

Rampe d'épandage de lisier avec litière

Rapport Final

Présenté au:

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Direction de Environnement et du Développement Durable



Responsable scientifique :

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

Janvier 2007

Réalisation, recherche et rédaction:

Chercheur, IRDA

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

Chargé de projet, Agrinova

David Crowley, ing. jr.

Chargé de projet, Agrinova

Régis Pilote, agr., M.Sc.

Révision:

Chef de service – Recherche et
développement, Agrinova

Anne Guilbert, ing., M. Sc.

Responsable de l'institution de recherche :

Directeur scientifique, IRDA

Dr. Marc R. Laverdière, agr., Ph.D.



PRÉAMBULE

La Direction de l'environnement et du développement durable (DEDD) du Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation (MAPAQ) a mandaté l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) pour fournir une expertise sur la faisabilité d'utiliser les rampes pour l'épandage des lisiers pailleux de bovins et de connaître la précision et l'uniformité des épandages qui en résultent.

Un comité formé de représentant des fédérations de producteurs et du MAPAQ avait d'abord été mandaté pour faire le point sur la problématique de l'épandage par rampes des lisiers contenant de la litière. Celui-ci recommandait *d'obtenir un avis, une revue de littérature scientifique ou des essais olfactométriques au champ afin de déterminer l'efficacité réelle, soit les avantages et les inconvénients des nouveaux modèles de rampes à 3 ou 4 buses, en termes de réduction des odeurs, de précision et d'uniformité d'épandage.*

Les objectifs du mandat étaient les suivants:

1. Établir à partir d'un banc d'essais au champ, la capacité des rampes basses disponibles sur le marché au Québec, à épandre des lisiers de bovins présentant des risques d'obstruction en terme de :
 - a. précision de la dose appliquée,
 - b. uniformité de l'épandage (entre chaque buse, en terrain en pente, tout au long du parcours),
 - c. précision en bordure des zones de prohibition,
 - d. prévention des obstructions
2. Préciser les conditions optimales d'utilisation des différents modèles en terme de:
 - a. % de matière sèche des lisiers
 - b. quantité de litière
 - c. préparation préalable, brassage, déchiquetage
3. Préciser les avantages et inconvénients de ce type de rampe par rapport à l'aéroaspersion basse.

À la lecture de ce mandat, nous avons établi les hypothèses de travail suivantes :

- L'utilisation de rampes basses respectant les deux critères définis par le MDDEP et actuellement disponibles sur le marché au Québec, s'avère faisable pour épandre des lisiers avec des contenus élevés en pailles et rejets d'alimentation.
- L'uniformité d'épandage avec ces rampes est par ailleurs acceptable, et ce de manière latérale et longitudinale.
- Certaines rampes sur le marché peuvent présenter des risques de blocage qui sont fonction du contenu en matière sèche et/ou en pailles.
- L'utilisation d'un déchiqueteur/broyeur au moment du pompage de la fosse réduit les risques d'obstruction des rampes et permet de maintenir les patrons d'épandage uniformes.



Pour parvenir à réaliser ce travail dans un court laps de temps, l'IRDA s'est associé avec le CRDA (maintenant Agrinova) qui avait déjà réalisé en juillet 2006 un banc d'essai chez des producteurs de bovins, visant à évaluer les rampes d'épandage de lisier avec litière (Nadeau, Martine et coll. 2006), en collaboration avec Vincent Lamarre de l'ITA et le CUMAF du Lac Saint-Jean. Agrinova possédait donc une longueur d'avance sur les moyens et les dispositifs à mettre en place, ainsi que les contacts chez les fournisseurs, pour réaliser la partie technique d'une telle étude.

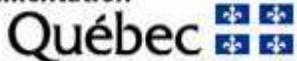
Au moment où la proposition de l'IRDA a été acceptée par la DEDD en septembre 2006, nous avons procédé à l'identification et à la sélection de fosses ayant des teneurs limites de pailles, litières et/ou refus qui causeraient des difficultés au moment de l'épandage. Parmi une vingtaine de fosses identifiées « à problème », deux auront retenu notre attention en raison des contenus élevés en pailles et auront fait l'objet d'un banc d'essai en début d'octobre 2006.

Ces essais auront mis à l'épreuve la capacité des rampes d'épandages des manufacturiers québécois DM, Houle, ProJet, qui ont bien voulu participer à l'étude sur une base volontaire. Les résultats de ces essais sont présentés dans le rapport qui suit.

Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.
Chercheur, Institut de recherche et de
développement en agroenvironnement

Ce projet a été réalisé grâce à la participation financière de :

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**



Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Direction de l'environnement et du développement durable



REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pas été possible sans le consentement des producteurs et des entrepreneurs à forfait approchés. Ils ont offert leur temps, leur lisier, leurs terres et leurs équipements. La participation de M. Serge Lapalme, propriétaire de la Ferme Soleil Levant et de son entrepreneur à forfait, MM. Guy et Marcel Girard, ainsi que de M. Michel Riendeau et de son entrepreneur à forfait, M. Christian Vosgel, a été grandement appréciée. La participation des autres producteurs et des entrepreneurs à forfait approchés dans la phase préliminaire a également été grandement appréciée.

Également, une collaboration avec les fabricants de rampes basses était essentielle à la réussite du projet. Pour leur avis, leur temps et leurs équipements, tous partagés généreusement, nous tenons à remercier M. Lorenzo Ménard de J. Houle et fils, M. Jules Dépault d'Équipements Pro-Jet, ainsi que M. Marcel Dépault et M^{me} Diane Bujold de Dépôt Machinerie inc.

Lors des essais, nous avons également reçu un support de la part de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) qui a d'ailleurs réalisé la phase technique sur le site B. Les équipes de M. Mario Vincent du Club Agrinove et de M^{mes} Valérie Thomas et Karine Bouchard du Club Agri-Durable ont aussi fourni un support technique grandement apprécié. Sans cet appui, le déroulement des essais aurait été beaucoup moins efficace.

Finalement, ce projet n'aurait pu se concrétiser sans la participation financière de la Direction de l'environnement et du développement durable du MAPAQ.

Merci à tous!



TABLE DES MATIÈRES

Liste des acronymes et des abréviations	8
1. Mise en situation	9
2. Objectifs et hypothèses	10
2.1. Objectifs spécifiques	10
2.2. Hypothèses	10
3. Méthodologie	12
3.1. Lieux, régies d'élevage et conditions d'épandage.....	12
3.2. Caractérisation du lisier.....	15
3.2.1. Matière sèche.....	15
3.2.2. Densité	15
3.2.3. Mesure de l'affaissement	15
3.2.4. Teneur en fibre et caractérisation de la fibre en termes de longueur.....	16
3.3. Essais au champ	17
3.3.1. Équipements d'épandage utilisés pour les essais.....	17
3.3.2. Dispositif expérimental	22
3.4. Analyse des résultats	25
4. Résultats et interprétation	26
4.1. Caractérisation du lisier.....	26
4.1.1. Teneur en matière sèche	26
4.1.2. Densité	27
4.1.3. Mesure d'affaissement	27
4.1.4. Teneur en fibre et caractérisation de la fibre en termes de longueur.....	28
4.1.5. Variation saisonnière entre les paramètres.....	29
4.1.6. Corrélation entre les paramètres.....	29
4.2. Essais au champ	34
4.3. Performance des équipements d'épandage.....	37
4.3.1. Prévention des blocages	43
4.3.2. Respect du REA.....	43
4.3.3. Précision de la dose appliquée	43
4.3.4. Uniformité de la dose appliquée	44
4.3.5. Précision en bordure des zones de prohibition	46
5. Conclusion.....	47
6. Recommandations	49
7. Références bibliographiques	50
Annexe 1. Caractéristiques des rampes basses	51
Annexe 2. Construction du dispositif expérimental	54
Annexe 3. Rapport d'analyse des échantillons de lisier	57
Annexe 4. Mesure d'affaissement en unités impériales	58
Annexe 5. Données compilées à partir du banc d'essai au champ.....	60



Liste des tableaux

Tableau 1.	Lieux, régies d'élevage et conditions des essais au champ.....	13
Tableau 2.	Synthèse des étapes de préparation et d'échantillonnage du lisier	16
Tableau 3.	Procédure pour mesurer l'affaissement du lisier	16
Tableau 4.	Procédure de caractérisation de la fibre à partir d'un échantillon de lisier	17
Tableau 5.	Caractéristiques des tracteurs et des citernes utilisés par chaque fabricant de rampe d'épandage pour les essais aux sites A et B	22
Tableau 6.	Liste des mesures et observations	24
Tableau 7.	Synthèse du protocole expérimental au champ	24
Tableau 8.	Synthèse des paramètres calculés ainsi que leur méthode de calcul	25
Tableau 9.	Teneur en matière sèche des échantillons de lisier pour les sites A et B	26
Tableau 10.	Densité des échantillons de lisier pour les sites A et B	27
Tableau 11.	Mesure d'affaissement des échantillons de lisier pour les sites A et B	28
Tableau 12.	La teneur en fibre des échantillons de lisier pour les sites A et B	28
Tableau 13.	Comparaison de l'emplacement du dispositif expérimental avec le positionnement théorique	34
Tableau 14.	Erreur dans la mesure des doses moyennes lors des essais	36
Tableau 15.	Distance moyenne de projection du lisier	37
Tableau 16.	Résumé des statistiques de performance des rampes	41
Tableau 17.	Sommaire des résultats obtenus lors des essais au champ	42



LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Fosse du site A a) le 17 septembre 2006; b) le 3 octobre 2006, après l'enlèvement du liquide et le brassage; c) vue rapprochée du lisier lors d'une mesure d'affaissement.....	14
Figure 2.	Fosse du site B a) le 17 septembre 2006; b) le 10 octobre 2006, après le brassage... ..	15
Figure 3.	Prise de la mesure d'affaissement.....	17
Figure 4.	Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse Houle.....	19
Figure 5.	Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse Pro-Jet.....	19
Figure 6.	Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse DM.....	20
Figure 7.	Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'un équipement pour aéroaspersion basse Houle montée sur un camion	20
Figure 8.	Équipement utilisé lors des essais au site B, muni d'une rampe basse Houle.....	21
Figure 9.	Équipement utilisé lors des essais au site B, muni d'un équipement pour aéroaspersion basse Houle	21
Figure 10.	Dispositif expérimental dans le champ.	23
Figure 11.	Dispositif expérimental pendant la prise de données, après un épandage à faible dose.	23
Figure 12.	Caractérisation des longueurs de fibres dans les échantillons de lisier des sites A et B	29
Figure 13.	Rapport entre la teneur en matière sèche et la densité du lisier	30
Figure 14.	Rapport entre la teneur en fibre et la densité du lisier	30
Figure 15.	Rapport entre la teneur en matière sèche et la teneur en fibre	31
Figure 16.	Rapport entre la mesure d'affaissement et la teneur en matière sèche	32
Figure 17.	Rapport entre la mesure d'affaissement et la fraction fibreuse sélectionnée	33
Figure 18.	Croquis des essais au site A	35
Figure 19.	Essai au site A avec l'équipement d'aéroaspersion basse (dose visée de 16,8 t/ha)	37
Figure 20.	Essai au site A avec la rampe basse Houle (dose visée de 16,8 t/ha).....	38
Figure 21.	Essai au site A avec la rampe basse Pro-Jet (dose visée de 16,8 t/ha).....	38
Figure 22.	Essai au site A avec la rampe basse DM (dose visée de 16,8 t/ha).....	39
Figure 23.	Essai au site B avec l'équipement d'aéroaspersion basse (dose visée de 59,4 t/ha)	39
Figure 24.	Essai au site B avec la rampe basse Houle (dose visée de 59,4 t/ha).....	40
Figure 25.	Exemple de la distribution du lisier sur une prairie haute de 15 cm, épandu sur le site A à une dose de 16,8 t/ha.....	45
Figure 26.	Uniformité d'épandage à forte dose (56,4 t/ha) sur le site B a) prairie brûlée, b) rampe basse Houle, c) équipement d'aéroaspersion basse Houle	46



LISTE DES ACRONYMES ET DES ABRÉVIATIONS

Noms propres

CUMAF	Coopérative d'utilisation de matériel agricole et forestier
DEDD	Direction de l'environnement et du développement durable
DM	Dépôt Machinerie inc.
IRDA	Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
ITA	Institut de technologie agroalimentaire du Québec
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
REA	Règlement sur les exploitations agricoles
UPA	Union des producteurs agricoles

Noms communs

PTO	prise de force (<i>power take-off</i>)
MS	matière sèche
Aéroasp. basse	aéroaspersion basse
Rép.	répétition ou essai, utilisés sans discrimination

Symboles et unités

CV	coefficient de variation (écart type divisé par la moyenne)
R ²	coefficient de détermination
moy.	moyenne
ac	acre
ha	hectare
cm	centimètre
m	mètre
g	gramme
t	tonne métrique
gal	gallon impérial
ml	millilitre
cm ³	centimètre cube
HP	cheval-vapeur (<i>horse power</i>)
tpm	tour par minute



1. MISE EN SITUATION

Le règlement sur les exploitations agricoles actuel (REA) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) exigera, à compter du 1^{er} avril 2007, que tous les lisiers soient épandus avec un équipement muni d'une rampe basse. Par contre, la technologie des rampes basses pour l'épandage de lisier avec litière nécessite une validation, puisque son utilisation semble encore problématique. Un sondage réalisé en 2005 par la Fédération de l'UPA de la Beauce, auprès de producteurs laitiers utilisant les rampes basses pour l'épandage de leur lisier, a permis de constater que dans 62 % des cas les rampes bloquaient. La Fédération des producteurs de lait du Québec a également réalisé, en 2005, un sondage au niveau provincial. Environ la moitié des répondants déploraient des problèmes lors de l'épandage, soit le blocage de la rampe. Ce taux baisse à 30 % pour les utilisateurs des nouveaux modèles de rampes (trois ou quatre buses).

Le comité de la Direction de l'environnement et du développement durable (DEDD) du MAPAQ, mandaté pour faire le point sur la problématique de l'épandage par rampes des lisiers contenant de la litière, recommande d'obtenir un avis, une revue de la littérature scientifique ou des essais olfactométriques au champ afin de déterminer l'efficacité réelle, soit les avantages et les inconvénients des nouveaux modèles de rampes à trois ou quatre buses, en termes de réduction des odeurs, de précision et d'uniformité d'épandage.

En juillet 2006, Agrinova et la CUMAF du Lac ont réalisé un banc d'essai chez des producteurs de bovins laitiers. Ces essais visaient à évaluer les rampes d'épandage de lisier avec litière. Le protocole utilisé a été élaboré avec l'aide de l'ITA de La Pocatière. Les rampes des fabricants DM, Houle, Pro-Jet et Teamco ont été comparées.

Les essais ont été réalisés chez quatre producteurs et les lisiers avaient des teneurs en matière sèche qui variaient de 6 à 8 %. L'uniformité latérale et longitudinale des patrons d'épandage, ainsi que la précision des doses anticipées ont été mesurées avec divers lisiers plus ou moins pailleux. Ces essais ont permis de répondre, en partie, aux objectifs du présent mandat en ce qui concerne l'uniformité d'épandage et la précision de la dose appliquée avec des lisiers modérément pailleux. Les résultats de ces essais seront publiés en décembre 2006.

Par contre, en raison des importantes précipitations de cette année, la teneur en matière sèche observée lors des essais de la CUMAF du Lac ne représentait pas les conditions limites d'épandage déplorées par les producteurs laitiers. Il devenait donc nécessaire de procéder à de nouveaux essais avec un lisier contenant une teneur en matière sèche approchant 10 %.



2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Afin de répondre aux exigences de la DEDD, la présente étude a pour objectif d'évaluer la faisabilité d'utiliser des rampes basses pour l'épandage des lisiers pailleux de bovins laitiers et de connaître la précision et l'uniformité des épandages qui en résultent, et ce, en situation limite d'épandage.

2.1. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Établir, à partir d'un banc d'essai au champ, la capacité des rampes basses disponibles sur le marché au Québec à épandre des lisiers de bovins présentant des risques d'obstruction en termes de :
 - a. prévention des blocages;
 - b. précision de la dose appliquée;
 - c. uniformité de l'épandage (entre chaque buse, en terrain en pente, tout au long du parcours);
 - d. précision en bordure des zones de prohibition.
2. Préciser les conditions optimales d'utilisation des différents modèles en termes de :
 - a. pourcentage de matière sèche des lisiers;
 - b. quantité de litière;
 - c. préparation préalable, brassage et déchetage.
3. Mener un essai témoin, à l'aide d'un équipement d'aéroaspersion basse, équipement couramment utilisé pour le lisier de bovins laitiers, afin de comparer les performances d'épandage de ce type d'équipement par rapport aux rampes basses testées.

2.2. Hypothèses

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

1. L'utilisation de rampes basses actuellement disponibles sur le marché au Québec et respectant les deux critères définis par le MDDEP s'avère faisable pour épandre des lisiers avec des contenus élevés en paille et en rejets d'alimentation.
2. Une teneur en matière sèche de 10 % ou plus représente une situation où la probabilité de blocage est élevée.
3. Une déviation de la dose demandée supérieure à 10 % indique un manque de précision. Ce seuil a été proposé pour l'épandage du lisier porcin par les clubs-conseils en



agroenvironnement (2005). Son applicabilité au lisier pailleux de bovins laitiers reste à vérifier. Néanmoins, il servira ici en tant que point de référence.

4. Une variation, soit longitudinale, soit latérale supérieure à 10 % indique un manque d'uniformité. Quoique le seuil choisi pour l'hypothèse de travail 3 ne soit pas en lien direct avec la variation spatiale, il est utilisé ici en tant que référence et comme point de départ pour l'évaluation de la valeur d'un seuil approprié.



3. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie utilisée est une adaptation du protocole proposé par M. Vincent Lamarre, ing., agr., de l'Institut de technologie agroalimentaire du Québec (ITA), intitulé *Protocole d'évaluation de la rampe basse* et présenté à Agrinova en juin 2006.

3.1. Lieux, régies d'élevage et conditions d'épandage

Les essais se sont déroulés en deux journées et sur deux sites distincts. Les détails des lieux et conditions d'épandage se trouvent au tableau 1. Les conditions d'élevage susceptibles d'influencer les quantités de litière et de refus d'alimentation retrouvés dans les lisiers sont également rapportées.

**Tableau 1. Lieux, régies d'élevage et conditions des essais au champ**

	Site A	Site B	
Date	3 octobre 2006	10 octobre 2006	
Ville	Upton	Saint-Césaire	
Élevage	60 vaches en lactation	65 vaches en lactation	55 génisses
Type d'alimentation	½ ensilage maïs ou foin + ½ foin sec Totalisant 16 à 18 kg/jour	¾ ensilage maïs ou foin + ¼ foin sec	Balle ronde de foin + ensilage de foin
Refus de balles rondes enfouis dans la fosse	Aucun refus n'est produit	1/3 des refus	
Litière/jour	Paille (« ripe » pour génisses) Hiver : 10 à 12 petites balles carrées Été : 5 à 6 petites balles carrées	11 balles de paille de 15,9 kg (35 livres)	1 sac de « ripe »
Hachage de la paille	Batteuse	Batteuse Gleaner modifiée	
Eaux de laiterie entreposées dans la fosse	Oui	Non	
Description de la fosse	Matériel : béton Diamètre : 115 pieds Profondeur : 12 pieds	Matériel : béton Diamètre : 105 pieds Profondeur : 16 pieds	
Remplissage de la fosse	Évacuateur souterrain de type piston hydraulique	Évacuateur souterrain de type Évacuir	
Pompe de brassage de la fosse	Houle (pas de hachoir)	Super Houle (450 HP) (pas de hachoir)	
Nombre de points d'agitation lors du brassage	2	15 août : 3 6 et 10 octobre : 1	
Préparation de la fosse effectuée avant les essais (pour l'année 2006)	1 ½ brassage Brassage partiel après la première coupe (début juin) : 7 à 8 heures Brassage complet (début juillet) : 7 à 8 heures	Brassage complet, sur chaumes de céréales (15 août) : 10 heures	
Préparation de la fosse pour les essais	Enlèvement de 0,6 m de liquide 4 heures de brassage avant le début des essais	Brassage partiel (6 octobre) : 3 heures	
Brassage complété avant le début des essais	Non : La pompe de brassage projetait un jet de lisier vers la pompe de reprise pendant les essais afin d'optimiser l'homogénéité du lisier	Oui : Brassage partiel (10 octobre), ½ heure avant le début de la reprise	
Hauteur du lisier restant dans la fosse au début des essais	0,77 m (2,5 pieds)	0,61 m (2 pieds)	
Conditions d'épandage	Nuageux, sol humide après plusieurs jours de pluie, mais non saturé. Épandage sur chaume de prairie (15 cm), terrain plat et uniforme	Nuageux, sol avec une bonne capacité portante. Épandage sur prairie brûlée, terrain plat et uniforme	
Dose d'épandage visée lors des essais	16,8 t/ha (1 500 gal/ac)	59,4 t/ha (5 329 gal/ac)	

Les lieux des essais ont été choisis en fonction de la forte teneur en matière sèche du lisier ainsi que des critères décrits ci-dessous. Ces derniers ont été sélectionnés dans le but de réduire la variation systématique des essais.

- Une **fosse contenant un volume suffisant de lisier** pour exécuter la totalité des essais avec un minimum de variation de la teneur en matière sèche entre la première et la dernière répétition;
- Une **parcelle représentative d'un champ**, soit suffisamment longue pour éviter ou minimiser les virages en bout de champ;
- Une parcelle avec une **topographie uniforme** pour favoriser la comparaison entre les répétitions;
- Une parcelle en prairie pour **maximiser la visibilité du patron d'épandage** et pour favoriser la comparaison avec les données d'études précédentes (similitude au niveau de la traction).

Finalement, le lisier disponible au site A était trop liquide pour se conformer au critère d'une teneur minimale de 10 % de matière sèche. Alors, un important volume de la fraction liquide a été enlevé (30 à 40 % du volume total du lisier) avant que le brassage de la fosse ne soit commencé. Ce procédé d'augmentation du taux de matière sèche a été favorisé plutôt que d'ajouter de la paille ou d'autres matières fibreuses à la fosse, et ce, pour des raisons de fonctionnalité et par souci de préserver une situation réaliste et comparable. L'ajout de paille non décomposée aurait modifié les caractéristiques physiques du lisier d'une façon plus marquée que l'enlèvement d'une partie du liquide.

Les figures 1 et 2 présentent des images des fosses des sites A et B.



Figure 1. Fosse du site A a) le 17 septembre 2006; b) le 3 octobre 2006, après l'enlèvement du liquide et le brassage; c) vue rapprochée du lisier lors d'une mesure d'affaissement



Figure 2. Fosse du site B a) le 17 septembre 2006; b) le 10 octobre 2006, après le brassage

3.2. Caractérisation du lisier

La caractérisation du lisier s'est effectuée afin de pouvoir vérifier l'uniformité des conditions pendant toute la durée des essais. Cinq mesures ont été identifiées : la teneur en matière sèche, la densité, la mesure d'affaissement, la teneur en fibre et la caractérisation de la fibre en termes de longueur.

3.2.1. Matière sèche

L'analyse en laboratoire de la teneur en matière sèche du lisier est fréquemment utilisée par les conseillers agroenvironnementaux et les ingénieurs pour divers calculs, en lien avec l'entreposage et l'épandage du lisier. La matière sèche est un facteur déterminant pour le comportement fluide des lisiers.

3.2.2. Densité

La densité est un facteur important dans la dynamique des fluides, mais ne varie pas beaucoup d'un lisier à l'autre; la valeur de 1 g/cm^3 y est souvent attribuée par défaut. L'importance de mesurer la densité lors de ces essais est de vérifier la similitude entre les deux fosses et entre les répétitions à chaque fosse, ainsi que de calculer, avec précision, les doses épandues en unités de masse à partir d'unités de volume.

3.2.3. Mesure de l'affaissement

La mesure de l'affaissement est un indicateur de la fluidité du lisier. Cette mesure s'effectue facilement et donne un résultat immédiat sur le terrain. Plusieurs fabricants de rampes utilisent cette mesure pour indiquer les limites fonctionnelles de leurs équipements d'épandage.



3.2.4. Teneur en fibre et caractérisation de la fibre en termes de longueur

Une analyse en laboratoire est nécessaire afin de sécher et trier la paille. Cette analyse est moins commune, mais elle donne des résultats qui se reflètent directement sur la régie d'élevage et sur la gestion de la matière fibreuse des productions bovines, ainsi que sur l'efficacité du pompage pour déchiqueter la paille. Si un rapport entre le contenu pailleux du lisier (en termes de quantité et de longueur) et la mesure d'affaissement peut être démontré, ce résultat pourra avoir une incidence sur les recommandations quant à la préparation ou la gestion du lisier, et ce, afin de faciliter l'épandage du lisier par la rampe basse.

Les procédures suivies pour préparer, échantillonner et analyser le lisier sont présentées aux tableaux 2, 3 et 4. La figure 3 de la page suivante illustre le dispositif pour mesurer l'affaissement. L'évaluation de la teneur en matière sèche et de la densité du lisier a été effectuée selon les méthodes appliquées au laboratoire de l'IRDA (Conseil des productions végétales du Québec, 1997).

Tableau 2. Synthèse des étapes de préparation et d'échantillonnage du lisier

Étape	Description
1	Au plus 24 heures avant les essais, homogénéiser le lisier pailleux de bovin laitier dans la structure d'entreposage par agitation pendant plusieurs heures pour réduire au minimum la présence d'amas solide.
2	À la fin de chaque chargement des rampes, prélever à même la pompe un échantillon de lisier dans un seau de 20 litres.
3	Prélever à partir du seau un sous-échantillon de lisier dans un contenant de 500 ml pour l'analyse de la matière sèche et de la densité.
4	Brasser le contenu du seau avec un bâton pour mieux l'homogénéiser.
5	Prélever un deuxième sous-échantillon dans un contenant de 5 350 ml pour la caractérisation de la fibre.
6	Effectuer la mesure de l'affaissement avec le lisier restant dans le sceau et rejeter le surplus dans la fosse.

Tableau 3. Procédure pour mesurer l'affaissement du lisier

Étape	Description
1	Verser doucement du lisier sur le centre d'un rond en métal de 60 cm de diamètre, surélevé du sol, jusqu'au point où la surface du rond soit entièrement recouverte de lisier. Porter une attention particulière afin de ne pas trop verser de lisier.
2	Une fois que l'égouttement du lisier s'est arrêté, mesurer la hauteur du lisier au centre du rond avec une règle graduée en centimètres.



Figure 3. Prise de la mesure d'affaissement

Tableau 4. Procédure de caractérisation de la fibre à partir d'un échantillon de lisier

Étape	Description
1	Verser l'échantillon de lisier dans un sac de jute qui sert de filtre. Laver le sac et son contenu dans un bain d'eau pour obtenir un échantillon de paille propre.
2	Égoutter l'échantillon de paille et le ranger dans un sac en plastique bien identifié.
3	Au laboratoire, sécher la paille à l'air ambiante jusqu'à ce que sa masse cesse de baisser. Mesurer la masse de l'échantillon sec. Cette masse divisée par le volume de l'échantillon de lisier original et divisée par la densité du lisier rend le pourcentage de fibre sur une base de matière sèche.
4	Trier l'échantillon de paille sèche par catégorie de longueur : 0-1, 1-2, 2-3 et 3 pouces ou plus. Mesurer la masse de chaque catégorie.

3.3. Essais au champ

Les essais au champ ont permis d'évaluer les performances techniques de certaines rampes dans des conditions normales d'opération (c'est-à-dire dans les limites d'utilisation spécifiées par le fabricant) avec du lisier pailleux de bovins.

3.3.1. Équipements d'épandage utilisés pour les essais

Pour le site A, trois épandeurs avec rampe basse et un épandeur avec équipement d'aérospersion basse ont été utilisés pour les essais. Les fabricants des rampes basses étaient



Houle, Pro-Jet et DM. L'équipement d'aéroaspersion basse était de marque Houle, montée sur un camion.

Comme l'autorisation d'effectuer des essais sur le site B a été accordée tardivement, il n'y a que l'entrepreneur à forfait et son fournisseur d'équipement qui ont pu se libérer à temps. Par conséquent, une seule rampe basse pour lisier de bovin a pu être testée. Les essais ont eu lieu afin d'obtenir des résultats pour un lisier avec des caractéristiques distinctes, ainsi que pour l'uniformité d'épandage à une dose plus élevée.

Les équipements utilisés pour les essais sur le site B étaient deux épandeurs de marque Houle, soit un avec une rampe basse et un autre avec une rampe à pendillards munie d'un équipement d'aéroaspersion basse. C'est en mode d'aéroaspersion que ce deuxième épandeur a été utilisé lors des essais.

Chaque rampe utilisée est illustrée aux figures 4 à 9, tandis que les caractéristiques des citernes et des tracteurs utilisés sont présentées au tableau 5. Les caractéristiques techniques des rampes basses fournies par les fabricants sont présentées à l'annexe 1.



Figure 4. Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse Houle



Figure 5. Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse Pro-Jet



Figure 6. Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'une rampe basse DM



Figure 7. Équipement utilisé lors des essais au site A, muni d'un équipement pour aérospersion basse Houle montée sur un camion



Figure 8. Équipement utilisé lors des essais au site B, muni d'une rampe basse Houle



Figure 9. Équipement utilisé lors des essais au site B, muni d'un équipement pour aérospersion basse Houle



Tableau 5. Caractéristiques des tracteurs et des citernes utilisés par chaque fabricant de rampe d'épandage pour les essais aux sites A et B

SITE	DESCRIPTION	FABRICANT DE RAMPE (modèle)			
		HOULE (38 pieds)	DM (Conventionnel)	PRO-JET (TD-32)	HOULE (Aérospersion basse)
A	Opération de l'équipement	Forfaitaire local avec supervision du représentant Houle	Représentant DM	Propriétaire local avec conseils du représentant Pro-Jet	Agriculteur avec supervision du représentant Houle
	Tracteur				
	Marque	Case IH	John Deere	Case IH	(Camion)
	Puissance	250 HP	220 HP	150 HP	
	Régime du PTO	540 tpm	1000 tpm	540 tpm	
	Citerne				
	Marque	Houle	DM	Houle	Houle
	Capacité en gallons	6100	5500	4450	3000
	Taux de chargement	100 %	100 %	100 %	100%
	Type de pompe	Centrifuge	Centrifuge	Centrifuge	Centrifuge
B	Opération de l'équipement	Forfaitaire local avec supervision du représentant Houle			Forfaitaire local avec supervision du représentant Houle
	Tracteur				
	Marque	Case Inter	-	-	Fast Track
	Puissance	210 HP	-	-	220 HP
	Régime du PTO	540 tpm	-	-	1000 tpm
	Citerne				
	Marque	Houle	-	-	Houle
	Capacité en gallons	4000	-	-	5250
	Taux de chargement	85 %	-	-	85 %
	Type de pompe	Centrifuge	-	-	Centrifuge

3.3.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été conçu pour mesurer l'uniformité transversale et longitudinale de la dose de lisier appliquée. Il comporte une série de rangées de cinq cadres : deux à gauche, un entre et deux à droite des roues de l'épandeur, comme illustré à la figure 10. Chaque rangée est répétée à trois endroits sur le terrain : à 25, 50 et 75 % du parcours de l'épandeur. Chaque cadre mesure 2,44 m (8 pieds) de long et contient huit plats en aluminium, à l'exception du

cadre central qui mesure 0,91 m (3 pieds) et contient trois plats. Une description de la construction du dispositif expérimental est fournie à l'annexe 2. Les plats en aluminium captent le lisier épandu lors du passage de l'épandeur, comme illustré à la figure 11.

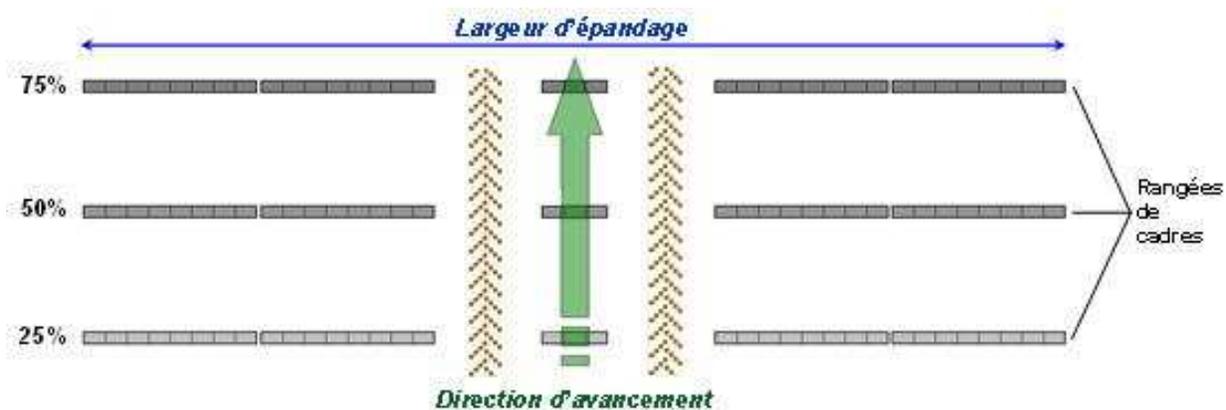


Figure 10. Dispositif expérimental dans le champ.
(L'échelle longitudinale est compressée.)



Figure 11. Dispositif expérimental pendant la prise de données, après un épandage à faible dose.

La distance de séparation entre les cadres, allouée pour les roues, a été ajustée en fonction des dimensions de chaque épandeur. Alors, la largeur totale des rangées variait selon l'équipement en évaluation. Cependant, cette dimension était toujours supérieure à 13,11 m (43 pieds), soit suffisamment large pour évaluer la pleine largeur d'épandage de tous les modèles de rampes basses utilisés.



La liste des mesures et observations effectuées lors des essais au champ est reproduite au tableau 6. Cette liste inclut l'objectif correspondant à chaque mesure. Le protocole expérimental pour les essais au champ est résumé au tableau 7.

Tableau 6. Liste des mesures et observations

Description	Objectif spécifique
Hauteur du jet par rapport au sol	Respect du REA
Distance de projection du lisier	Respect du REA
Volume de la citerne, longueur et la largeur utiles d'épandage pour calculer la dose moyenne	Précision d'épandage
Patron d'épandage (chevauchement des jets)	Précision d'épandage
Masse de lisier retenu par chacun des plats	Uniformité d'épandage
Blocage ou anomalie d'épandage	Efficacité d'épandage

Tableau 7. Synthèse du protocole expérimental au champ

Étape	Description
1	Remplir la citerne de l'épandeur à pleine capacité et permettre à l'opérateur de faire un épandage de calibration à la dose demandée. Durant la calibration, l'opérateur peut ajuster le rapport de transmission, le régime du moteur, la valve de retour et les autres mécanismes conçus pour le réglage de la dose. Ces réglages ne devraient pas être modifiés durant les essais.
2	Installer le dispositif expérimental selon les dimensions de l'épandeur (largeur des roues et volume de la citerne, voir la longueur du parcours) et marquer la position des cadres centraux avec des groupes de trois drapeaux, afin de guider l'opérateur avec précision.
3	Remplir la citerne de l'épandeur à pleine capacité et prélever un échantillon de lisier.
4	Faire épandre le chargement de lisier en entier et suivre l'épandeur pour observer le patron d'épandage ainsi que tout blocage ou autre anomalie.
5	Mesurer la distance parcourue et la position des rangées de cadres à l'aide d'une roue à mesurer.
6	Effectuer une marche transversale à l'épandage pour mieux observer le patron d'épandage et mesurer les endroits où il y a chevauchement, la distance de projection du lisier de chaque buse et la largeur totale d'épandage à l'aide d'une roue à mesurer.
7	Mesurer la masse recueillie dans chaque plat en aluminium à l'aide d'une balance électronique portable. Enregistrer la position horizontale et longitudinale de chaque mesure de masse.
8	Répéter les étapes 2 à 7 une deuxième fois pour chaque rampe d'épandage.



3.4. Analyse des résultats

Les mesures et observations prélevées au champ ont permis de calculer les paramètres énumérés au tableau 8.

Tableau 8. Synthèse des paramètres calculés ainsi que leur méthode de calcul

Paramètre	Méthode d'analyse
1. Teneur en matière sèche du lisier	Comme décrite à la section 2.1. Caractérisation du lisier
2. Densité du lisier	
3. Mesure d'affaissement	
4. Teneur en fibre du lisier	
5. Caractérisation de la fibre en termes de longueur	
6. Corrélation entre les paramètres 1 à 5	Régressions linéaires faites avec Microsoft Excel® pour produire un graphique et le coefficient de détermination.
7. Dose moyenne appliquée	1. La moyenne des doses moyennes des rangées du dispositif expérimental; 2. Le volume de lisier dans la citerne divisé par le produit de la largeur et de la longueur d'épandage.
8. Erreur relative de la dose moyenne	Différence absolue des deux calculs de la dose moyenne divisée par leur moyenne
9. Pourcentage d'écart entre la dose moyenne et la dose visée	Différence absolue entre la dose moyenne et la dose visée, divisée par la dose visée
10. Précision de la dose appliquée	Critère atteint si le paramètre 9 est inférieur au seuil de 10 %
11. Variation latérale	Moyenne des coefficients de variation de la dose pour chaque rangée du dispositif expérimental
12. Variation longitudinale	Coefficient de variation des doses moyennes obtenues pour chaque rangée du dispositif expérimental
13. Uniformité latérale ou longitudinale	Critère atteint si le paramètre 11 ou 12 est inférieur au seuil de 10 %
14. Précision en bordure des zones de prohibition	Variation de la largeur d'épandage selon les mesures du dispositif expérimental : oui ou non
15. Efficacité de l'épandage	Observation ou non de blocage ou autre anomalie durant l'épandage



4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Ces résultats traduisent les conditions et les performances observées sur les deux sites avec les équipements identifiés dans la méthodologie. Ils ne s'appliquent pas à toutes les rampes basses sur le marché québécois, ni à toutes les conditions d'épandage. Il est important de ne pas généraliser ces résultats.

4.1. Caractérisation du lisier

Les faibles coefficients de variation obtenus en termes de teneur en matière sèche (< 2 %), de densité (< 0,5 %) et de teneur en fibre (< 6,5 %) permettent la comparaison des essais entre les répétitions à chaque site. Ces mêmes coefficients sont près de deux fois plus élevés en considérant les résultats des deux sites ensemble (5,5, 1,2 et 10,2 %, respectivement). Malgré le fait que ces valeurs soient toujours relativement faibles, les résultats présentés dans cette section indiquent que les fosses des sites A et B contenaient des lisiers distincts. Cette distinction a permis l'analyse de multiples facteurs de corrélation potentiels. Les résultats de l'analyse sont présentés à la fin de cette section du rapport.

4.1.1. Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche (MS) de chaque échantillon prélevé lors des essais est présentée au tableau 9. L'homogénéité de chaque fosse est démontrée par le faible coefficient de variation. Cependant, il y a un écart de plus de 1 % de MS entre les deux sites. Cette différence, en combinaison avec les faibles CV, démontre que les deux sites ont des teneurs en matière sèche distinctes. Le site A n'atteignait pas un taux de 10 % de MS; les valeurs variaient entre 9,51 et 9,89 %. Par contre, le site B présentait des teneurs en MS de près de 11 %. Le rapport officiel de l'analyse du laboratoire de l'IRDA est présenté à l'annexe 3.

Tableau 9. Teneur en matière sèche des échantillons de lisier pour les sites A et B

Rampe	Rép.	Teneur en matière sèche (%)	
		Site A	Site B
Aéroasp. basse	1	9,67	10,88
	2	-	10,84
Houle	1	9,73	10,69
	2	9,65	10,62
Pro-Jet	1	9,77	-
	2	9,89	-
DM	1	9,53	-
	2	9,51	-
Moyenne		9,68	10,75
Écart type		0,13	0,12
CV (%)		1,40	1,10



4.1.2. Densité

La densité des échantillons de lisier est présentée au tableau 10. L'homogénéité de chaque fosse est démontrée par le faible coefficient de variation. Suivant la tendance démontrée pour la teneur en matière sèche, la densité mesurée au site B est plus forte que celle du site A. La densité du site A est près de 0,97 g/cm³, tandis qu'elle est de 0,99 g/cm³ pour le site B. Le rapport officiel de l'analyse du laboratoire de l'IRDA est présenté à l'annexe 3.

Tableau 10. Densité des échantillons de lisier pour les sites A et B

Rampe	Rép.	Densité (g/cm ³)	
		Site A	Site B
Aéroasp. basse	1	0,972	0,993
	2	-	0,987
Houle	1	0,97	0,992
	2	0,967	0,996
Pro-Jet	1	0,968	-
	2	0,963	-
DM	1	0,972	-
	2	0,974	-
Moyenne		0,969	0,992
<i>Écart type</i>		<i>0,004</i>	<i>0,004</i>
<i>CV (%)</i>		<i>0,4</i>	<i>0,4</i>

4.1.3. Mesure d'affaissement

La mesure d'affaissement des échantillons de lisier est présentée au tableau 11. Également, ces données sont présentées en unités impériales (pouces) à l'annexe 4. En moyenne, la mesure d'affaissement est presque le double pour le site B par rapport au site A. Le coefficient de variation est plus grand pour ce paramètre que pour les précédents. Une partie de la variation vient du fait que l'analyse ne fait pas l'objet d'un procédé standard. Des erreurs dans la méthode de versement du lisier et dans le choix du moment d'arrêter le versement du lisier peuvent contribuer à l'erreur intrinsèque à cette mesure.



Tableau 11. Mesure d'affaissement des échantillons de lisier pour les sites A et B

Rampe	Rép.	Affaissement (cm)	
		Site A	Site B
Aéroasp. basse	1	2,0	6,5
	2	-	5,0
Houle	1	2,0	5,0
	2	3,0	4,5
Pro-Jet	1	3,0	-
	2	3,5	-
DM	1	3,0	-
	2	3,0	-
Moyenne		2,9	5,3
<i>Écart type</i>		<i>0,49</i>	<i>0,87</i>
<i>CV (%)</i>		<i>17</i>	<i>16</i>

4.1.4. Teneur en fibre et caractérisation de la fibre en termes de longueur

La teneur en fibre des échantillons sur les deux sites variait entre 37 et 56 % de la MS, soit entre 3,9 et 5,5 % du lisier. La fibre représentait 51,1 et 39,0 % de la MS pour les lisiers du site A et B, respectivement. La teneur en paille est plus forte pour le site A que pour le site B, indiquant la possibilité d'une relation négative entre la teneur en paille et la densité. Par ailleurs, 100 % de la fibre retenue dans les échantillons mesurait 7,62 cm (3 pouces) ou moins. Entre 97,6 et 99,1 % des fibres étaient plus courtes que 5,08 cm (2 pouces).

La teneur en fibre des deux sites est présentée au tableau 12. La caractérisation de la fibre en termes de longueur est présentée à la figure 12.

Tableau 12. La teneur en fibre des échantillons de lisier pour les sites A et B

Rampe	Rép.	Teneur en fibre (%)	
		Site A	Site B
Aéroasp. basse	1	4,96	4,44
	2	-	4,42
Houle	1	5,20	3,92
	2	4,88	4,00
Pro-Jet	1	5,46	-
	2	4,75	-
DM	1	4,93	-
	2	4,50	-
Moyenne		4,95	4,19
<i>Écart type</i>		<i>0,34</i>	<i>0,27</i>
<i>CV (%)</i>		<i>6,8</i>	<i>6,5</i>
Fraction de la MS (%)		51,1	39,0

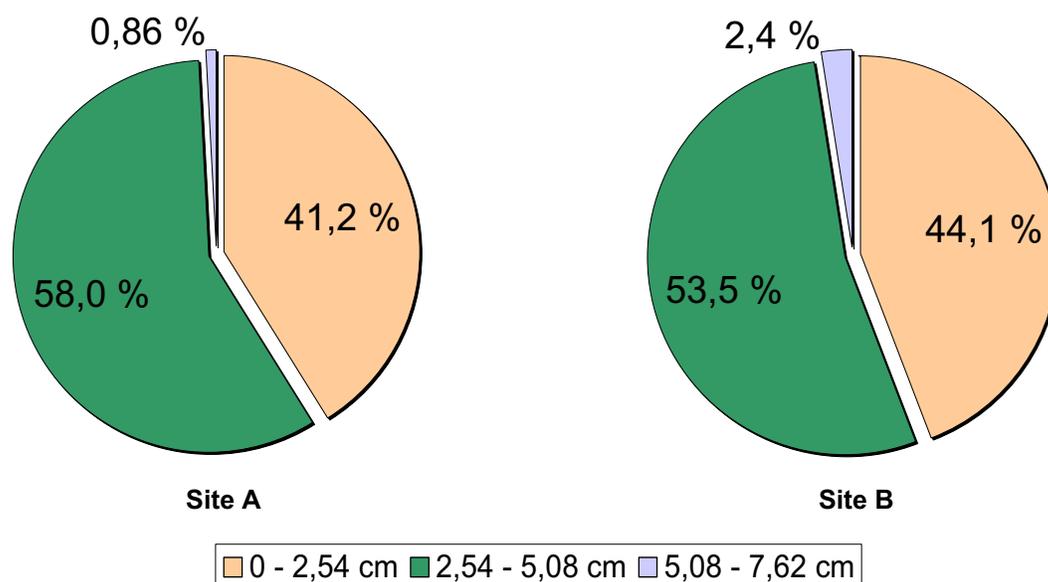


Figure 12. Caractérisation des longueurs de fibres dans les échantillons de lisier des sites A et B

4.1.5. Variation saisonnière entre les paramètres

Selon les producteurs, les entrepreneurs à forfait et les fabricants, les problèmes de blocage sont très rares à l'automne. Ceci serait dû au fait qu'à ce moment, la fosse a déjà été brassée à une ou deux reprises au cours de l'été. Selon eux, c'est lors de l'épandage printanier que les lisiers présentent les conditions les plus extrêmes. Ceci indique que les caractéristiques du lisier peuvent varier grandement au cours de l'année et que les conditions constatées lors des essais à l'automne ne sont peut-être pas représentatives de conditions pouvant être problématiques.

4.1.6. Corrélation entre les paramètres

Plusieurs liens entre les différents paramètres existent. D'abord, le lien entre la matière sèche et la densité pour chaque site est négatif, ce qui correspond à une densité maximale quand la MS = 0 % (eau pure). La densité baisse en fonction du contenu de MS et du contenu de fibres. Les coefficients de détermination sont plus faibles entre la densité et la teneur en fibres qu'entre la densité et la MS. Ceci s'explique possiblement par le fait que la décomposition de la paille détruit sa structure fibreuse et laisse échapper l'air qui y est emprisonnée. Alors, les fibres présentes dans la fosse varient en densité selon leur stade de décomposition. Le déchiquetage dû au pompage détruit aussi la structure fibreuse de la paille et peut influencer la densité des fibres; par contre, cet impact est considéré constant pour l'ensemble du lisier d'une fosse, n'augmentant pas la variation entre les échantillons. Les corrélations entre la densité, la MS et la fibre sont présentées aux figures 13 et 14.

Comme présenté à la figure 15, une corrélation positive existe entre la MS et la teneur en fibre.

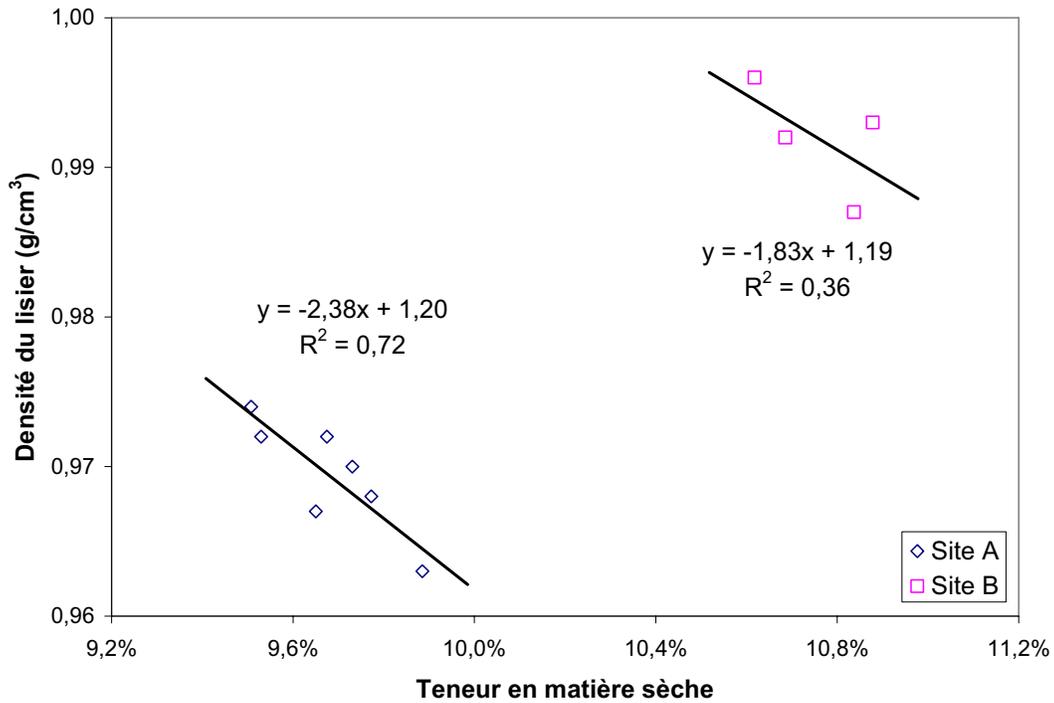


Figure 13. Rapport entre la teneur en matière sèche et la densité du lisier

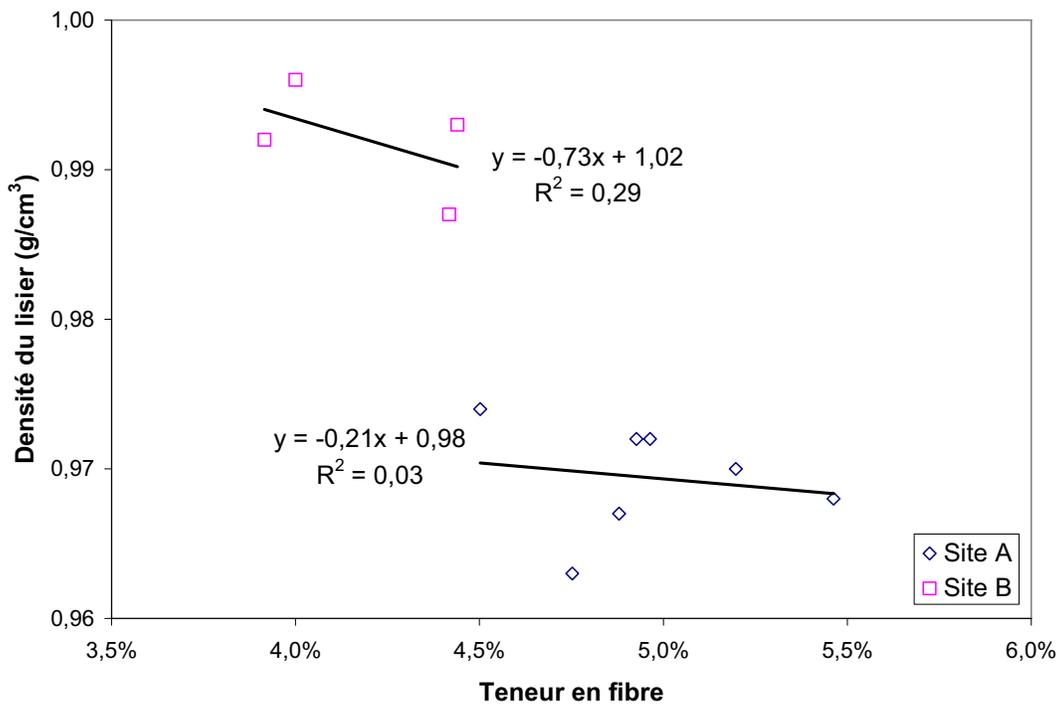


Figure 14. Rapport entre la teneur en fibre et la densité du lisier

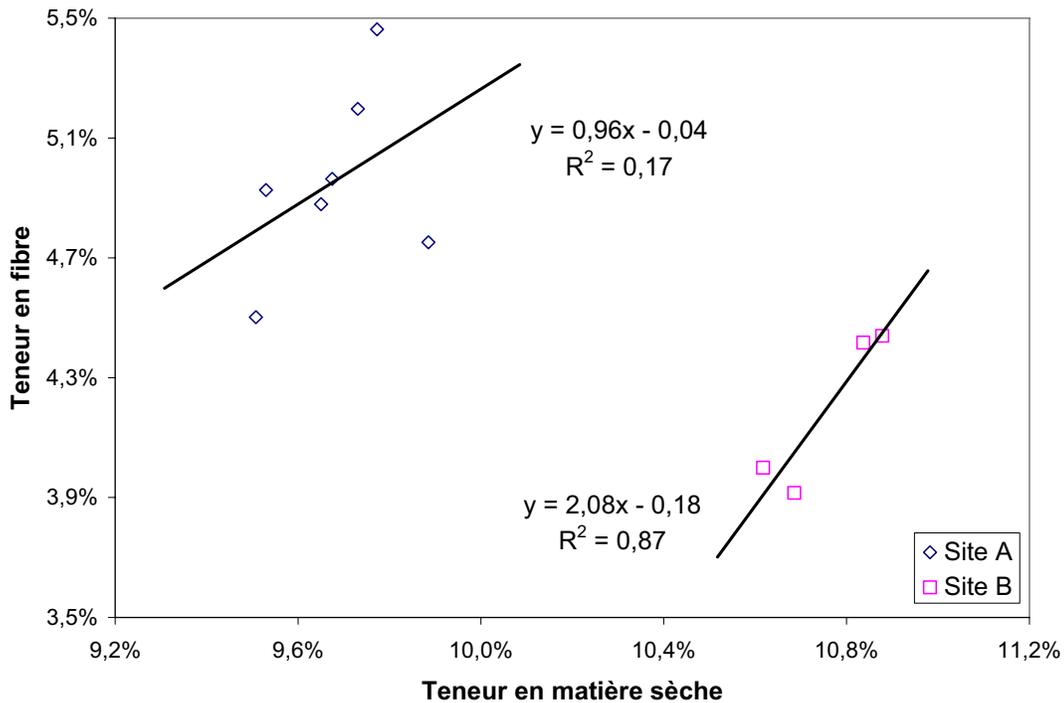


Figure 15. Rapport entre la teneur en matière sèche et la teneur en fibre

Comme présenté à la figure 16, le lien entre l'affaissement du lisier et la teneur en matière sèche semble être légèrement positif, à savoir que, en général, une mesure d'affaissement plus élevée correspond à une teneur en matière sèche aussi plus élevée. Ce constat est confirmé dans l'étude présentée à la CUMAF du Lac (Nadeau et coll., 2006). Par ailleurs, quand des données provenant de plusieurs fosses sont amalgamées, la corrélation devient plus fortement positive, ce qui est aussi confirmé par la même étude. Cette différence n'est pas bien comprise et d'autres études seront nécessaires afin de la clarifier. Étant donné cette différence, il n'est pas possible d'utiliser la mesure d'affaissement du lisier pour déterminer avec précision sa teneur en matière sèche ou vice versa.

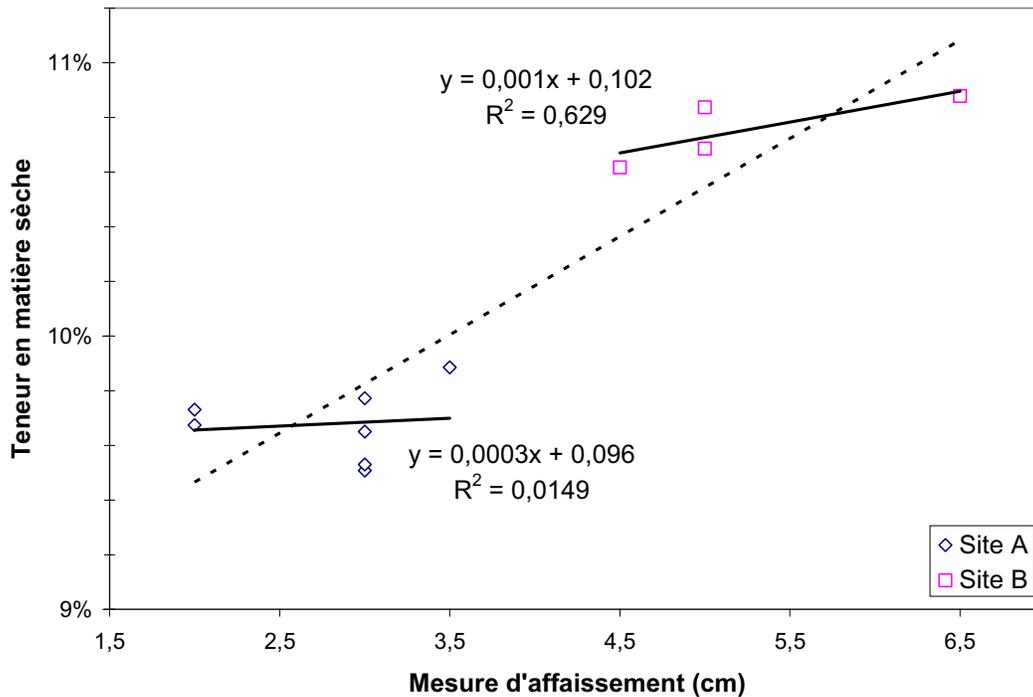


Figure 16. Rapport entre la mesure d'affaissement et la teneur en matière sèche

Les rapports entre la mesure d'affaissement et la teneur en fibres sont variables. Pour le site B, le rapport est positif. Le coefficient de détermination est le plus élevé ($R^2 = 0,68$) dans le cas où seulement les fibres plus longues que 5,04 cm (2 pouces) sont considérées. Pour le site A, le rapport entre l'affaissement et la teneur en fibre est légèrement négatif et les coefficients de détermination sont faibles. Cette différence marquée entre les deux sites suggère que la caractérisation de la fibre n'est pas suffisante pour décrire l'affaissement du lisier avec précision.

En considérant l'ordre de prélèvement des échantillons, on constate que le brassage continu de la fosse lors des essais sur le site A a eu un impact sur l'homogénéité du lisier. Peu importe l'ordre chronologique de l'essai, des valeurs aléatoires pour la teneur en fibre ont été remarquées. Par exemple, les deux valeurs les plus faibles proviennent du premier et du dernier échantillon avec des valeurs mixtes pour les autres essais. À titre de comparaison, sur le site B, la valeur la plus faible pour la teneur en fibre était toujours celle du dernier échantillon, alors que la plus forte valeur était toujours celle du premier. Ceci qui s'explique par la physique du pompage de reprise : après un certain temps, les fibres se décantent et forment un « bol » autour de l'hélice favorisant la reprise de liquide aux dépens des fibres qui s'accrochent dans le « bol ». Sur le site A, un jet de lisier brassé était projeté dans la zone de formation de ce « bol » pour maintenir une teneur en fibre plus homogène et aléatoire tout au cours des essais.

La figure 17 présente les rapports entre l'affaissement et la teneur en fibre du lisier. Elle inclut aussi l'ordre chronologique correspondant à chaque donnée.

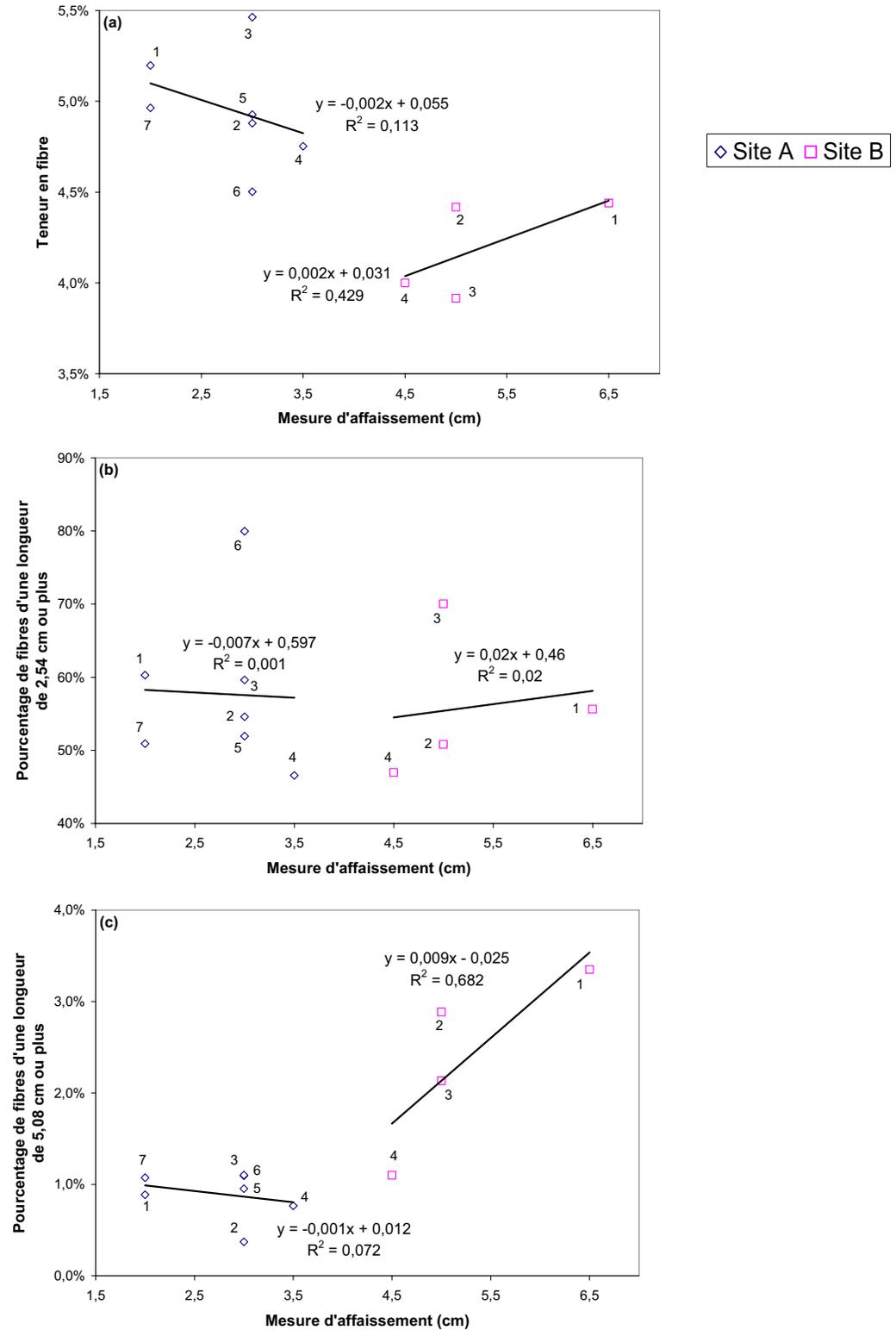


Figure 17. Rapport entre la mesure d'affaissement et la fraction fibreuse sélectionnée¹

¹ Les étiquettes de données indiquent l'ordre chronologique de prélèvement de l'échantillon.



4.2. Essais au champ

Cette section décrit comment les essais se sont déroulés relativement au protocole proposé. Sur le site A, le dispositif expérimental n'était pas déployé parfaitement à 25, 50 et 75 % du parcours. Souvent, la deuxième moitié de l'épandage s'effectuait après la dernière rangée de cadres. L'emplacement du dispositif expérimental lors des essais au site B correspondait mieux aux emplacements théoriques. Ces différences sont présentées au tableau 13. Une vue de l'ensemble des essais effectués sur le site A est illustrée à la figure 17 par un croquis.

Tableau 13. Comparaison de l'emplacement du dispositif expérimental avec le positionnement théorique

Rampe	Rép.	Série théorique	Site A		Site B	
			Distance longitudinale (m)	Série réelle	Distance longitudinale (m)	Série réelle
Aéroasp. basse	1	25 %	126	15 %	125	30%
		50 %	350	43 %	250	60%
		75 %	444	55 %	375	90%
		100 %	813	100 %	417	100%
	2	25 %			125	30%
		50 %			250	60%
		75 %			375	90%
		100 %			417	100%
Houle	1	25 %	126	10 %	50	20%
		50 %	350	27 %	110	44%
		75 %	614	48 %	220	88%
		100 %	1287	100 %	251	100%
	2	25 %	126	10 %	50	21%
		50 %	350	27 %	110	47%
		75 %	614	48 %	220	94%
		100 %	1291	100 %	234	100%
Pro-Jet	1	25 %	126	24 %		
		50 %	350	67 %		
		75 %	614	-		
		100 %	519	100 %		
	2	25 %	126	15 %		
		50 %	350	42 %		
		75 %	444	54 %		
		100 %	827	100 %		
DM	1	25 %	126	11 %		
		50 %	350	30 %		
		75 %	444	38 %		
		100 %	1177	100 %		
	2	25 %	126	8 %		
		50 %	350	23 %		
		75 %	444	29 %		
		100 %	1508	100 %		

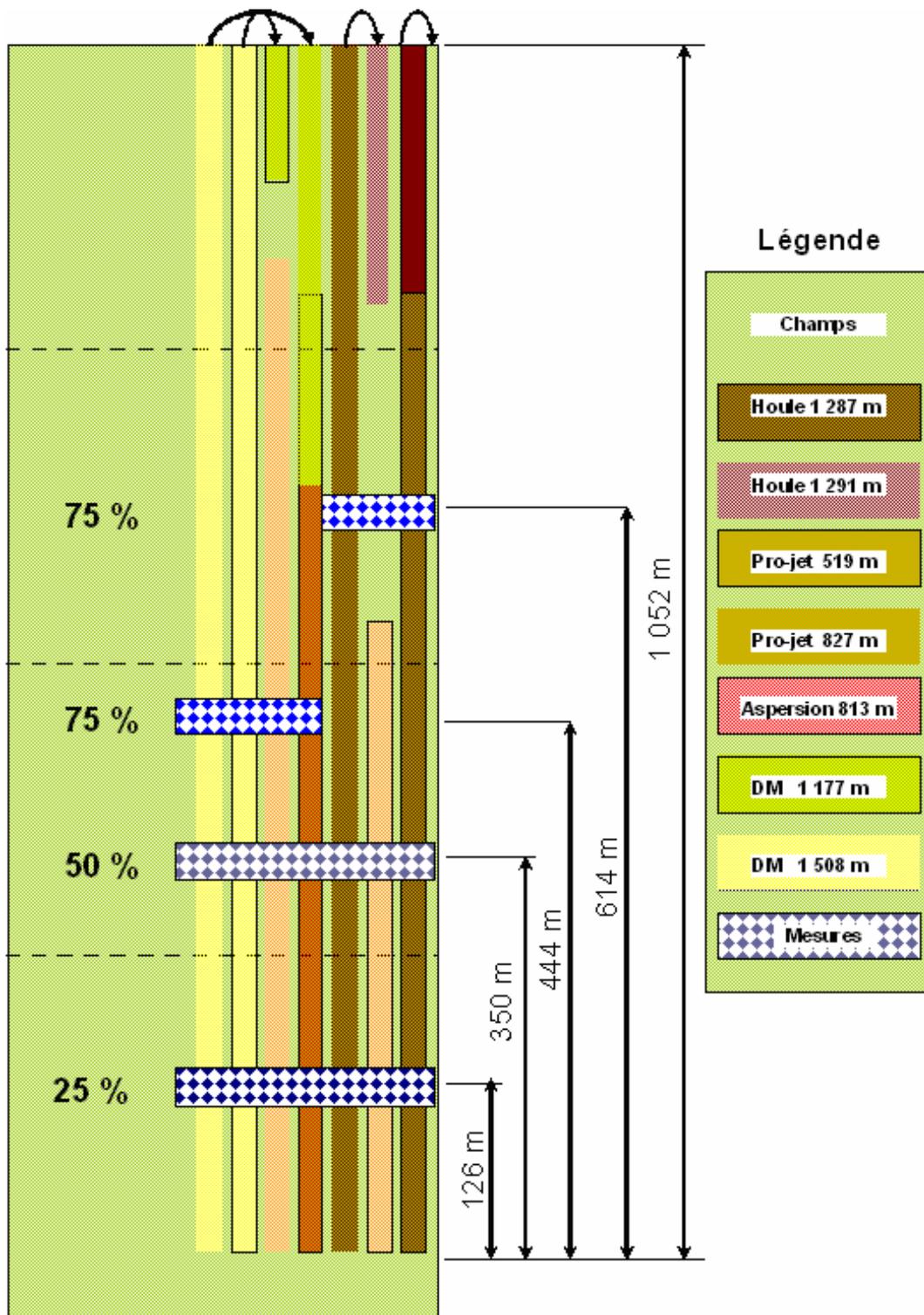


Figure 18. Croquis des essais au site A



Finalement, la dose moyenne épandue a été mesurée de deux façons. Le pourcentage d'écart entre les deux mesures donne une idée de l'erreur intrinsèque au dispositif expérimental. Il est important de noter qu'à défaut d'une valeur sûre pour comparaison, il n'est pas facile de départager l'erreur entre deux mesures représentant des incertitudes. Ceci étant dit, l'incertitude dans les mesures de la longueur et de la largeur d'épandage est connue. Il est aussi assumé que le volume de lisier épandu est bien connu puisque les citernes ont été remplies à pleine capacité sur le site A et, sur le site B, le volume total épandu et le nombre de voyages sont connus. Ainsi, le taux de chargement moyen pour l'ensemble des essais est connu.

Or, la plus grande source d'incertitude revient au dispositif expérimental, surtout à l'incapacité de mesurer le lisier qui tombe à l'endroit du passage des roues de l'épandeur. D'autres facteurs, comme le vent qui soulève les plats en aluminium ou l'épandeur qui accroche le cadre central et le renverse, contribuent aussi à la marge d'erreur. Il est également possible que du lisier ait éclaboussé à l'extérieur des plats à mesurer lors des essais aux débits, voire aux pressions, plus élevés, comme dans le cas des essais sur le site B. L'erreur relative dans la mesure de la dose est présentée au tableau 14.

Tableau 14. Erreur dans la mesure des doses moyennes lors des essais

Site	Rampe	Rép.	Mesure de la dose		Erreur relative	Commentaire
			Dispositif expérimental (t/ha)	Superficie et volume (t/ha)		
A	Aéroasp. basse		10,2	12,6	21 %	Destruction de plats par le camion
	Houle	1	14,4	19,0	28 %	1 virage après 75 % du parcours, 1 plat renversé par le vent
		2	15,8	18,9	18 %	1 virage après 75 % du parcours
	Pro-Jet	1	23,3	35,3	41 %	Ne s'est pas rendu à 75 % du parcours
		2	19,2	22,2	14 %	
	DM	1	21,9	22,6	4 %	1 virage après 75 % du parcours
2		17,8	18,7	5 %	1 virage après 75 % du parcours	
B	Aéroasp. basse	1	33,9	72,1	72 %	
		2	29,1	53,7	59 %	
	Houle	1	46,1	56,8	21 %	
		2	48,1	61,5	25 %	

Il est à noter que la dose mesurée par le dispositif est toujours inférieure à celle calculée à partir des dimensions. L'écart entre les deux mesures est acceptable exclusivement dans le cas de DM, le seul fabricant évalué ayant une rampe à quatre sorties, ce qui a peut-être réduit l'importance du manque de captage à l'endroit des roues.

Pour ces raisons, la dose moyenne qui est calculée à partir de la superficie d'épandage et du volume de lisier épandu sert de référence pour les analyses numériques qui suivent. Les analyses graphiques se rapportent exclusivement aux données du dispositif expérimental.

4.3. Performance des équipements d'épandage

Cette section présente les résultats associés à chaque équipement évalué lors des essais au champ. Le tableau 15 présente la distance moyenne de projection des jets pour chaque équipement. Les figures 19 à 24 représentent graphiquement l'uniformité latérale et longitudinale ainsi que la précision de la dose pour chaque essai, et ce, selon les mesures du dispositif expérimental. De plus, le chevauchement entre les jets est indiqué en haut des graphiques par une ligne crénelée; une discontinuité de cette ligne indique une zone où les jets ne se touchaient pas. Les bandes bleues représentent la dose visée à plus ou moins 10 %.

Tableau 15. Distance moyenne de projection du lisier

Rampe	Rép.	Distance de projection (m)	
		Site A	Site B
Aéroasp. basse	1	6,5	3,4
	2	-	4,5
Houle	1	1,8	1,9
	2	1,9	1,7
Pro-Jet	1	2,5	-
	2	2,0	-
DM	1	1,5	-
	2	1,2	-

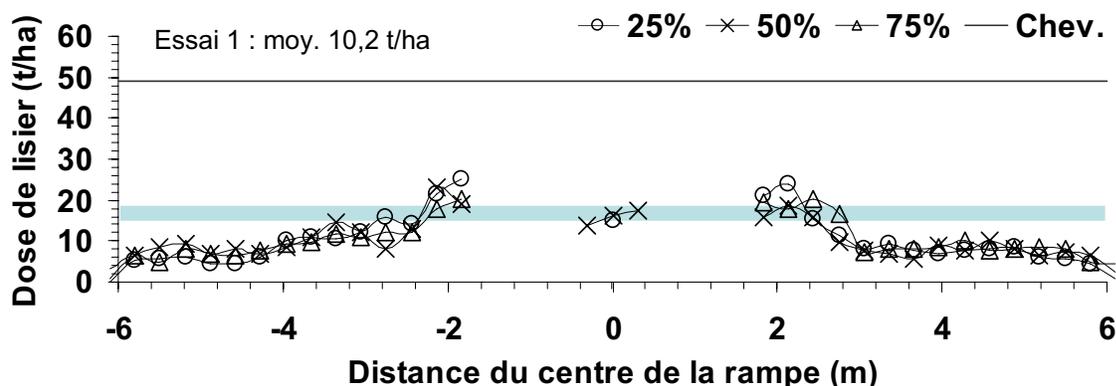


Figure 19. Essai au site A avec l'équipement d'aéroaspersion basse (dose visée de 16,8 t/ha)

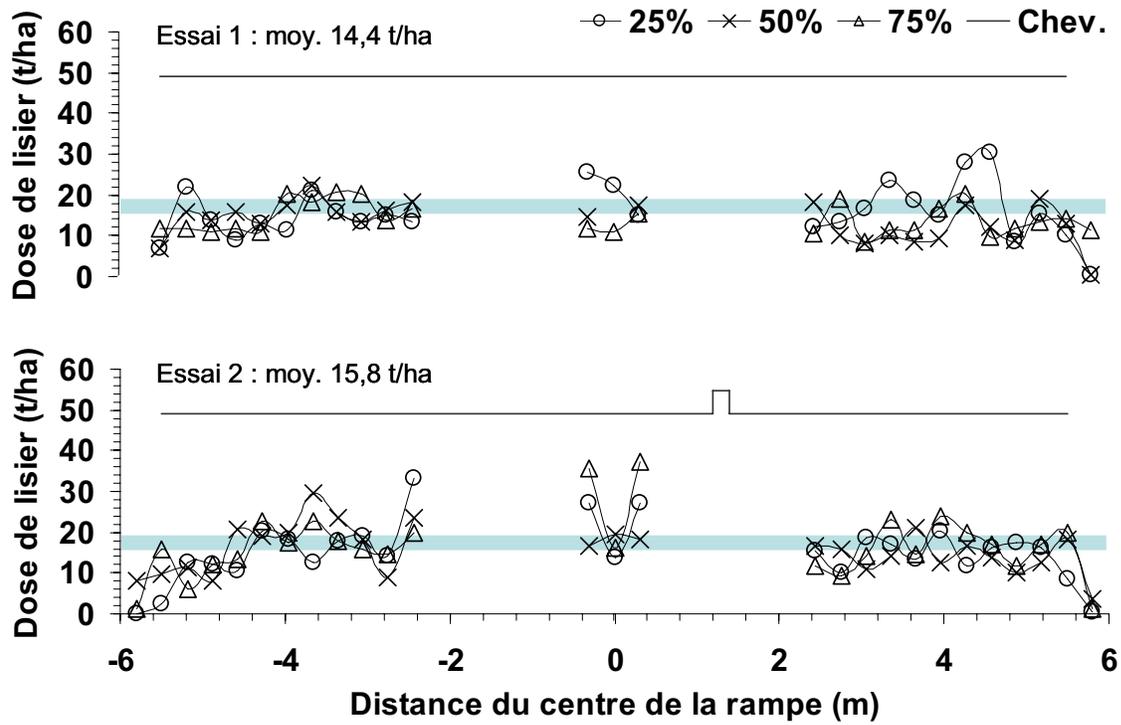


Figure 20. Essai au site A avec la rampe basse Houle (dose visée de 16,8 t/ha)

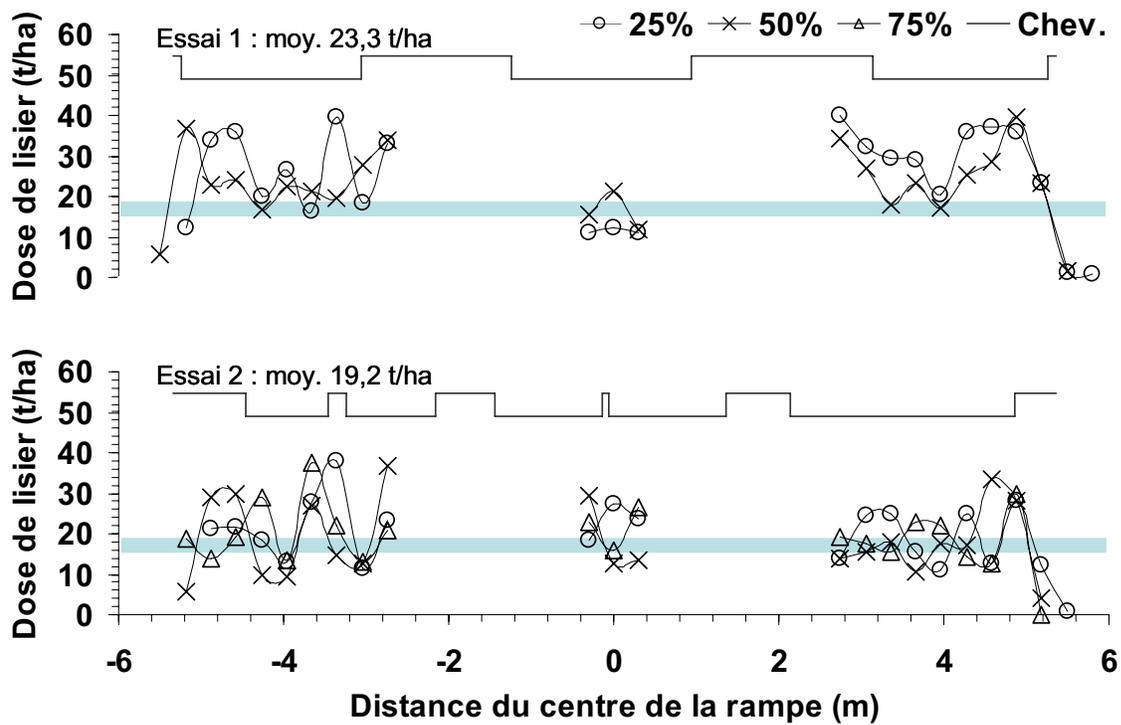


Figure 21. Essai au site A avec la rampe basse Pro-Jet (dose visée de 16,8 t/ha)

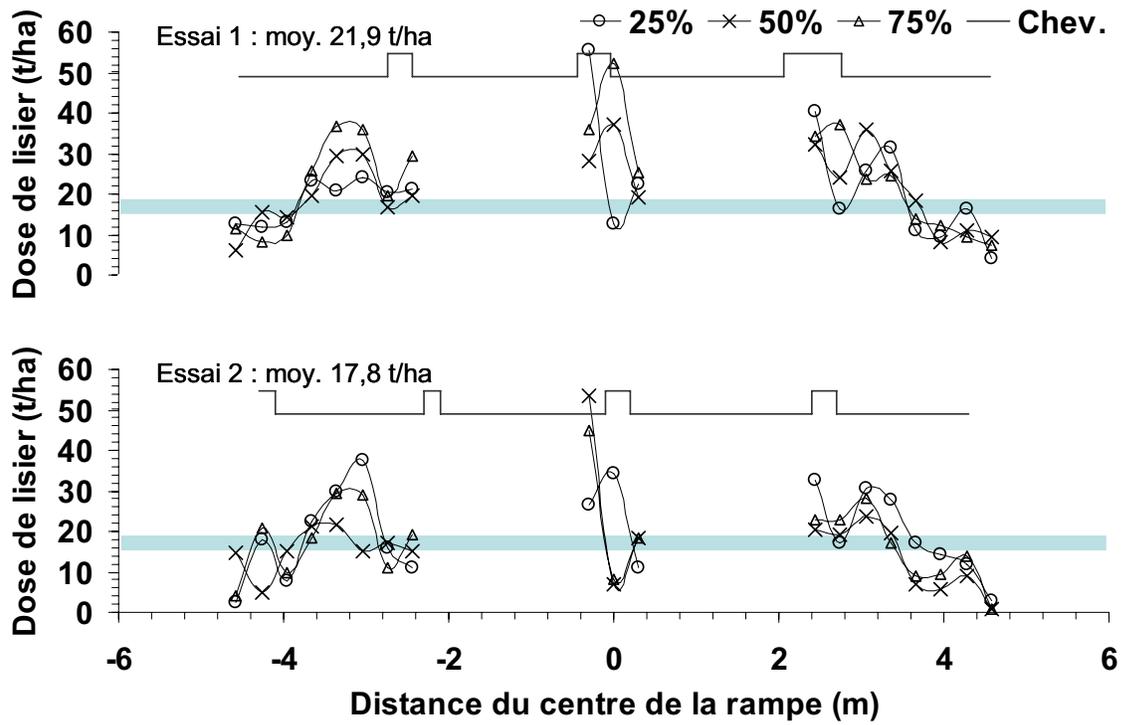


Figure 22. Essai au site A avec la rampe basse DM (dose visée de 16,8 t/ha)

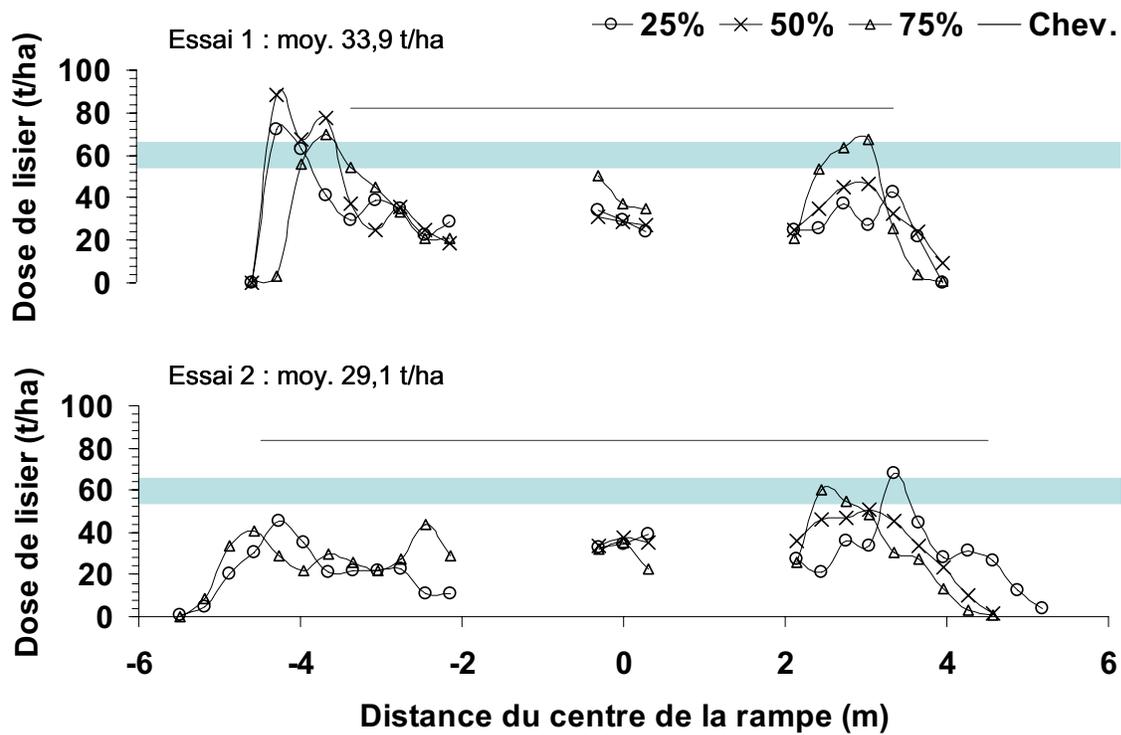


Figure 23. Essai au site B avec l'équipement d'aéroaspersion basse (dose visée de 59,4 t/ha)

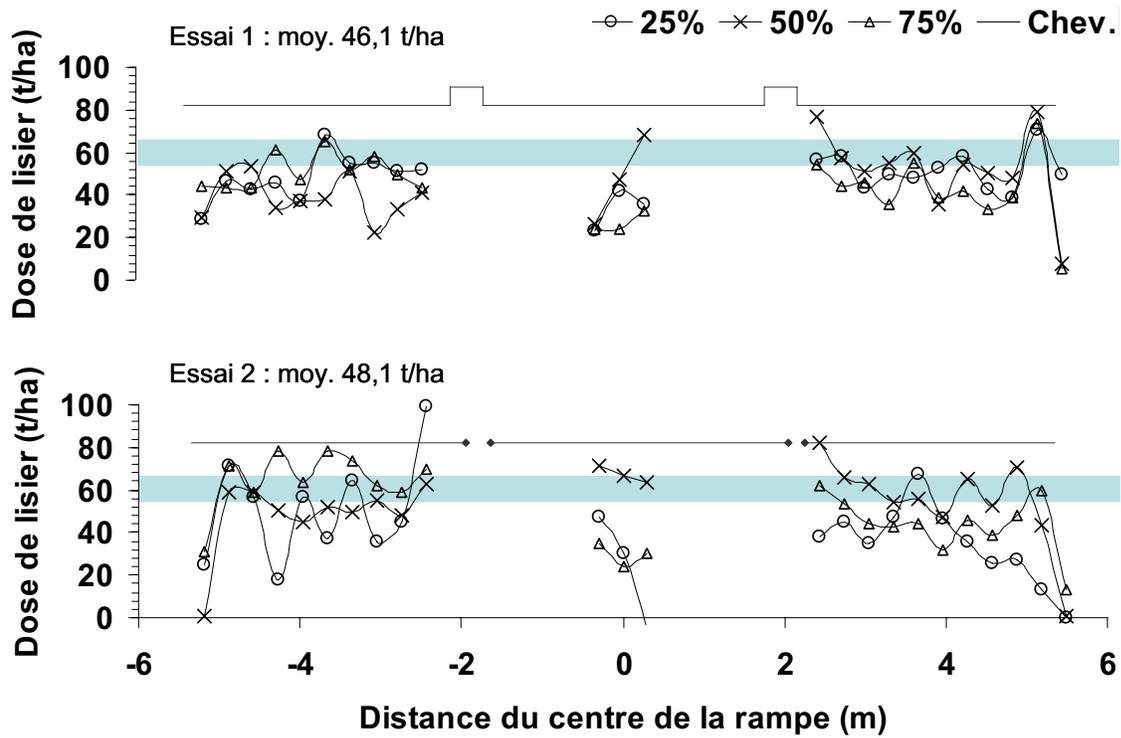


Figure 24. Essai au site B avec la rampe basse Houle (dose visée de 59,4 t/ha)

Un sommaire des statistiques calculées pour chaque essai est présenté au tableau 16. Ces statistiques sont la dose moyenne épandue, selon la superficie d'épandage et le volume de lisier dans la citerne, le pourcentage d'écart avec la dose visée, la variation de la dose dans le sens transversal à l'avancement de l'épandeur et la variation de la dose dans le sens de l'avancement de l'épandeur. Les données complètes sont présentées à l'annexe 5.



Tableau 16. Résumé des statistiques de performance des rampes

Site	Rampe	Rép.	Dose moyenne t/ha	Écart avec dose visée %	Variation latérale %	Variation longitudinale %
A	Aéroasp. basse		12,6	23%	53 %	1 %
	Houle	1	19,0	16%	35 %	8 %
		2	18,9	16%	45 %	5 %
	Pro-Jet	1	35,3	116%	45 %	5 %
		2	22,2	36%	44 %	3 %
	DM	1	22,6	39%	52 %	8 %
2		18,7	15%	61 %	9 %	
B	Aéroasp. basse	1	72,1	21%	61 %	7 %
		2	53,7	10%	52 %	13 %
	Houle	1	56,8	4%	31 %	4 %
		2	61,5	4%	43 %	15 %

Selon ces résultats, les équipements semblent avoir plus de difficulté à atteindre une faible dose qu'une dose plus élevée. Par ailleurs, aucun équipement ne satisfait le critère pour l'uniformité latérale fixée à 10 % de variation. Par contre, presque sans exception, l'épandage semble être uniforme dans le sens longitudinal. Ces constats sont résumés au tableau 17.

Tableau 17. Sommaire des résultats obtenus lors des essais au champ

Site	Rampe	Essai	Dose visée ¹ t/ha	Absence de blocages	Respect REA (projection) ²		Précision ³		Uniformité latérale		Uniformité longitudinale		Respect de l'ensemble des critères techniques ⁴
					m	≤ 2 m	Écart	≤ 10 %	CV	≤ 10 %	CV	≤ 10 %	
A	Aéroasp. basse	1	16,3 ⁵	OUI	6,5	NON	23 %	NON	53 %	NON	1 %	OUI	40 %
	Houle	1	16,3	OUI	1,8	OUI	16 %	NON	35 %	NON	8 %	OUI	60 %
		2	16,3	OUI	1,9	OUI	16 %	NON	45 %	NON	5 %	OUI	60 %
	Pro-Jet	1	16,3	OUI	2,5	NON	116 %	NON	45 %	NON	5 %	OUI	40 %
		2	16,3	OUI	2,0	OUI	36 %	NON	44 %	NON	3 %	OUI	60 %
	DM	1	16,3	OUI	1,5	OUI	39 %	NON	52 %	NON	8 %	OUI	60 %
2		16,3	OUI	1,2	OUI	15 %	NON	61 %	NON	9 %	OUI	60 %	
B	Aéroasp. basse	1	59,4 ⁶	OUI	3,4	NON	21 %	NON	61 %	NON	7 %	OUI	40 %
		2	59,4	OUI	4,5	NON	10 %	OUI	52 %	NON	13 %	NON	40 %
	Houle	1	59,4	OUI	1,9	OUI	4 %	OUI	31 %	NON	4 %	OUI	80 %
		2	59,4	OUI ⁷	1,7	OUI	4 %	OUI	43 %	NON	15 %	NON	60 %
Moyenne, rampes basses					1,8		18 %⁸		44 %		7 %		60 %⁹
Écart-type					0,4		14 %		9 %		4 %		11 %
Moyenne, aéroaspersion basse					4,8		18 %		55 %		7 %		40 %⁹
Écart-type					1,6		7 %		5 %		6 %		0 %

¹ Les facteurs de conversion entre les unités métriques et impériales sont conformes à ceux qui se trouvent dans Glover (2003) à l'exception des facteurs indiqués aux notes 5 et 6.

² Le REA exige une projection latérale du lisier d'au plus 2 m. Les chiffres présentés ici sont les moyennes de toutes les buses de chaque épandeur.

³ Capacité à atteindre la dose visée, selon la dose moyenne calculée à partir de la superficie d'épandage et du volume de lisier dans la citerne.

⁴ L'ensemble des critères techniques inclut l'absence de blocages, le respect du REA, la précision, l'uniformité latérale et l'uniformité longitudinale. La valeur égale le nombre de « oui » divisé par le nombre de critères, soit 5.

⁵ La dose de 1 500 gal/acre a été convertie en t/ha en utilisant une densité de lisier de 969 kg/m³.

⁶ La dose de 4 500 gal/arpent a été convertie en t/ha utilisant 1,184 arpents/acre et une densité de lisier de 992 kg/m³.

⁷ Aucun blocage dû au lisier n'a été observé. Par contre, lors de cet essai il y a eu un blocage dû à un débris qui se trouvaient dans la fosse (morceau de plexiglas).

⁸ La moyenne et l'écart-type pour les rampes basses excluent le résultat exceptionnel pour le premier essai de Pro-Jet. Incluant cet essai, la moyenne et l'écart-type des rampes basses sont 31 ± 37 %.

⁹ Sans tenir compte du respect du REA, les moyennes et écart-types sont 53 ± 9 % et 50 ± 0 % pour les rampes basses et les équipements d'aéroaspersion basse respectivement.



4.3.1. Prévention des blocages

Lors des essais sur le site A, aucun blocage n'a été remarqué.

Sur le site B, un blocage est survenu lors des essais avec la rampe basse Houle. Cependant, le blocage n'était pas dû au lisier pailleux de bovin. Des morceaux de plexiglas laissés dans la fosse ont causé les problèmes.

Les fabricants de rampes basses sont unanimes concernant les blocages; selon eux, si la fosse est bien homogénéisée et si le lisier donne une mesure d'affaissement de 10,16 cm (4 pouces) ou moins, il ne devrait pas se produire de blocage. Cependant, les lisiers utilisés pour la présente étude n'ont pas permis d'évaluer cette limite.

4.3.2. Respect du REA

Les équipements d'aéroaspersion basse ne respectent pas le REA actuel. Au contraire, les équipements de rampes basses évalués respectent généralement le REA. Ce constat est basé uniquement sur la distance de projection du lisier et non sur la hauteur des sorties qui n'a pas été mesurée. Lors d'un de ses essais, l'équipement de rampe basse de Pro-Jet n'a pas respecté le critère de projection du lisier à une distance inférieure à 2 mètres et se trouvait à exactement 2 mètres lors de l'autre essai. Malgré une largeur d'épandage inférieure à la rampe basse de Houle, projetant le lisier de 1,7 à 1,9 mètres, la distance de projection de la rampe de Pro-Jet était supérieure due au chevauchement des jets. Il se pourrait que la rampe de Pro-Jet ait été fixée à une hauteur plus élevée que requise, ce qui expliquerait en grande partie le chevauchement des jets et la distance de projection non réglementaire. Par contre, ce paramètre n'a pas été évalué lors des essais. Avec quatre sorties et une rampe plus courte que les autres fabricants, l'équipement DM a une distance de projection de lisier nettement inférieure, soit de 1,2 à 1,5 mètres.

4.3.3. Précision de la dose appliquée

Seulement trois essais sur onze ont atteint la dose demandée à une précision de plus ou moins 10 %.

Sur le site A, aucun équipement n'a réussi à atteindre la dose visée de 16,3 t/ha (1 500 gal/ac). Tandis que l'équipement par aspersion basse a épandu à une dose inférieure à la dose recommandée, tous les équipements munis de rampes basses ont épandu à une dose supérieure. La rampe basse de marque Houle a été constante avec 16 % d'écart par rapport à la dose visée. Lors de son premier essai, Pro-Jet avait de la difficulté à ajuster le dosage en raison d'un nouveau mécanisme dans le distributeur. Après avoir modifié cette pièce prototype, le deuxième essai a été mieux contrôlé, produisant un écart de 36 %. La différence entre les deux essais indique que la technologie de Pro-Jet est moins à point que celle de Houle ou de



DM, voire toujours en développement. Les deux essais de DM témoignent une réduction d'écart avec la dose visée d'un essai à l'autre, soit de 39 à 15 %. Suite au deuxième essai, l'opérateur de l'équipement DM a signifié qu'il avait essayé de réduire sa dose de 13 % (épandre à 1 300 gal/ac); réellement, il a réduit son taux d'épandage de 17 %, soit une erreur relative de 26 % avec le 13 % visé. Quoiqu'imparfait, ceci indique un certain contrôle quant à l'ajustement du débit. DM est le seul fabricant qui n'a pas réalisé d'épandage de calibration, préférant plutôt se fier aux instruments de calibration incorporés à ses équipements. Alors, le manque de précision de DM est possiblement un problème de calibration plutôt que de contrôle de débit.

Sur le site B, à une dose recommandée de 59,4 t/ha (5329 gal/ac), trois essais sur quatre ont atteint plus ou moins 10 % la dose visée. Cette différence marquée avec les résultats du site A indique que les équipements évalués, incluant ceux pour l'aéroaspersion basse, semblent être plus précis à une forte dose, voire plus près du débit maximal. Comme remarqué sur le site A pour la rampe basse de Houle, l'écart avec la dose visée est resté invariable d'un essai à l'autre, soit cette fois-ci à 4 %.

4.3.4. Uniformité de la dose appliquée

En ce qui concerne l'uniformité de la dose sur la longueur du parcours, il ne semble pas y avoir de problème, ni avec les équipements d'aéroaspersion basse, ni avec les rampes basses pour lisier pailleux de bovin. Cependant, à une plus forte dose (59,4 t/ha), seulement deux essais sur quatre ont réussi à atteindre une variation longitudinale de 10 % ou moins.

En ce qui concerne l'uniformité sur la largeur d'application, tous les équipements éprouvent des difficultés. Même si le seuil d'acceptabilité pour ce critère était trois fois plus grand (30 % de variabilité), aucun équipement ne se qualifierait. Par contre, Houle n'était pas loin d'atteindre une variation latérale de 30 %, et ce, deux fois sur quatre. Pour sa part, DM a obtenu la plus grande variabilité latérale, malgré que sa rampe soit la moins large parmi le groupe testé et qu'elle utilise quatre sorties au lieu de trois. En moyenne, les rampes basses pour lisier pailleux de bovin ont démontré une variabilité latérale inférieure à celle des équipements d'aéroaspersion basse.

Pour le critère de la variabilité latérale, le seuil d'acceptabilité reste à définir puisque le seuil de 10 % évalué lors de ce projet n'a pas réussi à discriminer les différents équipements. Il est aussi à noter que la mesure de la variabilité latérale a été effectuée sur une courte échelle, en comparaison avec la mesure de la variabilité longitudinale. Une méthode expérimentale qui évalue ce paramètre sur la largeur de plusieurs passages successifs du même équipement d'épandage serait peut-être plus appropriée.

La figure 25 illustre l'uniformité de la distribution du lisier pour chaque équipement lors des essais sur le site A. Le chevauchement de jets cause particulièrement des problèmes. L'équipement de Pro-Jet a éprouvé les plus grandes difficultés avec cet aspect de la

technologie. Ceci est possiblement dû à un mauvais ajustement de la hauteur de la rampe. L'équipement de DM a créé une légère zone de chevauchement entre chaque jet, mais la taille réduite des quatre jets a aussi diminué les impacts au sol.

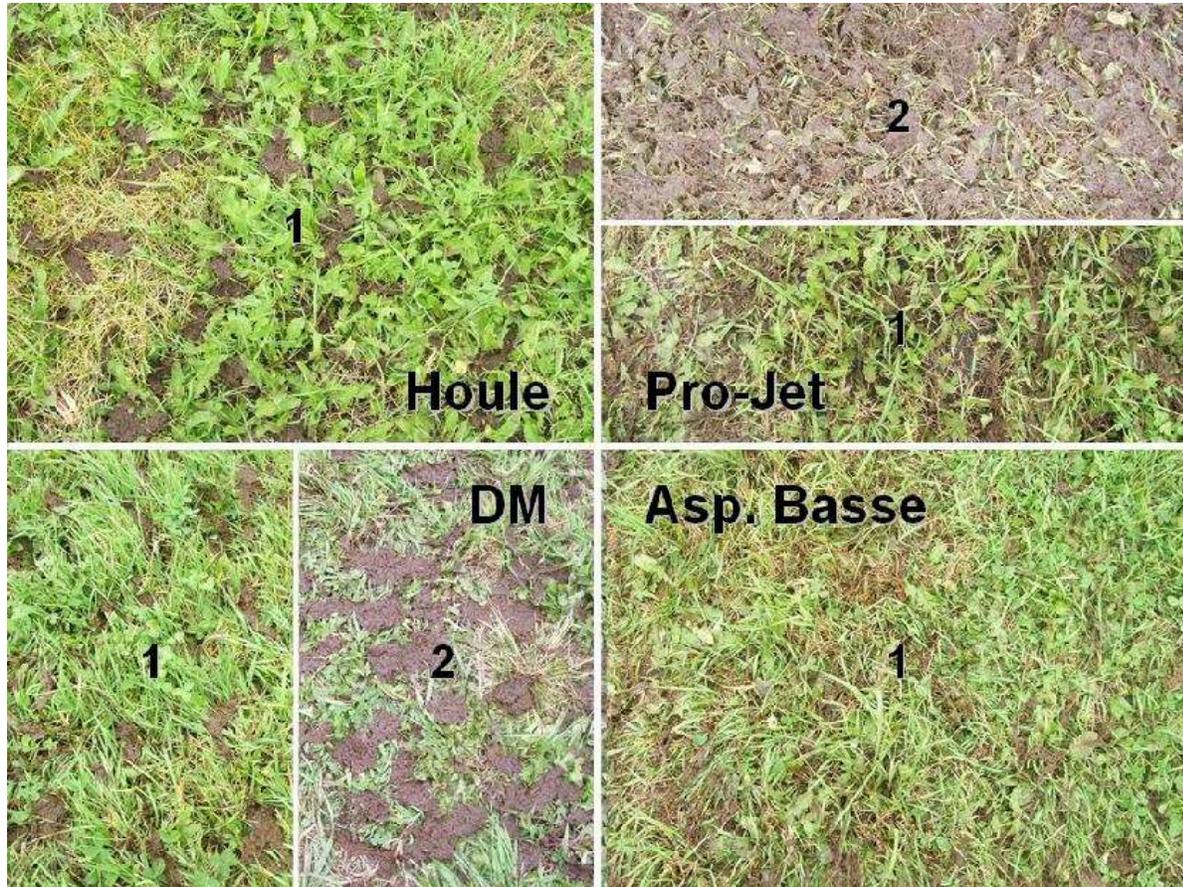


Figure 25. Exemple de la distribution du lisier sur une prairie haute de 15 cm, épandu sur le site A à une dose de 16,8 t/ha

1 – Distribution normale de lisier de chaque équipement.

2 – Distribution de lisier résultant du chevauchement de jets

Un aperçu de l'uniformité d'épandage à une forte dose sur le site B est illustré à la figure 26. Sur ce site, la rampe basse de Houle a formé des patrons d'épandage divergents entre les essais. Lors du premier essai, les patrons se sont chevauchés, tandis que lors du deuxième, un manque de lisier de 10 à 30 cm a été mesuré entre les patrons d'épandage.



Figure 26. Uniformité d'épandage à forte dose (56,4 t/ha) sur le site B a) prairie brûlée, b) rampe basse Houle, c) équipement d'aéropersion basse Houle

4.3.5. Précision en bordure des zones de prohibition

Selon les données fournies à l'annexe 5, tous les équipements, incluant celui d'aéropersion basse, semblent être aussi précis les uns que les autres. En regardant l'uniformité de la largeur d'épandage selon le dispositif expérimental, soit les différences de largeur d'une rangée à l'autre pour chaque essai, on constate des dérapages d'au plus 30 cm (1 pied), et ce, pour tous les équipements, sauf pour DM qui n'a connu aucune variation. Cela indique que la précision en bordure de zones de prohibition ne varie pas grandement entre les différents équipements d'épandage de lisier et semble être inférieure à 3 % de la largeur d'épandage (10,7 m dans le cas de Houle). Dans le cas de l'équipement DM, la rampe de moindre largeur et les roues directionnelles sur chaque essieu de l'épandeur peuvent permettre un meilleur contrôle directionnel et ainsi une plus grande précision en bordure des zones de prohibition.



5. CONCLUSION

Ces essais ont permis d'évaluer si l'épandage de lisier pailleux de bovin avec des rampes basses présentement disponibles sur le marché québécois peut se faire avec précision, uniformité et efficacité.

Les lisiers utilisés pour ces essais avaient une teneur en matière sèche de près de 10 % et des teneurs en fibre de 4 à 5 %. Bien qu'un blocage d'une rampe basse soit survenu en raison de débris qui se trouvaient dans la fosse du site B, aucun blocage dû au lisier pailleux n'a été remarqué. Pour les conditions de préparation du lisier observées, une teneur en matière sèche de 10 % n'était pas assez élevée pour présenter un grand risque de blocage des rampes.

En général, les rampes basses se conforment avec le REA actuel en matière de distance de projection du lisier. Toutefois, l'équipement de Pro-Jet a fait exception avec des distances de projection de 2,5 et 2,0 m, possiblement à cause d'un ajustement de la rampe à une hauteur plus élevée que 1 m, ce qui n'a pas été mesuré.

En ce qui concerne la précision de la dose appliquée, tous les équipements d'épandage semblent plus en mesure d'atteindre des doses élevées à l'intérieur d'un écart acceptable que des doses faibles. Aucun équipement n'a atteint la dose visée lors des essais à 16,8 t/ha, mais la rampe basse de marque Houle, la seule rampe basse évaluée à 59,4 t/ha, a atteint avec constance cette dose plus élevée à une précision de 4 %. Les données indiquent que si l'équipement de DM est bien ajusté, il devrait aussi être capable d'atteindre une dose élevée avec une précision de plus ou moins 10 %. La performance de Pro-Jet à une forte dose n'est pas prévisible selon les résultats.

Au niveau de l'uniformité, l'épandage avec les rampes basses fut uniforme sur la longueur du parcours, surtout à la plus faible dose. Cependant, pour l'uniformité latérale, le critère de variabilité de 10 % n'a pas été respecté par un seul équipement. Ce seuil d'acceptabilité n'a pas été fixé officiellement; la valeur de 10 % n'a été assumée que pour les fins de cette étude.

Cette étude n'a pas permis de préciser les conditions optimales d'utilisation des différents modèles de rampes basses. Pour permettre cette évaluation, un plus grand nombre de fosses représentant une grande variété de conditions d'épandage aurait été nécessaire. En plus, des lisiers présentant la même teneur en matière sèche sous différentes régies d'élevage, auraient été nécessaires.

Cependant, les essais ont permis de constater que les différents équipements évalués, présentement disponibles sur le marché québécois, se trouvent à divers stades de développement. L'équipement de Houle semblait être le plus performant et bénéficiait grandement de l'accompagnement et de l'expertise du représentant. L'équipement de DM semblait être bien conçu, mais n'était pas calibré aussi précisément que l'équipement Houle.



Finalement, l'équipement de Pro-Jet semblait être encore en développement et ne jouissait pas de l'expérience de terrain des deux autres marques de rampes basses.

Par ailleurs, l'expérience de ces essais a permis de constater que, pour évaluer l'effet d'un brassage avec ou sans déchiquetage, deux fosses quasiment identiques sont requises. Après un brassage effectué à l'automne, même sans déchiquetage, la réduction de la taille des fibres qu'un brassage subséquent pourra effectuer est minime. Ces essais ont été réussis sans déchiquetage.

Ces essais ont été menés avec des équipements d'aéroaspersion basse qui servaient de témoins. Les comparaisons suivantes ont été remarquées. D'abord, la précision de la dose appliquée des rampes basses était semblable à celle démontrée par les équipements d'aéroaspersion basse. Ensuite, en général, les rampes basses ont épandu avec moins de variation latérale qu'un équipement d'aéroaspersion basse. Finalement, aucune différence n'a été remarquée pour les autres critères, incluant les blocages causés par le lisier pailleux.

Le seuil de 10 % de variation qui avait été fixé pour évaluer les paramètres de précision et d'uniformité n'est pas bien adapté au critère d'uniformité latérale, mais s'est montré utile pour la précision de la dose appliquée ainsi que pour l'uniformité longitudinale.

En conclusion, l'épandage de lisier pailleux de bovin s'avère faisable avec les équipements de rampes basses soumis aux essais de cette étude. De plus, la performance des rampes basses a été égale ou supérieure à celle des équipements d'aéroaspersion basse. Cependant, les conditions optimales d'utilisation des différents modèles de rampes basses n'ont pas pu être évaluées.



6. RECOMMANDATIONS

Suite à la réalisation de ce projet, voici quatre recommandations principales.

1. Afin de connaître les conditions optimales de performance des rampes basses, spécifiquement et de manière générale, un sondage auprès des experts, des fabricants de rampes et des entrepreneurs à forfait est recommandé. Plusieurs fabricants ont soumis leurs équipements à de multiples démonstrations publiques et privés dans diverses conditions d'épandage et les entrepreneurs à forfait connaissent bien la performance de ces équipements tout au cours de la saison productive en conditions normales d'opération. Les questions posées devraient viser à préciser les conditions optimales d'utilisation des différents modèles en termes de teneur en matière sèche, de quantité de litière et de préparation préalable (brassage et déchiquetage).
2. Malgré la réalisation des essais avec du lisier contenant environ 10 % de matière sèche, aucun blocage ne s'est produit. Alors, il est recommandé de répéter les essais au printemps, soit lors du premier brassage de la saison. À ce moment, les conditions d'épandage seront incontestablement limites car le lisier n'est que partiellement dégelé et que la matière sèche est consolidée au fond de la fosse depuis près de six mois.
3. Considérant que la mesure de la variabilité latérale se faisait sur une très courte distance, en comparaison avec la mesure de la variabilité longitudinale, il est recommandé d'élaborer une méthode d'évaluation de ce paramètre avec plusieurs passages d'une même rampe d'épandage.
4. Il est recommandé de déterminer un seuil de variabilité latérale acceptable afin de pouvoir évaluer plus précisément les résultats des essais avec les différentes rampes d'épandage. Le seuil de 10 % dans ce projet n'est pas adéquat pour discriminer les différentes rampes.



7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Conseil des productions végétales du Québec. 1997. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux*. CPVQ. AGDEX 533.

Clubs-conseils en agroenvironnement. 2005. *Équipements d'épandage et gestion des lisiers – caractérisation de 75 chantiers – saison 2004*. 8 pages.

Glover, Thomas. 2003. *Pocket Ref* (3^e édition). Littleton, Colorado USA : Sequoia Publishing, Inc.

Lamarre, Vincent. 2006, juin. *Protocole d'évaluation de la rampe basse*, présenté à Agrinova (non publié). Institut de technologie agroalimentaire du Québec.

Nadeau, Martine et coll. 2006, décembre. *Évaluation de l'efficacité de rampes basses destinées à l'épandage de lisier de bovins laitiers*. Rapport de projet, présenté au CUMAF du Lac-Saint-Jean (non publié). Agrinova.



**ANNEXE 1.
CARACTÉRISTIQUES DES RAMPES BASSES**

Caractéristiques des équipements d'épandage fournies par les fabricants

Fabricant Modèle	HOULE 38 pieds	DM Conventionnel	PRO-JET 3D-32
TRACTEUR REQUIS			
Puissance minimum requise	95 HP	200 HP	200 HP
Nombre de sorties auxiliaires d'huile requises	3	2 à 3	2
SYSTÈME DE DISTRIBUTION			
Type	Cylindrique	Intégrer à la rampe	Rectangulaire (avec système de déviation intégré au distributeur)
Dimension	Diamètre du bol : 26 pouces	Section de la poutre carrée (20 pieds) de 6 pouces par 6 pieds	Boîte rectangulaire (24 pouces de long par 6 pouces de haut)
Nombre de sorties	3	4	3
Diamètre des sorties du distributeur (tuyaux d'alimentation secondaire)	6 pouces	4 pouces	4 pouces
Matériau des tuyaux d'alimentation secondaire	Acier	Flexible	Flexible
Système d'agitation, de distribution séquentielle ou de broyage	aucun	aucun	aucun
Accès pour entretien/trappe de vidange	À côté et sur le distributeur; sur la rampe (sept endroits)	Trois entrées sur la rampe	Deux sur le distributeur

Caractéristiques des équipements d'épandage fournies par les fabricants (suite)

Fabriquant Modèle	HOULE 38 pieds	DM Conventionnel	PRO-JET 3D-32
RAMPE			
Type	Défecteurs ou assiettes défectrices	Défecteurs ou assiettes défectrices	Défecteurs ou assiettes défectrices
Largeur d'application	38 pieds	38 pieds	32 pieds
Nombre de sorties (espacement)	Trois sorties (12 pieds et 9 pouces)	Quatre sorties (7 pieds et 3 pouces)	Trois sorties (11 pieds et 5 pouces)
Relevage/Repliage	Articulation mécanique sans boyau flexible actionnée par moteur hydraulique	Contrôle par la valve de séquence de série	Contrôle par la valve de séquence de série
Accessoires à la sortie	Plaquettes de dosage interchangeables	Possibilité de raccord en Y pour diviser les sorties en deux	Plaquettes de dosage interchangeables
RÉGLAGE DE LA DOSE			
Sur la conduite principale	Restricteur avec quatre possibilités de dosage	Déviateur : valve de retour à la citerne ou à la rampe (guillotine pour ouverture et fermeture)	Déviateur au distributeur : valve guillotine de retour à la citerne ou à la rampe
Sur la rampe	Plaquettes interchangeables avec cinq possibilités de dosage		Plaquettes de dosage interchangeables



**ANNEXE 2.
CONSTRUCTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

Dispositif de mesure de la dose de lisier au champ

Tout comme le fumier solide, on peut déterminer la dose de lisier au champ à l'aide de plats d'aluminium, de bacs de polyéthylène ou de cadres de polyéthylène. Alors que les deux premiers se retrouvent en magasin, le troisième dispositif de mesure doit être fabriqué en atelier.

Pour les présents essais, le système de plats d'aluminium a été choisi pour faciliter les comparaisons avec le projet effectué par Agrinova (Nadeau et coll., 2006).

Plat en aluminium

Les plats d'aluminium utilisés ont une dimension d'environ 10 x 12 pouces (25 cm x 30 cm) (figure 1).



Figure 1. Plat en aluminium

Pour assurer leur stabilité au champ, il est nécessaire de fabriquer un support en bois dans lequel on insère les plats (figure 2).



Figure 2. Support en bois pour l'insertion des plats d'aluminium

Le support fabriqué en bois comprend deux morceaux de 2 x 3 pouces et du contre-plaqué d'épinette standard ¼ pouce d'épaisseur. Les morceaux de 2 x 3 pouces serviront de base pour fixer le dessous et les extrémités en contre-plaqué à l'aide de clous torsadés de 1 ½ pouces. Il est nécessaire de fixer un contre-plaqué en dessous du cadre pour éviter que le chaume de la prairie fauchée ne soulève les plats d'aluminium. De cette façon, il n'est pas obligatoire de dégager les zones d'échantillonnage avec un coupe-herbe. Le tableau 1 résume les dimensions du support. Avant de clouer l'ensemble, vérifier que les plats s'ajustent bien dans le support. Les rebords devraient s'appuyer les uns sur les autres.

Tableau 1. Dimension des supports pour les plats d'aluminium de 10 x 12 pouces

Longueur du support	Dimension intérieure des supports en pouces (cm) Largeur x longueur x hauteur
Support de 3 pieds (1 m)	9,25 x 36 x 2,5 (23,5 x 91,5 x 6,3)
Support de 5 pieds (1,5 m)	9,25 x 60 x 2,5 (23,5 x 152,4 x 6,3)
Support de 8 pieds (2,4 m)	9,25 x 96 x 2,5 (23,5 x 243,8 x 6,3)

Source : Lamarre, Vincent. 2006, juin. *Protocole d'évaluation de la rampe basse*, présenté à Agrinova (non publié). Institut de technologie agroalimentaire du Québec.



**ANNEXE 3.
RAPPORT D'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE LISIER**



**INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT**
Laboratoire de physique et de chimie inorganique
2700 Einstein Complexe scientifique
Quebec, Quebec G1P 3W8
Tel.:(418) 644-6821 FAX: (418) 644-6855
Courriel: Pierre.audesse@irda.qc.ca

RAPPORT FINAL

Resultats analytiques approuvés par:

Pierre Audesse
Responsable du laboratoire
Transmis le: 25-10-2006

Numéro de projet: 041016
Client: MARC OLIVIER GASSER
Référence Frigidaire: 0
No. de Dossier: 06500064
Type d'échantillon: Lisiers
Nombre d'échantillons: 11

No. de Lab	Base: Codification	H	H	M.S			Densité		
		506	512	M.S	%		Densité	g / cm3	
		M.S	Densité	Moyenne	Ecart type	CV	Moyenne	Ecart type	CV
		%	g / cm3	%			g / cm3		
06PL0010MG	HOUL 1 (10-03)	9,73%	0,97	Lapalme			Lapalme		
06PL0011MG	HOUL 2 (10-03)	9,65%	0,967	9,68%	0,13%	1,4%	0,969	0,004	0,4%
06PL0012MG	PROJET 1 (10-03)	9,77%	0,968						
06PL0013MG	PROJET 2 (10-03)	9,89%	0,963						
06PL0014MG	DM 1 (10-03)	9,53%	0,972						
06PL0015MG	DM 2 (10-03)	9,51%	0,974	Riendeau			Riendeau		
06PL0016MG	ASPER.BAS.(10-03)	9,67%	0,972	10,75%	0,12%	1,1%	0,992	0,004	0,4%
06PL0017MG	ASPER.BAS.1(10-10)	10,88%	0,993						
06PL0018MG	ASPER.BAS.2(10-10)	10,84%	0,987						
06PL0019MG	HOULE1 (10-10)	10,69%	0,992						
06PL0020MG	HOULE2 (10-10)	10,62%	0,996						



**ANNEXE 4.
MESURE D’AFFAISSEMENT EN UNITÉS IMPÉRIALES**

La mesure d'affaissement en unités impériales des échantillons de lisier pour les sites A et B

Échantillon	Affaissement (pouces)	
	Site A	Site B
Aspersion basse 1	0,79	2,56
Aspersion basse 2	-	1,97
Houle 1	0,79	1,97
Houle 2	1,18	1,77
Pro-Jet 1	1,18	-
Pro-Jet 2	1,38	-
DM 1	1,18	-
DM 2	1,18	-
Moyenne	1,15	2,07
<i>Écart type</i>	<i>0,19</i>	<i>0,34</i>
<i>CV (%)</i>	<i>17</i>	<i>16</i>



ANNEXE 5.
DONNÉES COMPILÉES À PARTIR DU BANC D'ESSAI AU CHAMP

