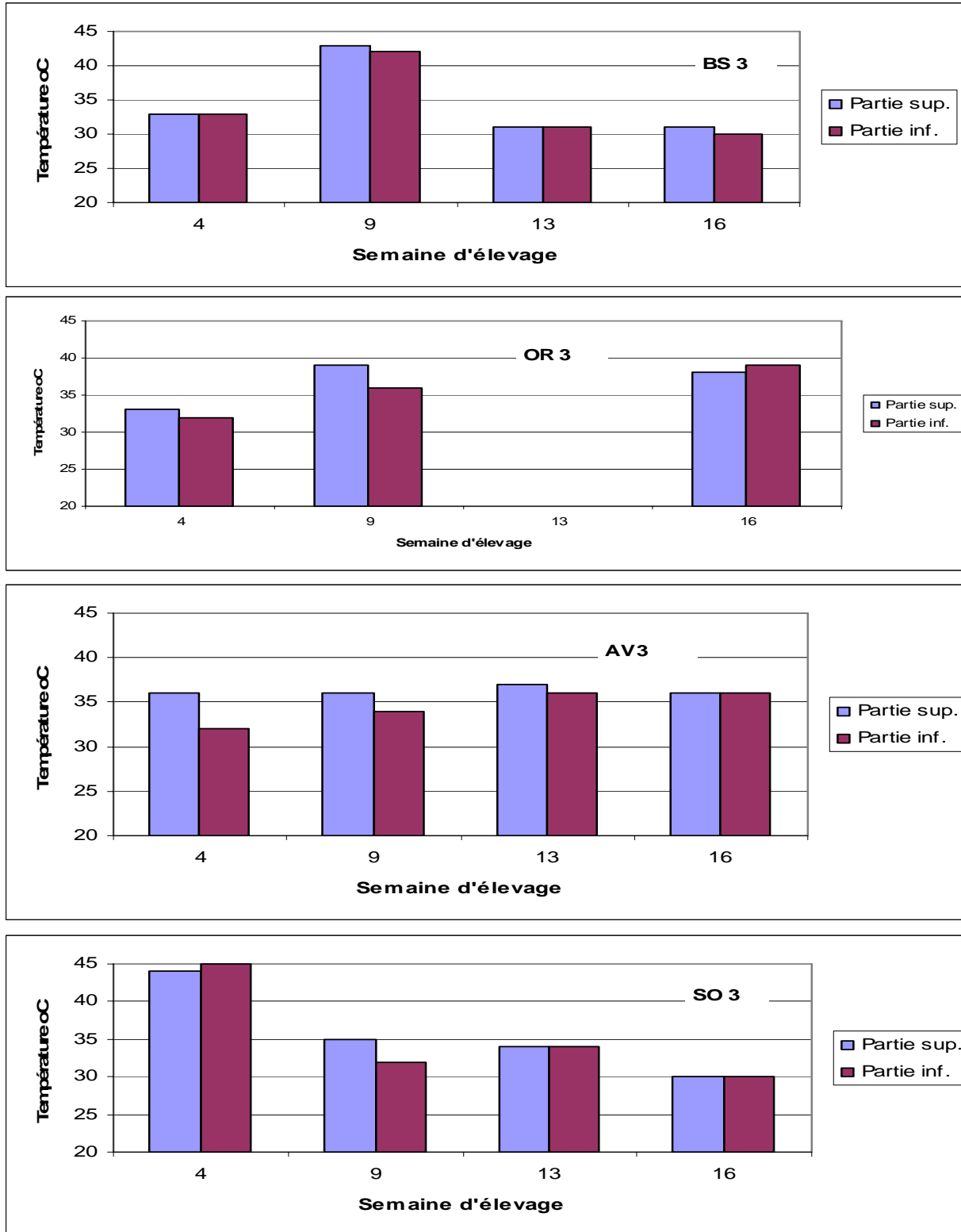
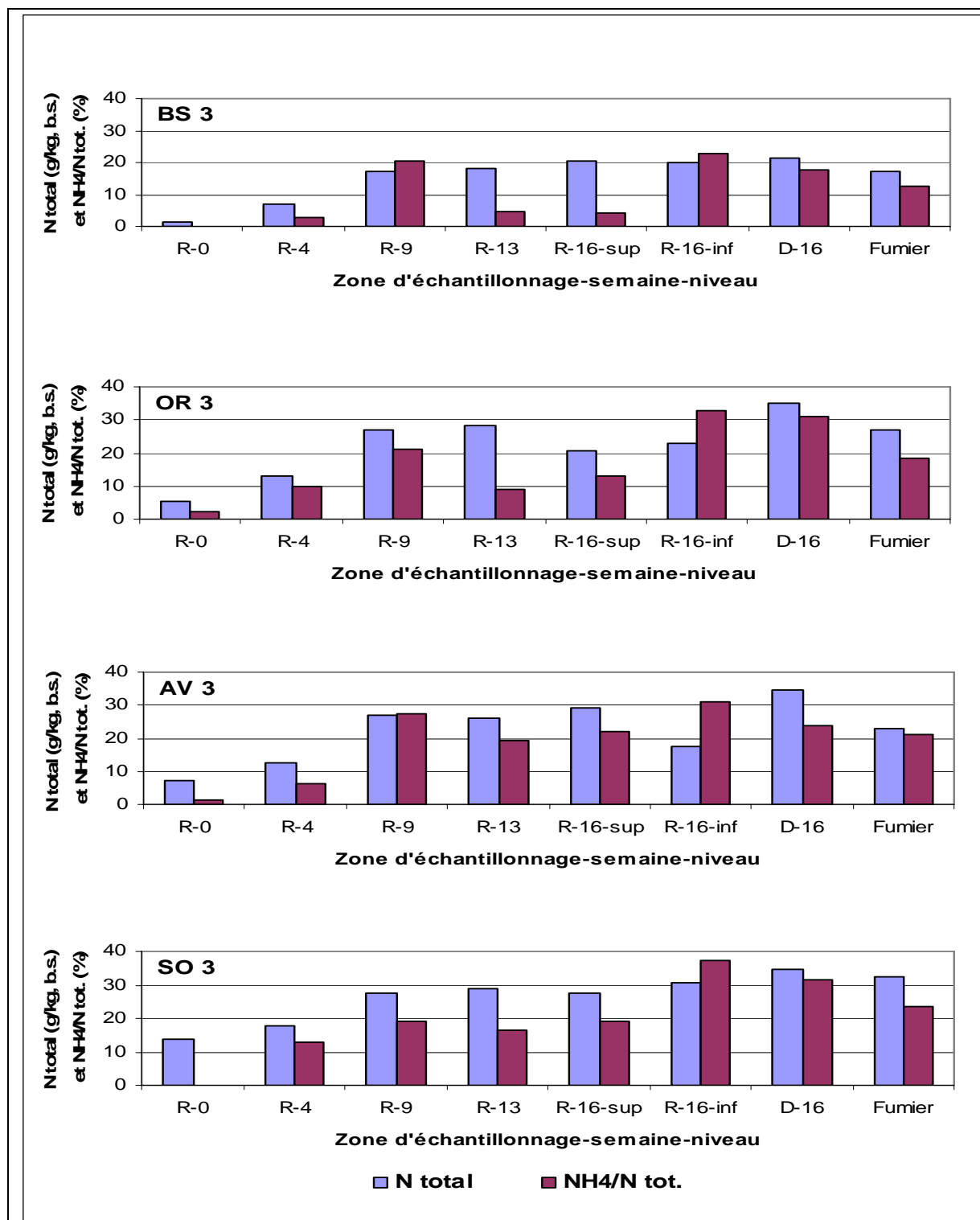


Figure 9 - Température moyenne de la litière dans la zone de repos (Bloc 3)



R : zone de repos; D : zone de déjection; sup. : moitié supérieure de la litière; inf. : moitié inférieure. Le niveau n'est pas indiqué quand l'échantillon est pris sur toute la profondeur.

Figure 10 - Teneur en N_{total} et rapport $N\text{-NH}_4/N_{\text{total}}$ dans la litière (Bloc 3)

Teneurs en azote des litières

Des échantillons pris en cours d'élevage dans la zone de repos (aux semaines 0, 9, 13 et 16) et dans la zone de déjection (sem. 16) permettent de suivre très globalement l'évolution des teneurs en azote total (N_{total}), en azote ammoniacal ($N\text{-NH}_4$) et en nitrates ($N\text{-NO}_3$) des litières. Rappelons que l'essentiel de l'azote mesuré provient des déjections. De plus une partie de l'azote ammoniacal, issu de l'hydrolyse de l'urée de l'urine, ainsi que de l'azote organique des déjections est continuellement métabolisée par les microorganismes et immobilisée dans la litière, surtout dans sa partie inférieure.

En ce qui concerne l'azote total et la fraction ammoniacale, on note une augmentation de ces deux paramètres pendant les 9 premières semaines d'élevage, ainsi qu'une diminution de la proportion d'azote ammoniacal à la 13^e semaine (Figure 10).

Lors de l'échantillonnage de la 16^e semaine, l'azote total semble assez également réparti entre les parties supérieure et inférieure de la litière, sauf dans la litière d'avoine qui est moins souillée en profondeur qu'en surface (voir aussi Figure 11). Par ailleurs, la proportion d'azote ammoniacal moins importante en surface témoigne de pertes par volatilisation ammoniacale favorisée dans cette zone par l'échauffement de la litière ainsi que les conditions d'échanges avec l'atmosphère et de brassage de la litière par les porcs. D'après le CORPEN (2003), les émissions d'ammoniac en cours d'élevage sur litières de paille et de sciure représenteraient respectivement environ 24 % et 20 % de l'azote excrété. Toutefois, ces valeurs pourraient varier de façon importante selon la densité d'élevage et les conditions d'ambiance.

La plus grande diminution d'azote ammoniacal semble être survenue dans la litière de bran de scie après des montées de température importantes à 9 semaines. Cela peut-être lié à des émissions importantes de NH_4 ou à de l'immobilisation d'azote les microorganismes. L'azote ammoniacal s'accumule d'ailleurs davantage en profondeur où les phénomènes d'émission et d'immobilisation sont moins intenses.

Les teneurs en $N\text{-NO}_3$ ont rarement dépassé 10 mg/kg (b.s.) sauf dans le cas des fumiers (sauf fumier de soya) et dans quelques autres cas en cours d'élevage (Annexe 8). Ces teneurs insignifiantes suggèrent soit que le milieu n'est pas favorable à leur production soit que les nitrates sont consommés. Les valeurs de nitrates élevées dans les litières fraîches d'orge et d'avoine (197 et 357 mg/kg, b.s.)¹⁷ étaient toutefois encore importantes au bout de 4 semaines d'élevage (148 et 115 mg/kg, b.s.). Par la suite, elles ont nettement diminué du fait de leur consommation par les microorganismes.

Niveau de contamination fécale des litières

Le dénombrement des coliformes thermotolérants et parmi ceux-ci de *E. coli* était une tentative de caractérisation du niveau de souillure de la litière en cours d'élevage. Les résultats du Tableau 15 montrent que, comme on pouvait s'y attendre, aucune des litières n'étaient contaminée avant le début de l'élevage.

¹⁷ Les nitrates s'accumulent dans les pailles surtout en conditions de sécheresse.

Tableau 15 - Teneurs en *E. coli* et en coliformes thermotolérants des litières fraîches et souillées

Litière (Bloc 3)	<i>E. coli</i> NPP / g sec				Coliformes thermotolérants NPP / g sec			
	Semaine - Zone - Niveau				Semaine - Zone - Niveau			
	0	16-R-sup.	16-R-inf.	16-D	0	16-R-sup.	16-R-inf.	16-D
BS	<4	138 122	12 941	49 419	<4	359 116	117 647	261 628
OR	<2	1 441	195	2 183	<2	2 305	938	3 493
AV	<2	808	139	5 449	<2	808	836	22 436
SO	<2	1 629	112	800	<2	1 629	896	800

R : zone de repos; D : zone de déjection; sup. : moitié supérieure de la litière; inf. : moitié inférieure. Le niveau n'est pas indiqué quand l'échantillon est pris sur toute la profondeur.

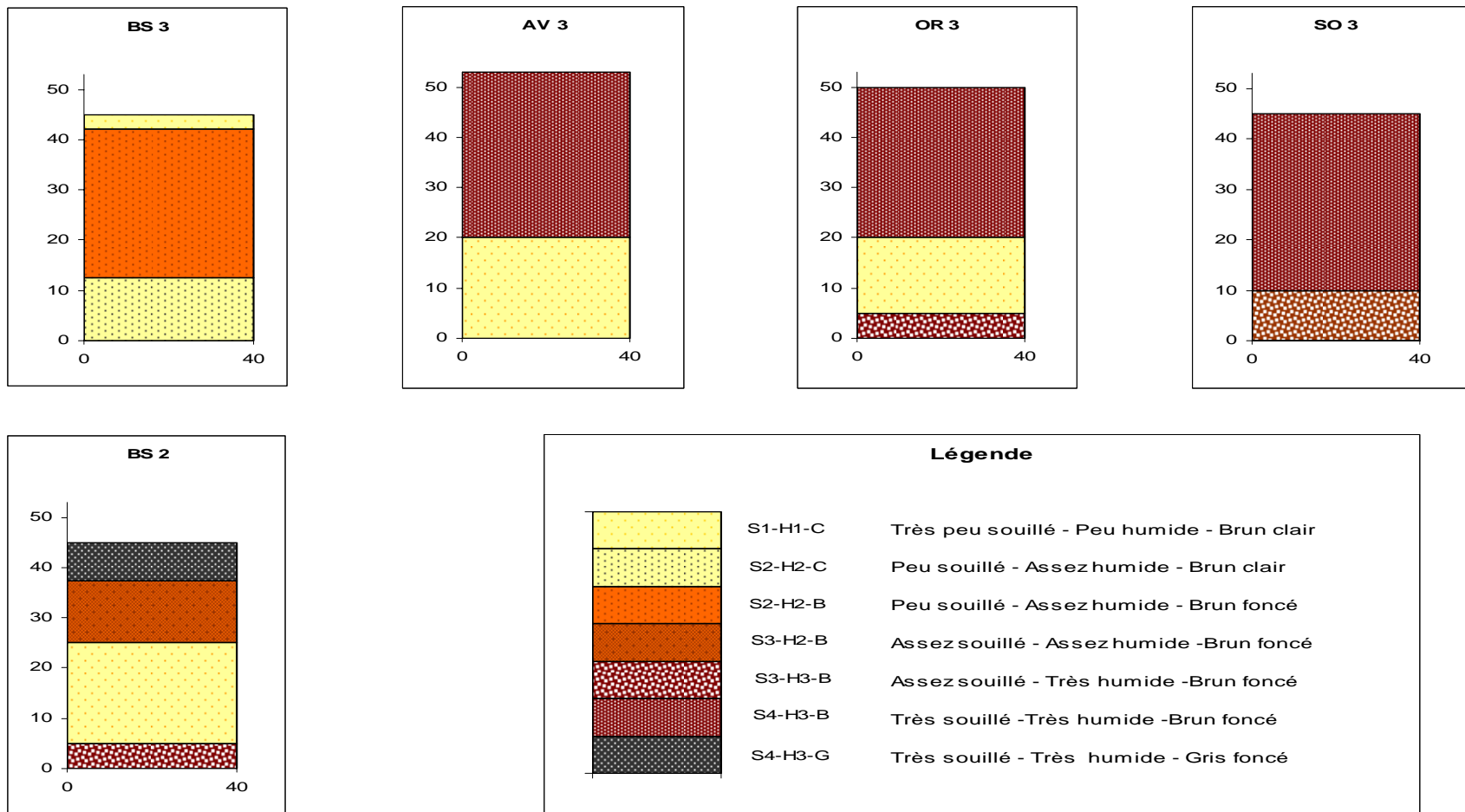
Les résultats de *E. coli* obtenus dans les différentes litières au bout de 16 semaines d'élevage se comparent aux concentrations très variables de *E. coli* pouvant être retrouvées dans du lisier de porc (Côté et coll., 2006). Ces résultats préliminaires semblent indiquer des populations supérieures de *E. coli* dans le bran de scie, comparativement aux litières de pailles. Plusieurs hypothèses, qui devraient être validées dans des projets de recherche futurs, pourraient expliquer ceci. Par exemple, une surface de contact plus étroite entre certaines litières et les matières fécales des animaux pourraient avoir un impact sur la présence de microorganismes. Ensuite, des conditions d'humidité et de température différentes entre les litières pourraient faire en sorte que la survie des microorganismes soit favorisée dans certains substrats. De façon générale, une diminution de température (au dessus du point de congélation) ainsi qu'une augmentation de l'humidité favorisent la survie des microorganismes indicateurs et pathogènes. Par ailleurs, le contenu en humidité d'une litière affecte également le volume d'échantillon de litière prélevé pour fins d'analyses et ce, pour une même masse. Veuillez noter que dans cette étude, les résultats ont été rapportés sur une base sèche.

Des données supplémentaires sont requises afin de mieux estimer le risque sanitaire relié à l'utilisation des litières étudiées dans ce projet de recherche. L'analyse de pathogènes spécifiques, tels que *Salmonella* et certains virus porcins, pourraient d'ailleurs évaluer ce risque de façon plus précise.

Profils de litière

Juste avant la reprise du fumier, et plusieurs jours après le départ des derniers porcs, la litière a été observée verticalement. Chaque profil de litière a été préparé dans la zone de repos à une distance d'environ 2,5 m du centre du mur ouest de chaque salle. L'épaisseur moyenne de la litière variait de 45 à 53 cm.

Les horizons distingués dans le profil de litière ont été mesurés et décrits selon trois critères : le niveau apparent de souillure (apprécié notamment par la texture plus ou moins pâteuse de la litière), le degré d'humidité et la couleur (Figure 11). Si l'on considère que les trois premiers types d'horizons de la légende correspondent à une litière de qualité *acceptable* (très peu à peu souillée, peu humide à humide et de couleur brun clair à brun foncé), force est de constater que cette qualité de litière ne se retrouve, au contact des porcs, que dans la salle contenant du bran de scie pour le bloc 3.



Bloc 3 : Avoine (AV), Orge (OR), Soya (SO). Blocs 2 et 3 : Bran de scie (BS)

Figure 11 - Profils de litière observés avant la reprise des fumiers de bran de scie et de pailles

Dans tous les autres cas, l'état de la litière peut être qualifiée d'*inacceptable* (codes S4-H3-B ou S4-H3-G). Pour les pailles d'avoine, d'orge et de soya la litière est *inacceptable* sur 30 cm et plus. Pour bran de scie du bloc 2 (BS 2), l'horizon de surface très souillé repose sur une litière de qualité *limite* (code S3-H2-B). La couleur grise de la litière de surface suggère que pour BS 2 la « zone de repos » est devenue une « zone de déjection ».

Dans certains cas (BS 3, AV 3, OR 3 et BS 2), il reste dans la partie inférieure du profil de la litière très peu à peu souillée. Cela pourrait signifier qu'il aurait peut-être été possible de mettre moins de litière au début de l'élevage. Par ailleurs, une zone d'environ 5 cm d'épaisseur à la base des profils OR 3 et BS 2, assez souillée et très humide, semble indiquer une accumulation de liquide souillé provenant peut-être d'un transfert latéral plutôt que vertical.

3.2.7 Caractéristiques des fumiers

Composition des fumiers

La composition des fumiers obtenus à partir des différentes litières testées est donnée à titre indicatif au Tableau 16.

À l'exception des fumiers 2 BL (paille de blé) et 2 SE (paille de seigle) évacués au bout de 85 et 86 jours d'élevage, tous les fumiers ont un pH alcalin (8 à 8,7). Les fumiers de bran de scie ont des teneurs en éléments fertilisants comparables, mais croissantes en fonction de la durée des élevages dont ils sont issus : 129 j (3 BS), 134 j (2 BS) et 147 j (1 BS).

Les fumiers de bran de scie ont des rapports C/N très nettement inférieurs aux valeurs d'origine dans la sciure fraîche (de 12 à 55 fois). Cette diminution du C/N, par enrichissement des litières en azote au cours de l'engraissement des porcs, s'observe également pour les pailles, mais dans des proportions moins accentuées (le C/N des fumiers pailleux est de 10 à 17 fois inférieur à celui des pailles fraîches). Dans tous les cas, les C/N des fumiers se situent entre 9 et 26, avec une moyenne de 16 pour les pailles du bloc 3 (*vs* 26 pour le fumier de bran de scie du bloc 3).

Le C/N du fumier de bran de scie assez élevé peut présenter un risque d'immobilisation de l'azote au sol si le fumier est incorporé à la couche arable en début de saison de croissance des espèces annuelles. De plus, la fourniture d'azote par minéralisation ultérieure de l'azote se trouvera désynchronisée par rapport aux besoins azotés de cultures exigeantes au début de leur cycle de croissance. Plus que les autres fumiers à base de paille, le fumier de bran de scie gagnerait à être composté pour stabiliser son azote. Ce compostage se fera d'ailleurs de toutes les manières pendant l'entreposage.

Pour les fumiers pailleux, il n'y a pas de risque d'immobilisation de l'azote au champ et une partie non négligeable de l'azote est disponible dès la première année après un épandage de printemps (OAQ, 2004).

Pour du compostage, la TEE des fumiers est adéquate, mais il faudrait idéalement augmenter le C/N à 30 par un ajout de substrat carboné, afin de limiter les pertes d'azote. (Sauvesty et Tabi, 1995; Côté et coll. 1998).

Tableau 16 - Composition physicochimique des fumiers à base de bran de scie et de pailles

Bloc	pH	MS	Cendres	C/N	N/P	NH ₄ / N _{tot}	N _{tot.}	N- NH ₄	N- NO ₃	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Litière		% (b.h.)	% (b.s.)			%	g/kg (b.s.)													
1 BS	8,1	28	14	15	3,4	19	28	5,3	0,01	8,2	21	20	5,3	0,40	0,06	0,20	0,56	0,21	0,54	9,7
2 BS	8,0	33	11	22	3,9	22	21	4,6	0,00	5,3	14	20	3,6	0,43	0,03	0,10	0,54	0,18	0,36	6,9
3 BS	8,5	38	10	26	4,0	13	17	2,2	0,32	4,4	14	16	3,2	0,28	0,03	0,10	0,42	0,21	0,30	6,4
2 BL	5,6	29	13	10	6,0	34	44	15	0,00	7,4	22	18	4,6	0,33	0,04	0,13	0,49	0,12	0,42	7,8
2 SE	5,8	31	24	9	6,6	37	41	15	0,01	6,3	20	22	4,0	0,63	0,05	0,13	0,82	0,13	0,41	8,1
3 OR	8,7	31	21	15	3,8	18	27	4,9	0,03	7,0	33	16	5,5	0,41	0,03	0,13	0,56	0,12	0,35	9,2
3 AV	8,7	39	15	19	4,0	21	23	4,8	0,08	5,8	28	11	4,4	0,32	0,02	0,11	0,45	0,11	0,27	7,1
1 SO	8,7	27	12	15		26	29	7,5	0,01											
3 SO	8,7	31	10	14	4,4	24	32	7,7	0,01	7,3	23	22	7,5	0,40	0,04	0,16	0,52	0,13	0,40	7,0

BS : Bran de scie BL : Blé SE : Seigle OR : Orge AV : Avoine SO : Soya b.s. : Base sèche b.h. : Base humide

N.B. : la variabilité des valeurs à l'origine du tableau 17 (teneurs en éléments en g/kg sur b.h. analysées en triplicata) est fournie à l'annexe 10.

Masses et volumes vidangés

Les **masses de fumier** vidangées varient de 12,8 Mg (élevage sur paille d'orge) à 15 Mg (paille de soya) (Tableau 17). Ces valeurs sont 2 à 2,6 fois plus élevées que les masses totales de litière fraîche utilisée dans chacune des salles (Tableau 13).

Alors que les volumes de pailles par porc étaient 4 à 5 fois plus élevés que le volume de bran de scie (Tableau 13), les volumes de fumier de paille (m^3/IMQ) sont beaucoup plus proches du volume de fumier de bran de scie (1,3 fois supérieur pour l'orge et le soya, et 1,2 fois pour l'avoine).

Cela se traduit par des masses volumiques également plus proches, soit 368, 252, 264 et 364 kg/m^3 pour les fumiers de sciure, orge, avoine et soya respectivement.

Tableau 17 - Masses et volumes des fumiers vidangés

Fumier (Bloc 3)	IMQ	MS (%)	Quantité de fumier vidangé						Quantité relative par rapport au bran de scie X par porc/ BS par porc			Masse volumique kg/m^3
			Masse				Volume*		X par porc/ BS par porc			
			kg		kg/IMQ		m^3	m^3/IMQ				
			b.h.	b.s.	b.h.	b.s.			masse	volume		
								b.h.	b.s.			
BS	58,1	38,3	13 800	5 285	238	91	38,1	0,66	1,0	1,0	1,0	368
OR	61,7	31,0	12 780	3 962	207	64	50,8	0,82	0,9	0,7	1,3	252
AV	62,4	39,3	13 390	5 262	215	84	50,8	0,81	0,9	0,9	1,2	264
SO	51,2	30,7	15 080	4 630	295	90	43,2	0,84	1,2	1,0	1,3	364

* Le volume de fumier est estimé à partir du volume de l'épandeur.

Les **volumes de fumier** produits varient de 38 à 51 m^3 . Le volume de fumier de bran de scie est du même ordre de grandeur que celui de bran de scie frais. Par contre, pour les pailles, sous l'effet du piétinement par les porcs et de la décomposition par les microorganismes, les volumes de fumier sont trois fois moindres que les volumes totaux de pailles fraîches apportés (Tableau 13). Rapportés à l'IMQ, les volumes des fumiers à base de pailles d'orge, d'avoine et de soya sont 1,2 à 1,3 fois supérieurs au volume de fumier de bran de scie. Cet écart est beaucoup moins important que celui observé pour les pailles fraîches.

Autrement dit, bien qu'en volume on ait utilisé beaucoup plus de pailles que de bran de scie (4,5 à 5 fois plus), les volumes de fumier générés par les litières de pailles ne sont que d'environ 1/3 supérieurs au volume de fumier de bran de scie. De plus, les masses volumiques des fumiers de pailles et de bran de scie sont beaucoup plus proches, contrairement à celles des litières fraîches.

3.2.8 Bilans massique et volumique

Les **bilans de masse** sur base humide et sur base sèche rapporté à l'IMQ sont présentés au Tableau 18. Sur base humide, le bilan résultant du calcul « Masse totale de fumier – Masse totale de litière apportée » représente [la masse de litière + la masse totale des déjections + les pertes d'eau et de

moulée] moins [la masse de matière et d'eau perdue par compostage (pertes de CO₂ surtout + la masse de litière mangée par les porcs)]. Sur base sèche, le bilan exclut les quantités d'eau transférées.

D'après Seydoux et coll. (2005), les porcs engraisés dans les élevages conventionnels du Québec produisent en moyenne 2,36 m³ de lisier sur une base annuelle (365 j). Compte tenu d'une teneur en moyenne en matière sèche (MS) de 3,88 %, on peut estimer à environ 32,5 kg la quantité de déjections (sur base sèche) produite pendant 129 jours par un porc en engraissement.

Supposons, de façon très approximative, que la masse sèche moyenne apportées par les déjections et mélangées à la litière soit égale à 32,5 kg/porc moyen au cours de 129 jours d'élevage. Les pertes de masse par IMQ (bilan de masse – masse des déjections) survenues en cours d'élevage dans les salles tapissées de bran de scie (BS) et de pailles d'avoine (AV), d'orge (OR) et de soya (SO) seraient donc respectivement de 14 kg, 22 kg, 46 et 69 kg.

Ces chiffres, dont il faudrait évidemment nuancer l'analyse en tenant compte des différentes erreurs (pesées, analyses de laboratoire, estimations des rejets), semblent cependant indiquer une tendance intéressante : il y aurait plus de pertes de masse en cours d'élevage pour les litières de pailles que pour la litière de bran de scie. Cela va dans le sens attendu puisque les pailles, moins ligneuses et plus celluloses que le bran de scie, sont plus fermentescibles; elles se décomposent plus rapidement. Ces pertes de masse semblent par ailleurs diminuer avec le C/N des fumiers produits (Tableau 16), et, en général, avec celui des matériaux frais (Tableau 11).

Les pertes de masse (carbone, azote, eau) semblent aussi corroborées par les valeurs de masse d'eau résiduelle qui suivent la même progression : BS, AV, OR, SO. Ainsi, au total, la litière de soya semble générer plus de 2 fois plus d'eau par porc que le bran de scie (186 kg *vs* 77 kg). Outre l'hypothèse la plus plausible de phénomènes de certain compostage in situ (voir aussi température et humidité de la litière), rappelons que cette eau résiduelle qui imprègne la litière provient peut-être en partie de pertes au niveau des abreuvoirs (qui faute de compteur d'eau dans chaque salle ne pouvaient être détectées). Elle est peut-être aussi causée, ou renforcée, par une efficacité moindre de la ventilation (comme semble le suggérer les taux d'humidité ambiante toujours supérieurs dans la salle tapissée de soya, Figure 5). Se pourrait-il enfin que les porcs en consommant de la litière de soya (cela demeure à confirmer par des observations rigoureuses) génèrent plus de déjections (solides et liquides), ce qui provoquerait d'ailleurs le plus grand besoin en litière pour garder les animaux propres? Ou encore que les animaux mangeant du soya boivent plus ?!

Tableau 18 - Bilans massique et volumique (Fumier - litière)

Litière (Bloc 3)	IMQ	Bilan massique (Fumier - Litière)				Masse d'eau kg/porc	Bilan volumique*	
		Bilan masse totale (kg)		Bilan de masse (kg/IMQ)			m ³	m ³ /IMQ
		b.h.	b.s.	b.h.	b.s.			
BS	58,1	5 547	1 093	95	19	77	5,9	0,10
OR	61,7	7 435	-822	121	-13	134	-112	-1,82
AV	62,4	8 276	665	133	11	122	-104	-1,66
SO	51,2	7 618	-1 885	149	-37	186	-98	-1,92

BS : Bran de scie; OR : paille d'orge; AV : paille d'avoine; SO : paille de soya; b.h. : base humide; b.s. : base sèche; IMQ : Inventaire moyen quotidien. * Le bilan volumique est basé sur les volumes tels que mesurés à partir du godet (litière fraîche) ou de l'épandeur (fumier), voir tableaux 14 et 17.

Bilans en N et en P

Pour chacun des essais de litière du bloc 3, le Tableau 19 présente le bilan de l'azote et du phosphore obtenu par différence entre la masse en élément contenue dans le fumier et celle présente dans la litière au début de l'élevage. Cette différence de masse (fumier – litière) correspond à la quantité de N ou de P provenant des déjections et des refus de moulée moins les pertes (par volatilisation ammoniacale et dénitrification dans le cas de N).

Les données nous laissent un peu perplexes. En effet, on aurait pu s'attendre à ce que les valeurs pour le phosphore soient similaires d'un essai de litière à l'autre puisque le P n'est pas sujet aux pertes comme l'azote. Les valeurs du Tableau 19 (pour N comme pour P) sont toutefois entachées d'erreurs non négligeables de différentes sources : la détermination des masses et l'échantillonnage ainsi que la variabilité des concentrations¹⁸. Seul un calcul d'erreur rigoureux permettrait d'établir les plages de variation des valeurs discutées. Par ailleurs, les animaux ne sont pas tous rentrés ni sortis au même poids et l'IMQ ne prend pas en considération l'âge des animaux qui peut avoir un impact important sur les quantités de N et P assimilées et rejetées en cours d'élevage.

Pour l'azote, bien qu'il ne soit pas possible d'affirmer que les différences de masse soient significativement différentes d'une litière à l'autre, soulignons néanmoins que les pertes d'azote semblent avoir été plus importantes dans le cas du soya que pour les autres litières. Cette observation va d'ailleurs dans le sens des commentaires fait plus haut concernant les pertes de masse par compostage. De plus, l'état généralement plus souillé et humide de la litière de soya favoriserait effectivement des conditions plus favorables aux transferts d'ammoniac de la phase liquide à la phase gazeuse et donc des émissions d'ammoniac et peut être la dénitrification.

Un autre indice des pertes d'azote est le rapport N/P. D'après Seydoux et coll. (2008), les lisiers de porcs en croissance présentent un rapport N/P moyen de 3,66. Par ailleurs, le document du CORPEN (2003) fournit des valeurs moyennes de 4,96 pour une alimentation standard et de 5,45 pour une alimentation biphasé (soit 1,2 fois moins d'N et 1,5 fois moins de P que dans l'alimentation standard), dans le lisier de porcs à l'engrais de 30 à 112 kg. Dans notre étude, le rapport N/P de 2,4 pour le fumier de fanes de soya, comparativement à 3,8 pour le fumier de brand de scie, semble aussi indiquer des pertes non négligeables d'azote dans la litière de soya.

Ce bilan donne un ordre de grandeur des quantités rejetées par les porcs dans les essais suivis. Il aurait été intéressant de pouvoir confronter ces données aux résultats d'un bilan alimentaire simplifié basé sur la quantité de moulée consommée dans chaque salle (N et P ingérés) et des valeurs précises de gain de poids moyen (pour pouvoir calculer N et P retenus par les porcs). Cela aurait permis de cerner plus clairement l'ordre de grandeur des pertes d'azote selon les différentes litières. Pour un bilan encore plus précis, il faudrait mesurer les pertes gazeuses dans l'air. Notons cependant que les bilans réalisés par Pigeon (2001) pour des élevages de porcs sur litière mince (mélange de sciure et de rabouture sèches), en tenant compte de la quantité de moulée ingérée, estiment des pertes au bâtiment variant de 43 à 72 % de l'azote total (excrété et présent dans la litière fraîche). Pour le phosphore, le bilan calculé est, contre toute attente, positif (12 % de gain), ce qui est attribué aux différentes erreurs accumulées.

¹⁸ Les coefficients de variations associés aux valeurs moyennes de concentration sont fournis à titre indicatif dans les annexes 9 et 10. Cette variabilité témoigne de l'hétérogénéité des échantillons composites analysés en triplicata.

Tableau 19 - Masses en N et P des litières et fumiers, et bilans

Litière (Bloc 3)	IMQ	Masses élémentaires (kg)				Bilans de masses élémentaires				N/P
		Litière		Fumier		(kg)		(kg/IMQ)		
		N _{total}	P	N _{total}	P	N _{total}	P	N _{total}	P	
BS	58,1	6,2	0,4	91,7	23,0	85,5	22,6	1,47	0,39	3,8
OR	61,7	25,3	4,8	106,1	27,9	80,8	23,1	1,31	0,37	3,5
AV	62,4	33,0	3,0	121,1	30,4	88,8	27,5	1,41	0,44	3,2
SO	51,2	88,5	7,6	150,3	33,8	61,8	26,2	1,21	0,51	2,7

3.2.9 Temps de gestion de la litière

Le temps de travail requis pour la surveillance du cheptel et la manutention de la litière (déplacement et ajout) est présenté par la Figure 12 et le Tableau 20. En général, le bran de scie a requis moins de travail que toutes les autres litières.

En moyenne, la **surveillance** du cheptel a pris 2 minutes par jour dans le cas du bran de scie et 3 minutes pour les autres litières. Par semaine, la durée moyenne de surveillance a été de 18 minutes pour la salle contenant du bran de scie, et de 23, 22 et 20 minutes pour les litières d'avoine, d'orge et de soya respectivement.

En ce qui concerne la durée moyenne de **manipulation** de la litière, celle-ci est de moins d'une minute par jour pour le bran de scie et 2 minutes par jour pour les autres litières. Sur une base hebdomadaire, cette durée est de 5 minutes pour le bran de scie et de 15, 14 et 19 minutes pour les litières d'avoine, d'orge et de soya respectivement.

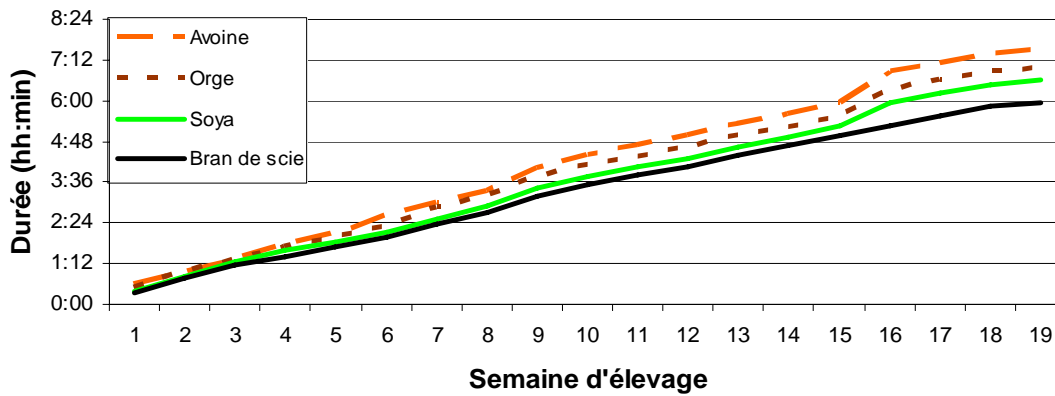
En excluant le temps consacré à la surveillance de l'élevage, les litières de paille ont exigé plus de 3,5 fois plus de temps de gestion que le bran de scie.

3.2.10 Évaluation des coûts

L'évaluation du coût d'acquisition et de gestion de chacune des litières (pour un taux horaire de 15 \$/h) est rapportée dans le Tableau 21. Au total, le coût varie de 7,8 \$/porc pour les élevages sur litière de soya (SO) à environ 21 \$/porc pour les élevages sur orge (OR) et avoine (AV). Sur litière de bran de scie (BS), le coût moyen est de 12,4 \$/porc. Dans le bloc 3, l'emploi des pailles d'orge et d'avoine représente donc un surcoût de 165 et 171 % respectivement par rapport à l'utilisation du bran de scie. Par contre, le recours au soya correspond à une économie de 37 % des coûts d'acquisition et de manutention calculés pour le bran de scie.

Le faible coût associé au soya est lié au fait que les pailles de soya proviennent des terres de la Ferme-École et que seul les frais de pressage ont été comptabilisés au poste des coûts d'acquisition. Avec des frais d'achat équivalents à ceux des deux autres pailles, c'est la litière de soya qui serait la moins rentable. C'est en effet celle qui a été utilisée en plus grande quantité et qui a nécessité le plus de temps de manutention de la litière.

Durée cumulée de surveillance de l'élevage (Bloc 3)



Durée cumulée de manutention de la litière (Bloc 3)

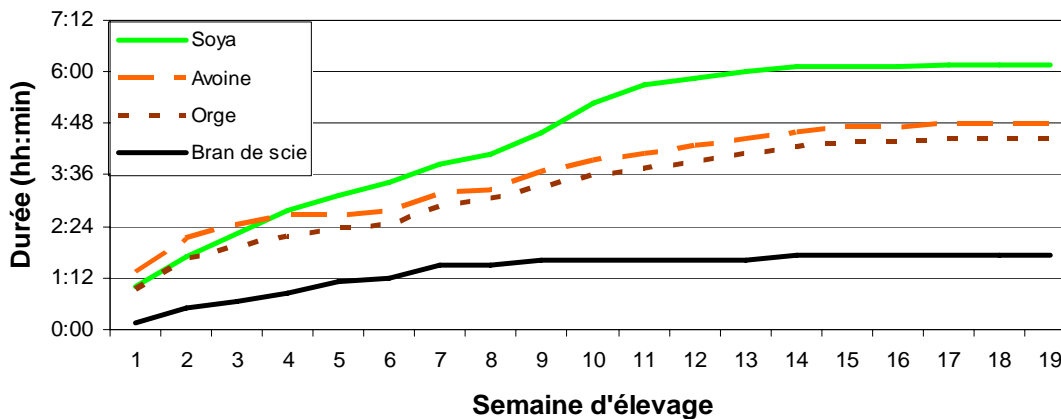


Figure 12 - Durées cumuliées de surveillance de l'élevage et de manutention de la litière

Tableau 20 - Temps de gestion de la litière et du fumier

Litières (Bloc 3)	Préparation de la salle (1) hh:mm	Hachage de la paille (2)	Surveillance de l'élevage (3)	Manipulation de la litière (3)	Total (sauf vidange)	Vidange du fumier
BS	00:45	00:00	05:56	01:44	08:25	03:00
OR	01:10	02:48	06:58	04:26	15:22	03:00
AV	01:00	03:00	07:29	04:46	16:15	03:00
SO	01:25	03:00	06:36	06:10	17:11	02:45

(1) Incluant hachage des pailles. (2) 10 min. /balle de paille ajoutée. (3) Durant 19 semaines d'engraissement.

Tableau 21 - Évaluation des coûts des litières du bloc 3

Litières (Bloc 3)	BS	OR	AV	SO
Coûts des litières (\$)				
par balle de paille		43	43	6
par godet		13	14	2
par m ³	18			
par tonne (Mg)	72	193	210	19
par salle	593	1 032	1 075	143
par porc moyen	10,2	16,7	17,2	2,8
Coût de gestion (surveillance et manutention) (\$)				
par salle	126	230	244	258
par porc moyen	2,2	3,7	3,9	5,0
Coût total (\$)				
par porc moyen	12,4	20,5	21,1	7,8

Dans le contexte de cette étude, les pailles d'orge et d'avoine ont coûté près de 3 fois plus cher, que le bran de scie, sur base massique humide (et 1,5 fois plus cher sur base massique sèche). L'utilisation de paille comme litière aurait donc été plus économique si ces pailles avaient été produites à la ferme. En tenant compte seulement du surcoût occasionné par la gestion des pailles (hachage et manutention) telle qu'elle a été faite dans le bloc 3 et d'un taux horaire de 15 \$/h, le coût d'utilisation de ces litières (achat, hachage et manutention) aurait été équivalent à celui du bran de scie si les litières d'orge, d'avoine et de soya avaient respectivement coûté 100, 110 et 50 \$/Mg (pressage inclus).

Pour les pailles de céréales (orge et avoine) c'est assez proche du coût de production établi en octobre 2008 dans les références économiques du CRAAQ (CRAAQ, 2008a), soit 80 \$/Mg (1,10 \$ par balle de 30 lbs non pressée, à 88 % de MS). Le coût supplémentaire estimé de pressage et de transport à la ferme de grosses balles rectangulaires varie pour sa part de 2,52 à 3,40 \$/ balle, et de 2,4 à 4,58 \$/balle respectivement (CRAAQ, 2008b).

Pour le bran de scie, les références économiques ne concordent pas. Elles rapportent des prix de vente de « raboture et sciure »¹⁹ en vrac autour de 20 \$/m³ mais variant de 131 à 123 \$/t (CRAAQ, 2008c). En effet, les deux produits « raboture » et « sciure » ne sont pas distingués dans le document du CRAAQ, et il semblerait que les prix sont plutôt ceux de la raboture, généralement beaucoup plus chère que la sciure. En novembre 2008, les prix de vente de rabotures de la compagnie Ripobec variaient de 129 à 147 \$/tonne (soit environ 20 \$/m³). Ces rabotures de grande qualité sont utilisées comme litière pour les chevaux de course. Le prix du bran de scie payé dans ce projet est cependant bien inférieur à la valeur rapportée par Louis Robert en 2007 pour la région Chaudière-Appalaches, soit 85 \$/m³ (à 50 % MS) (MAPAQ, 2007).

¹⁹ Les deux produits « raboture » et « sciure » ne sont pas distingués dans le document du CRAAQ, mais il semble que les prix correspondent plutôt à de la raboture, généralement beaucoup plus chère que la sciure.

Ces chiffres sont fournis à titre indicatif. Selon la qualité de la litière (sciures et autres), sa teneur en eau, son abondance dans la région et le contexte économique, les prix fluctuent beaucoup. Seule une analyse approfondie permettrait de bien comparer les véritables coûts d'utilisation des litières. Il est à noter enfin que ce coût d'utilisation devrait idéalement aussi tenir compte des frais de chauffage et de ventilation qui varient peut-être d'une litière à l'autre, toutes choses égales par ailleurs.

3.3 Conclusions et recommandations

3.3.1 Principaux résultats

Voici en résumé les principaux résultats concernant le bloc 3 :

- ✓ Toutes les litières semblent offrir le même confort aux animaux, à condition d'être fournies en quantité suffisamment abondante. Cependant, en cours d'élevage, c'est dans la salle tapissée de sciure que la litière souillée (zone de déjection) occupait le moins d'espace. Par contre, c'est dans le bran de scie que l'on a retrouvé le plus haut niveau de contamination par *E. Coli*.
- ✓ Les quantités de litière nécessaires varient selon la référence utilisée (volume en balle ou haché pour les pailles *vs* en vrac pour le bran de scie, masse humide, masse sèche). Selon le critère considéré les écarts entre les différentes litières sont donc plus ou moins importants. Les volumes de pailles hachées d'avoine, d'orge et de soya ont été de 4,5 à 5 fois supérieurs à celui du bran de scie (en vrac). Sur base massique sèche, seule la litière de soya se démarque en présentant des quantités utilisées de plus de 70 % que pour le bran de scie.
- ✓ En fin d'élevage, toutes les litières ont atteint un fort niveau de souillure, pour plusieurs jugé *inacceptable*, quoique la litière ait encore une bonne portance et que l'activité des porcs n'en semble pas affectée.
- ✓ En profondeur des litières d'avoine et d'orge une partie de la litière est beaucoup moins souillée qu'en surface. Cela suggère qu'il aurait peut-être été possible de limiter la quantité de litière apportée en début d'élevage.
- ✓ Les fumiers produits sont équivalents en termes de composition et de masse totale produite, quoique la litière de soya plus fermentescible semble avoir subi de plus fortes pertes relatives en masse sèche et en azote (mais moins de pertes en eau), par rapport au bran de scie et aux autres pailles.
- ✓ Le contrôle des conditions d'ambiance apparaît comme un élément crucial pour la bonne gestion des litières en période hivernale. De grandes améliorations sont nécessaires à ce chapitre dans les salles de la Ferme-École.
- ✓ Les litières de paille demandent plus de travail, mais le coût supplémentaire que cela représente peut être compensé par un coût d'acquisition moindre quand la litière est produite à la ferme.

3.3.2 Recommandations

À la ferme, les conditions expérimentales sont certainement plus difficiles à contrôler que dans un laboratoire ou des petites chambres d'élevage. Néanmoins, pour obtenir des résultats valables, la

rigueur s'impose à tous les maillons de l'expérimentation, de l'entreposage des litières à la reprise du fumier, en passant par la gestion du cheptel, des litières et des conditions d'ambiance. Les recommandations qui suivent concernent d'une part la gestion générale des élevages et de la litière, incluant une section spéciale sur le contrôle des conditions d'ambiance, d'autre part le suivi expérimental et les mesures.

Gestion des élevages et de la litière

Pour de prochains essais, notamment pendant l'hiver, il serait vivement souhaitable de prendre en considération les recommandations suivantes :

- ✓ Veiller à l'homogénéité des lots de porcelets d'une salle à l'autre (nombre, âge, poids, santé).
- ✓ Maintenir des conditions d'ambiance comparables entre les salles d'essai (température, humidité).
- ✓ Veiller à l'homogénéité d'un bloc à l'autre de la qualité de la litière de référence (bran de scie), ainsi que de toutes les litières pour lesquelles on procède à des répétitions.
- ✓ Entreposer les litières fraîches de façon appropriée (à l'abri de l'humidité) et en quantités suffisantes pour chacun des essais prévus.
- ✓ Prévenir par des installations adéquates et une surveillance assidue tout risque d'apport d'eau sur la litière en provenance des bols abreuvoirs, des tuyaux d'alimentation en eau ou des échangeurs d'air récupérateur de chaleur. Veiller en particulier au bon fonctionnement du dispositif d'alerte en cas de manque d'eau ou de fuite. Il serait d'ailleurs pertinent de prévoir un plancher drainant à proximité des abreuvoirs, pour de futurs bâtiments spécialement conçus pour de l'élevage porcin sur litière.

En ce qui concerne l'**homogénéité des lots de porcelets** en début d'élevage, il serait sans doute souhaitable de prévoir, en pouponnière, une salle tampon ou les plus faibles et les malades puissent être isolés afin de reprendre des forces ou de ne pas contaminer le reste du groupe. Ces « radets » en sortie de pouponnière sont généralement ceux qui contribuent le plus à la mortalité en cours d'engraissement.

En ce qui concerne le **maintien des conditions d'ambiance**, rappelons qu'il constitue un élément crucial dans la bonne gestion des élevages de porcs en général et des élevages sur litière en particulier. La croissance des porcs est en effet optimisée lorsque les animaux n'ont pas à dépenser inutilement de l'énergie pour lutter contre le froid, la chaleur ou des conditions d'humidité inconfortables. De plus, une litière saine et sèche favorise leur santé et leur bien être. Ainsi, compte tenu de la libération importante d'eau par la litière par « pré-compostage », en plus de la transpiration normale des porcs, l'évacuation efficace de l'humidité est essentielle. Sans ces conditions de base et leur homogénéité d'une salle expérimentale à l'autre, la comparaison de différentes litières entre elles ne saurait être valable.

Voici quelques recommandations relatives à la gestion des conditions d'ambiance pour les salles d'élevage porcin sur litière à la Ferme-École :

- ✓ Vérifier le dimensionnement et le fonctionnement des appareils assurant le renouvellement de l'air ambiant (ventilateurs et échangeurs d'air) et le chauffage de la salle (brûleurs).
- ✓ S'assurer du bon fonctionnement et de la calibration adéquate des appareils de mesure (sondes de température et d'humidité).
- ✓ Revoir soigneusement la régie des paramètres de contrôle de la ventilation et du chauffage. Il est important que des tests de calibration soient faits pour chaque salle.
- ✓ Installer un dispositif permettant de faire varier la vitesse de rotation des ventilateurs sur les échangeurs afin d'ajuster les débits d'air en fonction des besoins.
- ✓ Veiller à l'étanchéité des ouvertures (surtout vers l'extérieur) qui sont bloquées pendant l'hiver.

Suivi expérimental et mesures

En se basant sur l'expérience acquise au cours de ce projet, il serait par ailleurs intéressant et pertinent, dans des essais ultérieurs, de mesurer certaines données d'élevage, de rechercher plus de précisions pour la mesure des masses et des volumes des litières et des fumiers, ainsi que de comptabiliser avec exactitude certains coûts de production. Toutes ces données permettraient de mieux documenter les contraintes technico-économiques et les divers avantages associés à l'élevage de porcs sur litière pour les différents matériaux testés.

Données d'élevage

- ✓ Quantités de moulée consommées dans chaque salle.
- ✓ Poids individuel des animaux à l'entrée et à la sortie de la salle (poids mort ou vif).

Ces données permettraient notamment d'établir, pour chacun des élevages sur litière, des indicateurs courants de performance zootechnique, tels :

- ✓ le gain de poids total ($GPT = \text{somme des poids des porcs sortis} - \text{somme des poids des porcs entrés}$),
- ✓ le gain de poids moyen quotidien ($GMQ = GPT / \text{durée de l'élevage}$),
- ✓ l'indice de conversion alimentaire ($ICA = \text{Masse totale de moulée consommée} / GPT$).
- ✓ La mesure des quantités d'eau consommée dans chaque salle expérimentale permettrait par ailleurs de suivre les besoins en eau des porcs et de détecter des fuites éventuelles.

Mesures de masses et de volumes

Il est important que les mesures de masse et de volume soient faites avec rigueur et que, pour chaque valeur obtenue, on puisse avoir une assez bonne idée de sa précision et de sa représentativité (dans le cas d'une valeur moyenne).

La précision d'une mesure de masse dépend notamment des facteurs suivants :

- ✓ la précision de la balance;

- ✓ la proportion entre la masse pesée et l'équipement ou le contenant dans lequel se trouve le matériau (si la masse de matériau est négligeable par rapport au poids total de l'équipement);
- ✓ le nombre de répétitions.

Pour mesurer le **volume d'un godet** chargé de litière, la façon suivante pourrait s'avérer acceptable, notamment pour le bran de scie : remplir, comme d'habitude le godet du tracteur à chargeur frontal; au dessus d'une grande bâche, racler à l'aide d'une planche la litière dépassant de la limite supérieure du godet; récupérer la litière raclée et mesurer son volume dans un baril.

Compte tenu de la grande variabilité de la masse volumique des pailles, il est essentiel de baser l'estimation ou les recommandations concernant les quantités de ces litières sur des mesures de masse et non de volume. Pour des comparaisons d'ordre économiques valables, c'est aussi sur base massique qu'il convient d'établir les coûts d'acquisition des litières.

Coûts de production

Idéalement, il serait souhaitable d'établir plus en détail les coûts de production et les revenus associés à la vente des porcs pour chaque chambre d'élevage correspondant aux postes suivants :

- ✓ Cheptel : dépenses (porcelets, moulée, médicaments/soins vétérinaires, main d'œuvre, etc.) et revenus (liés au poids des porcs, à la qualité des carcasses et à la durée d'élevage).
- ✓ Conditions d'ambiance : consommation énergétique des systèmes de chauffage, de ventilation et d'échange-récupération de chaleur.
- ✓ Litière : achat, entreposage, conditionnement/hachage, main d'œuvre, etc.
- ✓ Fumier : valeur fertilisante et marchande, ...

Outre la comptabilisation précise des factures, cela supposerait l'installation de compteurs individuels pour chaque salle d'expérimentation (moulée, eau, propane, électricité,...).

Conclusion générale et perspectives de recherche

La première partie de cette étude rappelle plusieurs des matériaux qui peuvent être utilisés comme litière au Québec, dont en particulier les plantes à croissance rapide comme le panic érigé, le kénaf et l'alpiste roseau, tout en soulignant le potentiel d'essences forestières abondantes comme le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier. Elle suggère également que l'évaluation des litières peut se faire selon de nombreux facteurs (paramètres technico-économiques, bien-être animal, qualité de l'air dans le bâtiment, qualité agronomique des fumiers, impact environnemental, etc.) et que la comparaison des litières devrait intégrer ces différents aspects avec une vision plus globale. À ce titre, l'analyse du cycle de vie des litières produites à la ferme (résidus de culture, cultures spécifiques ligneuses ou non) et, plus largement, des modes d'élevages sur litière et des modes d'élevage porcin en général fournirait des éléments comparatifs très pertinents pour orienter la recherche et le développement dans le domaine des élevages porcins sur litière.

La deuxième partie, qui présente les résultats obtenus en laboratoire quant à la capacité de divers matériaux à absorber l'eau, souligne l'importance de bien préciser la base de référence (massique ou volumique) dans l'expression de la capacité d'absorption en eau (CAE). Elle montre aussi combien

le hachage des pailles peut augmenter la CAE. Cette propriété est probablement un bon indicateur de la capacité d'absorption des liquides *in situ* (urine principalement), mais elle ne constitue qu'un des nombreux critères de choix d'une litière.

La troisième partie, enfin, décrit l'expérimentation réalisée à la Ferme-École. En dépit des impondérables associés à l'élevage, ainsi que des embûches et des circonstances imprévisibles, celle-ci aura été riche d'observations et d'enseignements, tant sur le plan pratique que sur le plan méthodologique, quant à la gestion de différents matériaux utilisés pour l'engraissement des porcs sur litière mince.

Il ressort principalement de cette expérience que les pailles testées constituent des litières *a priori* tout aussi valables que le bran de scie en élevage de porcs sur litière mince, à conditions que celles-ci soient apportées en quantité et fréquence adéquates, et dans des conditions où la gestion de l'eau sous toutes ses formes soit dûment contrôlée (fuite, humidité ambiante, ventilation,...). On ne saurait trop rappeler d'ailleurs l'importance d'assurer aussi un suivi rigoureux des conditions d'ambiance, en particulier durant l'hiver.

Ces essais ont permis à la Ferme-École, et à son gérant d'élevage, d'acquérir une solide et précieuse expérience dans la conduite des engraissements sur litière autre que le bran de scie. C'est pourquoi il est fortement souhaitable que cette expertise soit mise à profit dans des essais ultérieurs, avec le blé et d'autres types de litières provenant notamment des espèces à croissance rapide (ligneuses ou non), ainsi qu'avec des mélanges de litière.

Dans des essais ultérieurs, il serait utile de déterminer plus clairement quel est le niveau de qualité de la litière à maintenir (surtout pour la deuxième partie de l'engraissement) et de préciser les critères, objectifs et facilement appréciables lors des visites de suivi d'élevage, les plus susceptibles de servir d'indicateurs pour la gestion de la litière (ajout, retrait éventuel de litière souillée). Il serait aussi pertinent de préciser les quantités de litières (seules et en mélange) nécessaires, en été comme en hiver, pour respecter les critères définis. Cela permettrait d'énoncer des recommandations techniques en matière de gestion des élevages sur litière et surtout de comparer les coûts associés aux litières sur une même base de qualité de la litière et de confort des animaux dans la salle.

En s'appuyant sur les recommandations faites plus haut et sur un dispositif comportant de véritables répétitions, il serait aussi intéressant de comparer les litières selon d'autres critères, comme par exemple la qualité de l'air dans le bâtiment.

Enfin, même si les salles n'ont pas vraiment été conçues pour cela, il semble important de ne pas négliger le potentiel d'économie de litière et de confort accru des animaux par un mode de gestion de la litière « semi-accumulée » où la litière la plus souillée serait retirée en cours d'élevage.

La Ferme-École constitue en tous cas un lieu privilégié pour poursuivre des essais visant une meilleure connaissance des divers impacts liés à l'utilisation de différents matériaux en élevage de porc sur litière. Nous recommandons donc vivement qu'en prenant appui sur la présente expérience, d'autres projets soient entrepris dans ce sens.

Références

Partie I et pages préliminaires

- Bouchard, V. 2007. La production sur litière : une piste de solution incontournable à la crise actuelle de l'industrie porcine. Chaire de recherche du Canada en éducation relative à l'environnement. Publication ERE- UQAM (ISBN:978-2-89276-279-2). Université du Québec à Montréal. 32 p.
- Catois, C. et S. Pigeon. 2007. Revue de littérature sur les litières en production bovine. Rapport de BPR Ingénieurs-conseils pour la Fédération des producteurs de porcs du Québec, 80 p.
- CRAAQ. 2008. La production de biocombustibles solides à partir de biomasse résiduelle ou de cultures énergétiques. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 21 p. [<http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC032.pdf>].
- De Oliveira P. A., M.-C. Meunier-Salaün, P. Robin, N. Tonnel et J.B. Fraboulet. 1999. Analyse du comportement du porc en engraissement, élevé sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral. Journées Rech. Porcine en France, 31, 117-123.
- Groleau, H. 2008. Le Miscanthus giganteus, une culture d'avenir. 71e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, le 6 juin 2008 « Approvisionner l'industrie ou l'épicerie ? L'avenir de l'agriculture au Québec », 9 p. [http://www.oaq.qc.ca/pdf/Congres08/CV_Resume_Groleau.pdf]
- Harrison, E., Bonhotal, J. and M. Schwarz. 2008. Using Manure Solids as Bedding. Final report prepared by Cornell Waste Management Institute (Ithaca, NY) for The New York State Energy Research and Development Authority, 60 p.
- La Terre de chez nous. 2008. Articles intitulés « La forêt au cœur du débat » (p. 4); « Crise forestière dans l'Est-Du-Québec. Des centaines de travailleurs mis à pied » (p. 20); « Chablis au lieu de CAAF » (p. 34); vol 79 (42). La Terre de chez nous, semaine du 20 novembre 2008, Longueuil, Québec, 40 p.
- L'information du forestier. 2008. Articles intitulés « Réunions de consultation et d'information » (Section « Situation dans les marchés », p. 1); « Du bois qui chauffe ! » (p. 2); « Des statistiques décourageantes » (à propos des marchés des bois transformés et des bois ronds, p. 4); « Forum sur la biomasse forestière. Une ressource énergétique renouvelable » (p. 5); « Énergie à partir de la biomasse. Hydro-Québec ira en appel d'offres » (p. 5). L'information du forestier, région de Québec, Syndicat des Propriétaires Forestiers de la Région de Québec, vol. 23 (5), novembre. 2008, 12 p.
- Martel, H. 2008. De l'énergie en granules : un potentiel agricole ! 71e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, le 6 juin 2008 « Approvisionner l'industrie ou l'épicerie ? L'avenir de l'agriculture au Québec », 9 p. [http://www.oaq.qc.ca/pdf/Congres08/CV_Resume_Martel.pdf]

- Pigeon, S. 2001. Technique d'élevage du porc sur litière mince : Expérimentation et suivi agronomiques, environnemental et économique. Rapport de BPR Ingénieurs-conseils pour la Fédération des producteurs de porcs du Québec, 52 p. et annexes.
- Pigeon, S. et J.-Y. Drolet. 1996. Impact environnemental de l'élevage du porc sur litière. Rapport de BPR Ingénieurs-conseils pour la Fédération des producteurs de porcs du Québec, 64 p.
- Pouliot, F. Plourde, N., Richard, Y., Fillion, R. et C. Klopfenstein. 2006. État actuel des systèmes d'élevage sur litière et leur perspective de développement. Rapport du Centre de développement du porc (CDPQ), 89 p.
- Robin, P., P. A. De Oliveira et C. Kermarrec. 1999. Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porcs durant la phase de croissance. Journées Rech. Porcine en France, 31, 111-115.

Références supplémentaires concernant l'élevage de porc sur litière

- Bruce, J. M. 1990. Straw-flow : a high welfare system for pigs. Farm Building Progress, 102 : 9-13.
- Centre québécois d'expertise en production porcine (CQEPP). 2001. Suivi des conditions d'ambiance - Section d'engraissement sur litière. En collaboration avec le Centre de développement du porc du Québec inc., 31 p.
- Consultants BPR. 1994. L'élevage sur litière biomâtrisée : expérimentation et suivi agronomique, environnemental et économique. Québec : MAPAQ, 79 p.
- De Oliveira, P. A., M.-C. Meunier-Salaün, P. Robin, N. Tonnel, J.B. Fraboulet. 1999. Analyse du comportement du porc en engraissement élevé sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral. 1999. Journées Rech. Porcine en France, 31, 117-123.
- Didier, M. 1999. Le compostage des déjections porcines sur litière biomâtrisée. Revue de Médecine Vétérinaire, 150(6) : 499-510.
- Drolet, J.-Y. 1994. Litière biomâtrisée des résultats d'essais. Porc Québec, 5(4) : 35-40.
- Gérard, C. 2002. Dossier : La litière fine couche se précise. Réussir Porcs, no 80 (février) : 18-32.
- Groenestein C.M., Oosthoek J., Montsma H., Reitsma B. The emission of ammonia and other nitrogen compounds from deep litter system for fattening pigs : a field study. In : Voermans J.A.M. (Ed.), Proceedings workshop deep litter systems for pig farming. Rosmalen, The Netherlands, 21-22 September 1992. Research Institute for Pig Husbandry : Rosmalen, 1992, 51-56.
- Hassouna M., Robin P., Texier C., Ramonet Y., 2005. NH₃, N₂O and CH₄ emission factors from pig-on-litter systems. International workshop on green pork production, May 25-27, Paris, France, p. 121-122.

- Hesse, D. 1992. Straw in fattening pig husbandry. Proceedings workshop deep litter systems for pig farming, September 21-22, Rosmalen, The Netherlands : 77-92.
- Hurnick, D., Whyte, S., Van Lunen, T., MacLeod, J. et A. Campbell. 2002. Production and economic differences between pigs raised in deep bedded system vs a fully slatted floor. En ligne : [<http://www.upei.ca/avcinc/ppig/index.htm>]
- Ilari E., Daridan D., Fraysse J.L., Fraysse J., 2003. Typologie des exploitations françaises ayant des porcs : méthodologie, analyse statistique et premiers résultats. Journées Rech. Porcine en France, 35, 187-194.
- Ilari E., Daridan D., Desbois D., Fraysse J.L., Fraysse J., 2004. Les systèmes de production en France: typologie des exploitations agricoles ayant des porcs. Journées Rech. Porcine en France, 36, 1-8.
- Kaufmann R. 1997. Litière biomaitrisée pour porc à l'engrais. Amélioration de la technique et valorisation de données importantes pour l'environnement. Journées Rech. Porcine en France, 29, 311-318.
- Kermarrec C., 1999. Bilan et transformation de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière. Thèse, université de Rennes 1. 165 pages.
- Laligant, D., Rimoux, D. et C. Dutertre. 2003. Litière ou caillebotis intégral : ce que cela coûte. Porc Magazine, no 370 (octobre) : 22-26.
- Lavoie, J. et S. Pigeon. 2001. Évaluation des agents chimiques et des bioaérosols dans une porcherie utilisant la technique d'élevage sur litière mince. Travail et santé, 17(2) : 28-31.
- Lesguiller F., Gouin R., Guiziou F., Orain B., 1995. L'élevage de porcs sur litières biomaitrisées. Contribution au dossier environnemental par l'évaluation des rejets. Bilan des éléments azotés et minéraux des litières. Journées Rech. Porcine en France, 27, 343-350 - 40 -
- Marlier, D., Baudouin, N., Canart, B., et R. Shehi. 1994. Comparaison de l'évolution de 2 litières biomaitrisées à base de sciure ou de paille, pour porcs à l'engraissement. Annales de Médecine Vétérinaire, 138 :43-53.
- Martel, R., Gingras, G., Jobin, C., Boyaud, D. et A. Rousseau. 1999. Projet : Optimisation de l'ambiance et de la gestion solide du fumier d'une porcherie d'engraissement. Programme d'essais et expérimentation en agroalimentaire. Eider II, projet 24-71725701008. Québec : MAPAQ.
- Nicks, B. 2004. Caractéristiques techniques et aspects environnementaux de l'élevage de porcs charcutiers et de porcelets sevrés sur litières accumulées. Annales de Médecine Vétérinaire, 148(1) : 31-38.
- Nicks B., Désiron A., Canart B., 1995. Bilan environnemental et zootechnique de l'engraissement de quatre lots de porcs sur litières bio-maitrisées. Journées Rech. Porcine en France, 27, 337-342.

- Nicks, B.; Desiron, A.; Canart, B., 1998. Comparaison de l'utilisation de sciure ou d'un mélange paille-sciure comme matériau de litière accumulée pour porcs charcutiers. *Annales de Zootechnie* 47, 107-116.
- Nicks B., Laitat M., Désron A., Vandenneede M., Canart B., 1999. Bilan environnemental de l'hébergement de porcelets sevrés sur litière accumulée de sciure. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 105-109.
- Nicks B., Laitat M., Désiron A., Vandenneede M., Canart B., 2002. Émission d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de paille et de sciure. *Journées Rech. porcine en France*, 34, 149-154.
- Nicks, B., Laitat, M., Farnir, F., Vandenneede, M., Désiron, A., Verhaeghe, C. et B. Canart. 2004. Gaseous emissions from deep litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Animal Science*, 78 : 99-107.
- Nicks, B.; Laitat, M.; Vandenneede, M.; Desiron, A.; Canart, B., 2000. Émissions de vapeur d'eau et bilan azote lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de sciure. *Annales de Zootechnie*, 49, 119-128.
- Nolet, L. et L. Senay. 1995. Élevage de porcs sur litière mince. 16e Colloque sur la production porcine, 1er novembre, Drummondville : 33-38.
- Pelletier, R. 1996. Porcherie à écoulement de paille : Straw flow. La Pocatière : MAPAQ, projet No EE-28-750-40-236.
- Pigeon, S. 1996. Le porc sur litière : qu'en est-il? 17e colloque sur la production porcine : la volonté de se prendre en main, 6 novembre 1996, Saint-Hyacinthe : 21-29.
- Pigeon, S. 2002. Ingénierie pour l'élevage porcin sur litière. 3e Colloque sur les bâtiments porcins, "Le bâtiment porcin en évolution", 20 mars, Drummondville : 63-79.
- Pigeon, S. et M. C. Bélanger. 2000. L'élevage de porc sur litière mince. *Porc Québec* 11(1) : 75-79.
- Ramonet Y., Callarec J., 2005. Perte d'azote du fumier au cours de la période d'engraissement de porcs sur litière puis lors de la phase de stockage. *Journées Rech. Porcine*, 37, 33-38.
- Ramonet Y., Robin, P., 2002. L'engraissement de porcs sur litières de particules de bois ou de sciure en couche fine. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 143-148.
- Robin P., Hassouna M., Texier C., 2004. Emissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote des porcs engraisés sur litière de paille. *Journées de la Recherche Porcine*, 36, 63-70.
- Robin P., Souloumiac D., De Oliveira P.A.V., Kermarrec C., 1999 – Maîtrise à la source des émissions gazeuses et de l'état final des effluents en élevage intensif de porcs sur litières – Rapport final – INRA – 64 p. + annexes.

- Rousseau P., Levêque J.C., Vaudelet J.C., 1996. Évolution d'une litière accumulée lors de l'engraissement des porcs. Journées Rech. Porcine en France, 28, 267-274.
- Sarrazin, L. 2003. Mémoire présenté à la Commission du BAPE. MEMO181. [En ligne]. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/MEMO181.PDF>
- Texier, C. 1999. Les litières biomâîtrisées en porcherie. Comment concilier production porcine et protection de l'environnement?, 3 mars, Paris : 85-94.
- Texier, C. 2001. Les litières biomâîtrisées. Techni Porc, 24(4) : 29-34.
- Texier C., Levasseur P., Vaudelet J.C., 2000. Remplacement de la paille par de la sciure ou des copeaux de bois, en porcherie d'engraissement. Influence sur le compostage des litières. Journées Rech. Porcine en France, 32, 77-82.
- Texier C., Levasseur P., 2001. Compostage des déjections des porcs à l'engrais élevés sur différents déchets ligneux : sciure, copeaux ou écorce. Techni porc, 24, 23-30.
- Whyte, S, Hurnick, D., Lunen, T.V., Macleod, J. et A. Campbell. 2001. Production and economic differences between pigs raised in a deep bedded system vs fully slatted floor. University of Prince Edward Island, 8 p.

Partie II

- Deininger; A., M. Tamm, R. Krause, et H. Sonnenberg. 2000. Penetration resistance and water-holding capacity of differently conditioned straw for deep litter housing systems J. agric. Engng Res., 7 (3): 335-342.
- Ensminger, M.E. 1980. Dairy cattle science, 2e édition, 348 p.
- Fortier, M et R. Joncas. 1990. Densité et capacité d'absorption de diverses litières utilisées dans les bâtiments d'élevage. MAPAQ. Agdex 538. 23 p.
- Kains F. et B Lowell. 1997. Choix de litière pour le bétail. Fiche technique Agdex 400. Omafra. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/facts/97-030.htm> site visité le 15 mars 2007.
- Nicks, B. M. Laitat, A. Desiron, M. Vandenneede, et B. Canart. 2002. Émissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de paille et de sciure. Journées de la Recherche Porcine, 34, 149-154.
- Potvin, D et Y. Bernard. 1995. Recherche de techniques de compostage adaptées à une gestion optimale des fumiers : rapport final. Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ). Québec : ministère de l'Environnement et de la faune. 334 p. 3 annexes, AE95-19.

Schofield, C.P. 1988. Water absorption by spring-barley bedding straw. *Biological Wastes*, 6:133-144.

Sobel, A.T. D.C. Ludington, K. Van Yow. 1988. Altering dairy manure characteristics for solid handling by the addition of bedding. *International Agrophysics*. 4 (1-2): 31-48.

Partie III

CORPEN. 2003. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. Groupe Porc, Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement, France. 41 p.

Côté, C., A. Villeneuve, L. Lessard et S. Quessy. 2006. Fate of pathogenic and nonpathogenic microorganisms during storage of liquid hog manure in Québec. *Livestock Science* 102, 204-210.

Côté, D. M. L'Heureux et D. Potvin. 1998. Le compostage en silo-couloir a-t-il sa place dans la chaîne de gestion optimale du fumier de bovin laitier? *Agrosil X* (1), pp. 28-34.

CRAAQ. 2003. Guide de référence en fertilisation (1^{re} édition). Centre de référence en agriculture et agroalimentaires du Québec (ISBN 2-7649-0034-1), 294 p.

CRAAQ. 2008a. Avoine d'alimentation animale – Budget, Références économiques AGDEX 133/821a, octobre 2008.

CRAAQ. 2008b. Machinerie – Coût d'utilisation et taux à forfait suggérés, Références économiques AGDEX 740/825, novembre 2008.

CRAAQ. 2008c. Raboture ou sciure pour litière – Prix, Références économiques AGDEX 400.27/855, octobre 2008.

Guimont, H. et A. Letellier. 2005. Impact de l'élevage de porcs sur litière sur la prévalence de salmonelles : rapport de synthèse. Longueuil, Québec : Fédération des producteurs de porcs du Québec, 67 p.

MAPAQ. 2007. Manque de litière: pistes et solutions. Informations fournies par Louis Robert, agr. dans le journal *Vision agricole* (octobre 2007) du Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation (MAPAQ), consulté le 19 nov. 2008 :
[<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/2007octobre/litiere.htm>]

Martin, D.-Y., F. Léveillé et S. Baillargeon. 2005. Évaluation des performances de l'échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair^{MD} pour un élevage de porcs sur litière et en pouponnière. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Rapport final déposé au CDAQ, 30p.

- MDDEP. 2005. Dénombrement de *E. coli* : méthode par tubes multiples employant un milieu de culture à substrats enzymatique, MA. 700-Ec-tm 1.0, Rev. 1, Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005, 19 p. [<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA700Ectm10.pdf>].
- OAQ. 2004. Ligne directrice de l'Ordre des Agronomes du Québec sur la gestion des matières fertilisantes.
- Potvin, D et Y. Bernard.1995. Recherche de techniques de compostage adaptées à une gestion optimale des fumiers : rapport final. Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ). Québec : ministère de l'Environnement et de la faune. 334 p. 3 annexes, AE95-19.
- Ramonet Y., Dapello C., 2003. L'élevage de porcs sur litières - Une diversité des systèmes en engraissement. Journées Rech. Porcine en France, 35, 1-6.
- Sauvesty, A. et M. Tabi. 1995. Le compostage au Québec. Éd. : Consortium sur le développement du compostage au Québec.76 p.
- S. Seydoux, D. Côté, M.-O. Gasser. Caractérisation des lisiers de porcs. Partie I – Volumes, teneurs et charges fertilisantes. *Agrosolutions* 19(1) : 39-48.

Annexes

Annexe 1 - Plan du bâtiment d'élevage.

Annexe 2 - Échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair^{MD}.

Annexe 3 - Composition des moulées

Annexe 4 - Protocole d'observation, d'échantillonnage et de suivi.

Annexe 5 - Médicaments administrés au cours du bloc 3.

Annexe 6 - Température et humidité relative moyennes quotidiennes extérieures (Blocs 1 à 3).

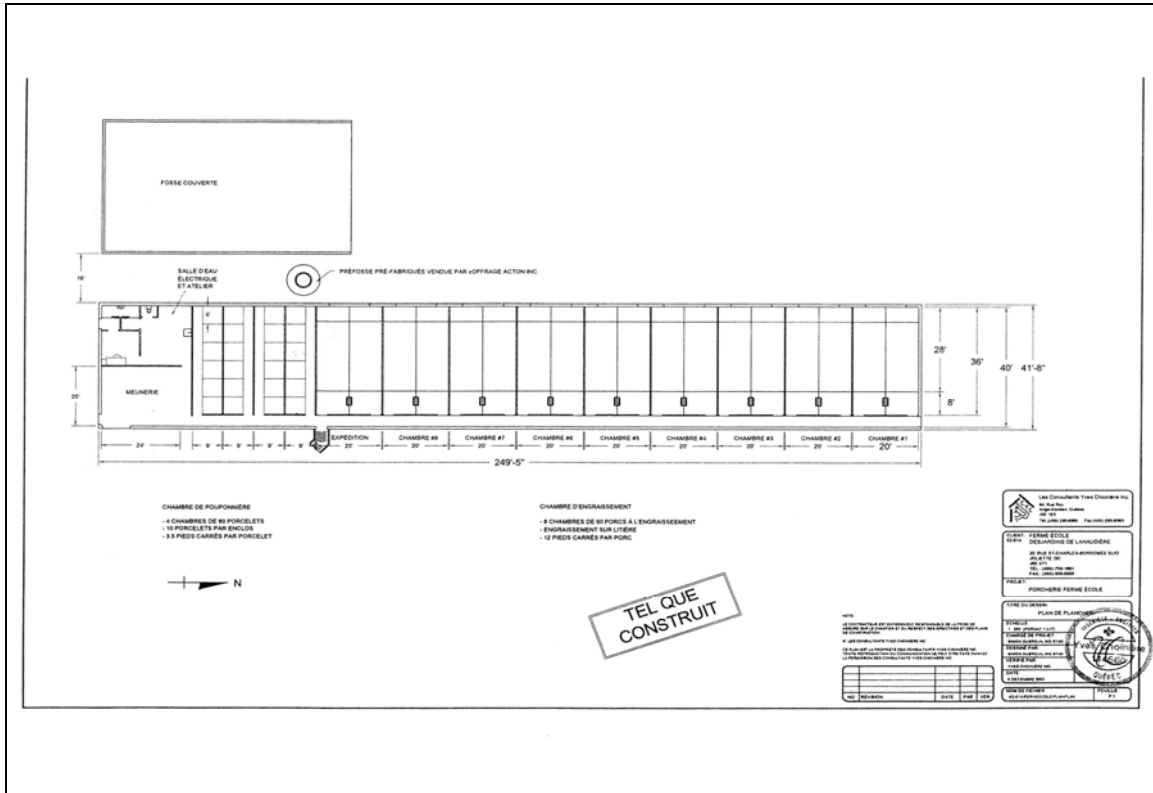
Annexe 7 - Température et humidité relative moyennes horaires extérieures (Bloc 3).

Annexe 8 - Résultats d'analyse des litières du bloc 3.

Annexe 9 - Variabilité des teneurs des échantillons de litière analysés en triplicata.

Annexe 10- Variabilité des teneurs des échantillons de fumier analysés en triplicata.

Annexe 1 - Plan du bâtiment d'élevage



Le POLYMAIR^{MD}

Pour réduire les coûts de chauffage et améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments agricoles

Daniel Yves Martin¹, François Lèveillée¹ et Dan Zegan¹

Une ventilation adéquate est essentielle pour maintenir une bonne qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage. Toutefois, dans certaines productions, les coûts de chauffage élevés incitent les producteurs à limiter la ventilation en période hivernale. L'échangeur d'air récupérateur de chaleur POLYMAIR^{MD}, développé par l'IRDA, réduit considérablement les coûts énergétiques en récupérant la chaleur de l'air vicié pour préchauffer l'air frais provenant de l'extérieur. Robuste et construit entièrement en polymère, il résiste aux rigueurs des grands froids, à l'encrassement par la poussière et à l'action corrosive des gaz contenus dans l'air des bâtiments d'élevage.

Rentabilité

- Retour sur investissement rapide grâce à l'importante réduction des coûts de chauffage. Avec la hausse constante du coût des carburants, des économies de plus en plus importantes seront réalisées grâce au POLYMAIR^{MD}.

Environnement

- Une meilleure efficacité énergétique signifie une moindre consommation de carburant, et une réduction directe des émissions de gaz à effet de serre.

Le POLYMAIR^{MD} est bien adapté aux conditions difficiles rencontrées dans les bâtiments d'élevage.



Santé des travailleurs et bien-être animal

- En réduisant les pertes de chaleur par la ventilation, il est moins coûteux de ventiler suffisamment pour maintenir une bonne qualité de l'air. L'évacuation des poussières et des gaz nocifs réduit les risques pour la santé des travailleurs et améliore le bien-être des animaux, ce qui favorise de meilleures performances zootechniques.

De multiples possibilités d'application

Toutes les productions agricoles nécessitant un chauffage et une ventilation en période hivernale peuvent bénéficier des avantages du POLYMAIR^{MD}.

Productions animales

Les productions avicoles (dindon, poulet à griller, poule pondeuse et oeufs d'incubation), porcines (porc sur litière, pouponnières) et certaines productions bovines (veau de lait ou de grain).

Productions végétales

La serriculture et la production de champignons.

Systèmes de compostage

Les unités de compostage en cellules fermées pourraient récupérer une bonne partie de la chaleur dégagée par l'action des bactéries thermophiles tout en évacuant les gaz produits.

Bâtiments industriels

Le POLYMAIR^{MD} convient aussi à certains bâtiments industriels où une ventilation est requise pour évacuer des fumées ou autres gaz nocifs.

L'IRDA s'est associé au Groupe PolyAlto pour fabriquer et distribuer le POLYMAIR^{MD}.

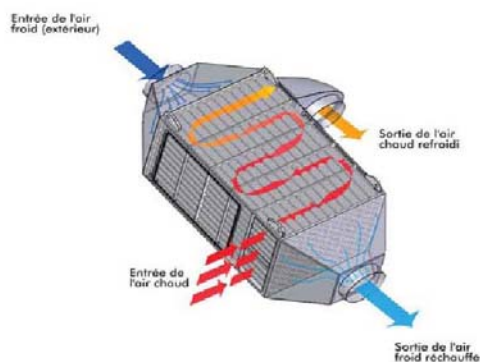


Figure 1. Circuits d'air chaud et froid de l'échangeur

Caractéristiques du POLYMAIR^{MD}

Le POLYMAIR^{MD} est un échangeur de chaleur à contre-courant air-air dont le noyau est constitué de tubulures de plastique disposées en faisceau.

- Dimensions : 2,0 m x 0,7 m x 0,8 m
- Deux ventilateurs axiaux, un pour le circuit chaud (air vicié sortant du bâtiment) et l'autre pour le circuit froid (air frais entrant de l'extérieur)
- Débits théoriques de 0 à 600 litres par seconde (0 à 1 300 pcm)
- Efficacité thermique près de 50 %
- Entièrement construit en polymère (aucune corrosion)
- Noyau accessible facilitant le nettoyage
- Aucun cycle de dégivrage nécessaire

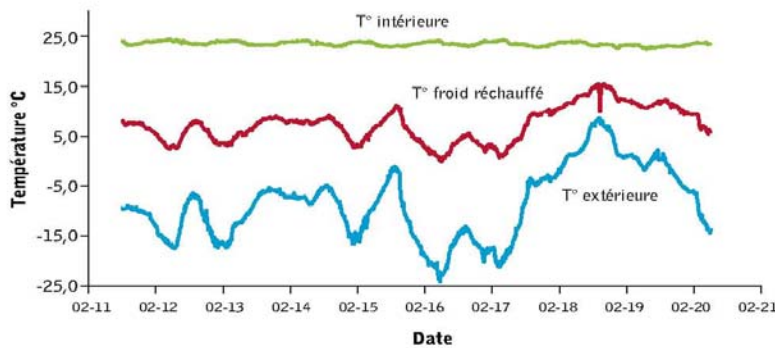


Figure 2. Variation de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du POLYMAIR^{MD} dans un poulailler d'œufs d'incubation du Nouveau-Brunswick en février 2008.

Des résultats probants

Durant l'hiver 2003-2004, deux appareils POLYMAIR^{MD} ont été installés dans un élevage de porcs sur litière au Centre québécois d'expertise en production porcine de La Pocatière. Ces équipements ont permis de maintenir un environnement plus sec, donc de garder la litière dans un meilleur état et de réduire la quantité de litière nécessaire. Une amélioration marquée de l'ambiance a également été observée par les travailleurs. Les bilans de chaleur ont démontré une économie en carburant de 70 % avec le récupérateur de chaleur POLYMAIR^{MD} par rapport à un système de ventilation conventionnel.

Une nouvelle génération de POLYMAIR^{MD} a été mise à l'essai au cours de l'hiver 2007-2008 dans des poulaillers de production d'œufs d'incubation au Nouveau-Brunswick. Deux bâtiments identiques ont été instrumentés, alors qu'un seul était équipé avec deux POLYMAIR^{MD} au premier étage, abritant 5 000 oiseaux. Les échangeurs d'air ont permis d'assurer la ventilation minimale hivernale en fournissant environ 0,5 pied cube/minute d'air frais par oiseau. Les données relevées durant cet

essai ont démontré une économie en carburant de 53 % en faveur du bâtiment équipé de POLYMAIR^{MD}. Pour l'hiver, cette économie a totalisé 8 760 litres de propane, soit 5 256 \$ (coût du propane estimé à 0,60 \$/litre). La période de retour sur investissement du POLYMAIR^{MD} est estimée à 3 ans.

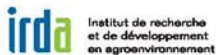
Virtuellement, le POLYMAIR^{MD} élimine l'hiver en permettant l'introduction en tout temps d'air tempéré dans le bâtiment.

En préchauffant l'air provenant de l'extérieur, le POLYMAIR^{MD} évite les chocs thermiques que peuvent subir les animaux et diminue les risques de maladie du troupeau. La figure 2 démontre l'effet de l'appareil pour des températures extérieures variant de 7 à -25 °C. La température de l'air entrant, une fois réchauffé par l'échangeur de chaleur, oscille entre 15 et 0 °C.

Un outil efficace pour réduire les émissions de gaz à effet de serre

- Le POLYMAIR^{MD} réduit la dépendance aux hydrocarbures des bâtiments d'élevage, et augmente leur efficacité énergétique, ce qui a un impact positif direct sur leur empreinte écologique. De fait, chaque litre de propane économisé évite l'émission de 1,5 kg de CO₂ dans l'atmosphère. À titre d'exemple, l'économie de 8 760 litres de propane réalisée dans le poulailler décrit ci-haut signifie l'émission de 13 tonnes de CO₂ de moins que son vis-à-vis sans échangeur d'air.

Partenaires de réalisation et de financement



Ce document a été produit grâce au soutien de :



Agriculture et Agroalimentaire Canada Agriculture and Agri-Food Canada

Pour en savoir davantage

Daniel Yves Martin, ingénieur, M. Sc.
418 644-6842
daniel-y.martin@irda.qc.ca

François Léveillé
418 644-6812
francois.leveillee@irda.qc.ca

irda

www.irda.qc.ca

Annexe 3 - Composition des moulées

Trois types de moulées sont préparées à la ferme. Elles contiennent respectivement 18 %, 16 % et 14 % de protéines et sont fabriquées selon les recettes du tableau suivant.

Moulée	Maïs (kg/t)	Tourteau de soya (kg/t)	Prémélange 1 (11921) (kg/t)	Prémélange 2 (11906) (kg/t)
1 (18 %)	732	234	34	
2 (16 %)	791	182		27
3 (14 %)	641	132		27

Composition du prémélange 1 :

CO-OP

PRÉMÉLANGE PORC SYNERGIE DÉBUT PRIMA 27 PHYTASE

Ce produit contient du Natuphos 5000 phytase (no. d'enregistrement : 981566) qui augmente la disponibilité du phosphore dans les rations pour porcs.

No. d'enregistrement : 440067

Cet aliment contient un supplément de 11.11 mg/kg de sélénium.

ANALYSE GARANTIE					
Calcium.....	réel	23.05 %	Cuivre.....	réel	4.155 mg/kg
Phosphore.....	réel	3.25 %	Iode.....	réel	15.1 mg/kg
Sodium.....	réel	6.80 %	Vitamine A.....	min.	389,820 U.I./kg
Manganèse.....	réel	1,705 mg/kg	Vitamine D-3.....	min.	38,975 U.I./kg
Fer.....	réel	4,765 mg/kg	Vitamine E.....	min.	1,660 U.I./kg
Zinc.....	réel	3,425 mg/kg	Activité phytasique.....	min.	18.55 FTU/g

INGRÉDIENTS:
La liste des ingrédients de cet aliment peut être obtenue du fabricant ou titulaire de l'enregistrement.

MODE D'EMPLOI:
Utiliser ce prémélange à raison de 27 kg par tonne pour fabriquer un aliment Début Porc avec phytase selon les formulations fournies par La Coop fédérée.

PRÉCAUTIONS:

- 1) Suivre soigneusement le mode d'emploi.
- 2) Ce supplément ne doit pas être utilisé dans des aliments cubés à des températures supérieures à 70°C.
- 3) Ce supplément doit être utilisé dans les six mois suivant la date de fabrication.

27 kilogrammes net

11921

04/2006
MC Marque de commerce déposée de TMC Distributing Ltd.

LA COOP FÉDÉRÉE
MONTRÉAL, QC H4N 3H7

Date d'expiration : _____

Composition du prémélange 2 :



PRÉMÉLANGE PORC SYNERGIE ENGRAIS AVANTAGE 20 PHYTASE

Ce produit contient du Natuphos 5000 phytase (no. d'enregistrement : 981566) qui augmente la disponibilité du phosphore dans les rations pour porcs.

No. d'enregistrement : 440066

Cet aliment contient un supplément de 15.0 mg/kg de sélénium.

ANALYSE GARANTIE

Calcium.....	réel	24.25 %	Cuivre	réel	1,250 mg/kg
Phosphore	réel	0.90 %	Iode	réel	13.8 mg/kg
Sodium	réel	9.10 %	Vitamine A.....	min.	350,000 U.I./kg
Manganèse.....	réel	750 mg/kg	Vitamine D-3	min.	35,000 U.I./kg
Fer	réel	3,055 mg/kg	Vitamine E.....	min.	1,645 U.I./kg
Zinc	réel	3,855 mg/kg	Activité phytasique.....	min.	21 FTU/g

INGRÉDIENTS:

La liste des ingrédients de cet aliment peut être obtenue du fabricant ou titulaire de l'enregistrement.

MODE D'EMPLOI:

Utiliser ce prémélange à raison de 20 kg par tonne pour fabriquer un aliment Engrais Porc avec phytase selon les formulations fournies par La Coop fédérée.

PRÉCAUTIONS:

- 1) Suivre soigneusement le mode d'emploi.
- 2) Ce supplément ne doit pas être utilisé dans des aliments cubés à des températures supérieures à 70°C.
- 3) Ce supplément doit être utilisé dans les six mois suivant la date de fabrication.

20 kilogrammes net

11906

06/2006

^{MC} Marque de commerce déposée de TMC Distributing Ltd.

LA COOP FÉDÉRÉE
MONTRÉAL, QC H4N 3H7

Date d'expiration :

Annexe 4

Protocole d'observation, d'échantillonnage et de suivi

**Évaluation de quelques matériaux organiques
pour l'élevage de porcs sur litière mince**

Ferme-École Desjardins de Lanaudière



Par :

Sandrine Seydoux
Marc-Olivier Gasser

Novembre 2007
(révisé en avril 2008)

Table des matières

1	Cheptel	1
1.1	Gestion du cheptel.....	1
1.2	Suivi du cheptel.....	1
2	Conditions d’ambiance	1
3	Litière et fumier	1
3.1	Choix de la litière.....	1
3.1.1	Entreposage et hachage de la litière fraîche.....	2
3.1.2	Disposition de la litière dans la salle d’élevage	2
3.1.3	Déplacement et ajout de litière en cours d’élevage	2
3.1.4	Reprise du fumier.....	3
3.2	Suivi expérimental de la litière en cours d’élevage	3
3.2.1	Description de la litière fraîche.....	3
3.2.2	Observations et mesures en cours d’élevage	3
3.2.3	Mesure des masses et des volumes de litière apportée et évacuée	5
3.2.4	Échantillonnage de la litière et du fumier	5
3.3	Analyses physico-chimiques et bactériologique des échantillons	7
4	Coûts	8
5	Transmission des données.....	8

Ce document présente en détails les modalités pratiques de gestion et de suivi des essais relatifs aux différentes litières en élevage de porcs sur litière mince accumulée à la Ferme-École Desjardins de Lanaudière. Les observations et mesures se répartissent en quatre volets : le cheptel, la litière, les conditions d'ambiance en salles d'élevage et les coûts associés à l'utilisation des différents matériaux testés.

Les formulaires proposés visent à faciliter la consignation objective, systématique et régulière des données recherchées. Leur forme et leur contenu ont été améliorés en cours d'expérimentation, en fonction des besoins des observateurs et des échantillonneurs ainsi que des contraintes éventuelles.

1 Cheptel

1.1 Gestion du cheptel

La gestion du cheptel est menée par le gérant selon son expertise. Si toutefois, des modifications étaient apportées à la gestion habituelle, veiller à le noter et en aviser tous les partenaires du projet.

1.2 Suivi du cheptel

Consigner les informations relatives au cheptel dans le Formulaire 1 et le Formulaire 3.

2 Conditions d'ambiance

Les paramètres d'ambiance suivis sont la température de l'air et l'humidité relative. Ces données proviennent de deux sources :

- la lecture quotidienne des données sur le panneau situé à l'extérieur de la salle
- l'enregistrement automatique (toutes les 15 minutes) par des senseurs (« Hobo »).

La récupération des données des « Hobos » doit être faite toutes les 2 semaines et envoyées à l'IRDA.

En cas de modification des paramètres d'ambiance (diminution de la température quand les porcs vieillissent), consigner la date et les modifications dans le formulaire 2.

3 Litière et fumier

3.1 Choix de la litière

Les matériaux utilisés dans les essais doivent être choisis avec soin. Ils doivent autant que possible respecter les critères suivants :

- Produit d'origine agricole ou issu de matériaux forestiers.

- Produit dénué d'éléments risquant de blesser les animaux ou de leur nuire (tels des morceaux de verre, des déjections animales, etc.).
- Matériau produisant un fumier de ferme non considéré comme une MRF (matière résiduelle fertilisante), comme c'est le cas pour les fumiers issus de résidus de désencrage par exemple.
- Matériau de production durable (cultures de rotation, cultures potentielles dans des bandes riveraines, etc.).
- Gestion de la litière et du fumier

3.1.1 Entreposage et hachage de la litière fraîche

La litière acquise en quantité suffisante pour chacun des essais concernés doit être entreposée dans un lieu sec et frais, afin de conserver ses qualités (sanitaire et absorbante).

Pour le hachage des pailles, plusieurs façons de faire sont envisageables. Veiller autant que possible à utiliser un hache-paille convenant au type de conditionnement des litières fraîches (grosses balles rondes, grosses balles carrés, etc.).

3.1.2 Disposition de la litière dans la salle d'élevage

Placer la litière en plusieurs tas dans la salle d'élevage et la répartir grossièrement manuellement au besoin. Par leurs déplacements et leur instinct de fouissage, les porcs la distribueront sur tout le plancher. Dans le cas des pailles, souffler directement la paille lors de son hachage à partir du hache-paille.

Viser une épaisseur de litière d'environ 45 à 61 cm (18 à 24 po) au début de l'élevage, en adaptant l'épaisseur de la litière à la taille des porcelets (si la litière est trop épaisse, ceux-ci ont du mal à se déplacer). Taper la litière autour des trémies pour pouvoir en mettre plus et éviter d'avoir à en rajouter trop vite dans ce secteur.

3.1.3 Déplacement et ajout de litière en cours d'élevage

Ponctuellement, quand il n'y a pas vraiment lieu d'ajouter de la litière fraîche, des zones souillées de déjections peuvent être recouvertes de quelques fourches de litière provenant de la zone de repos. Dans la zone d'alimentation, rajouter au besoin de la litière provenant de la zone de repos de façon à faciliter l'accès des porcs aux trémies.

Après avoir pesé, à vide, l'équipement de transport de la litière, peser une partie des chargements de litière apportés dans la salle d'élevage ou évacués de celle-ci et faire une moyenne. Établir également le volume moyen de litière apporté ou évacué à *chaque* « voyage ». Ainsi, il sera possible de calculer la masse volumique du matériau au début de l'élevage et à la fin de celui-ci.

L'épaisseur de la litière doit être maintenue autour de 25 cm (pour permettre autant que possible un « précompostage » de la litière) et ne pas diminuer en deçà de 20 cm. L'ajout de litière dans les zones les plus souillées a pour but d'absorber les déjections et ainsi d'assurer le confort des animaux et des travailleurs ainsi que la salubrité générale des lieux. Il est important de surveiller

attentivement la litière ainsi que toute possibilité d'écoulement d'eau vers celle-ci (abreuvoirs, etc.) et de réparer sans délai toute fuite d'eau.

La quantité de litière ajoutée et la fréquence des apports doivent être déterminées par l'éleveur en fonction des facteurs suivants :

- l'état de la litière dans la zone de déjection;
- l'état de propreté et de salubrité des porcs;
- la qualité de l'air ambiant.

Apporter de la litière fraîche sans sortir les animaux, à l'aide du chargeur frontal du tracteur, par dessus la barrière installée devant la grande porte de garage donnant sur l'extérieur. Si cela est possible, ne pas ajouter de litière les jours de grand froid ($< -15\text{ C}$), afin de ne pas refroidir inutilement la salle d'élevage.

À la Ferme-École, il n'est pas prévu que les déjections ou de la litière souillée soient retirés en cours d'élevage. L'ajout de litière et le contrôle efficace des conditions d'ambiance sont les seuls moyens envisagés pour assurer la salubrité du milieu. Cependant, comme le bien être et la santé des animaux priment, il pourrait s'avérer nécessaire de remplacer de la litière trop souillée et mouillée.

3.1.4 Reprise du fumier

Après la sortie des derniers animaux, vidanger le fumier formé au cours de l'élevage, à l'aide du tracteur à pelle frontale, en remplissant les godets de fumier de façon aléatoire. Vider chaque épandeur de fumier ainsi rempli sur le site d'entreposage (dôme). C'est dans le tas de fumier en cours de formation que seront effectués les prélèvements de fumier pour former un échantillon composite (voir détails plus loin).

3.2 Suivi expérimental de la litière en cours d'élevage

3.2.1 Description de la litière fraîche

Indiquer dans le **Formulaire 1** la nature de la litière, son origine et d'autres informations générales sur chaque matériau utilisé comme litière, notamment le mode de hachage des pailles le cas échéant.

3.2.2 Observations et mesures en cours d'élevage

En plus des observations quotidiennes concernant l'état général du cheptel et de la litière, des observations particulières doivent être faites chaque semaine ou lors des visites d'échantillonnage (4 pendant l'élevage, 1 lors de la reprise du fumier après la fin de l'élevage).

Mesures de la profondeur et de la température de la litière (Formulaire 2)

Lors de chacune des 4 visites prévues en cours d'élevage, mesurer l'épaisseur de la litière, ainsi que sa température, dans la moitié supérieure de la litière et dans la moitié inférieure. Effectuer

ces mesures en 10 points dans la zone de repos (visites 1 à 4), ainsi que dans la zone de déjection (4^e visite).

Photos et vidéos

Une fois par semaine, et au besoin, prendre des **photos** des zones d'activités (en particulier de la zone de déjection avant et après l'ajout de litière). Pour faciliter l'analyse des prises de vues, photographier un panneau mentionnant le numéro de la salle ou le code de la litière (ex. : BS-1, bran de scie bloc d'essai 1). Prévoir également un objet (réglette ou bâton gradué) pour indiquer l'échelle de ce que l'on veut montrer.

Lors de la journée des prises d'échantillons, réaliser une courte **vidéo**, selon une même séquence (1, 2, 3, 4) en fournissant, si possible dans le même ordre, les informations indiquées plus bas.

1. Vue d'ensemble de la salle : Date; Heure; Numéro de la salle; Âge et poids approximatif des animaux; Nombre de jours de présence dans cette salle; Nombre total de porcs; État général (santé / propreté / activité) : Type de litière; Bref historique (si ajout ou déplacement de litière d'une zone à l'autre dans les semaines ou journées précédentes), Autre...

2. Zone d'alimentation : Brefs commentaires sur l'état de propreté des trémies-abreuvoirs et du tassement éventuel de la litière et de son niveau de souillure dans la zone d'alimentation; Activité des porcs dans la zone; Intervention requise ou réalisée; Autre...

3. Zone de repos : Activité des porcs (repos, fouissage, consommation de litière, jeu, ...); État de la litière (relief, couleur, texture, odeur, humidité apparente, ...); Extension de la zone; Intervention requise ou réalisée; Autre....

4. Zone de déjection : Activité des porcs (repos, fouissage, jeu, ...); Extension de la zone et continuité (localisation des îlots de déjection éventuels); État de la litière (relief, couleur, texture, odeur, humidité apparente, ...); Intervention requise ou réalisée; Autre....

Bien vérifier la qualité des photos et des vidéos en sortant de la salle et faire des reprises au besoin.

Transect de température (Formulaire 4)

Lors de la 4^e visite, réaliser un transect de température de la litière à 2 profondeurs (moitié supérieure, moitié inférieure). Noter l'épaisseur de la litière aux 10 points de mesure entre le centre de la zone de repos et le centre de la zone de déjection.

Profil de litière

Après le départ de tous les porcs, réaliser un « profil de la litière » dans chacune des zones d'activité, comme on le fait pour un profil pédologique. Creuser à l'aide de la pelle du chargeur à pelle frontale une tranchée dans le centre de la salle. S'aider d'une bêche pour aplanir la paroi puis d'un couteau pour enlever l'effet de lissage éventuel. Photographier le profil, avec une réglette placée verticalement, pour l'échelle. Faire un croquis pour repérer les différentes

couches de litière (se distinguant par leur couleur, texture, densité apparente, ...) y indiquer leur épaisseur et une brève description.

3.2.3 Mesure des masses et des volumes de litière apportée et évacuée

Mesurer les masses de litière fraîche placées dans les salles au début de l'élevage et le fumier sorti par pesée des balles de paille avant hachage et par pesée des chargements de bran de scie et du fumier. Utiliser une balance appropriée, selon le contenant du matériau à peser (tracteur à chargeur frontal, épandeur à fumier, remorque, ...).

Mesurer les volumes de litière ou de fumier aussi précisément que possible. Il est à noter que le volume variera selon qu'il est déterminé par mesure du volume transporté dans le godet du chargeur à pelle frontale ou par mesure du volume de la litière dans la salle (épaisseur x superficie de la salle). C'est pourquoi il importe de déterminer également la masse volumique apparente (**MVA**) des matériaux dans les différentes situations. Cette valeur est obtenue par la formule suivante :

$$\text{MVA (kg/m}^3\text{)} = \text{Masse (kg)} / \text{Volume (m}^3\text{)}.$$

La MVA de chaque matériau varie selon la forme et la taille des éléments qui le constituent (donc selon la finesse de mouture du bran de scie ou selon l'intensité du hachage des pailles). Elle dépend de la teneur en eau du matériau considéré et de la pression exercée sur celui-ci. Elle dépend donc aussi du contenant (chaudière, godet, remorque,..) à partir duquel est déterminé le volume.

3.2.4 Échantillonnage de la litière et du fumier

Les 12 échantillons de litière sont constitués avant l'élevage (litière fraîche), au cours de l'élevage et lors de la reprise du fumier. Faire les 4 visites en cours d'élevage (entre le début de l'élevage et le moment où les porcs commencent à sortir vers le 100^e jour) aux semaines 5 (visite 1), 8 (visite 2), 10 (visite 3) et 13 (visite 4).

Confectionner les échantillons selon les spécifications des tableaux ci-après (Tableau 1 et Tableau 2) .Mélanger les prélèvements pris à l'aide d'une pelle dans une grande chaudière (5 gallons), puis former l'échantillon avec la quantité requise de mélange.

Tableau 1 - Moment d'échantillonnage et localisation des prélèvements

Matériau à échantillonner	Moment d'échantillonnage	Localisation des prélèvements (code d'échantillon)	
Litière fraîche	Lors de la préparation des salles.	Dans la pelle du tracto-pelle.	
Litière souillée	Visites 1 à 3	Zone de repos. Dans les 10 premiers cm de litière (R1).	
	Visite 4 : 100 ^e j	Zone de repos	Entre 0 et 10 cm (R1) et de 10 cm jusqu'au sol (R2).
		Zone de déjection	Dans toute l'épaisseur de la litière (D0).
Fumier sorti	Au cours de la vidange du fumier.	Dans l'amas de fumier formé dans le dôme après la vidange des salles en fin d'élevage.	

Tableau 2- Spécifications pour l'échantillonnage

Matériau échantillonné	Analyses Physico-chimique			Analyses microbiologiques		
	Nombre total d'échantillons par salle	Nombre minimal de prélèvements	Quantité échantillonnée (ml)	Nombre total d'échantillons par salle	Nombre minimal de prélèvements	Quantité échantillonnée (g)
Litière fraîche	1	10	500	1	10	100
Litière souillée Visites 1 à 3	3	10	500	0	0	0
Litière souillée Visite 4 – Zone R	2	10	500	2	10	100
Litière souillée Visite 4 – Zone D	1	10	500	1	10	100
Fumier sorti	1	10	500	0	0	0
Total	8			4		

Préparation et envoi des échantillons

Placer les échantillons de litière ou de fumier pour les analyses physico-chimiques dans des contenants de 500 ml étanches et à couvercle vissé. Placer ceux destinés à l'analyse bactériologique (litière fraîche et litière souillée) dans des sacs stériles.

Identifier chaque échantillon, à l'aide d'un marqueur *indélébile* (sur le côté et le dessus du bocal), en respectant la codification suivante: X LL-YAZ jj-mm-aa

- B correspond au **bloc** d'essais (1, 2 ou 3)
- LL indique le type de **litière** utilisé (BS = bran de scie; SO = soya; ...)
- Y prend les valeurs 0 (échantillon pris à t_0 avant l'entrée des animaux), 1 à 4 (échantillon pris lors de la visite 1, 2, 3, ou 4 en cours d'élevage) ou 9 (dernier échantillon pour déterminer la valeur fertilisante du fumier)
- P précise le lieu de **prélèvement** : L comme litière fraîche, R pour zone de repos, D pour zone de déjection et F pour fumier sorti.
- Z désigne le niveau du prélèvement (0, 1 ou 2): 0 pour toute l'épaisseur du matériau, 1 dans les 10 premiers centimètres (0-10), 2 plus en profondeur (10-fond)
- jj-mm-aa est la date de fabrication de l'échantillon

À titre d'exemple, voici la liste des codes d'échantillons attendus pour le bran de scie testé dans le bloc 1 :

1 BS-0L0 15-11-07
 1 BS-1R1 10-12-07 à 1 BS-3R1 03-04-07
 1 BS-4R1 12-04-08 ; 1 BS-4R2 12-04-08 et 1 BS-4D0 12-04-08
 1 BS-9F0 12-04-08

Envoyer les échantillons par courrier express, dans une glacière avec un bloc réfrigérant (« ice pack »). Il est important que l'échantillon destiné aux analyses bactériologiques soit conservé au frais et acheminé au laboratoire dans les 48 heures. Idéalement, l'échantillon doit parvenir au laboratoire avant le vendredi, pour être analysé lors des jours ouvrables. Un échantillon reçu le vendredi oblige la technicienne de laboratoire à effectuer des heures de travail supplémentaires le samedi.

Faire parvenir les échantillons à l'adresse suivante :

Institut de recherche et développement en agroenvironnement
2700, rue Einstein,
Québec (Québec) G1P 3W8
Tél.: (418) 643-7504 Téléc.: (418) 644-6855

Mentionner l'un ou l'autre des destinataires suivants : Diane Dubois, si le paquet contient un échantillon de litière pour l'analyse bactériologique (ce type d'échantillon doit être analysé dans les 48 h), Claire Fecteau dans les autres cas. Enfin, prévenir par courriel Claire Fecteau (claire.fecteau@irda.qc.ca) et Diane Dubois (diane.dubois@irda.qc.ca) de l'envoi des échantillons à l'IRDA (indiquer les codes).

3.3 Analyses physico-chimiques et bactériologique des échantillons

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques analysés sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 3):

Tableau 3 - Analyses réalisées sur les échantillons de litière et fumier

Matériau échantillonné (code échantillon)	Paramètres mesurés	
	Analyses physico-chimiques	Analyse bactériologique
Litière fraîche (L)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	Dénombrement des coliformes totaux thermotolérants
Litière souillée Visites 1 à 3 (R1)	Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄	
Litière souillée Visites 4 (R1, R2, D0)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	Dénombrement des coliformes totaux thermotolérants
Fumier sorti (F)	pH, Teneurs en MS (%) et en cendres (% de la MS), C/N Teneurs (kg/Mg) en N total, N-NH ₄ , N-NO ₃ , P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na	

Toutes les analyses physico-chimiques et microbiologiques seront réalisées par le Laboratoire de physique et de chimie inorganique de l'IRDA, à Québec.

4 Coûts

Dans l'immédiat, seuls les coûts concernant la litière, ainsi que la durée des travaux touchant la litière et la surveillance des animaux, seront pris en considération. Noter ces données dans les formulaires 1 et 2.

5 Transmission des données

Transmettre les échantillons par voie postale « express », les formulaires validés par courriel, et les photos par le biais du site *ftp* de l'IRDA créé pour l'occasion. Envoyer par télécopie les schémas des profils de litière .

À l'issue de chaque élevage COGENOR fournira à l'IRDA un rapport sur le déroulement général de l'élevage (cheptel et litière) faisant la synthèse des observations et mesures réalisées par COGÉNOR et la Ferme-École.

Formulaire 1 - Description des litières et de leur gestion

	A	B	C	D
1	Description des litières et de leur gestion (F1)		BLOC 1	
2	Salle:			
3	<i>nd: information non disponible /np: non pertinent</i>			
4	Informations sur la litière	Litière:	BS-1	BL-1
5	Nom fournisseur			
6	Origine (Municipalité du lieu de la récolte ou du moulin à scie)			
7	Nature (Espèce(s) d'arbre, dans le cas du bran scie)			
8	Date récolte (pailles) (jj-mm-aa)			
9	Condt.(Vrac, Balles Rondes, Grosses B. Carrées, Petite B Carrées)			
10	Volume des balles (m ³) (dimensions en po dans commentaire)			
11	Poids moyen des balles (kg)			
12	Quantité reçue (m ³ si vrac, ou nombre de balles)			
13	Date de réception à la ferme-école (2)			
14	Traitement (Hachage, Séchage ...)			
15	Équipement utilisé (Hache-paille pour Balles Rondes ou Balles Carrées)			
16	Temps hachage de la paille ajoutée (heures/balle) (hh:mm)			
17	Échantillonnage de la litière fraîche	Date (jj-mm-aa):		
18	Lieu de prélèvement (Pelle du tracteur, Salle d'élevage, Dôme)			
19	Préparation de la salle d'élevage	Date (jj-mm-aa):		
20	Nombre de balles par salle (au début) si balles			
21	Masse litière placée en salle d'élevage (kg)			
22	Volume litière placée en salle d'élevage (m ³) (au tout début)			
23	Masse volumique litière dans la salle (kg/m ³)	=B22/B23	=C22/C23	=D22/D23
24	Masse volumique litière en balle (kg/m ³) ("compressé")		=C12/C11	=D12/D11
25	Niveau de compression balle/vrac		=C25/C24	=D25/D24
26	Temps manutention (remplissage des salles) (hh:mm)			
27	Vidange du fumier	Date (jj-mm-aa):		
28	Masse de fumier vidangé (kg)			
29	Volume de fumier vidangé (m ³)			
30	Masse volumique du fumier (kg/m ³)			
31	Temps total de vidange (hh:mm)			
32	Échantillonnage du fumier	Date (jj-mm-aa):		
33	Lieu échantillonnage (Salle, en cours de Vidange, Dôme)			
34	Coûts			
35	Achat de litière (\$/m ³) en vrac (sciure) ou "compressé" en balles (pailles)			
36	Achat de litière (\$/kg) en vrac (sciure) ou en balles (pailles)			
37	Transport			
38	Autre ... (location d'équipement, transport...préciser en commentaire)			
39	Coût litière pour l'installation des salles (\$)			
40	Coût litière litière ajoutée (\$)			
41	Temps manutention (installation + vidange et échantillonnage)			
42	Temps de manutention de la litière pendant l'élevage (hh:mm)			
43	Temps total par salle (installation, hachage,manutention, vidange,...)			
44	Coût de la main d'œuvre (\$/h)			
45	Coût total (acquisition, main d'œuvre)			
46	Remarques			

Formulaire 2 -Suivi durant l'élevage

BLOC X - Suivi durant l'élevage (F2)	Salle	x	Lot	P?	Litière	XXXXX	Resp: AAA																	
(1) Nombre de porcs	Semaine 1 (avril 2008)							Semaine 2 (avril 2008)																
(2) Fournir les données relevées en commentaire	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14										
(3) Précisions en "Remarques" avec numéro de renvoi																								
(4) Aux 2 semaines ou quand ajout ou déplacement de litière																								
Avant d'entrer dans la salle Heure (00:00):	10.00																							
Nombre de personnes actives pour le suivi	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ceci est un "commentaire".</div>																							
Nombre de porcs présents																								
Humidité ambiante (%)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">la zone de "remarques est en bas de la page. Elle sert au recueil d'info sur le terrain.</div>																							
Température ambiante (°C)																								
Température hebdo. min. (°C)																								
Température hebdo. max. (°C)																								
Nouvelle consigne d'humidité (%) (3)																								
Nouvelle consigne de température (°C) (3)																								
Observations à l'entrée dans la salle																								
Odeur suspecte (Non, Moyenne, Forte) (3)																								
Odeur suspecte (Propane, Humidité, Ammoniac)																								
Animaux couchés (1)																								
Animaux fouissant dans la litière ou en mangeant (1)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">incluant ceux qui attendent pour manger</div>																							
Animaux mangeant de la moulée (1)																								
Observation du cheptel																								
Activité g ^{ale} des porcs (Bonne, Moyenne, Faible)																								
Propreté g ^{ale} des porcs (Bonne, Moyenne, Faible)																								
État sanitaire général (Bon, Moyen, Faible)																								
Poils raides, gris ou grinchoux (1)																								
Écoulement nasal abondant (1)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">NB: la zone d'alimentation est de 9x9 pi2</div>																							
Yeux larmoyants (1)																								
Observation de la litière (le vendredi seulement)																								
Superficie totale de la zone de déjection (en pi ²) (2)																								
Qualité g ^{ale} des zones (Bonne, Moy., Faible)																								
Alimentation (zone A)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Respecter les unités et formats proposés et ne pas fusionner les cellules. Merci !</div>																							
Repos (zone R)																								
Déjection (zone D)																								
Épaisseur moyenne de la litière en zone R (cm) (3)																								
Épaisseur moyenne de la litière en zone A (cm) (3)																								
Niveau d'absorption (Bon, Moyen, Faible)																								
Enfoncem ^t pattes (1 po et -; 2 po et -; 3 po et -)																								
Échantillonnage et mesures (zone R)																								
Épaisseur moyenne de la litière en zone R (cm) (3)																								
Température moy. dans la partie supérieure (°C)																								
Température moy. dans la partie inférieure (°C)																								
Intervention (nature et circonstances)																								
Durée manutention litière (déplac', ajout, retrait ⁽³⁾) (00:00)																								
Volume de litière déplacée (nombre de fourches)																								
Dans la zone de déjection (O/N)																								
Dans la zone de repos (O/N)																								
Dans la zone d'alimentation (O/N)																								
Volume de litière ajoutée (m ³)																								
Dans la zone de déjection (O/N)																								
Dans la zone de repos (O/N)																								
Dans la zone d'alimentation (O/N)																								
Température ext. lors de l'ajout de litière (°C)																								
Température de la litière ajoutée (°C)																								
Photos de chaque zone ou Vidéo commentée																								
Retrait d'animaux (1)																								
Nettoyage des abreuvoirs ou trémies (O/N)																								
Après être sorti de la salle Heure (00:00):	10.05																							
Temps passé dans la salle d'élevage (00:00)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
<u>Remarques :</u>																								

Formulaire 3 - Suivi du cheptel

Suivi du cheptel (F3)		Bloc 1		
Salle:		4	2	6
(1) Préciser en "commentaires" avec #de renvoi Lot poups.:		P2	P4	P3
Resp: AGC Litière:		1BS	1SO	1BL
Porcelets entrés				
Date d'entrée des porcelets (jj-mm-aa)				
Nombre total de porcelets entrés				
Poids moyen à l'entrée (kg)				
Porcs sortis				
Poids minimum de sortie (Ps, en kg)				
Nombre de porcs sortis en cours d'élevage (< Ps) (1)				
Date de sortie du premier porc du lot (>Ps) (jj-mm-aa)				
Date de sortie du dernier porc du lot (>Ps) (jj-m-m-aa)				
Nombre total de porcs sortis en fin de lot (> Ps) (1)				
Poids moyen à la sortie (>Ps) (kg)				
Bilan élevage				
Durée totale de l'élevage (j)				
Mortalité (%) (incluant retrait, raison, date et nb de porcs) (1)				
Gain de poids total (kg)				
Gain de poids moyen quotidien (gmq)				
Alimentation et abreuvement				
Moulée totale consommée (kg)				
Eau totale consommée (m ³ ou litres?)				

Formulaire 4 -Transect de température

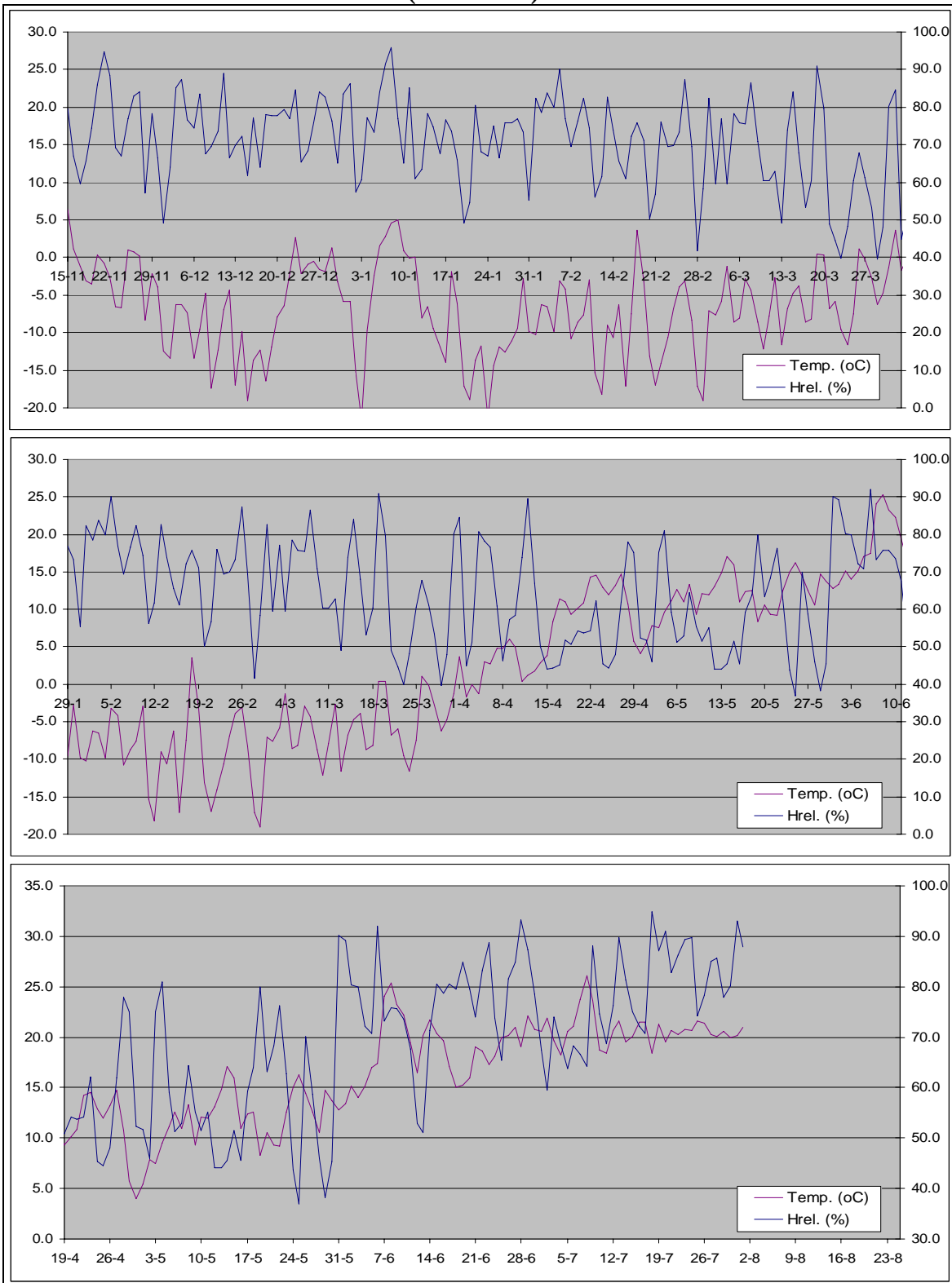
BLOC X - Transect de température (F5)										Resp: AAA		
Salle:												
Litière:	Bran de scie			Paille de soya			Paille d'orge					
Date (jj-mm-aa) :	03-08-08											
Zone de repos	Prof. (cm)	T (°C) moitié sup.	T (°C) moitié inf.	Prof. (cm)	T (°C) moitié sup.	T (°C) moitié inf.	Prof. (cm)	T (°C) moitié sup.	T (°C) moitié inf.			
1												
2												
3												
4												
5												
Zone de déjection	Prof. (cm)	T (°C) au centre	np	Prof. (cm)	T (°C) au centre	np	Prof. (cm)	T (°C) au centre	np			
6												
7												
8												
9												
10												

Annexe 5 – Médicaments administrés au cours du bloc 3

Produit administré	Élevage	Nombre de porcs	Semaine d'élevage	Date
Néomicin	Tous (BS, OR, AV, SO)	Tous	7	du 3 au 5 juin 08 incl.
Borgal	OR	1	5	22-05-2008
		1	6	28-05-2008
	SO	1	6	28-05-2008
Excenel	OR et SO	1 /salle	7	06-06-2008
Dépocillin + Dexaméthasone	OR	1	7	01-06-2008

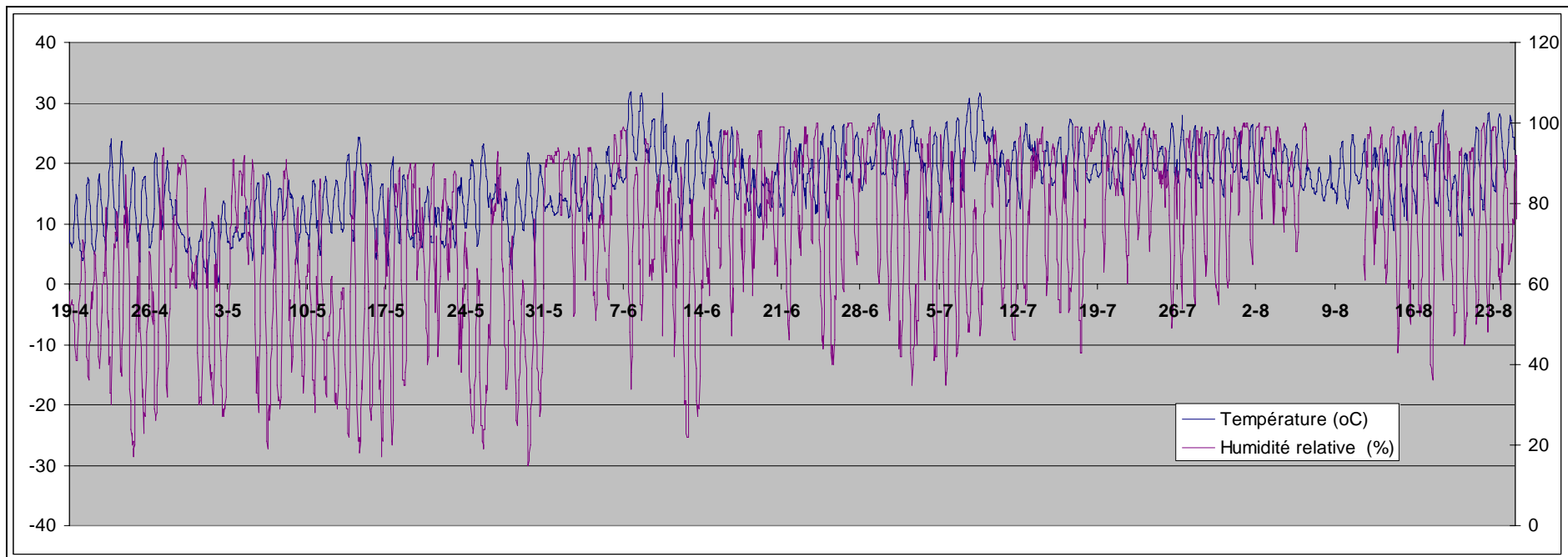
Nom du produit	Indication	Dosage	Mode d'administration	Retrait avant l'abattage (j)
Néomicin	Diarrhée	1/3 sachet/trémie	Poudre ajoutée à la moulée	14
Borgal	Pneumonie	1cc/12 kg	Injection intra musculaire dans le cou	10
Excenel	Radet	1cc/17 kg		2
Dépocillin + Dexaméthasone	Mal de patte	1cc/10 kg		14
		1cc/40 kg		10

**Annexe 6 – Température et humidité relative moyennes quotidiennes extérieures
(Blocs 1 à 3)**



Source : Compilation de données horaires. Station météorologique de l'Assomption (nov. 2007 – août 2008).

Annexe 7 - Température et humidité relative moyennes horaires extérieures (Bloc 3)



Source : Station météorologique de l'Assomption (avril à août 2008).

Annexe 8 - Résultats d'analyse des litières du bloc 3

Code d'échantillon	MS % (b.h.)	NH4/N tot. (%)	N total -----mg/kg (b.h.)-----	N-NH4 -----mg/kg (b.h.)-----	N-NO3 -----mg/kg (b.h.)-----	N total -----g/kg (b.s.)-----	N-NH4 -----g/kg (b.s.)-----	N-NO3 mg/kg (b.s.)
3 BS 0L0 21-04-08	51	0	749	1	0.2	1.5	0.0	0
3 BS 1R1 13-05-08	70	3	4 920	144	8.0	7.0	0.2	11
3 BS 2R1 17-06-08	40	21	6 747	1 385	1.5	17.1	3.5	4
3 BS 3R1 15-07-08	35	5	6 380	306	2.9	18.1	0.9	8
3 BS 4R1 03-08-08	36	4	7 458	317	0.5	20.6	0.9	1
3 BS 4R2 03-08-08	26	23	5 061	1 147	0.5	19.8	4.5	2
3 BS 4D0 03-08-08	34	18	7 413	1 321	3.9	21.5	3.8	11
3 BS 9F0 05-09-08	38	13	6 642	837	121	17.3	2.2	316
3 OR 0L0 21-04-08	90	2	4 730	99	176	5.3	0.1	197
3 OR 1R1 13-05-08	74	10	9 782	985	110	13.2	1.3	148
3 OR 2R1 17-06-08	35	21	9 442	1 998	2.9	27.0	5.7	8
3 OR 3R1 15-07-08	32	9	8 967	794	30	28.1	2.5	93
3 OR 4R1 03-08-08	35	13	7 189	927	1.2	20.7	2.7	3
3 OR 4R2 03-08-08	26	33	5 864	1 933	1.2	22.9	7.6	5
3 OR 4D0 03-08-08	23	31	8 047	2 499	1.3	35.1	10.9	6
3 OR 9F0 04-09-08	31	18	8 301	1 514	10	26.8	4.9	33
3 AV 0L0 21-04-08	90	1	6 463	95	321	7.2	0.1	357
3 AV 1R1 13-05-08	73	6	9 166	564	84	12.5	0.8	115
3 AV 2R1 17-06-08	25	27	6 889	1 876	2.3	27.1	7.4	9
3 AV 3R1 15-07-08	31	19	8 016	1 534	0.6	26.1	5.0	2
3 AV 4R1 03-08-08	30	22	8 622	1 882	1.3	29.0	6.3	4
3 AV 4R2 03-08-08	36	31	6 250	1 946	2.6	17.4	5.4	7
3 AV 4D0 03-08-08	31	24	10 862	2 610	1.7	34.8	8.4	5
3 AV 9F0 05-09-08	39	21	9 042	1 904	33	23.0	4.8	85
3 SO 0L0 21-04-08	87	0	11 854	26	3.6	13.6	0.0	4
3 SO 1R1 13-05-08	70	13	12 415	1 573	10	17.6	2.2	14
3 SO 2R1 17-06-08	35	19	9 797	1 855	3.2	27.7	5.3	9
3 SO 3R1 15-07-08	33	16	9 500	1 551	1.0	29.1	4.7	3
3 SO 4R1 03-08-08	31	19	8 487	1 609	1.2	27.6	5.2	4
3 SO 4R2 03-08-08	27	37	8 268	3 080	1.6	30.9	11.5	6
3 SO 4D0 03-08-08	30	31	10 359	3 255	1.3	34.5	10.9	4
3 SO 9F0 05-09-08	31	24	9 964	2 367	1.8	32.5	7.7	6

R : zone de repos; D : zone de déjection; sup. : moitié supérieure de la litière; inf. : moitié inférieure. Le niveau n'est pas indiqué quand l'échantillon est pris sur toute la profondeur.

Annexe 9 - Variabilité des teneurs des échantillons de litière analysés en triplicata

Bloc	N _{tot.}	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Litière	-----CV (%) des teneurs (en g/kg, b.h.) analysées en triplicata -----													
1 BS	14		87	8	5	6	2	13	52	20	16	1	9	58
2 BS	29		154	26	6	21	12	8	21	26	38	6	10	8
3 BS	5		115	11	2	18	14	16	14	17	13	9	7	12
2 BL	2	6	8	5	7	4	0	13	12	5	9	9	13	22
2 SE	3	2	9	29	23	14	14	21	44	4	14	2	20	41
3 OR	2	2	2	6	3	2	6	24	49	17	27	6	55	4
3 AV	7	5	8	14	2	6	7	19	31	12	22	11	44	14
1 SO	6	34	1	7	5	6	8	3	6	7	3	5	21	4
3 SO	18	14	13	25	7	2	3	8	14	17	11	7	19	7

Annexe 10 - Variabilité des teneurs des échantillons de fumier analysés en triplicata

Bloc	N _{tot.}	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Fumier	-----CV (%) des teneurs (en g/kg, b.h.) analysées en triplicata -----													
1 BS		1	18	4	2	17	3	3	17	2	4	2	2	2
2 BS	4	1	3	6	1	1	6	9	15	8	7	6	8	1
3 BS	7	1	1	10	3	18	10	18	20	8	3	5	9	3
2 BL	4	2	15	20	1	11	22	4	14	5	7	14	9	1
2 SE	1	2	5	15	1	6	11	48	11	1	47	17	5	2
3 OR	6	20	13	12	2	21	10	19	5	14	17	19	15	3
3 AV	8	10	7	13	2	16	14	20	4	8	16	7	15	2
1 SO	5	7	12											
3 SO	9	1	4	22	1	15	16	9	8	24	8	17	23	1