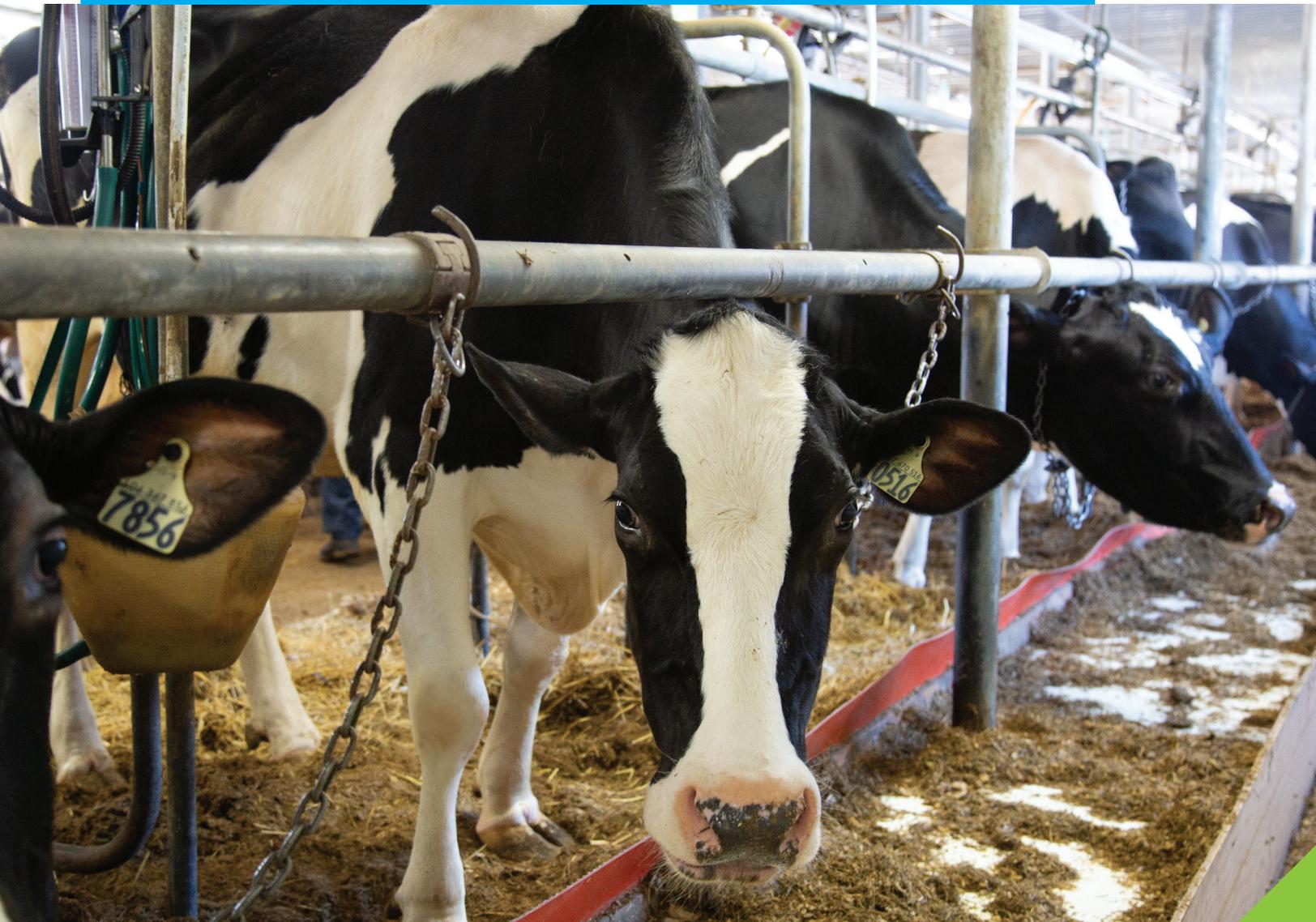


LITIÈRE RECYCLÉE EN PRODUCTION LAITIÈRE

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET BALISES



Ce document a été rédigé dans le cadre du projet de recherche « Développement de stratégies optimales pour l'utilisation de litières à base de fumier en production laitière » financé par Agriculture et Agroalimentaire Canada (Programme canadien d'adaptation agricole, 2014-2019).

Réalisé en partenariat avec plusieurs instituts universitaires¹ et centres de recherche², le projet visait à déterminer les meilleures pratiques pour fabriquer de la litière recyclée et l'utiliser en production laitière, tenant compte de la santé des travailleurs et des animaux. Les travaux, s'échelonnant de 2016 à 2019, ont été réalisés sur le site du Centre de recherche en science animale de Deschambault (CRSAD, Québec, Canada). Divers aspects entourant la fabrication et la gestion de la litière recyclée ont été étudiés, notamment : la comparaison des équipements de séparation, les techniques de conditionnement de la phase solide, l'application de la litière sous les

vaches, l'identification d'indicateurs de contrôle (mécaniques, physico-chimiques, microbiologiques et comportemental), l'évaluation des propriétés agronomiques des fractions solides et liquides, l'évaluation économique, ainsi que les facteurs socio-technico-économiques déterminants dans l'adoption de nouvelles pratiques en matière de litière.

Basé sur l'expertise ainsi développée, le présent document comprend trois parties à portée distincte :

- 1. Généralités** : Contexte, définitions et principe général entourant la litière de fumier recyclée.
- 2. État des connaissances** : Connaissances à jour autant de la littérature que des résultats du projet de recherche.
- 3. Balises** : Conclusions, recommandations et valeurs encadrant la pratique.

¹ Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec, Université Laval, Université de Montréal, Université du Québec à Rimouski

² Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Centre de recherche en sciences animales de Deschambault



À LA MÉMOIRE DE ALAIN FOURNIER, AGR.

M. Fournier a été l'instigateur du projet et a regroupé les experts qui ont été impliqués à différents niveaux. Visionnaire, Alain avait un dévouement sans borne pour l'agriculture du Québec. Le présent document lui est dédié, espérant que le milieu agricole québécois se souviendra longtemps de lui. Merci Alain.

Liste des illustrations	iv
Liste des tableaux	iv
Généralités	2
Programme pancanadien des Producteurs laitiers du Canada	2
Bien-être animal	2
Intérêt de la litière	2
Les litières	3
Types de matériaux.....	3
Critères de sélection	3
La litière de fumier recyclée	4
Processus de fabrication.....	5
La séparation	6
Le conditionnement.....	7
L'application de la litière	8
 Partie 2 – État des connaissances	
Qualité microbiologique de la litière	10
Les microorganismes	10
Impact de la séparation	10
Effets du conditionnement.....	11
Impact de l'épaisseur	12
Dangereux pour ma santé?	13
Le confort et la santé des vaches	15
Type et surface de stalle	16
Temps de repos, blessures, boiterie et propreté.....	16
Points à retenir	17
Santé mammaire.....	20

... suite

Analyse économique de la substitution de la paille par la litière recyclée	21
Coût de la litière recyclée	21
Coût de la paille.....	22
Seuil de rentabilité	22
Résultats de l'étude	23
En bref.....	24
Intérêt agronomique : la fraction liquide	25
Propriétés physico-chimiques	25
Valeur fertilisante	26
Santé des sols	26
Et l'environnement dans tout ça?	27
L'agriculture, source importante d'émissions de GES et de polluants	27
Analyse environnementale.....	27
Émissions de GES et d'ammoniac au bâtiment.....	28
Perception et expériences des agriculteurs	29
Un changement majeur	29
Maîtriser l'humidité.....	29
Contrôler les bactéries.....	30
Un lit douillet	30
L'injonction du bien-être animal	31
Tension entre confort et santé animale.....	31
Encore plusieurs questions.....	32
Partie 3 – Balises entourant la pratique	
Gestion des risques	34
Réduction de la teneur en eau.....	34
Réduction de la charge microbienne.....	35
Stabilisation de la matière organique	36
Outils de contrôle de qualité de la litière	36
Références	37

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Étapes de la production d'une litière de fumier recyclé.....	5
Figure 2 : Exemples de séparateur à vis (a), à rouleaux (b) et centrifuge (c)	6
Figure 3 : Points à retenir – Procédés physiques pour concentrer les résidus solides.....	17
Figure 4 : Points à retenir – Processus de conditionnement dans la fabrication de la LFR	17
Figure 5 : Points à retenir – Application de la LFR.....	18
Figure 6 : Points à retenir – Fertilisation avec la fraction liquide issue de la fabrication de la LFR	18
Figure 7 : Proportion des observations pour lesquelles les vaches ont été classifiées comme sales (% des observations effectuées)	19
Figure 8 : Mesure de la en matière sèche (appareil Koster®).....	36
Figure 9 : Mesure de la température : a) cadran, b) digital	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Risque d'exposition aux contaminants de l'air selon la méthode de compostage	14
Tableau 2 : Informations pour le calcul du coût de la litière recyclée.....	21
Tableau 3 : Coût total annuel par vache de l'utilisation de la litière recyclée selon le séparateur utilisé.....	23
Tableau 4 : Évaluation du gain ou de la perte générée(e) par la substitution de la paille par la litière recyclée	23
Tableau 5 : Analyse de sensibilité du seuil de rentabilité de la substitution de la paille par la litière recyclée selon la variation du prix d'achat de la paille.....	24
Tableau 6 : Ratios C/N, (N-NH ₄ +N-NO ₃)/NTK, N/P et K/(Ca + Mg) de la fraction liquide à l'effluent de la centrifugeuse (C), de la presse à rouleaux (PR) et de la presse à vis (PV).....	25
Tableau 7 : Coefficient d'efficacité de N, contenu en N, P ₂ O ₅ et K ₂ O, taux d'application de N efficace et K ₂ O pour 40 kg de P ₂ O ₅ de la fraction liquide à l'effluent de la centrifugeuse (C), la presse à rouleaux (PR) et à vis (PV).....	25
Tableau 8 : Émissions des deux scénarios à l'étude	28



PARTIE 1

GÉNÉRALITÉS

CONTEXTE

LES LITIÈRES

PROCESSUS DE FABRICATION

L'APPLICATION DE LA LITIÈRE

LITIÈRE

Définition La litière consiste en un lit de paille ou d'autres matières végétales, souple, isolant et absorbant, qu'on étend dans les bâtiments d'élevage pour servir de couche aux animaux (Larousse, 2019).

En agriculture, elle est couramment employée pour différents types d'animaux d'élevage comme les bovins laitiers, les chèvres, les moutons, la volaille et dans certains élevages porcins alternatifs.

GÉNÉRALITÉS

PROGRAMME PANCANADIEN DES PRODUCTEURS LAITIERS DU CANADA

Au Canada, l'industrie laitière dispose d'un Code de bonnes pratiques pour le soin et la manipulation des bovins laitiers (CNSAE, 2009) et d'un programme d'évaluation du bien-être des animaux à la ferme qui préconisent tous deux fortement l'utilisation de litière. Dans le Code de pratiques, il est convenu que la plupart des étables prévoient des logettes qui contiennent une litière offrant une surface sèche, isolante et moelleuse, favorisant le repos, le confort et l'adoption de postures naturelles. **ProAction® est le programme de certification obligatoire pancanadien initié par les Producteurs laitiers du Canada** dont l'un des six volets principaux porte sur le bien-être des animaux. L'un des principes généraux de ce volet veut que :

« [...] le logement des vaches soit conçu et entretenu de façon à assurer le confort et la santé des animaux. La propreté des animaux témoigne de la propreté des lieux, qui contribue à la santé du pis et à des comptes de cellules somatiques plus bas ».

BIEN-ÊTRE ANIMAL

Au-delà du programme de certification pancanadien, l'utilisation de la litière est compatible avec au moins trois des Cinq Libertés définissant le bien-être animal du *Farm Animal Welfare Council*. **Une bonne litière procure du confort, réduit le risque de blessures et peut permettre l'expression de comportements naturels propres à l'espèce.** De nombreuses études nord-américaines ont aussi démontré l'importance d'utiliser une quantité suffisante de litière sèche pour le logement des vaches quel que soit le revêtement de sol afin de favoriser le temps de repos et limiter les risques de blessures et de boiterie.

INTÉRÊT DE LA LITIÈRE

Les rôles de la litière utilisée pour le logement des vaches laitières sont multiples :

- Assurer le **confort** et la **propreté** des animaux.
- Absorber et **retenir l'urine** des animaux.
- **Diminuer l'humidité.**
- **Diminuer la friction** sans empêcher la traction.
- Améliorer la **mollesse** de la surface de la stalle.

LES LITIÈRES

TYPES DE MATÉRIAUX

Il existe **plusieurs types de litière** pouvant être utilisés par un producteur dans son exploitation laitière, soit la paille de céréales, les copeaux de bois, le panic érigé, la mousse de tourbe, les résidus de culture (lin/maïs/soya/canola), le sable ou le fumier recyclé. Certains types de litière sont meilleurs que d'autres à certains égards, mais **aucun n'est parfait, sous toutes les considérations.**

CRITÈRES DE SÉLECTION

Parmi les caractéristiques attendues d'une litière de qualité, notons : une bonne disponibilité, un coût abordable, peu poussiéreuse, exempte de contaminants, apte à maintenir un bon recouvrement de la stalle et compatible avec les équipements de manutention du fumier.

Lors du **choix de la litière à utiliser**, un producteur doit prendre en considération non seulement les **caractéristiques spécifiques de chaque type de litière**, mais aussi les **contraintes d'utilisation** en fonction des spécificités de sa ferme et de sa gestion d'étable. Par exemple, la quantité de litière requise varie selon le type de litière utilisée, la fréquence de distribution et la surface de base.

PLUS LA SURFACE EST DURE, PLUS LA QUANTITÉ DE LITIÈRE NÉCESSAIRE SERA IMPORTANTE. DU POINT DE VUE DU CONFORT, IL N'Y A JAMAIS TROP DE LITIÈRE.

Selon des études récentes, la paille et les copeaux de bois sont deux des types de litière les plus utilisés au Canada. Leur disponibilité et leur coût au cours des dernières années ont cependant amené certains producteurs à explorer l'utilisation de **litières alternatives**, telle la litière de fumier recyclée.



LA LITIÈRE DE FUMIER RECYCLÉE

Parmi les litières alternatives, la **litière de fumier recyclé (LFR)** a suscité l'intérêt de nombreux producteurs grâce à sa disponibilité théoriquement sans limite et la possibilité de la produire directement à la ferme, autant pour des étables à stabulation libre qu'à stabulation entravée.

LITIÈRE DE FUMIER RECYCLÉ

Définition Le terme « litière de fumier recyclé » (LFR) peut englober les produits préparés à partir de fumier par une variété de procédés différents, généralement commençant par la séparation physique d'une fraction solide (bien que dans le cas de digestats issus de la biométhanisation, la séparation peut suivre la digestion).

Les propriétés de la LFR seront influencées par la méthode de préparation. Dans le présent document, le terme « litière de fumier recyclé » est généralement utilisé pour désigner des produits qui ont subi une séparation physique suivie d'un conditionnement visant à réduire la charge microbienne pour limiter la présence d'agents pathogènes et à augmenter le contenu en matière sèche. Malheureusement, une définition claire n'est pas toujours fournie dans les différents documents traitant de la LFR, ce qui conduit à une certaine ambiguïté.

La LFR est **compatible avec les systèmes de gestion des fumiers** puisqu'elle est fabriquée à partir du fumier récolté dans le même établissement qu'elle est utilisée. La fraction solide du fumier utilisée pour fabriquer la LFR se compose principalement de fibres non digérées par les vaches, d'aliments non consommés par les animaux et de litière provenant des parcs de vêlage et des sujets de remplacement. Lorsqu'elle est adéquatement fabriquée et utilisée dans l'étable, la LFR possède plusieurs attributs physiques attendus d'une litière comme l'amélioration du confort et de la propreté des vaches. Elle est non abrasive et facilement disponible. De plus, la fraction liquide engendrée par la séparation peut être entreposée et utilisée comme fertilisant organique sur les champs en culture.



Parmi les caractéristiques attendues d'une litière de qualité, notons : une bonne disponibilité, un coût abordable, peu poussiéreuse, exempte de contaminants, apte à maintenir un bon recouvrement de la stallé et compatible avec les équipements de manutention du fumier.

PROCESSUS DE FABRICATION

De façon générale, mais non exclusive, le processus de fabrication comprend **deux étapes maîtresses**, soit 1) la **séparation solide-liquide** et 2) le **conditionnement** (Figure 1). La première permet de concentrer les résidus solides, alors que la seconde permet une hygiénisation partielle et une réduction de la teneur en eau afin de stabiliser davantage le produit.



FIGURE 1. Étapes de la production d'une litière de fumier recyclé

LA SÉPARATION

La séparation solide-liquide en vue de la production de fumier recyclé peut s'effectuer mécaniquement à l'aide de différents types d'équipement :

- Les séparateurs à **tamis** (stationnaires, vibrants ou rotatifs).
- Les séparateurs à **pression** (à vis ou à rouleaux).
- Les séparateurs **centrifuges**.

Les premiers sont très répandus, mais peu utilisés en production laitière canadienne étant donné leur propension à colmater en climat nordique avec un lisier à teneur élevée en matière sèche. Les séparateurs à vis, à rouleaux et centrifuges (Figure 2) obtiennent de leur côté des efficacités de séparation satisfaisantes avec le fumier de bovins laitiers. Cependant, la faible capacité de traitement des lisiers des séparateurs centrifuges, en tenant compte de leur coût d'achat et de leur consommation énergétique, en fait une option peu courante. Le choix entre les séparateurs à vis et à rouleaux dépend des objectifs du producteur en termes de **capacité de traitement**, de **types d'intrant** et des **caractéristiques désirées pour le fumier recyclé**.

Pour la production d'une litière de qualité comportant le moins de risques possibles pour la santé des animaux, il est de plus important de surveiller le **taux de matière sèche** et la **granulométrie** de la fraction solide séparée.

Un faible taux de matière sèche, et donc un taux élevé d'humidité, a tendance à promouvoir la croissance bactérienne et augmenter la présence des agents pathogènes. Un produit composé d'un important pourcentage de particules fines se compacte facilement dans la logette et retient davantage l'humidité. Il est ainsi recommandé de privilégier une litière contenant plus de 34 % de matière sèche et limitant la présence de particules d'un diamètre inférieur à 1 mm (Fournel *et al.*, 2019a).

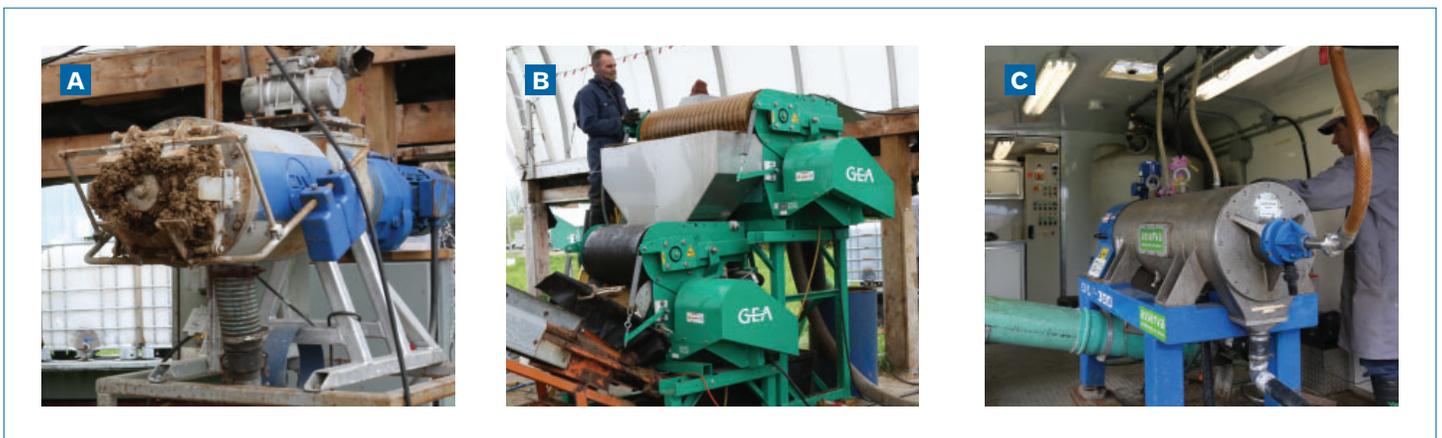


FIGURE 2. Exemples de séparateurs à vis (A), à rouleaux (B) et centrifuge (C)

LE CONDITIONNEMENT

Après la séparation, le conditionnement de la fraction solide résultante est la seconde étape dans le processus de fabrication de litière recyclée.

CONDITIONNEMENT

Définition Dans le présent document, le terme conditionnement désigne l'ensemble des opérations pour le traitement aérobie de la fraction solide du fumier incluant une phase thermophile à des températures supérieure à 55°C résultant d'une activité microbienne intense et permettant de produire une matière partiellement asséchée et hygiénisée.

À l'instar de nombreux matériaux organiques comme les pailles et les résidus de bois utilisés comme litière, la fraction solide contient de grandes quantités de microorganismes dont certains sont des agents pathogènes indésirables. Un conditionnement permet de réduire la charge microbienne ainsi que la teneur en agents pathogènes initialement présente dans la fraction solide. De plus, la chaleur générée par l'activité microbienne favorise la réduction de la teneur en eau de la matière.

Le conditionnement avec élévation de la température peut être réalisé à l'aide de processus biologiques aérobies qui s'apparentent aux procédés de compostage. Ils peuvent être regroupés en deux grandes catégories :

- Les **piles** et **andains** aérés par retournements mécaniques ou statiques avec aération forcée.
- Les **enceintes fermées** aérées (bioréacteur) en continu ou en lots, dont :
 - les cylindres rotatifs (« drum composting »);
 - les conteneurs fermés (« in-vessel »);
 - les silos horizontaux avec retournements mécanisés.

La production d'une litière aux caractéristiques constantes à l'année exige un suivi rigoureux des procédures de conditionnement et des paramètres d'opération qui est facilité par l'implantation de procédés mécaniques automatisés. Les piles et andains retournés mécaniquement exigent plus de manipulations et de temps ainsi qu'une discipline rigoureuse. Ainsi, les **techniques de conditionnement en enceintes fermées, ventilées et isolées, apparaissent particulièrement intéressantes car elles permettent un contrôle rigoureux des paramètres de conditionnement.**

L'utilisation de procédé de conditionnement mécanisé et automatisé de la fraction solide s'inscrit dans une optique de bonne gestion des risques en favorisant l'obtention d'un traitement thermophile uniforme et la production à l'année, d'une matière de qualité constante.

L'APPLICATION DE LA LITIÈRE

Une fois conditionnée, la litière est appliquée sous les vaches de façon manuelle ou mécanique en fonction de la taille du troupeau. Les quantités appliquées par jour et par vache peuvent varier beaucoup en fonction de la régie du producteur. Compte tenu des grandes différences de la valeur de la masse volumique entre les différentes litières, les quantités journalières à ajouter par vache ne peuvent être transposées d'une régie à une autre. Il en est de même pour l'épaisseur.

Par conséquent, les quantités à ajouter peuvent varier de 10 à 40 kg par jour et l'épaisseur de LFR sous les vaches de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres. La masse volumique de cette dernière étant approximativement de 340 kg/m³, le volume de litière peut donc varier de 29 à 118 litres par jour par vache.

Les quantités à ajouter dépendent donc de la régie et du confort recherché pour les vaches ainsi que des performances de production obtenue. De façon générale, la LFR n'est pas utilisée dans les parcs de vêlage ni sous les sujets de remplacement.

GESTION DE LA LITIÈRE

En matière de gestion des risques liés à la santé animale et à l'incidence de cas de mammites, il est reconnu que la gestion de la litière à l'étable et sous les animaux est un élément tout aussi important que la qualité initiale de la matière utilisée comme litière. La raison étant qu'après 24 heures, toutes les litières, aussi propres soient-elles à l'application, deviennent rapidement souillées par les déjections de l'animal. Pour cette même raison, on recherchera une matière et un environnement qui ne favorise pas le développement microbien dans la litière sous les animaux.





PARTIE 2

ÉTAT DES CONNAISSANCES

QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DE LA LITIÈRE

DANGEREUX POUR MA SANTÉ ?

LE CONFORT ET LA SANTÉ DES VACHES

SANTÉ MAMMAIRE

ANALYSE ÉCONOMIQUE DE LA SUBSTITUTION DE LA PAILLE PAR LA LITIÈRE RECYCLÉE EN PRODUCTION LAITIÈRE

INTÉRÊT AGRONOMIQUE : LA FRACTION LIQUIDE

ET L'ENVIRONNEMENT DANS TOUT CELA ?

PERCEPTION ET EXPÉRIENCES DES AGRICULTEURS

QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DE LA LITIÈRE

Les matériaux utilisés comme litière, que ce soit le fumier recyclé ou d'autres intrants, peuvent contenir des microorganismes potentiellement pathogènes pour l'humain et les animaux. La présence de ceux-ci dans l'environnement des vaches peut augmenter l'incidence de maladies telles que les mammites. Afin de minimiser les risques, il est primordial de connaître la dynamique des populations microbiennes au cours des différentes étapes de gestion de la litière de fumier recyclé. Il faut aussi connaître le potentiel des différents types de litières à supporter la croissance des microorganismes suivant la contamination provenant de l'élevage. Pour ce faire, des échantillons de différentes matrices (lisiers, fractions liquides et solides, LFR) ont été prélevés à toutes les phases du projet pour y dénombrer les populations de cinq types de microorganismes indicateurs de la flore intestinale bovine et de la présence possible d'agents pathogènes humains et animaux.

LES MICROORGANISMES

Puisqu'il existe plusieurs types de microorganismes pathogènes, il serait très fastidieux et coûteux de vérifier la présence de chacun d'eux dans les matières fécales des vaches ou la litière. Durant l'étude réalisée à la ferme expérimentale de Deschambault en 2017 et 2018, les populations des **microorganismes indicateurs** suivants ont été suivies dans le lisier brut et les litières : *Escherichia coli* (*E. coli*), *Klebsiella* spp., *Enterococcus* spp., *Streptococcus* spp. et *Staphylococcus* spp. Ceux-ci font partie de la flore intestinale normale des bovins, mais certains sous-types peuvent entraîner des problèmes de santé animale ou humaine s'ils sont en quantité suffisante pour causer l'infection.

IMPACT DE LA SÉPARATION

La séparation des phases liquide et solide du lisier est la première étape de traitement de la litière. En général, les microorganismes s'associent aux particules solides dans leur milieu, mais plusieurs paramètres influencent leur propension à rejoindre l'une ou l'autre des matrices. La première étape de l'étude consistait donc à comparer **trois méthodes de séparation du lisier brut**, soit le séparateur à vis, le séparateur à rouleaux, ainsi que la centrifugeuse. Les populations des microorganismes indicateurs ont été dénombrées dans les fractions liquides et solides issues de chaque méthode de séparation.

Dans les conditions de l'étude, les fractions solides issues du même lisier brut présentaient un contenu en microorganismes indicateurs similaires, soit entre 10 000 et 100 000 UFC/g pour *E. coli* et *Klebsiella* et entre 1 000 000 et 10 000 000 UFC/g pour les trois autres types de bactéries (Fournel et al., 2019a). Peu importe la technique, la séparation n'a pas eu d'effet sur la distribution des microorganismes entre les phases.

EFFETS DU CONDITIONNEMENT

Dans la seconde étape du projet, l'impact de quatre méthodes de conditionnement de la fraction solide a été évalué en conditions expérimentales, soit : 1) amas statique (non retourné) pendant 10 jours; 2) amas retourné quotidiennement sur une période de 10 jours; 3) 24 heures de traitement en composteur rotatif suivi d'un entreposage en amas statique pendant 10 jours; 4) 72 heures de traitement en composteur rotatif suivi d'un entreposage en amas statique pendant 10 jours. Le passage au composteur rotatif durant 24 heures a entraîné une réduction des populations d'*E. coli* et de *Klebsiella* de 74 % et de 43 %, respectivement. Les populations sont demeurées stables durant les 10 jours d'entreposage qui ont suivi.

Dans les conditions de l'étude, un passage de 24 heures au composteur rotatif a mené à des populations de microorganismes indicateurs comparables à celles résultant d'un entreposage de 10 jours en amas retourné ou non.

En effet, alors que les populations des microorganismes indicateurs sont demeurées stables au cours de l'entreposage suivant un compostage de 24 heures, elles ont augmenté à la suite du compostage de 72 heures.

Il est important de noter que le volume de l'amas peut se répercuter sur le potentiel d'assainissement. Par conséquent, ces résultats doivent être validés à l'échelle de la ferme.

L'étude n'a pas révélé d'avantages à augmenter le temps de séjour dans le composteur rotatif de 24 à 72 heures.



IMPACT DE L'ÉPAISSEUR

Dans la troisième phase du projet, deux épaisseurs de LFR (5 et 15 cm) ont été comparées à une étable comportant de la litière de paille durant 21 jours. Avant son introduction dans l'étable, la litière recyclée était préalablement traitée 24 h au composteur rotatif. Des échantillons de litières propres et souillées ont été prélevés à six reprises durant l'essai pour le dénombrement des populations de bactéries indicatrices. De plus, certains microorganismes potentiellement pathogènes ont été suivis, soit les populations de *Streptococcus agalactiae* et de *Staphylococcus aureus*, ainsi que la présence de *Salmonella* spp.

Les matières fécales fraîches des vaches utilisées pour l'étude avaient un contenu respectif en *E. coli*, *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp. et *Enterococcus* spp. d'environ 10 000, 12 500, 2 500, et 12 500 UFC/g de matière sèche.

Avant leur introduction sous les animaux, la paille et la litière recyclée avaient un contenu similaire en *Klebsiella* spp. et en entérocoques. Les populations d'*E. coli* et de *Staphylococcus* spp. étaient supérieures dans la litière recyclée comparativement à la paille, alors que la paille présentait plus de *Streptococcus* spp. que la litière recyclée.

Les populations de *Klebsiella* spp. étaient aussi inférieures dans la litière de paille (environ 6 600 000 UFC/g de matière sèche) par rapport à la litière recyclée (environ 70 800 000 UFC/g de matière sèche).

Les litières souillées prélevées sous les vaches avaient un contenu similaire en *E. coli*, *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp. et *Enterococcus* spp. se situant respectivement à environ 1 000 000, 100 000 000, 27 500 000 et 8 000 000 UFC/g de matière sèche et ce, peu importe l'épaisseur de la litière recyclée.

Les matériaux utilisés comme litière peuvent présenter un contenu élevé en certains microorganismes indicateurs ou potentiellement pathogènes et ce, avant même leur introduction sous les animaux. À ce bruit de fond s'ajoute par la suite la contamination fécale provenant de l'élevage. Les conditions environnementales (ex. température et humidité) qui règnent au sein même de la litière font en sorte que certains types de microorganismes bénéfiques ou nuisibles seront favorisés selon les conditions qui leur sont favorables. À titre d'exemple, les *Staphylococcus* spp. sont particulièrement résistantes à la sécheresse et leur survie est favorisée par le matériel organique. D'autre part, les propriétés physico-chimiques de la litière (ex. éléments nutritifs et pH) favoriseront ou non la persistance, voire la prolifération, de certains types de microorganismes.

DANGEREUX POUR MA SANTÉ?

Les producteurs laitiers sont exposés à d'importantes quantités de particules organiques dans l'air, appelées bioaérosols, relâchées principalement lors de la distribution de la nourriture et de la litière aux vaches (Kullman et al., 1998). Les bioaérosols peuvent être composés de microorganismes, vivants ou morts, mais également de fragments de cellules de plantes ou d'animaux (Donham, 1986). Puisque les fermes laitières sont des bâtiments fermés, les bioaérosols se concentrent dans l'environnement de travail des producteurs et peuvent représenter un risque pour leur santé respiratoire (Donham, 1986; Schenker et al., 1998).

Lors de l'utilisation de litière de fumier recyclé, la qualité de l'air dans la ferme varie selon la méthode de compostage employée (Tableau 1). En effet, un compostage de 72 heures en composteur rotatif augmente la quantité de poussières dans l'air lors de la manipulation de la litière, ainsi que le nombre de bactéries et de moisissures pouvant être inhalées. À l'inverse, un compostage statique ou retourné quotidiennement semble représenter le moins de risques pour la santé respiratoire des producteurs. Il est à noter qu'aucune concentration de poussières dans l'air ne dépassait les valeurs limites d'exposition (VLE) recommandées lors de la manipulation des litières compostées. Par contre, lors de la manipulation de la litière de fumier recyclé les concentrations en bactéries et moisissures excédaient les VLE lors d'un compostage pendant 72 heures (composteur rotatif) (Fournel et al., 2019b).

La qualité de l'air a été évaluée par le biais des quantités de poussières, de bactéries et de moisissures. Un compteur DustTrak™ DRX Aerosol Monitor (TSI) a mesuré en temps réel les poussières. Les bactéries et les moisissures ont été aspirées et impactées dans une solution à l'aide d'un échantillonneur Coriolisµ Biological Air Sampler (Bertin Corp.). La solution a ensuite été étalée sur des milieux de culture afin de faire croître les bactéries et les moisissures. Les concentrations de poussières, de bactéries et de moisissures ont été comparées aux valeurs limites d'exposition imposées par Loi sur la santé et la sécurité du travail du Gouvernement du Québec (10 mg/m³ poussières) ou suggérées dans la littérature scientifique (10⁴ UFC/m³ bactéries, 5×10⁴ UFC/m³ moisissures).



De plus, la qualité de l'air varie selon la méthode d'épandage utilisée. Les méthodes impliquant de la machinerie comme un hachoir à paille ou un convoyeur génèrent beaucoup de bioaérosols, contrairement aux méthodes manuelles. La quantité de poussières est d'autant plus élevée lors de la saison froide. Effectivement, le taux de changement d'air plus faible dans la ferme concentre les bioaérosols à l'intérieur.

Il est recommandé aux producteurs laitiers de porter un masque efficace contre les particules grossières et plus fines lors de l'épandage de la litière, peu importe la saison ou la méthode utilisée.

TABLEAU 1. Risque d'exposition aux contaminants de l'air selon la méthode de compostage

PARAMÈTRE DE QUALITÉ DE L'AIR	RISQUE LORS DE LA MANIPULATION		RISQUE LORS DE L'ENTREPOSAGE	
	Le plus faible	Le plus élevé	Le plus faible	Le plus élevé
Poussières	TW ¹	DC72 ²	DC72	SW ³
Bactéries	SW	DC72 [*]	SW	DC72
Moisissures	TW	DC72 [*]	TW	DC72

¹ TW = Compostage statique retourné quotidiennement

² DC72 = Compostage 72 h en composteur rotatif

³ SW = Compostage statique

^{*} Dépassement des valeurs limites d'exposition recommandées



LE CONFORT ET LA SANTÉ DES VACHES

L'effet de la LFR sur le confort des vaches gardées en stabulation entravée a été étudié lors d'une expérience en chassé-croisé à trois traitements : paille hachée 5 cm, LFR 5 cm, LFR 15 cm. Au total, 18 vaches ont passé 3 semaines sur chacun des traitements de litière durant l'hiver 2018. La qualité de la surface des stalles (propreté, épaisseur, humidité) ainsi que la propreté, le temps passé « couché », les blessures et les boiteries des animaux ont été suivis afin de comparer les 3 traitements de litières. Le niveau de production, la qualité du lait et l'incidence de mammite ont aussi été recueillis durant l'expérience (voir aussi la section « Santé mammaire »).

Maximiser le confort des animaux afin d'améliorer leur bien-être, santé et productivité est un concept largement accepté dans l'industrie laitière. Le type, la qualité, la quantité et la gestion de la litière utilisée pour les vaches sont des éléments pouvant affecter le confort et la santé des animaux au quotidien. Effectivement, ils peuvent influencer le temps de repos et la propreté des animaux ainsi que les risques de blessures, de boiterie et de maladies. Lors de l'évaluation d'une litière, l'état de la surface de la stalle, le temps de repos des animaux ainsi que leur état physique et leur santé mammaire devraient être pris en compte.

La très grande majorité des études visant l'utilisation de la litière de fumier recyclé ont été faites dans des systèmes d'élevage à stabulation libre. Lors de la création du présent guide, une courte étude ayant pour but d'évaluer l'impact de l'utilisation de la litière à base de fumier recyclé sur le confort des vaches en stabulation entravée a été effectuée. Les informations présentées dans cette section sont donc tirées de la littérature scientifique récente et des résultats de cette étude.



TYPE ET SURFACE DE STALLE

Le type de stalle utilisé (litière profonde vs litière de couverture sur un tapis ou un matelas) peut influencer les types d'agents pathogènes présents à la surface de la stalle (en contact avec les trayons), mais aucune association n'a été démontrée avec la prévalence des mammites (Rowbotham et Ruegg, 2016a; 2016b). La quantité et la fréquence d'application de la litière influencent le taux de recouvrement, la compressibilité et le taux d'humidité de la surface de la stalle. Ces éléments influencent aussi le confort des animaux.

- Viser un recouvrement complet de la surface de la stalle par la litière en tout temps afin d'éviter le frottement aux genoux et jarrets avec une surface abrasive.
- Maintenir une épaisseur de litière minimale de 5 cm (2 pouces) en stabulation entravée permet d'assurer le recouvrement complet et une certaine mollesse de la surface.
- La fréquence d'ajout de litière doit être ajustée en fonction du type de stalle utilisé, de la quantité de litière distribuée et de la qualité de la litière (% matière sèche). L'ajout fréquent de litière de fumier recyclé fraîche à faible taux de matière sèche peut augmenter l'humidité de la stalle, surtout en condition de litière profonde.
- En stabulation entravée, un ajout minimum de 20 kg de litière par jour est nécessaire afin de conserver une épaisseur de litière de 10 cm, hauteur qui semble être un bon compromis entre confort animal et aisance de gestion quotidienne.
- La présence d'excréments dans la stalle est un point d'inconfort pour les vaches. L'entretien des stalles devrait être effectué au moins deux fois par jour. Une fréquence d'entretien plus élevée peut aider à augmenter la propreté et le confort des vaches.

TEMPS DE REPOS, BLESSURES, BOITERIE ET PROPRETÉ

Selon la littérature récente, le temps de repos quotidien adéquat pour des vaches laitières se situe entre 11 et 14 heures en fonction du stade de lactation et du type de stabulation utilisé (Solano et al., 2016; Charlton et al., 2016). Lorsque le temps de repos des vaches laitières est insuffisant, leurs performances laitières en sont affectées.

Une aire de couchage offrant un confort adéquat, incluant une litière sèche, absorbante et moelleuse, favorise le temps de repos des vaches et minimise les risques de blessures et de boiterie. Les vaches gardées sur la litière de fumier recyclé peuvent avoir un temps de repos équivalent à celles gardées sur d'autres types de litière.

La propreté des vaches est un indicateur de bien-être des animaux et est liée entre autres à l'hygiène des conditions d'élevage. Le code de pratique demande d'utiliser un matériau de litière adapté pour maintenir les conditions sanitaires des installations fréquentées par les vaches et de retirer le fumier fréquemment afin de maximiser la propreté des animaux (CNSAE, 2009). La quantité et la qualité de la litière utilisée peuvent influencer la propreté des animaux et l'aisance de gestion quotidienne à l'étable.

... suite à la page 19

POINTS À RETENIR

La fraction solide se compose de fibres non digérées, d'aliments non consommés, de litière des parcs de vêlage, etc. Elle peut contenir des pathogènes responsables de certaines maladies chez la vache.

CRITÈRES DE QUALITÉ

- **Matière sèche > 34 %**
(LFR trop humide favorise la croissance bactérienne)
- **Granulométrie : Limiter particules < 1 mm**
(LFR trop fine favorise la compaction)

4 PROCÉDÉS PHYSIQUES DISPONIBLES

- **Séparateur à tamis**
 - Peu commun, tendance à colmater en climat nordique
- **Presse à vis ou presse à rouleaux**
 - Au choix selon les objectifs : 1) Capacité de traitement / 2) Type d'intrant / 3) Caractéristiques du produit
 - Seuil de rentabilité de remplacement de 6,1 kg à 9,2 kg de paille (prix d'achat de 0,22 \$/kg à 0,15 \$/kg respectivement)
- **Centrifugeuse**
 - Dispendieux (à l'acquisition et en consommation d'énergie)
 - Fraction solide à structure fine
 - Fraction liquide moins intéressante



FIGURE 3. Procédés physiques pour concentrer les résidus solides

Le conditionnement nécessite un suivi rigoureux de la phase thermophile, du temps de résidence, du taux d'aération et de la matière sèche.

3 PROCÉDÉS BIOLOGIQUES AÉROBES

- **Andains retournés mécaniquement**
 - **> 55°C, minimum 15 jours avec 5 retournements**
 - Exigent plus de manipulations et de temps
 - Moins de risques pour la santé respiratoire : respect des valeurs limites d'exposition (VLE)
- **Piles statiques avec aération forcée**
 - **> 55°C, minimum 3 jours**
 - Moins de risques pour la santé respiratoire : respect des valeurs limites d'exposition (VLE)
- **Enceintes fermées aérées (cylindres rotatifs, conteneurs fermés, silos horizontaux)**
 - **> 55°C, minimum 3 jours**
 - **Isoler pour maintenir la température élevée durant l'hiver**
 - Permettent un contrôle rigoureux des paramètres d'opération, de maintenir une phase thermophile constante et d'obtenir un produit de qualité constante
 - Un temps de résidence de 72 h en cylindre rotatif augmente la quantité de poussières (respect de la valeur limite d'exposition, VLE) et des bactéries et moisissures (dépassement des VLE) pouvant être inhalées lors des manipulations



FIGURE 4. Processus de conditionnement dans la fabrication de la LFR

La **gestion** importe autant que la qualité initiale de la litière.

La **température et l'humidité** et les **caractéristiques de la litière** favoriseront la prolifération de certaines bactéries.

La **propreté des animaux** peut influencer sur la présence de cellules somatiques (Sant'Anna et Paranhos de Costa, 2011).

Un **masque de protection respiratoire** est recommandé pour l'application.

CRITÈRES DE QUALITÉ

- **Surface sèche** et isolante
- **Confort** favorisant le repos et l'adoption de postures naturelles
- **Propreté** favorable à la santé animale

RECOMMANDATIONS ET OBSERVATIONS

- **En général**
 - Recouvrement complet de la surface de la stalle en tout temps
 - Entretien minimum 2 fois par jour
 - La quantité et la fréquence d'application influencent le taux de recouvrement, la compressibilité et le taux d'humidité de la surface de la stalle, en plus du confort
 - Pas de différence observée entre l'incidence des mammites avec la LFR et la paille
 - Propreté moindre au niveau des trayons avec la LFR comparée à la paille
 - Temps de repos (11-14 h) équivalent pour la LFR que pour les autres litières
 - Préférence pour la LFR par les vaches lorsque la température ambiante est plus froide (Adamski *et al.*, 2011)
 - Émissions de gaz à effet de serre au bâtiment plus faibles avec la LFR qu'avec les copeaux de bois
- **Pour les bâtiments avec stabulation entravée**
 - Minimum 5 cm d'épaisseur de LFR
 - Pas de différence de prévalence de blessures et boiteries entre 5-15 cm de LFR et 5 cm de paille hachée sur 3 semaines
 - Onglons plus mous observés sur LFR que sur paille
 - Pas de différence de production laitière avec la LFR et la paille
- **Pour les bâtiments avec stabulation libre**
 - Risques de boiteries et de lésions aux jarrets accrus avec la LFR par rapport à la litière de sable (Adams *et al.*, 2017)
 - Cellules somatiques du réservoir plus nombreuses avec la LFR (Rowbothan et Ruegg, 2015; IRDA)



FIGURE 5. Application de la LFR

EFFET DE LA SÉPARATION SUR LA VALEUR AGRONOMIQUE DE LA FRACTION LIQUIDE

- **Presse à rouleaux**
 - Ratio C/N plus élevé et ratio $(N-NH_4 + N-NO_3)/NTK$ plus faible
 - La balance en carbone permet de mieux préserver la santé et la fertilité des sols
- **Centrifugeuse**
 - Ratio N/P plus élevé. Peut fournir une plus grande part en azote des cultures si l'épandage des fumiers est limité par la concentration en phosphore des sols
 - Risque d'excès en K_2O
 - Le déséquilibre du ratio $K/(Ca + Mg)$ pourrait causer une diminution du prélèvement en Ca et Mg, ce qui pourrait mener à une fièvre titulaire et une tétanie d'herbage si les cultures sont employées pour l'alimentation des vaches
- **Impacts environnementaux**
 - Impact sur l'eutrophisation et l'acidification similaire avec la LFR et la paille
 - Émissions de GES dues à l'entreposage de résidus fertilisants issus d'une gestion avec LFR sont plus faibles par rapport à la paille

FIGURE 6. Fertilisation avec la fraction liquide issue de la fabrication de la LFR

- Lors d'un test de préférence, les vaches ont choisi les stalles recouvertes de litière de fumier recyclé comparativement aux litières de sable, paille et ripe. Cette préférence était d'autant plus marquée lorsque la température ambiante de l'étable était plus froide (Adamski et al., 2011).
- Dans des stabulations libres à litière de fumier recyclé, un temps de repos plus long et une prévalence de boiterie et de blessures plus faibles ont été observés lorsque de la litière profonde était offerte comparativement à une litière peu profonde recouvrant des matelas (Leach et al., 2015; Husfeldt et Endres, 2012).
- En stabulation entravée, nous n'avons pas observé de différence de temps de repos ou de prévalence de blessures et de boiterie lorsque les stalles contenaient 5 ou 15 cm de litière de fumier recyclé ou 5 cm de paille hachée pour 3 semaines. Les vaches gardées sur litière recyclée présentaient cependant des onglons plus mous que celles gardées sur la paille.
- En stabulation entravée, la propreté des animaux gardés sur litière de fumier recyclé était moindre que celle des animaux gardés sur paille, surtout au niveau des trayons (Figure 7). Les vaches gardées sur 15 cm de litière de fumier recyclé étaient généralement plus sales que celles gardées sur 5 cm, probablement dû aux difficultés de garder une surface de couchage sèche avec la litière profonde.

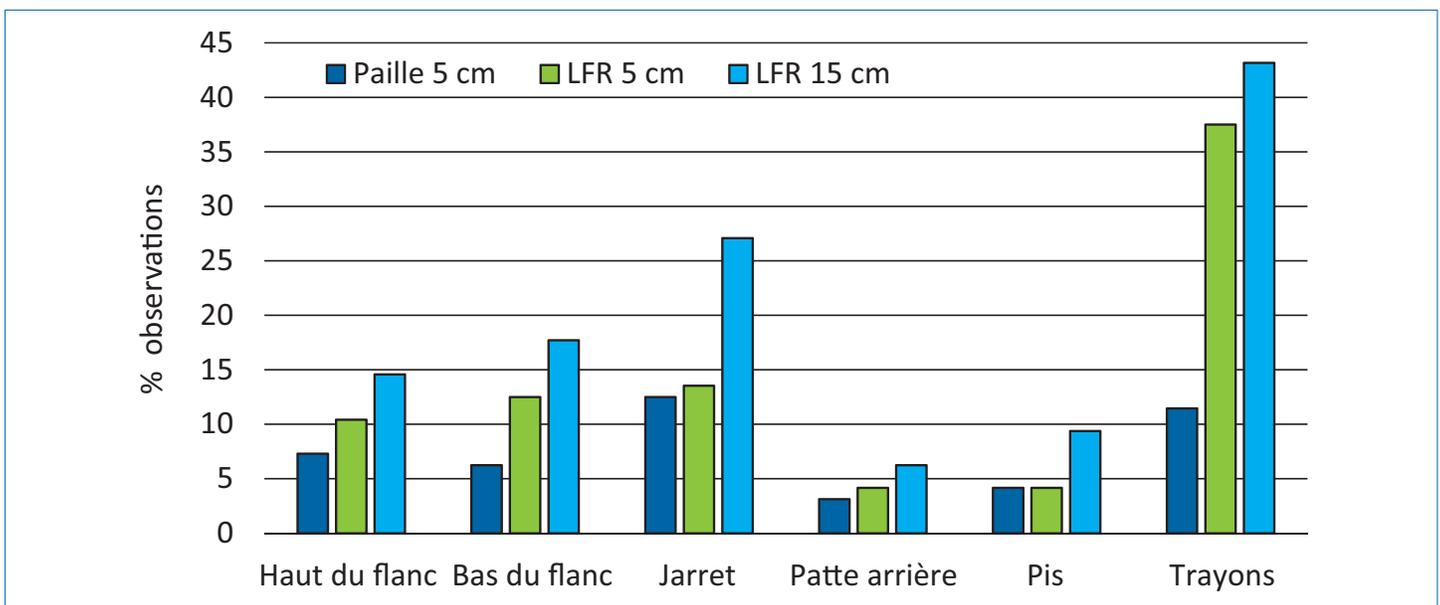


FIGURE 7. Proportion des observations pour lesquelles les vaches ont été classifiées comme sales (% des observations effectuées)

D'un point de vue confort, la litière de fumier recyclé représente une alternative aux litières conventionnelles, elle permet le confort des vaches si sa fabrication et sa gestion dans l'étable sont rigoureuses. La quantité de litière utilisée doit permettre le recouvrement complet de la surface de la stalle afin d'offrir une certaine mollesse. Les producteurs désireux d'utiliser cette litière doivent viser la production d'une litière la moins contaminée possible, avec un taux de matière sèche élevé et assurer la propreté des stalles au quotidien. L'utilisation de la litière de fumier recyclé peut diminuer la propreté des animaux et modifier les risques d'infection mammaires.

SANTÉ MAMMAIRE

Le type de litière et la propreté des animaux peuvent influencer la qualité du lait. En effet, selon la littérature, les vaches plus sales sont à plus haut risque de présenter des comptes de cellules somatiques élevés (Sant'Anna et Paranhos da Costa, 2011). Les observations au cours de l'étude en stabulation entravée ont aussi démontré un compte de cellules somatiques du réservoir plus élevé durant l'année suivant l'introduction de la litière de fumier recyclé comparativement à l'année précédente pendant laquelle de la litière de ripes de bois était utilisée. Durant la présente étude en chassé-croisé, aucune différence significative de production laitière n'a été observée lorsque les vaches étaient gardées sur les différentes épaisseurs de litière de fumier recyclé ou sur la paille hachée.

La présence de bactéries causant la mammites, tel que discuté précédemment dans la section « Qualité microbiologique de la litière », diffère aussi en fonction du type de litière, ce qui impose des pressions d'infection différentes aux vaches.

- En stabulation libre, le compte de cellules somatiques du réservoir à lait est plus élevé pour les fermes qui utilisent de la litière de fumier comparativement à des litières inorganiques (Rowbothan et Ruegg, 2015).
- En stabulation entravée, aucune différence statistique ne fut observée dans l'incidence des mammites cliniques entre la litière de fumier recyclé compostée et la litière de paille. Cependant, toutes les mammites observées durant la période expérimentale (12 semaines) ont eu lieu lorsque les animaux étaient gardés sur la litière de fumier recyclé et certaines ont été causées par *Klebsiella* spp.

Dans l'attente de nouvelles connaissances notamment sur les risques d'incidences de certaines maladies (ex : mammites environnementales) avec la litière de fumier recyclé, le choix d'implanter une étape de conditionnement de la fraction solide préalablement à son emploi s'inscrit dans une optique basée sur la prudence (principe de précaution) et l'acceptabilité de la pratique.



ANALYSE ÉCONOMIQUE DE LA SUBSTITUTION DE LA PAILLE PAR LA LITIÈRE RECYCLÉE

L'analyse économique réalisée dans le cadre de la présente étude, visait à évaluer le seuil de rentabilité de la substitution de la paille par la litière recyclée pour une ferme de taille moyenne optant pour le séparateur à vis ou le séparateur à rouleaux. Ce seuil de rentabilité est mesuré par la quantité de paille appliquée à partir de laquelle sa substitution par la litière recyclée est de coût égal ou moindre.

Pour déterminer le seuil de la rentabilité de la substitution, les coûts annuels par vache de l'utilisation de la litière recyclée et de la paille ont été évalués. L'analyse économique a été faite en considérant une ferme de taille moyenne au Québec, soit 65 vaches. Les sujets de remplacement ne sont pas considérés dans la présente analyse.

COÛT DE LA LITIÈRE RECYCLÉE

Le coût annuel de l'utilisation de la litière recyclée est fonction du coût de possession des équipements et des coûts d'opération (voir Tableau 2). Le coût total annuel de l'utilisation de la litière recyclée CTALR par vache (\$/vache) se calcule ainsi : $CTA_{LR} = (CAPE + CAMO_{LR} + CAE)/65$.

TABLEAU 2. Informations pour le calcul du coût de la litière recyclée

	SÉPARATEUR À VIS	SÉPARATEUR À ROULEAUX
CAPE : Coût annuel de possession des équipements¹		
Acquisition des équipements (\$)	318 000	336 778
Durée de vie des équipements (ans)	15	15
Valeur du bâtiment (\$)	100 000	100 000
Durée de vie du bâtiment (ans)	25	25
CAMO_{LR} : Coût annuel de la main d'œuvre		
Salaire horaire standardisé (\$/h)	18	18
Vérification quotidienne (minutes/jour)	10	5
Vérification hebdomadaire (minutes/semaine)	15	15
Nettoyage mensuel (minutes/mois)	60	15
Maintenance mensuelle (heure/mois)	1	1
Maintenance annuelle (heures/an)	0	2
CAE : Coût annuel de l'électricité²		
Consommation du séparateur (kWh/m ³ litière produite)	0,38	0,13
Consommation du composteur (kWh/jour)	18	18
Litière recyclée pour 65 vaches (m ³ ou kg)	3,8 ou 16,9	4 ou 17,7

¹ Basé sur la méthode DIRTA

² Le coût du kilowattheure au tarif D, en vigueur depuis le 1^{er} avril 2018 est de 0,059\$ pour les 36 premiers kWh et de 0,0912\$ pour l'excédent.

COÛT DE LA PAILLE

Le coût total annuel de la paille est fonction du coût d'achat annuel de la paille et de la main d'œuvre annuelle pour l'application. Le coût total annuel de la paille CTA_{paille} par vache (\$/vache) a été calculé comme suit :

$$CTA_{\text{paille}} = CAA + CAMO_{\text{paille}}$$

CAA : Coût annuel d'achat de la paille

- La quantité de paille à appliquer par vache par jour est classiquement de 3 kg (Adam, 2018). Pour les troupeaux en parc avec litière compostée ou accumulée, la quantité de paille varie entre 6 et 15 kg (Adam, 2018). Pour les calculs de la présente analyse, sachant que 8,33 kg ont été appliqués par vache par jour dans le projet, les quantités considérées sont 3, 6, 8,33 et 15 kg de paille par vache par jour.
- Le prix d'achat de la paille utilisé est de 0,22 \$/kg (un prix moyen pondéré par les quantités déclarées sur le site de transaction Haybec³ entre 2016 et 2018). Les valeurs médiane et moyenne des offres de vente sont de 0,15 \$/kg et la valeur maximale est de 0,26 \$/kg.

CAMO_{paille} : Coût annuel de la main d'œuvre

- Pour un troupeau moyen de 65 vaches, il faut 30 minutes par jour pour appliquer la paille. Le temps d'application ne varie pas selon la quantité de paille appliquée par vache mais plutôt selon la taille du troupeau.

SEUIL DE RENTABILITÉ

Pour qu'un producteur substitue la paille par la litière recyclée, il faudrait que le coût de la paille soit au moins égal au coût de la litière recyclée. Connaissant le coût de la litière recyclée, le prix d'achat de la paille et le coût de la main d'œuvre pour l'application de la paille, la quantité seuil de paille pour une substitution rentable (SR) pour chacun des deux séparateurs est : $SR = (CTA_{LR} - CAMO_{\text{paille}}) / \text{Prix_achat}^{\text{paille}}$.

Pour obtenir un seuil de rentabilité journalier, la valeur de SR est divisée par 365 jours. Enfin, étant donné que le prix d'achat de la paille varie, une analyse de sensibilité a été faite avec le prix médian et le prix maximal des offres de vente.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

Le coût total annuel par vache de l'utilisation de la litière recyclée s'élève à 550 \$ et à 562 \$ respectivement pour le séparateur à vis et le séparateur à rouleaux (Tableau 3). Le coût total annuel par vache de l'utilisation de la paille varie quant à lui entre 296 \$ et 1278 \$ selon la quantité de paille appliquée et pour un prix d'achat moyen de 0,22 \$/kg (Tableau 4).

Si le producteur d'un troupeau moyen mettait 3 kg de paille par vache par jour et qu'il passe à l'utilisation de la litière recyclée, il y aura un coût supplémentaire de 254 \$ par vache s'il opte pour le séparateur à vis et un coût supplémentaire de 266 \$ par vache s'il opte pour le séparateur à rouleaux (Tableau 4). Dans le cadre du projet, où une quantité de 8,33 kg de paille par vache par jour était appliquée, une économie de 183 \$ par vache chaque année peut être réalisée si la paille est substituée par la litière recyclée avec un séparateur à vis (Tableau 4).

Des seuils de rentabilité ont été calculés selon le mode de recyclage de la litière, et ce, en termes de quantité de paille utilisée au-delà de laquelle il devient rentable de passer à la litière recyclée. En utilisant un prix d'achat moyen de 0,22 \$/kg, ce seuil de rentabilité se situe à 6,1 kg de paille par vache par jour si le producteur opte pour le séparateur à vis et à 6,2 kg s'il opte pour le séparateur à rouleaux (Tableau 5).

TABLEAU 3. Coût total annuel par vache de l'utilisation de la litière recyclée selon le séparateur utilisé

	SÉPARATEUR À VIS	SÉPARATEUR À ROULEAUX
Coût de possession annuel	33 324,84 \$	34 838,01 \$
Coût d'opération annuel	2 402,67 \$	1 698,12 \$
Coût total annuel	35 727,51 \$	36 536,12 \$
Coût total annuel / vache	549,65 \$	562,09 \$

TABLEAU 4. Évaluation du gain ou de la perte générée(e) par la substitution de la paille par la litière recyclée

Quantité de paille (kg/jr/vache)	Coût total annuel de la paille/vache	GAIN OU PERTE /VACHE À UTILISER LA LFR, SELON L'ÉQUIPEMENT	
		Séparateur à vis	Séparateur à rouleaux
3	296,05 \$	(253,60) \$	(266,04) \$
6	541,56 \$	(8,09) \$	(20,53) \$
8,33	732,51 \$	182,86 \$	170,42 \$
15	1 278,09 \$	728,44 \$	716,00 \$

Le coût d'achat de la paille étant sujet à des fluctuations relativement importantes en fonction des formats et des régions, une analyse de sensibilité a aussi été effectuée. Cette analyse montre qu'avec le prix médian des offres de vente de paille, soit 0,15\$/kg de paille, la substitution de la paille par la litière recyclée ne serait rentable que pour les entreprises qui appliquent au moins 9,2 kg de paille par vache par jour, quel que soit le type de séparateur (Tableau 5).

TABLEAU 5. Analyse de sensibilité du seuil de rentabilité de la substitution de la paille par la litière recyclée selon la variation du prix d'achat de la paille

	PRIX D'ACHAT DE LA PAILLE (\$/kg)		
	0,15 \$	0,22 \$	0,26 \$
Séparateur à vis (kg de paille / vache / jr)	9,18	6,10	5,20
Séparateur à rouleaux (kg de paille / vache / jr)	9,41	6,25	5,33

EN BREF

Le coût total annuel par vache de l'utilisation de la litière recyclée est moins élevé lorsqu'on opte pour le séparateur à vis, soit 550 \$ par vache. Actuellement, en considérant un prix d'achat moyen de la paille de 0,22 \$ par kilogramme, il faut que le producteur laitier d'un troupeau de taille moyenne au Québec applique au moins 6,1 kg de paille par vache par jour, pour que l'adoption de la litière recyclée soit rentable pour lui.

Il est important de mentionner que d'autres facteurs peuvent influencer le seuil de rentabilité et ainsi rendre rentable la substitution de la paille par la litière recyclée à plus petite quantité d'utilisation de paille. Il s'agit notamment de l'évolution de la technologie de production de la litière recyclée qui en réduirait le coût d'utilisation, de l'augmentation de la taille du troupeau à pleine capacité des équipements de production de litière recyclée ou encore, de la production d'une litière plus sèche.



INTÉRÊT AGRONOMIQUE : LA FRACTION LIQUIDE

PROPRIÉTÉS PHYSICO-CIMIQUES

Selon le type de séparateur, le changement dans les propriétés de fraction liquide peut être majeur ou négligeable. La presse à rouleaux avait les ratios C/N les plus élevés (moyenne de 6,18), suivi de la presse à vis (moyenne de 5,08) et de la centrifugeuse (moyenne de 4,38). De plus, la presse à rouleaux montrait le plus faible ratio $(N-NH_4+N-NO_3)/NTK$ (moyenne de 0,39; $P < 0,001$; Tableau 6).

TABLEAU 6. Ratios C/N, $(N-NH_4+N-NO_3)/NTK$, N/P et $K/(Ca + Mg)$ de la fraction liquide à l'effluent de la centrifugeuse (C), de la presse à rouleaux (PR) et de la presse à vis (PV)

PARAMÈTRE	SEMAINE 1			SEMAINE 2		
	C	PR	PV	C	PR	PV
C/N	4,47 ^c	5,87 ^a	5,23 ^b	4,3 ^b	6,5 ^c	4,93 ^b
$(N-NH_4+N-NO_3)/NTK$	0,47 ^a	0,39 ^b	0,46 ^a	0,48 ^a	0,39 ^a	0,48 ^a
N/P	11,02 ^a	5,82 ^c	6,08 ^b	11,65 ^b	5,65 ^a	6,33 ^b
$K/(Ca + Mg)$	1,39 ^a	1,02 ^b	0,96 ^c	1,38 ^c	0,96 ^a	1,04 ^b

^{a-c} Une lettre différente indique un écart significatif entre les deux valeurs à l'intérieur d'une même semaine et paramètre ($P < 0,05$).

Comme le coefficient d'utilisation de l'azote est en relation inversement proportionnelle au ratio C/N et proportionnelle au ratio $(N-NH_4+N-NO_3)/NTK$, il était 10 % plus élevé pour la presse à vis et la centrifugeuse (moyenne de 0,65) comparativement à la presse à rouleaux (Tableau 7). Cette différence, bien que faible, peut devenir importante lorsque combinée avec l'effet des séparateurs sur le contenu en phosphore. Puisque la centrifugeuse démontrait une quantité en phosphore moins importante dans la fraction liquide que les autres types de séparateurs, il s'est avéré un ratio N/P plus élevé ($P < 0,001$; Tableau 6).

TABLEAU 7. Coefficient d'efficacité de N, contenu en N, P_2O_5 et K_2O , taux d'application de N efficace et K_2O pour 40 kg de P_2O_5 de la fraction liquide à l'effluent de la centrifugeuse (C), la presse à rouleaux (PR) et à vis (PV)

PARAMÈTRE	SEMAINE 1			SEMAINE 2		
	C	PR	PV	C	PR	PV
Coefficient d'efficacité de N ¹	0,66	0,59	0,64	0,66	0,59	0,65
N efficace [kg/t]	2,17	2,05	2,28	2,38	2,26	2,49
P_2O_5 ² [kg/t]	0,62	1,23	1,2	0,64	1,4	1,24
K_2O ³ [kg/t]	2,81	2,83	2,77	3,11	3,07	3,11
N efficace pour 40 kg de P_2O_5 ⁴ [kg/ha]	140,41	66,81	75,9	149,57	64,81	79,96
K_2O ³ pour 40 kg de P_2O_5 ⁴ [kg/ha]	181,63	92,03	92,52	195,26	88,01	100,1

¹ Coefficient d'efficacité de N pour le printemps et l'été, sol G2-G3, culture annuelle (CRAAQ, 2010)

² Efficacité estimée à 90% (CRAAQ, 2010)

³ Efficacité estimée à 100% (CRAAQ, 2010)

⁴ Dose recommandée pour un sol de saturation P/AI Mehlich-3 intermédiaire (5,1 à 10%) pour la culture du maïs à ensilage (CRAAQ, 2010)

La séparation mécanique altère la valeur agronomique de la fraction liquide en modifiant :

- Le contenu en N, P et K et les ratios C/N et $(N-NH_4+N-NO_3)/NTK$ (Tableau 6), ce qui détermine l'efficacité de fertilisation de l'azote total.
- La quantité de matière organique et la balance en cation (Tableau 6), lesquels affectent la qualité du sol à long terme.

VALEUR FERTILISANTE

Dans ce contexte, l'effluent liquide de la centrifugeuse peut fournir une plus grande part du besoin en azote des cultures si l'épandage des fumiers est limité par la concentration en phosphore des sols. À titre d'exemple, pour du maïs à ensilage qui a été cultivé dans un sol avec un contenu moyen en phosphore et en considérant une recommandation de 40 kg de P_2O_5 /ha (CRAAQ, 2010), la fraction liquide à l'effluent de la centrifugeuse peut fournir environ 145 kg d'azote disponible alors que les deux types de presse assurent un maximum de 80 kg d'azote efficace (Tableau 7).

D'autre part, le taux d'application en K_2O fournit par fraction liquide de la centrifugeuse représente le double de la dose recommandée (90 kg/ha), alors que la limite serait généralement respectée par l'utilisation des deux types de presse pour la séparation. Cet excès en K_2O généré par la centrifugeuse sera d'autant plus problématique alors que le déséquilibre existant du ratio $K/(Ca + Mg)$ (diffère de 1,00; Tableau 6) pourrait causer une diminution du prélèvement du Ca et du Mg par les cultures. Ainsi, l'application de la fraction liquide issue de la centrifugeuse pour fertiliser les cultures vouées à l'alimentation des vaches serait problématique dû au manque en Ca et Mg qui pourrait respectivement mener à une fièvre vitulaire et une tétanie d'herbage (Thomas and Miner, 1996; Leduc and Robert, 1997).

SANTÉ DES SOLS

Puisque la préservation de la santé et la fertilité des sols est liée à la balance en carbone, la presse à rouleaux possède un léger avantage par rapport à la presse à vis et la centrifugeuse car elle génère une fraction liquide plus riche en carbone. Lorsque rapportée sur une base humide, la fraction liquide issue de la presse à rouleaux contient 22,6 kg de C/t, alors que la centrifugeuse et la presse à vis permettent d'atteindre 15,1 à 18,7 kg de C/t respectivement.

D'un point de vue fertilisation et santé des sols, il apparaît que les séparateurs à vis et à rouleau possèdent un avantage par rapport à la centrifugeuse permettant d'obtenir une fraction liquide plus intéressante.

ET L'ENVIRONNEMENT DANS TOUT ÇA?

L'AGRICULTURE, SOURCE IMPORTANTE D'ÉMISSIONS DE GES ET DE POLLUANTS

L'agriculture est une source importante d'émissions de gaz à effet de serre (GES), ces dernières se chiffrant à 7,6 Mt CO₂e en 2016, ce qui représente 9,6 % des émissions totales de GES du Québec (MELCC, 2018). Ces émissions proviennent principalement de la fermentation entérique des ruminants (38,6%), de la gestion des sols (29,5 %) et de la gestion des fumiers (26,7 %). Les activités agricoles émettent également d'autres polluants dans l'environnement, tels que des particules fines et de l'ammoniac (NH₃), un gaz irritant, toxique lorsqu'inhalé en trop grande quantité, et contribuant à l'acidification et l'eutrophisation des cours d'eau. Certaines pratiques doivent donc être améliorées afin de réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture.

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

C'est ainsi que dans le cadre de ce projet, les impacts environnementaux d'un scénario dans lequel la litière recyclée est utilisée en élevage de bovins laitiers ont été comparés aux impacts du scénario traditionnel dans lequel de la litière de paille est utilisée. L'approche préconisée suivant la méthodologie de l'analyse de cycle de vie (ACV) cible toutes les activités à la ferme et en amont de la ferme. Ainsi, les émissions considérées proviennent de la récolte de la paille (opérations et sol), de la gestion du fumier, de la fabrication de litière recyclée (séparation et compostage) et de l'épandage des fertilisants (opérations et sol).

Les émissions sont regroupées en trois catégories d'impact (Tableau 8) : changements climatiques (kg CO₂e * vache⁻¹ an⁻¹), potentiel d'eutrophisation (kg PO₄^{3e} * vache⁻¹ an⁻¹) et potentiel d'acidification (kg SO₂e * vache⁻¹ an⁻¹). Globalement, les émissions de GES du scénario alternatif dans lequel la litière recyclée est utilisée sont légèrement plus faibles (- 120,2 kg CO₂e vache⁻¹ an⁻¹) que les émissions du scénario avec l'utilisation de la paille de blé. Lorsque mise en perspective, cette différence entre les deux scénarios pour un troupeau de 65 vaches est de 7814 kg CO₂e an⁻¹. Cela est équivalent à la plantation de 43 arbres selon Compensation CO₂ Québec (2018).

La principale différence se situe au niveau de la gestion du fumier, alors que les émissions du scénario alternatif sont plus faibles de 213 kg CO₂e vache⁻¹ an⁻¹. Cette différence s'explique par le fait que la séparation solide-liquide du fumier permet de retirer les solides volatils de la fraction liquide qui est entreposée. Conséquemment, les émissions de CH₄ à l'entreposage sont plus faibles dans le scénario avec la production de litière recyclée.

La différence entre les deux scénarios concernant l'acidification et l'eutrophisation est négligeable. En effet, seul l'épandage des fertilisants est comptabilisé pour ces catégories d'impact alors que la dose d'éléments fertilisants appliquée est semblable dans les deux scénarios.

* CO₂e : Équivalent en dioxyde de carbone
PO₄^{3e} : Équivalent en phosphate
SO₂e : Équivalent en dioxyde de soufre

TABLEAU 8. Émissions des deux scénarios à l'étude

	Scénario de référence LITIÈRE DE PAILLE	Scénario de référence LITIÈRE RECYCLÉE
Changements climatiques	kg CO₂e vache⁻¹ an⁻¹	
Récolte de la paille (opérations)	17,0	0,0
Récolte de la paille (sol)	54,2	91,5
Gestion du fumier	1232,5	1019,6
Fabrication de la litière recyclée		52,7
Épandage des fertilisants	1344,7	1364,5
Total	2648,48	2528,27
Potentiel d'acidification	kg SO₂e vache⁻¹ an⁻¹	
Épandage des fertilisants	231,1	243,6
Potentiel d'eutrophisation	kg PO₄e vache⁻¹ an⁻¹	
Épandage des fertilisants	28,5	28,8

Dans cette analyse, l'impact de la litière sur la productivité des vaches laitières n'a pas été considéré. S'il est démontré que l'utilisation de litière recyclée permet une augmentation de la productivité, cela pourrait contribuer à réduire l'impact environnemental du scénario alternatif.

ÉMISSIONS DE GES ET D'AMMONIAC AU BÂTIMENT

Dans le cadre du projet de recherche réalisé au CRSAD, les émissions de GES et d'ammoniac au bâtiment sur litière recyclée ont été comparées aux émissions dans le même bâtiment sur litière de copeaux de bois. Les émissions de GES (CH₄, N₂O et CO₂) et de NH₃ ont été mesurées dans le bâtiment expérimental du CRSAD en multipliant la concentration des gaz (sortie - entrée) par le débit théorique des ventilateurs. Les résultats ont démontré que les émissions de GES provenant du bâtiment sous litière recyclée (6,65 g CO₂e min⁻¹ vache⁻¹) étaient légèrement plus faibles que lorsque la litière de copeaux de bois était utilisée (8,26 g CO₂e min⁻¹ vache⁻¹). Cette différence se situe principalement au niveau des émissions de CH₄. Cependant, les émissions de NH₃ mesurées étaient légèrement plus élevées sous litière recyclée

(3,6 mg min⁻¹ vache⁻¹) que sous litière de copeaux de bois (2,7 mg min⁻¹ vache⁻¹). Ces différences sont possiblement causées par un changement dans la gestion de la litière et des propriétés physico-chimiques de celle-ci.

L'impact de la litière recyclée sur les émissions au bâtiment n'a pas été incluse dans l'analyse environnementale. Cependant, si des études supplémentaires peuvent démontrer que les émissions d'un bâtiment sur litière recyclée sont plus faibles que sur litière traditionnelle, les facteurs d'émissions utilisés pour calculer les émissions de CH₄ associés à la gestion du fumier pourraient être modifiés afin de tenir compte du type de litière utilisée au bâtiment.

PERCEPTION ET EXPÉRIENCES DES AGRICULTEURS

L'insertion de la litière à base de fumier recyclé (LFR) dans les fermes laitières n'est pas sans changements pour les agriculteurs qui en font le choix. À ce sujet, une étude⁴ a été menée dans une perspective de sciences sociales afin de comprendre ce que change ce dispositif.

UN CHANGEMENT MAJEUR

Il semble que les éleveurs laitiers profitent d'une opportunité de rénovation-nouvelles constructions pour tester de nouveaux systèmes tels que la LFR.

Les éleveurs estiment plus pratique et plus simple d'introduire la LFR au même moment que les changements globaux de leur étable, imposés par le vieillissement des bâtiments d'élevage ou favorisés par un contexte financier personnel propice aux investissements.

L'insertion de la LFR dans leur étable suppose d'abord de rompre avec des idées préconçues quant à la nature du fumier.

Auparavant perçu comme étant « sale », la technique impose maintenant de considérer la paille souillée comme hygiénique et réutilisable. Cependant, le raisonnement quant à un fumier fertilisant aux champs est maintenant à déconstruire, sans nécessairement avoir un élément de remplacement équivalent à la valeur promue auparavant de ces amendements.

MAÎTRISER L'HUMIDITÉ

Un élément qui ressort fortement de la recherche est que les éleveurs mettant en place la LFR ne peuvent éviter une phase intense d'apprentissages, pour comprendre et s'approprier un nouveau système.

Le séparateur est un objet technique que l'agriculteur doit comprendre et paramétrer lui-même. Le fournisseur va généralement paramétrer la machine et guider l'éleveur dans cette étape, mais le producteur laitier fera ensuite des petits changements pour optimiser le processus selon les variations des contextes, par exemple lors du premier hiver ou lors d'un changement d'alimentation des vaches. Les essais-erreurs des agriculteurs sont cruciales, car ils développent différentes manières de faire, dont ajouter de l'eau au fumier avant séparation pour que la machine le traite au mieux; mettre en place un diagnostic et une mesure du taux d'humidité, à la fois par un outil, mais aussi par la mobilisation de leurs sens (sentir, toucher, observer).

Ultimement, les éleveurs expriment des incertitudes quant à la teneur en matière organique des eaux de fumier (issues de la séparation).

Ils raisonnent plus en termes de fertilisation de la plante, qu'en termes d'amendement du sol, et se questionnent parfois sur les effets au long terme d'une potentielle modification de la teneur fertilisante du lisier.

⁴ Recherche qualitative : 14 entretiens semi-dirigés avec des agriculteurs de 5 régions du Québec (Montérégie, Estrie, Centre-du-Québec, Chaudières-Appalaches, Mauricie), visite de leurs fermes laitières ayant adopté la LFR, et 11 entretiens complémentaires dans le réseau technique notamment auprès de chercheurs et d'équipementiers.

CONTRÔLER LES BACTÉRIES

L'opération de compostage est perçue comme essentielle à l'acceptation de la LFR car elle permet d'hygiéniser le fumier. Elle mène à concevoir qu'il y a maintenant de « bonnes bactéries » facilitant le compostage, changement de mentalité important pour l'éleveur.

La gestion de la température dans le composteur semble être identifiée par les éleveurs comme la clé de voute du système.

Les producteurs forment un diagnostic sur l'atteinte d'une chaleur jugée satisfaisante pour détruire les agents pathogènes, par l'appel à leurs sens (odorat, toucher, observation visuelle) et parfois la mesure de la température. Notons que lors du compostage, l'expert technique est moins mobilisé que pour la séparation. Intervient parfois le médecin vétérinaire notamment lorsque certains éleveurs font analyser leur fumier avant et après compostage afin de vérifier leur maîtrise de l'hygiénisation du fumier.

UN LIT DOUILLET

Les manières d'étendre la LFR sous les vaches observées lors de la recherche sont très diversifiées et dépendent de plusieurs facteurs telles les habitudes de travail des éleveurs (déranger le moins possible les animaux), le type de bâtiment choisi (stabulation libre/entravée, stalle creuse/basique), les anciennes habitudes de travail (utilisation de copeaux de bois/ripe) ou encore des facteurs extérieurs à la ferme (l'hiver). Il ne semble pas y avoir de référentiel sur la façon de faire.

Cependant, l'application est prise au sérieux par les agriculteurs interrogés, car selon eux c'est lorsque la vache entre en contact avec la litière recyclée que la maladie animale peut se déclarer et remettre en question les pratiques acquises.



L'INJONCTION DU BIEN-ÊTRE ANIMAL

Un des principaux atouts de la LFR est l'amélioration du bien-être animal, que les producteurs laitiers décrivent par des comportements de repos et un état général de leurs bêtes.

Ils constatent que les vaches passent plus de temps couchées, qu'elles ont moins de blessures et qu'elles sont nettement plus propres. Soulignons que l'aspect économique, lié au fait de ne plus acheter de litière, mais de la produire soi-même, semble amener plus de générosité dans la quantité de litière sous l'animal, ce qui vient jouer dans le confort alloué aux animaux.

Les agriculteurs situent d'ailleurs l'insertion de la LFR dans les fermes laitières dans un mouvement plus large exigeant -légalement et socialement- plus de bien-être animal dans les exploitations, notamment à la demande des consommateurs et des marchés. D'ailleurs, les éleveurs qui mettent en place la litière recyclée ont le plus souvent muté de la stabulation entravée vers la stabulation libre pour opérer un grand changement visant à modifier l'étable pour favoriser le bien-être animal. Les habitudes de travail des éleveurs cumulent, de fait, plusieurs changements majeurs liés à ces modifications techniques.

Ils estiment néanmoins que la performance de la ferme peut être accentuée par l'insertion de la LFR par la réduction des coûts de litière, mais aussi amélioration de la productivité des vaches.

TENSION ENTRE CONFORT ET SANTÉ ANIMALE

Les agriculteurs rencontrés ont une conscience aigüe du difficile équilibre qu'ils ont à maintenir depuis l'adoption de la LFR et disent porter une attention quotidienne à la santé de leurs vaches. Lorsque la LFR est insérée dans la ferme, plusieurs situations anormales peuvent éventuellement être repérées : taux de leucocytes élevé, récurrence et/ou virulence des infections mammaires. Pour solutionner ce problème, des soins additionnels sont portés aux vaches. Cette démarche curative peut s'avérer contraignante au regard des coûts, du bien-être animal et du temps alloués aux traitements, mais surtout au regard de la baisse de productivité de la vache.

Le médecin vétérinaire est ici le principal soutien de l'éleveur, puisqu'il va le guider dans les soins des vaches mais aussi l'aider dans l'analyse de la LFR pour en débusquer les anomalies et les éléments potentiellement nocifs, tels que la convergence d'une bactérie dans le fumier et dans le pis de la vache. Des modifications peuvent alors être apportées à la fabrication et l'application de la LFR.

Pour certains, le problème de santé animale sera résolu, mais pour d'autres, la recherche de solutions n'aboutit pas et peut mener à l'abandon de la pratique.

ENCORE PLUSIEURS QUESTIONS

L'utilisation de la LFR présente des atouts aux yeux des agriculteurs rencontrés: économies financières, amélioration du confort des animaux, réutilisation circulaire des fumiers. Cependant, les personnes interrogées estiment que la mise en œuvre pratique revêt parfois des enjeux quant à la santé animale, pouvant aller jusqu'à faire échec à l'insertion de la pratique dans les fermes. Adopter la LFR est aussi s'approprier un nouveau système technique et une gestion microbiologique. La LFR va aussi de pair avec des injonctions pour le bien-être animal dans la ferme; mais celles-ci se confrontent parfois à des épreuves de santé du troupeau.

L'ensemble des entretiens met en évidence l'apprentissage et le développement d'une expertise à la ferme. Un mode de transmission des connaissances particulier en découle, en réseau et de la base vers les concepteurs de machinerie et les scientifiques, puisque peu d'indications claires existent dans ce domaine. L'expérimentation à la ferme est donc source de connaissances ensuite partagées au sein des réseaux d'élevage laitier.

Il est clair que la LFR questionne plusieurs idées préconçues, dont celles liées à la nature même du fumier. Il s'agit donc de changements sociaux et culturels importants dans le travail à la ferme et surtout dans la conception de ce qu'est un élevage laitier.





PARTIE 3

BALISES ENTOURANT LA PRATIQUE

GESTION DES RISQUES

CADRE ET RECOMMANDATIONS

GESTION DES RISQUES

Une fois appliquée sous les animaux, la litière devient rapidement souillée par les déjections animales fraîches. La litière qui s'accumule sous les animaux ne doit pas devenir un environnement favorable au développement et à la prolifération de microorganismes, particulièrement les agents pathogènes. Les trois principales conditions favorables au développement et à la prolifération des microorganismes sont : **humidité**, **chaleur** et **nutriments**. Dans cette perspective, le conditionnement de la fraction solide permet :

- de **réduire la teneur en eau** de la fraction solide obtenue par séparation mécanique;
- de **réduire la charge microbienne**, et particulièrement les agents pathogènes;
- de **stabiliser le produit** (réduire le caractère fermentescible de la matière organique).

RÉDUCTION DE LA TENEUR EN EAU

Tous les microorganismes ont besoin d'eau pour se développer et l'assèchement de la litière appliquée sous les animaux est souhaitable pour limiter leur prolifération. **La litière ne doit être ni trop humide, pour ne pas favoriser les maladies du pis, ni trop sèche, pour ne pas générer de poussières lors des manipulations.** Le **conditionnement** permet de réduire la teneur en eau selon le temps de résidence et le taux de ventilation de la matière.

L'assèchement avec un conditionnement aérobie constitue une pratique de bonne gestion des risques en ne favorisant pas l'adhésion de particules organiques humides sur les trayons et en réduisant les conditions environnementales favorables au développement microbien.



RÉDUCTION DE LA CHARGE MICROBIENNE

À l'instar de plusieurs matières organiques utilisées comme litière, la fraction solide du fumier peut contenir des microorganismes pathogènes qui sont responsables de certaines maladies chez la vache. **Les matières utilisées comme litière devraient être exemptes d'agents pathogènes afin de réduire au minimum le risque de maladie du troupeau.** L'hygiénisation par l'élévation de la température découlant d'une activité microbienne intense lors du compostage est une pratique reconnue depuis longtemps. Il existe dans plusieurs pays des critères d'hygiénisation pour la réduction de la charge microbienne qui ont été adoptés pour encadrer l'usage sécuritaire de matières résiduelles et de composts. Certains pays comme les États-Unis, utilisent des critères d'hygiénisation (combinaison de température et de temps de résidence) pour les composts qui doivent être respectés pour assurer l'abaissement du contenu de microorganismes à des niveaux jugés sécuritaires.

HYGIÉNISATION PAR PROCÉDÉS DE COMPOSTAGE THERMOPHILE (USA)

Les exigences d'hygiénisation américaines préconisées par le U.S. EPA (Agence de Protection de l'Environnement) (EPA, 2018) pour réduire la charge microbienne et teneur en agents pathogènes des composts à base de boues municipales stipulent que la température dans le compost doit être :

- maintenue à 55°C ou plus pendant au moins 3 jours consécutifs pour les procédés de compostage en piles statiques aérées ou en enceintes fermées;
- 55°C ou plus pendant au moins 15 jours avec 5 retournements sous ces conditions de températures pour les andains.

Par analogie, il est permis de croire que des opérations de conditionnement ne respectant pas les paramètres énumérés dans les conditions du « PFRP » (Environment Protection Agency, 2018) pourraient générer une matière dont la charge microbienne et la présence d'agents pathogènes sont plus élevées, ce qui pourrait lui conférer un niveau de risques plus grand.

Lors du conditionnement et sous des conditions d'opérations optimales, la température au sein d'un amas de fraction solide (chambre, bioréacteur, silos, piles) peut atteindre rapidement des températures nécessaires à des conditions d'hygiénisation (>55°C). La conservation de la chaleur produite par les bactéries est une clé importante du maintien des températures élevées et du succès du conditionnement. Conséquemment, **des conditions climatiques hivernales très froides pourraient nécessiter l'isolation de l'enceinte fermée.**

STABILISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La prolifération des bactéries dans un milieu relativement riche en nutriments comme la fraction solide se traduit par une activité microbienne importante et un dégagement de chaleur conséquent. Ces conditions ne sont pas souhaitables au sein d'une litière qui s'accumule sous les animaux. Le conditionnement permet de **transformer les composés hautement fermentescibles en des formes plus stables**, entraînant ainsi une réduction des sources d'énergie pour la population microbienne.

La stabilisation avec un conditionnement réduit le caractère fermentescible de la fraction solide en diminuant la nourriture qui assure le développement microbien dans la litière sous les animaux et constitue ainsi une pratique de bonne gestion des risques.

OUTILS DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Un conditionnement exige le suivi et le respect des conditions propices au développement des microorganismes aérobies. **Les caractéristiques de la fraction solide et les conditions d'opération doivent être rigoureusement respectés (humidité, structure, températures).**

Parmi les paramètres clés à contrôler pour obtenir une LFR apte à être utilisée sous les vaches, notons son contenu en matière sèche et le temps de résidence à température élevée. Ces paramètres peuvent être mesurés facilement à la ferme. Bien qu'ils ne révèlent pas la présence d'agents pathogènes, ils **permettent de juger de la performance du procédé de fabrication de la LFR et conséquemment, de maintenir la qualité de la litière fabriquée.**



FIGURE 8. Mesure du contenu en matière sèche (appareil Koster®)

La mesure du contenu en matière sèche se fait à l'aide d'une étuve et d'une balance sous des conditions de températures contrôlées jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant. Certains producteurs utilisent un appareil pour évaluer l'humidité des fourrages servis aux animaux, comme le Koster® par exemple (Figure 8). Cet appareil ne remplace pas une analyse en laboratoire mais permet d'estimer la teneur en matière sèche assez rapidement.

Pour mesurer la température d'un amas en cours de conditionnement, un thermomètre à longue tige est indispensable afin de rejoindre le centre de la masse, ce qu'un thermomètre avec une tige de 48'' (120 cm) permet habituellement de faire adéquatement. Les thermomètres utilisés sont de type « à cadran avec ressort » ou « digital » avec thermocouples (Figure 9).



FIGURE 9. Mesure de la température

RÉFÉRENCES

- Adam, S., Valacta. Communication personnelle, septembre 2018.
- Adamski, M.; Glowacka, K.; Kupczynski, R.; Benski, A. (2011). *Analysis of the possibility of various litter beddings application with special consideration of cattle manure separate*. Acta. Sci. Pol. Zootechnica. 10(4):5-12.
- Charlton, G. L.; Bouffard, V.; Gibbons, J.; Vasseur, E.; Haley, D.B.; Pellerin, D.; Rushen, J.; de Passillé, A.M. (2016). *Can automated measures of lying time help assess lameness and leg lesions on tie-stall dairy farms?* Appl. Anim. Behav. Sci. 175:14-22.
- Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE) (2009). *Code de pratiques - Pour le soin et la manipulation des bovins laitiers*. Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 67p.
- Compensation CO₂ Québec (2018). Calculer et compenser vos émissions. [En ligne] <http://www.compensationco2.ca/calcul-emissions-co2/#compensationdirecte> (Page consultée le 10 décembre 2018).
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) (2010). *Guide de référence en fertilisation du Québec*. 2^e édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Ste-Foy, QC, Canada.
- Donham, K.J. (1986). *Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation*. Am. J. Ind. Med. 10 (3):205-220.
- Environment protection agency (EPA) (2018). Protection of Environment - Standards for the use or disposal of sewage sludge (Code of Federal Regulation, 40 part 502), United States Environmental Protection Agency, United States Government. [En ligne] <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2018-title40-vol32/xml/CFR-2018-title40-vol32-part503.xml>
- Fávero, S.; Portilho, F.V.R.; Oliveira, A.C.R.; Langoni, H.; Pantoja, J.C.F. (2015). *Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding*. Livest. Sci. 181:220-230. [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.002>.
- Fournel, S.; Godbout, S.; Ruel, P.; Fortin, A.; Généreux, M.; Côté, C.; Landry, C.; Pellerin, D. (2019a). *Production of recycled manure solids for use as bedding on Canadian dairy farms: I. Solid-liquid separation*. J. Dairy Sci. 102(2):1832-1846.
- Fournel, S.; Godbout, S.; Ruel, P.; Fortin, A.; Duquette-Lozeau, K.; Létourneau, V.; Généreux, M.; Lemieux, J.; Potvin, D.; Côté, C.; Duchaine, C.; Pellerin, D. (2019b). *Production of recycled manure solids for use as bedding in Canadian dairy farms: II. Composting methods*. J. Dairy Sci. 102(2):1832-1846.
- Hauge, S.J.; Kielland, C.; Ringdal, G.; Skjerve, E.; Nafstad, O. (2012). *Factors associated with cattle cleanliness on Norwegian dairy farms*. J. Dairy Sci. 95:2485-2496. [En ligne] <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4786>.

- Husfeldt, A. W. et Endres, M.I. (2012). *Associations between stall surface and some animal welfare measurements in freestall dairy herds using recycle manure solids for bedding*. J. Dairy Sci. 95:5626-5634.
- Kullman, G.J.; Thorne, P.S.; Waldron, P.F.; Marx, J.J.; Ault, B.; Lewis, D.M.; Siegel, P.D.; Olenchock, S.A.; Merchant, J.A. (1998). *Organic dust exposures from work in dairy barns*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 59 (6):403-413.
- Leach, K.A.; Archer, S.C.; Breen, J.E.; Green, M.J.; Ohnstad, I.C.; Tuer, S.; Bradley, A.J. (2015). *Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms*. The Vet. J. 206:123-130.
- Leduc, R. et Robert, L. (1997). *Alimentation : Spécial K. Le producteur de lait québécois*. Vol. Avril, pages 38-40.
- Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission, 40 p. [En ligne] <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/>.
- Rowbotham, R. F. et Ruegg, P.L. (2015). *Association of bedding types with management practices and indicators of milk quality on larger Wisconsin dairy farms*. J. Dairy Sci. 98:7865-7885.
- Rowbotham, R.F. et Ruegg, P.L. (2016a). *Association of selected bedding types with incidence rates of subclinical and clinical mastitis in primiparous Holstein dairy cows*. J. Dairy Sci. 99:4707-4717.
- Rowbotham, R. F. et Ruegg, P.L. (2016b). *Bacterial counts on teat skin and in new sand, recycled sand, and recycled manure solids used as bedding in freestalls*. J. Dairy Sci. 99:6594-6608.
- Sant'Anna, A. C. et Paranhos da Costa, M.J.R. (2011). *The relationship between dairy cow hygiene and somatic cell count in milk*. J. Dairy Sci. 94:3835-3844.
- Schenker, M.B.; Christiani, D.; Cormier, Y.; Dimich-Ward, H.; Doekes, G.; Dosman, J.; Douwes, J.; Dowling, K.; Enarson, D.; Green, F.; Heederik, D.; Husman, K.; Kennedy, S.; Kullman, G.; Lacasse, Y.; Lawson, B.; Malmberg, P.; May, J.; McCurdy, S.; Merchant, J.; Myers, J.; Nieuwenhuijsen, M.; Olenchock, S.; Saiki, C.; Schwartz, D.; Seiber, J.; Thorne, P.; Wagner, G.; White, N.; Xu, X.P.; Chan-Yeung, M. (1998). *Respiratory health hazards in agriculture*. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 158 (5): S1-S76.
- Solano, L.; Barkema, H.W.; Pajor, A.E; Mason, S.; LeBlanc, S.J.; Nash, C.G.R; Haley, D.B.; Pellerin, D.; Rushen, J.; de Passillé, A.M.; Vasseur, E.; Orsel, K. (2016). *Associations between lying behavior and lameness in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns*. J. Dairy Sci. 99:2086-2101.
- Thomas, E.D et Miner, W.H. (1996). *Fertilizing forages*. In Dairy Day at Miner Institute. The William H. Miner Agricultural Research Institute, Chazy, NY.



Comment citer ce document :

Godbout et al., 2019. Litière recyclée en production laitière : État des connaissances et balises. CRSAD-IRDA, 43 pages.

Pour en savoir plus :

Stéphane Godbout
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-2380, poste 600
Courriel : stephane.godbout@irda.qc.ca

Équipe de réalisation et de rédaction :

- Steve ADAM, agr.
Valacta
- Luc BELZILE, M. Sc.
IRDA
- Patrick BRASSARD, ing. jr, Ph. D.
IRDA
- Lila CHAUVEAU, B. Sc., étudiante à la maîtrise
Université du Québec à Rimouski
- Caroline CÔTÉ, agr., Ph. D.
IRDA
- Caroline DUCHAINE, Ph. D.
IUCPQ – Université Laval
- Simon DUFOUR, DMV, Ph. D.
FMV – Université de Montréal
- Karine DUQUETTE-LOZEAU, B. Sc., étudiante à la maîtrise
IUCPQ - Université Laval
- Gilles FECTEAU, Diplômé ACVIM
FMV - Université de Montréal
- Sébastien FOURNEL, ing., Ph. D
Université Laval
- Mylène GÉNÉREUX, M. Sc.
IRDA
- Stéphane GODBOUT, ing., agr., Ph. D.
IRDA
- Denise GODONOU, ing., M. Sc.
IRDA
- Christine LANDRY, agr., Ph. D.
IRDA
- Valérie LÉTOURNEAU, Ph. D.
IUCPQ – Université Laval
- Ariane LÉVESQUE, ing. jr, M. Sc.
IRDA
- Salma OUSLATI, étudiante à la maîtrise
Université Laval
- Denis POTVIN, agr., B. Sc.
IRDA
- Pierre RUEL, ing.
CRSAD
- Marianne VILLETZAZ ROBICHAUD, agr., Ph.D.
FMV - Université de Montréal

Les fonds pour cette activité proviennent du Programme canadien d'adaptation agricole d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Les auteurs remercient tous les collaborateurs au projet, plus spécifiquement GEA et les fermes Hamelin et Fils, Boivert inc., Aston inc., Landrynoise inc., Barmlait inc. et Rufer inc. Les auteurs remercient également tous les techniciens et les ouvriers du CRSAD et de l'IRDA qui ont participé activement à la réalisation du projet.