

**Guide de conception
des amas
de fumier au champ II**



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

Rédigé par

**Denis Côté,
agronome et chercheur**

Décembre 2005

Révisé par

**Marc-Olivier Gasser, agronome et chercheur
et
Daniel Poulin, agronome**

Mars 2009

Le *Guide de conception des amas de fumier au champ II*, élaboré et révisé par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), est publié par :

Direction de l'agroenvironnement et du développement durable
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
200, chemin Sainte-Foy, 10^e étage
Québec (Québec) G1R 4X6
Téléphone : (418) 380-2150

Ce document est disponible sur le site internet du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

www.mapaq.gouv.qc.ca

et sur le site Agri-Réseau

www.agrireseau.qc.ca



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

Notre mission

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

Pour en savoir plus :

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Côté, D., M.-O. Gasser, et D. Poulin. 2009. Guide de conception des amas de fumier au champ II. IRDA. 48 p. + annexes.

ISBN 978-2-922851-81-6

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2009

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2009

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

NOTE AU LECTEUR

Lorsque des tableaux et figures présentent des données numériques puisées directement dans des ouvrages de référence, l'auteur en fait mention. C'est le cas du tableau 4.1 et des figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5.

Le Guide renferme plusieurs tableaux¹, encadrés² et figures³ qui ne sont pas tirés directement d'une référence, mais proviennent plutôt d'une conception synthèse de l'auteur (Denis Côté), basée sur un large ratissage de l'information pertinente, sur son expérience et sur les observations et mesures faites dans le cadre de ses travaux de recherche sur les engrais de ferme au cours des 30 dernières années. Les références numériques qui y figurent indiquent des tendances et servent à sensibiliser et orienter le lecteur quant aux risques environnementaux ainsi qu'à le convaincre d'adopter des pratiques préventives⁴. Il n'est donc pas prévu de les utiliser à la manière d'un chiffrer pour établir précisément des bilans agronomiques et environnementaux découlant des pertes d'éléments fertilisants. Le lecteur peut dans une deuxième étape approfondir le sujet en consultant les ouvrages de référence listés à la fin du Guide.

Le Guide mentionne aussi au chapitre 4 que la planification de la mise en amas d'engrais de ferme comprend une étape importante, soit celle de leur caractérisation, afin de connaître la valeur fertilisante des engrais de fermes lors de la mise en amas et lors de leur reprise. Comme peu de références sur les pertes de valeur fertilisante durant le vieillissement des amas sont disponibles, il est bien clair que l'agronome doit avoir en main des analyses réelles s'il veut évaluer plus précisément le bilan agronomique. Cet exercice lui permettra de monter, au cours des années, sa banque de données de référence.

¹ Tableaux n° : 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 4.2 et 11.1;

² Encadrés des pages n° : 6, 10, 13, 35;

³ Figures n° : 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 9.1, 9.2 et 9.3;

⁴ Réduction de la durée des amas, choix des sites, optimisation des bandes filtrantes, des andains filtrants, de la qualité de la reprise et de la réhabilitation du site.

MODIFICATIONS APPORTÉES AU GUIDE EN 2009

De nouveaux résultats ont permis d'apporter des modifications à la première version du Guide de conception des amas de fumier au champ, publiée en décembre 2005. Ces résultats sont issus d'un projet pilote de suivi des amas au champ réalisé par le MAPAQ (Fortin et al., 2008), d'un autre projet pilote réalisé par les fédérations spécialisées de l'UPA (Magnan, 2008) et d'une revue de littérature sur les fentes de retrait (Bégin et Naud, 2008).

Voici la liste des principales modifications apportées au Guide en mars 2009 :

- Chapitre 4 : Le tableau 4.1 a été révisé pour inclure des teneurs en matière sèche et des masses volumiques typiques. Au troisième paragraphe, il est précisé qu'une caractérisation complète des engrais de ferme inclut désormais le rapport C/N et la teneur en azote ammoniacal.
- Chapitre 5 : Le dernier paragraphe amène des précisions sur la mise en forme des amas.
- Chapitre 6 : Des modifications importantes ont été apportées dans les parties traitant de la pente (6.2.1), du sol (6.2.3) et du drainage souterrain (6.2.4) dans les caractéristiques du terrain (6.2).
- Chapitre 7 : Des modifications importantes ont été apportées dans les parties traitant de rigole d'interception (7.2), de bande filtrante (7.3) et d'andain filtrant (7.4).
- Chapitre 8 : Les dimensions et charges théoriques des amas par type d'engrais de ferme sont spécifiées dans un nouveau tableau (Tableau 8.1).
- Chapitre 9 : Des modifications importantes ont été apportées à plusieurs endroits pour simplifier la présentation et une nouvelle partie sur l'inspection des amas (9.3) a été ajoutée.
- Chapitre 10 : Un exemple de calcul a été ajouté pour illustrer comment utiliser l'analyse de sol pour vérifier si le site nécessite une réhabilitation.

D'autres modifications mineures ont été apportées dans le texte à divers endroits en vue d'en faciliter la compréhension.

AVANT-PROPOS

Les agriculteurs québécois utilisent les amas de fumier au champ pour de multiples raisons pratiques. Pour certains éleveurs, le transport régulier du fumier en saison hivernale, sur des sites éloignés de leurs lieux d'élevage, leur permet de gagner suffisamment de temps au printemps pour qu'ils puissent effectuer un épandage hâtif avant les semis et au début du cycle de croissance des prairies. Ils y gagnent en efficacité fertilisante, ce qui leur permet de réduire les doses de fertilisants à l'hectare (ha) et, par le fait même, les pertes à l'environnement.

Pour d'autres éleveurs, l'entreposage au champ du fumier ayant été accumulé pendant plusieurs mois sous les animaux dans les aires d'élevage permet de transformer suffisamment sa texture compacte pour en faciliter l'émiettement lors de l'épandage. Il favorise, du coup, une meilleure répartition au sol de l'engrais ainsi obtenu, une meilleure efficacité fertilisante, mais aussi la réduction des souillures sur les fourrages récoltés. Il en résulte une réduction des pertes d'éléments contaminants dans l'environnement.

Point très important en été, le transport journalier du fumier à bonne distance des bâtiments d'élevage facilite le maintien d'un haut niveau sanitaire des lieux d'élevage et de la qualité ambiante des aires d'habitation humaine avoisinantes.

D'année en année, on voit s'accroître le nombre de receveurs d'engrais de ferme provenant d'exploitations animales disposant de surplus. Une grande partie de ces receveurs ne possèdent pas de structures d'entreposage fixes pour recevoir ce type d'engrais. Pour eux, les amas au champ constituent une avenue intéressante.

Cependant, compte tenu des coûts d'épandage et de transport associés à ce type d'engrais, ainsi que des contraintes de toutes sortes leur étant liées, leur efficacité fertilisante se doit d'être la plus élevée possible pour soutenir la compétition des fertilisants minéraux. Ainsi, les amas doivent être confectionnés pour une courte durée afin de limiter les pertes de valeur fertilisante. Ils doivent être peu encombrants pour faciliter les pratiques culturales dans le reste du champ. Ils doivent aussi être faciles d'accès pour les véhicules routiers qui en assurent le transport.

Les receveurs d'engrais jouent un rôle essentiel dans la valorisation optimale des engrais de ferme. En effet, dans un bassin versant agricole dégradé aux prises avec des risques importants d'enrichissement en phosphore des plans d'eau, principalement par érosion du sol, le maintien d'un haut niveau de qualité du sol est à la base des solutions agronomiques et environnementales à mettre de l'avant. Or il est reconnu que les engrais de ferme contribuent beaucoup mieux à la qualité du sol que les engrais minéraux.

Les connaissances scientifiques concernant les risques de contamination des sites d'entreposage au champ ont beaucoup progressé au cours des dernières années. D'où les préceptes innovateurs proposés dans les lignes suivantes :

- ✓ La quantité de contaminants émis par l'amas par unité de temps est prévisible pour les diverses catégories de fumiers et de fientes.
- ✓ Le sol arable sur lequel est déposé l'amas possède une capacité prévisible de rétention des contaminants émis par l'amas sous forme de lixiviats et de ruissellement.
- ✓ Sans égard à la durée d'entreposage, des mesures simples, efficaces et peu coûteuses de captage et de rétention des eaux de ruissellement en périphérie des amas peuvent être mises en place.
- ✓ La durée sécuritaire d'entreposage d'un amas doit être associée à la capacité de rétention des contaminants par la couche arable.
- ✓ Lorsque la capacité de rétention du sol arable est dépassée, celui-ci relâche des contaminants, principalement de l'azote nitrique, qui se déplacent vers le sous-sol et la nappe phréatique au cours des deux années suivant la reprise de l'amas. Pour pallier cette éventualité, la réhabilitation du site, par des méthodes simples et peu coûteuses, doit être effectuée.

Les connaissances scientifiques nous permettent, en outre, de prédire plus précisément les pertes de valeur fertilisante des engrais de ferme, surtout de l'azote et du potassium, en fonction de la durée d'entreposage des amas. Par le fait même, elles nous fournissent des arguments agronomiques pour une meilleure gestion de la durée d'entreposage des amas et une meilleure planification, dans le Plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF), des dates de mise en amas et de reprise de ces derniers en fonction des fenêtres d'épandage qui répondent le mieux aux besoins des cultures et des sols. D'où la proposition d'un certain nombre de nouveaux principes agronomiques :

- ✓ L'amas au champ est relié physiquement, par le PAEF, au champ en culture sur lequel le fumier ou les fientes seront valorisés comme engrais et amendement.
- ✓ Ces liens physiques sont les propriétés du sol, les caractéristiques des engrais de ferme, les exigences des cultures et les fenêtres d'épandage.
- ✓ Une meilleure connaissance de la valeur fertilisante des fumiers et leur utilisation au moment opportun, selon les informations tirées du PAEF, sont de nature à réduire les pertes environnementales globales du champ découlant de sa fertilisation.
- ✓ Selon la durée d'entreposage de l'amas dans un champ, une analyse du sol peut être nécessaire sur le site après la reprise de l'amas. L'analyse du sol rend plus facile la décision de réhabiliter ou non le sol, par simple comparaison avec les autres analyses du champ déjà disponibles.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE AU LECTEUR.....	III
MODIFICATIONS APPORTÉES AU GUIDE EN 2008	IV
AVANT-PROPOS	V
TABLE DES MATIÈRES	VII
INTRODUCTION.....	1
1. ÉTABLISSEMENT DES NIVEAUX DE RISQUES	2
2. PHÉNOMÈNES NATURELS ASSOCIÉS AUX AMAS AU CHAMP.....	5
2.1 Phase de consolidation de l'amas	5
2.2 Phase de maturation du fumier	9
2.3 Après la reprise de l'amas.....	12
3. PROPRIÉTÉS AGRO-PÉDOLOGIQUES DES SOLS QUÉBÉCOIS.....	15
3.1 Banque de données sur les sols agricoles	15
3.1.1 Perméabilité	16
3.1.2 Propriétés chimiques.....	19
3.2 Sols plus à risque.....	21
4. CARACTÉRISTIQUES DES FUMIERS EN AMAS AU CHAMP	22
5. TRANSPORT DES FUMIERS ET MISE EN FORME DE L'AMAS.....	24
6. CRITÈRES DE SÉLECTION DES SITES.....	25
6.1 Distances à respecter	25
6.2 Caractéristiques du terrain	25
6.2.1 Pente.....	25
6.2.2 Dépression.....	25
6.2.3 Sol.....	25
6.2.4 Drainage souterrain.....	26
6.2.5 Configuration du site.....	26
6.3 Sites contre-indiqués pour les amas au champ	27
7. PRÉPARATION DES SITES.....	28
7.1 Localisation des amas	28
7.2 Rigole d'interception.....	29

7.3	<i>Bande filtrante</i>	30
7.4	<i>Andain filtrant</i>	31
7.5	<i>Correctifs pour les sols à risque</i>	32
7.6	<i>Utilisation de litière sous l'amas</i>	32
8.	DIMENSIONS ET FORMES DES AMAS	33
8.1	<i>Les amas en andains</i>	34
8.2	<i>Les amas larges</i>	35
9.	GESTION DES AMAS	36
9.1	<i>La période automne-hiver</i>	36
9.2	<i>La période printemps-été</i>	39
9.3	<i>Inspection de l'amas</i>	40
10.	RÉHABILITATION DES SOLS ARABLES APRÈS LA REPRISE	40
10.1	<i>Deux méthodes de réhabilitation</i>	41
10.1.1	<i>Enlèvement du sol</i>	41
10.1.2	<i>Apport de matériel organique</i>	42
11.	PLANIFICATION D'UN PROJET DE CONFECTION D'AMAS AU CHAMP	43
12.	CONCLUSION	45
	REMERCIEMENTS	46
	BIBLIOGRAPHIE	47
ANNEXE I	BANQUE DE DONNÉES AGRO-PÉDOLOGIQUES SUR LES PRINCIPALES SÉRIES DE SOLS DU QUÉBEC	49
ANNEXE II	SYNTHÈSE DES DISTANCES SÉPARATRICES PROPOSÉES PAR DIVERS RÈGLEMENTS ET DIRECTIVES	67
ANNEXE III	EXEMPLES DE FORMULAIRES DE PLANIFICATION POUR LA CONFECTION D'AMAS OU LA RÉHABILITATION DU SOL	71

INTRODUCTION

Le présent document a été élaboré à l'intention des conseillers agricoles qui rédigent habituellement les Plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) dans lesquels la confection d'amas de fumier au champ est prévue. Déjà, dans un PAEF, se retrouvent, entre autres, les teneurs et les charges fertilisantes des divers engrais à valoriser, les besoins en engrais des cultures, ainsi que les propriétés des sols des parcelles de l'exploitation. L'annexion, à ce plan, des recommandations les plus appropriées concernant le choix des sites d'entreposage au champ et leur gestion environnementale, paraît donc logique.

La mise en amas de fumier sec ou humide et de fientes séchées, directement sur un sol agricole productif, nécessite certaines précautions et interventions, à partir du choix du site jusqu'à sa réhabilitation après usage, si nécessaire. Les sites qui ne conviennent pas doivent être facilement repérés. Les distances séparatrices doivent être ajustées au cas particulier de chacun des sites.

Dans de bonnes conditions d'entreposage au champ, même en maîtrisant efficacement les eaux de ruissellement émanant de l'amas, on constate que les pertes d'éléments fertilisants sous celui-ci et à son pourtour augmentent avec la durée d'entreposage. Ces pertes découlent d'un processus naturel de vieillissement du matériel organique qui, soumis aux aléas climatiques, produit tôt ou tard des lixiviats. C'est pourquoi la durée d'entreposage doit être planifiée en prenant en compte les multiples fenêtres d'épandage.

Par ailleurs, il faut savoir que la reprise incomplète de l'amas, en raison d'un chantier difficile sur un sol humide ou avec des équipements de chargement inadéquats, est une cause importante de dégradation du sol. Elle constitue également un risque de contamination locale de l'eau. L'accumulation de fumier dans le sol, sous l'amas, juste après sa reprise (fumier résiduel) pourrait, en effet, continuer d'alimenter pendant quelques années l'enrichissement local de l'eau souterraine, en azote notamment.

Pour toutes ces raisons, ce document vise à traiter tout autant :

1. Les conditions préalables à mettre en place pour obtenir une mise en amas sécuritaire en fonction de la nature du fumier, du sol et de la saison de l'année;
2. Les moyens agronomiques pour gérer adéquatement la durée d'entreposage;
3. Les recommandations pour effectuer une reprise complète du fumier et la réhabilitation des sites après usage.

1. ÉTABLISSEMENT DES NIVEAUX DE RISQUES

Au Québec et dans les provinces voisines, la pratique des amas au champ est répandue et reconnue depuis des générations d'agriculteurs (Côté *et al.*, 2005). Elle présente des avantages agronomiques indéniables et des risques environnementaux qu'il faut gérer. Les connaissances scientifiques des risques de contamination des eaux de surface à partir de lixiviats en provenance des amas au champ de fumiers secs et humides ont beaucoup progressé au cours des dix dernières années. Les fumiers de bovins et de volailles ont été étudiés sous cet aspect au Québec et en Ontario.

Les fumiers habituellement mis en amas peuvent être regroupés dans deux catégories, selon leur teneur en eau.

- ✓ Le fumier sec, généralement de volaille, a une teneur en eau se situant entre 20 % et 50 %, une teneur en azote (N) et en phosphore (P_2O_5) de 20 à 30 kg par tonne humide au moment de sa mise en amas. Les fientes séchées ont une teneur en eau de 12 % à 60 % et sont plus concentrées en éléments fertilisants que le fumier sec. Le comportement des amas de fumier sec ou de fientes séchées se caractérise par une première phase d'humectation superficielle puis de compostage. La production de lixiviat est absorbée au début par le fumier sec ou les fientes séchées sous-jacents. Puis après quelques mois, la partie humectée devient dominante et l'ensemble de l'amas se comporte alors de plus en plus comme s'il s'agissait de fumier humide. Le lixiviat qui atteint le sol est alors concentré en éléments fertilisants.
- ✓ Le fumier humide de bovins en général a une teneur en eau variant de 60 % à 88 % et il contient de 5 à 8 kg de N et de 2 à 4,5 kg de P_2O_5 par tonne humide. Le fumier humide d'ovins a une teneur en eau qui varie de 70 % à 80 %, une teneur de 11 à 23 kg de N et de 5 à 9 kg de P_2O_5 par tonne humide. Les fientes humides ont, quant à elles, une teneur en eau de 65 % à 75 % et sont plus concentrées en éléments fertilisants. Le comportement des amas de fumier humide ou de fientes humides se caractérise par une phase précoce de ressuyage et de production de lixiviat. Le compostage qui s'ensuit est le plus souvent peu intensif et n'occupe que de petites zones de l'amas. La production de lixiviat est absorbée majoritairement par le sol sous l'amas et à son pourtour immédiat. La concentration du lixiviat diminue rapidement avec le temps.

Le tableau 1.1 présente, sous forme de synthèse, les niveaux de risques à portée environnementale sur une échelle de 1 à 5 pour les fumiers secs et les fumiers humides, les fumiers incluant ici les fientes. À noter le peu de différence dans les niveaux de risques entre ces deux types de fumier après 3, 6 et 9 mois de mise en amas, malgré leurs caractéristiques très différentes à l'origine.

Tableau 1.1 Niveaux de risques associés aux amas au champ en l'absence de conduite¹ préventive

Risques	Durée d'entreposage (mois)		Niveau de risques							
			Fumier sec				Fumier humide			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Microorganismes pathogènes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Microorganismes pathogènes
Percolation de contaminants vers la nappe phréatique sous et au pourtour de l'amas	3	pendant*	1	1	1	1	1	1	1	1
		après**	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	pendant	2	1	2	2	2	1	2	2
		après	3	1	2	1	3	1	2	1
	9	pendant	3	1	2	2	3	1	2	2
		après	4	2	3	1	4	2	3	1
Ruissellement de contaminants à la surface du sol au-delà d'un périmètre de 1 m à la base de l'amas	3	pendant	3	2	3	2	3	2	3	2
		après	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	pendant	3	2	3	2	3	2	3	2
		après	1	1	1	1	1	1	1	1
	9	pendant	4	3	4	2	4	3	4	2
		après	1	2	1	1	1	2	1	1
Accumulation d'éléments fertilisants dans le sol sous et au pourtour de l'amas	3	pendant	2	2	2	NA***	3	3	3	NA
	6	pendant	3	3	3	NA	4	3	4	NA
	9	pendant	5	3	5	NA	5	3	5	NA

Échelle de risque

1 = Risque très faible : l'apport de contaminants (dans l'eau de la nappe, dans l'eau de ruissellement et dans le sol au-dessus de la nappe) est masqué par le comportement du champ sans amas; bilan de contamination (enrichissement) local difficile à établir.

2 = Risque faible : l'apport de contaminants est mesurable, mais reste faible par rapport au « bruit de fond » du champ sans amas; le bilan de contamination (enrichissement) local peut être établi.

3 = Risque important : l'apport de contaminants peut être élevé dans certaines situations; des éléments de conduite préventive doivent être appliqués (bande filtrante et andain filtrant, réhabilitation du sol).

4 = Risque élevé : l'apport de contaminants est régulièrement élevé; des éléments de conduite préventive doivent être appliqués; des correctifs après la reprise sont nécessaires (réhabilitation du sol).

5 = Risque très élevé : l'apport de contaminants est régulièrement très élevé; les éléments de conduite préventive appliqués pourraient être insuffisants; des correctifs après la reprise sont nécessaires (réhabilitation du sol).

* pendant = En présence de l'amas. ** après = Au cours des 2 années suivant la reprise. *** NA = Non applicable.

Adapté de Côté, D., M. Giroux, M. R. Laverdière, 2005.

¹ Le mot « conduite » est ici employé au sens du terme « régie » habituellement utilisé au Québec.

La gestion sécuritaire des amas au champ pour tous les types de fumiers (secs ou humides) repose avant tout sur la maîtrise des risques par l'application des éléments de conduite préventive et par la réduction de la période d'entreposage. Les éléments de conduite préventive se présentent sous un large éventail de possibilités dans lequel le conseiller et l'agriculteur peuvent puiser, en retenant les possibilités qui sont les plus appropriées à la situation particulière. Du point de vue agronomique, l'objectif est aussi de valoriser le fumier des amas dans le plus court délai possible en faisant usage des nombreuses fenêtres d'épandage disponibles durant l'année, domaine où le Québec fait preuve d'initiative depuis des décennies.

2. PHÉNOMÈNES NATURELS ASSOCIÉS AUX AMAS AU CHAMP

Les études réalisées ces dernières années ont permis de constater différents phénomènes naturels associés à l'évolution des amas de fumier entreposés au champ. Ces phénomènes caractérisent trois phases successives : la consolidation de l'amas, la maturation du fumier et l'après-remise de l'amas. La figure 2.1 représente l'amas à la fin de sa confection, tous les éléments fertilisants étant alors contenus dans l'amas.

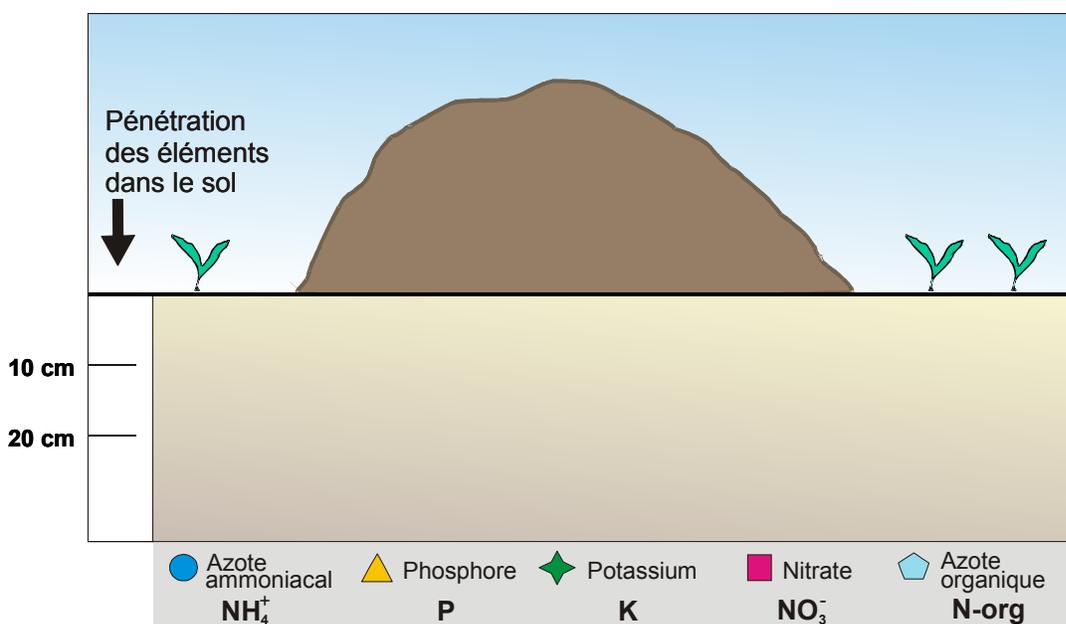


Figure 2.1 Schéma d'un amas de fumier à la fin de sa confection

2.1 Phase de consolidation de l'amas

La phase de consolidation s'observe généralement au cours des deux premiers mois suivant la confection de l'amas, sauf si l'amas est gelé. Ainsi, durant la période hivernale, soit de la mi-novembre à la mi-avril, on considère qu'elle s'échelonne plutôt sur une période de cinq mois, en raison du gel et du dégel de l'amas. Plusieurs phénomènes liés au changement de masse, de volume et de forme de l'amas, ainsi qu'au changement de composition du fumier se manifestent au cours de cette phase. Ces phénomènes ont un impact sur la couche arable du sol (figure 2.2). Ils varient en importance selon la température ambiante, l'intensité et la hauteur des précipitations, la composition initiale du fumier et les équipements utilisés pour réaliser la mise en amas.

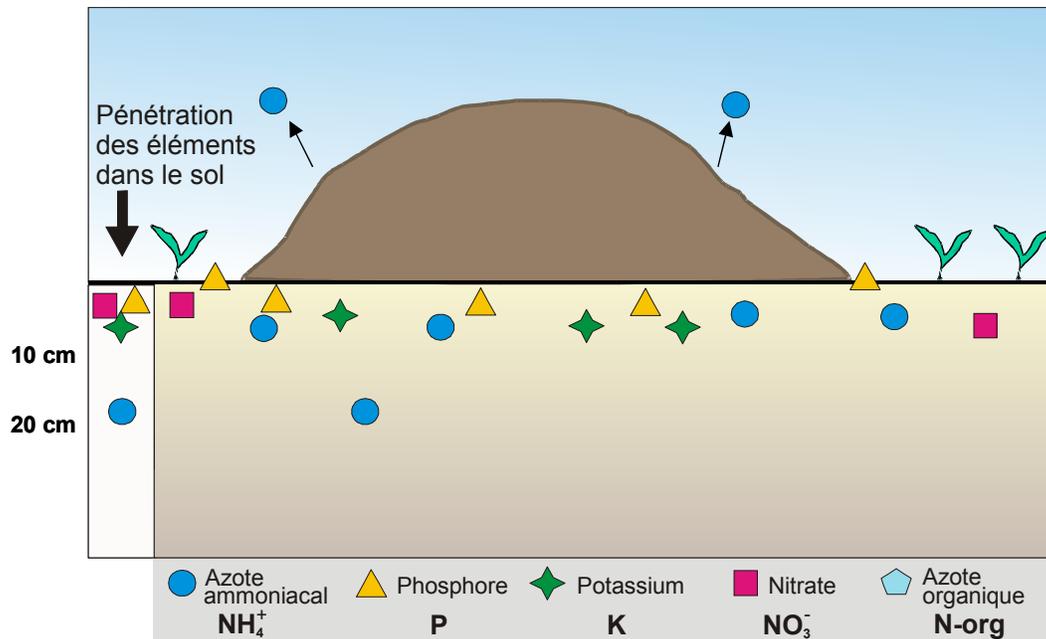


Figure 2.2 Schéma des phénomènes mesurables pendant la consolidation

Phénomènes observables durant la phase de consolidation

- ✓ Diminution du volume de l'amas pouvant atteindre 20 %, par compression et affaissement.
- ✓ Accroissement de 10 % à 20 % de la surface occupée par l'amas au sol à la suite de l'affaissement général.
- ✓ Variation cyclique de la masse de l'amas par évaporation et par captage de précipitations.
- ✓ Gain de 5 % à 15 % de la densité apparente (*) moyenne des fumiers secs.
- ✓ Perte de 5 % à 10 % de densité apparente moyenne des fumiers humides.
- ✓ Variation cyclique de la température à l'intérieur de l'amas selon l'apparition et la disparition des conditions favorables à l'activité de décomposition par les microorganismes thermophiles (écarts maximaux de 40 °C en hiver et de 30 °C pendant le printemps, l'été et l'automne).
- ✓ Volatilisation de l'azote ammoniacal (N-NH_4) lorsque sa pression de vapeur dans l'amas est à la hausse. La quantité volatilisée peut représenter de 5 % à 20 % de l'azote total initial.
- ✓ Ruissellement à la périphérie de l'amas (figures 2.2 et 2.4) lors des précipitations et des redoux.
- ✓ Production de lixiviats sous l'amas (figures 2.5 et 2.6) et en périphérie, avec ou sans précipitations.
- ✓ Rétention de l'eau de ruissellement chargée de lixiviats par le sol et les végétaux à l'intérieur de la bande filtrante (voir section 9).
- ✓ Rétention des éléments du lixiviat par le sol situé sous l'amas.
- ✓ Filtration d'éléments fertilisants par l'andain filtrant en hiver (voir section 9).
- ✓ Relargage d'éléments fertilisants par l'andain filtrant au printemps (voir section 9).
- ✓ Éparpillement du fumier sec par le vent, vers la bande filtrante (voir section 9).
- ✓ Diminution de la charge microbienne (facteur de 15 en 2 mois pour les streptocoques fécaux).
- ✓ Faible réduction de la charge fertilisante de l'amas (moins de 15 %). La volatilisation de l'azote (N) est la principale source de la réduction (voir le tableau 2.1).

* Densité apparente = masse humide / volume

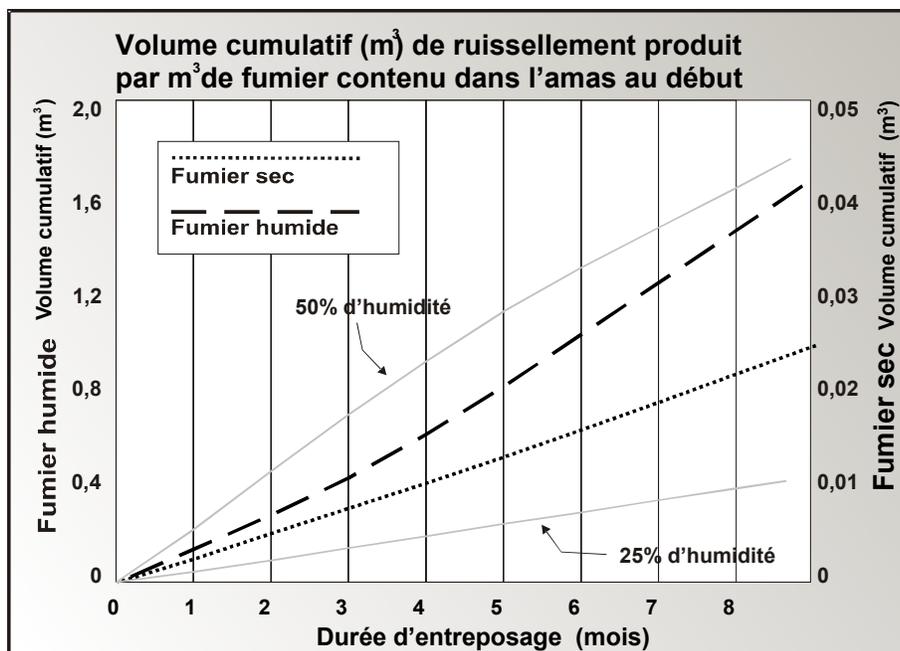


Figure 2.3 Volume cumulé d'eau de ruissellement produite selon le type de fumier constituant l'amas

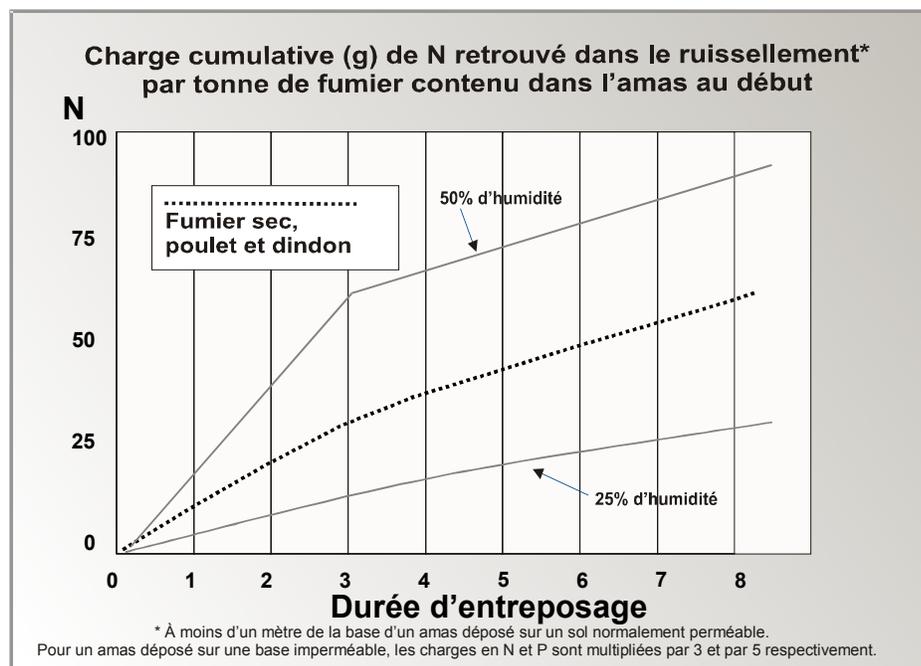


Figure 2.4 Charge cumulée d'azote retrouvé dans l'eau de ruissellement d'un amas de fumier sec

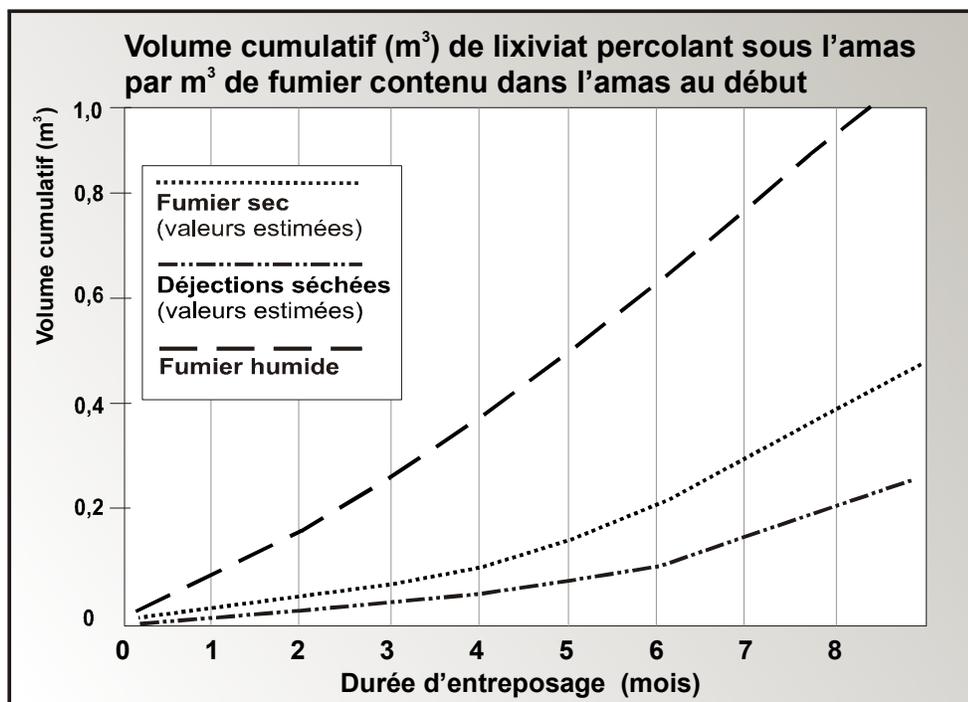


Figure 2.5 Volume cumulé de lixiviat percolant sous l'amas selon le type de fumier

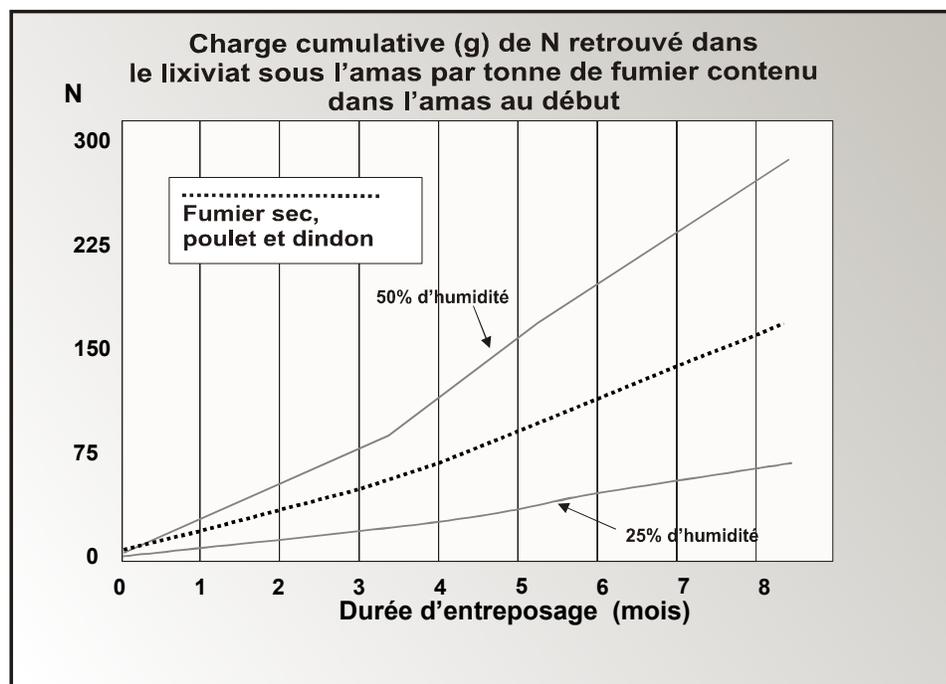


Figure 2.6 Charge cumulée d'azote dans le lixiviat percolant sous l'amas de fumier sec

Pour mieux visualiser l'impact des phénomènes examinés précédemment, voici un exemple théorique d'un bilan des éléments fertilisants après consolidation (2 mois sans gel) d'un amas de 500 tonnes (t) de fumier de bovins (tableau 2.1).

Tableau 2.1 Bilan théorique des éléments fertilisants d'un amas de 500 tonnes, après consolidation

	Azote	Phosphore	Potassium
Contenus initiaux	≈ 2500 kg	≈ 500 kg	≈ 3000 kg
Moins les éléments perdus durant la période			
Volatilisé	≈ 300 kg	-	-
Adsorbés par le sol sous l'amas	≈ 30 kg	≈ 6 kg	≈ 225 kg
Adsorbés par le sol de la bande filtrante	≈ 20 kg	≈ 6 kg	≈ 75 kg
Prélevés par les végétaux de la bande filtrante	≈ 30 kg	≈ 6 kg	≈ 40 kg
Retenus par l'andain filtrant	≈ 1 kg	≈ 0,3 kg	≈ 1 kg
Relargués par l'andain filtrant	≈ 0,1 kg	≈ 0,05 kg	≈ 0,5 kg
Diffusés dans la nappe phréatique	≈ 5 kg	≈ 0,1 kg	≈ 20 kg
Exportés par le système de drainage	≈ 5 kg	≈ 0,05 kg	≈ 20 kg
Résiduels dans l'amas	≈ 2100 kg	≈ 480 kg	≈ 2620 kg

2.2 Phase de maturation du fumier

La phase de maturation du fumier, qui suit la consolidation de l'amas, peut durer plus d'une année. Elle se divise en deux étapes. La première débute par la maturation de la couche externe de l'amas (figure 2.7). Durant la deuxième étape, la maturation progresse graduellement vers le centre de l'amas (figure 2.8). Les phénomènes liés à ces deux étapes varient en importance selon la température ambiante, l'intensité et la hauteur des précipitations, la composition initiale du fumier et les équipements utilisés pour faire la mise en amas.

Phénomènes observables sur une longue période (plus d'une année)

- ✓ Diminution du volume de l'amas pouvant atteindre 40 %.
- ✓ Diminution de la masse de l'amas pouvant atteindre 60 % pour les fumiers humides.
- ✓ Variation cyclique de la masse par évaporation et par captage de précipitations.
- ✓ Variation cyclique de la teneur en eau du fumier, surtout à la surface de l'amas.
- ✓ Variation cyclique de la température interne de l'amas selon l'apparition et la disparition des conditions favorables à l'activité de décomposition par les microorganismes thermophiles.
- ✓ Gain de 30 % à 50 % de la densité apparente des fumiers secs.
- ✓ Perte de 10 % à 20 % de la densité apparente des fumiers humides.
- ✓ Diminution de la charge microbienne (facteur de 5000 en 12 mois pour les streptocoques fécaux).
- ✓ Volatilisation de N-NH₄ lorsque sa pression de vapeur dans l'amas est à la hausse.
- ✓ Perte de carbone par oxydation (40 % en 10 mois pour un fumier humide, et plus encore pour un fumier sec).
- ✓ Ruissellement à la périphérie de l'amas lors des pluies et redoux.
- ✓ Production de lixiviats sous l'amas et en périphérie avec ou sans précipitations.
- ✓ Rétention de l'eau de ruissellement chargée de lixiviats par le sol et les végétaux à l'intérieur de la bande filtrante (voir section 9).
- ✓ Rétention des éléments du lixiviat par le sol situé sous l'amas.
- ✓ Filtration d'éléments fertilisants par l'andain filtrant surtout lors des redoux et au printemps (voir section 9).
- ✓ Relargage d'éléments fertilisants par l'andain filtrant après l'hiver (voir section 9).
- ✓ Éparpillement du fumier sec par le vent, vers la bande filtrante (voir section 9).
- ✓ Immobilisation, rétroversion, adsorption et fixation des éléments fertilisants par le sol.
- ✓ Dégradation de la structure du sol et diminution de la conductivité hydraulique par les cations monovalents contenus dans le lixiviat.
- ✓ Réduction de la perméabilité du sol par colmatage physique, biologique et chimique.
- ✓ Lessivage d'éléments fertilisants (N, P et K) vers la nappe phréatique.
- ✓ Accroissement de la charge en N, P et K de l'eau de drainage souterrain (< 1 % N, < 0,1 % P et < 2 % K, sur la base d'un amas de 500 t de fumier de bovins et d'un système de drainage couvrant 20 ha).
- ✓ Réduction importante de la charge fertilisante de l'amas (jusqu'à 50 %). La volatilisation de l'azote est responsable de 30 % de la réduction (voir le tableau 2.2).

La pénétration des éléments fertilisants dans le sol se limite aux premiers 20 cm au cours de la première étape de maturation (figure 2.7), pour s'étendre dans un deuxième temps jusqu'à 1 m de profondeur (figure 2.8).

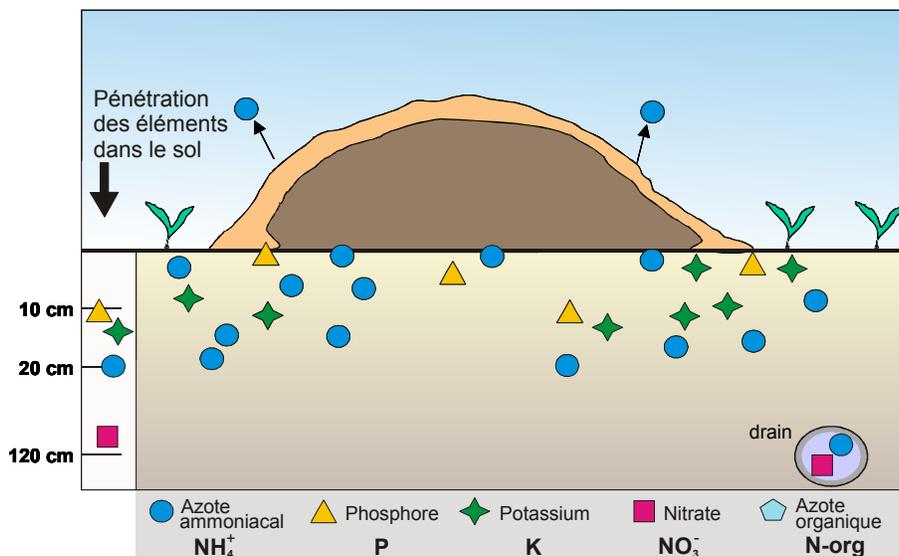


Figure 2.7 Schéma des phénomènes mesurables durant la première moitié de la maturation de l'amas

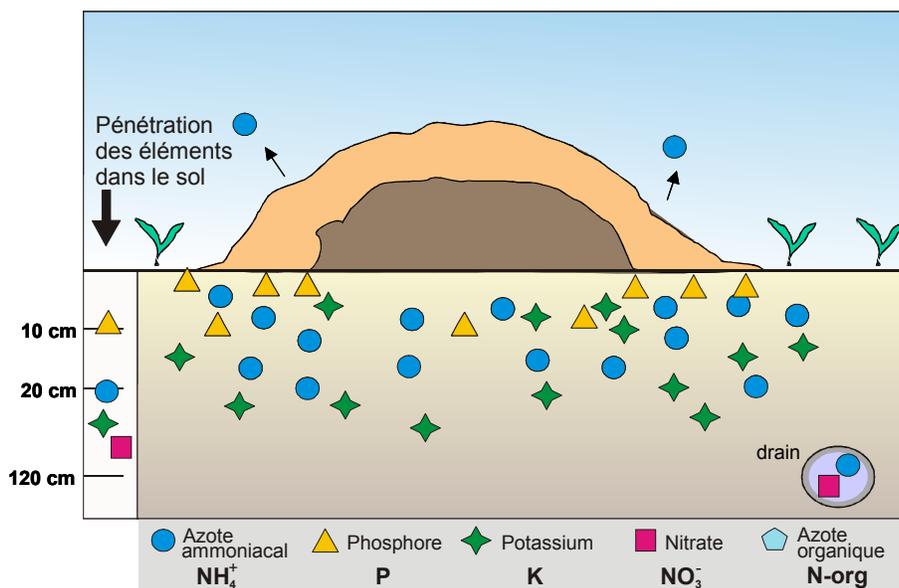


Figure 2.8 Schéma des phénomènes mesurables durant la deuxième moitié de la maturation de l'amas

Le bilan théorique suivant (tableau 2.2) permet de visualiser l'ampleur des phénomènes observables dans le cas d'un amas de 500 t de fumier de bovins après deux mois de consolidation et six mois de maturation.

Tableau 2.2 Bilan théorique des éléments fertilisants d'un amas de 500 tonnes après 2 mois de consolidation et 6 mois de maturation

	Azote	Phosphore	Potassium
Contenus initiaux	≈ 2500 kg	≈ 500 kg	≈ 3000 kg
Moins les éléments perdus durant la période			
Volatilisé	≈ 800 kg	-	-
Adsorbés par le sol sous l'amas	≈ 175 kg	≈ 30 kg	≈ 650 kg
Adsorbés par le sol de la bande filtrante	≈ 125 kg	≈ 12 kg	≈ 350 kg
Prélevés par les végétaux de la bande filtrante	≈ 50 kg	≈ 12 kg	≈ 50 kg
Retenus par l'andain filtrant	≈ 1 kg	≈ 0,5 kg	≈ 1 kg
Relargués par l'andain filtrant	≈ 0,1 kg	≈ 0,05 kg	≈ 0,5 kg
Diffusés dans la nappe phréatique	≈ 15 kg	≈ 0,3 kg	≈ 65 kg
Exportés par le système de drainage	≈ 15 kg	≈ 0,3 kg	≈ 65 kg
Résiduels dans l'amas	≈ 1320 kg	≈ 440 kg	≈ 1820 kg

2.3 Après la reprise de l'amas

Après la reprise de l'amas, différents phénomènes continuent de se produire sur le site. Leur importance et leur persistance sont fonction du degré de réhabilitation du site au cours des jours suivant la reprise (figure 2.9). Elles varient aussi selon la température ambiante, la hauteur des précipitations, la composition initiale du fumier et les équipements utilisés pour faire la reprise de l'amas et la quantité résiduelle de fumier laissé lors de la reprise.

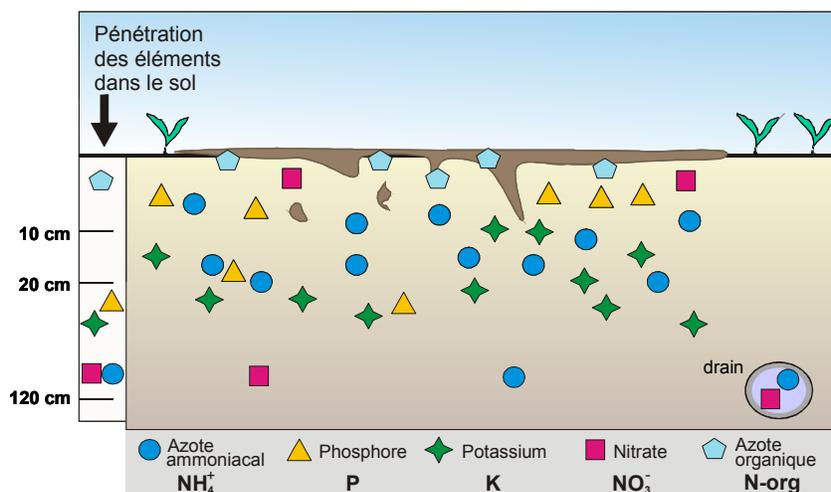


Figure 2.9 Schéma des phénomènes mesurables juste après la reprise de l'amas

Phénomènes observables au cours des années suivant la reprise

- ✓ Minéralisation, pendant les deux premières années, du N-organique résiduel retenu dans le sol, avec pour effet un apport excédentaire de N-NH₄.
- ✓ Nitrification, durant les deux premiers mois, du N-NH₄ résiduel retenu dans le sol.
- ✓ Nitrification abondante durant les deux premières années du N-NH₄ issu de la minéralisation de N-organique résiduel retenu dans le sol.
- ✓ Immobilisation dans l'humus du sol pendant les deux ou trois premières années de N et du carbone (C) résiduels.
- ✓ Prélèvement par les plantes.
- ✓ Rejets de l'azote élémentaire (N₂) dans l'atmosphère par dénitrification en condition de sol humide et en abondance de carbone soluble.
- ✓ Amélioration graduelle de la perméabilité et de la structure du sol.
- ✓ Lessivage de N et P vers le sous-sol et la nappe phréatique.
- ✓ Accroissement de la charge en N, P et K de l'eau de drainage souterrain (< 1 % N, < 0,2 % P et < 2 % K, sur la base d'un amas de 500 t de fumier de bovins et d'un système de drainage couvrant 20 ha).
- ✓ Alimentation du panache de contamination de l'eau de la nappe phréatique en nitrate (N-NO₃).
- ✓ Déplacement, déformation et épuisement du panache selon les gradients hydrodynamiques qui s'exercent.

La figure 2.10 montre le devenir des éléments fertilisants durant l'année qui suit la reprise de l'amas.

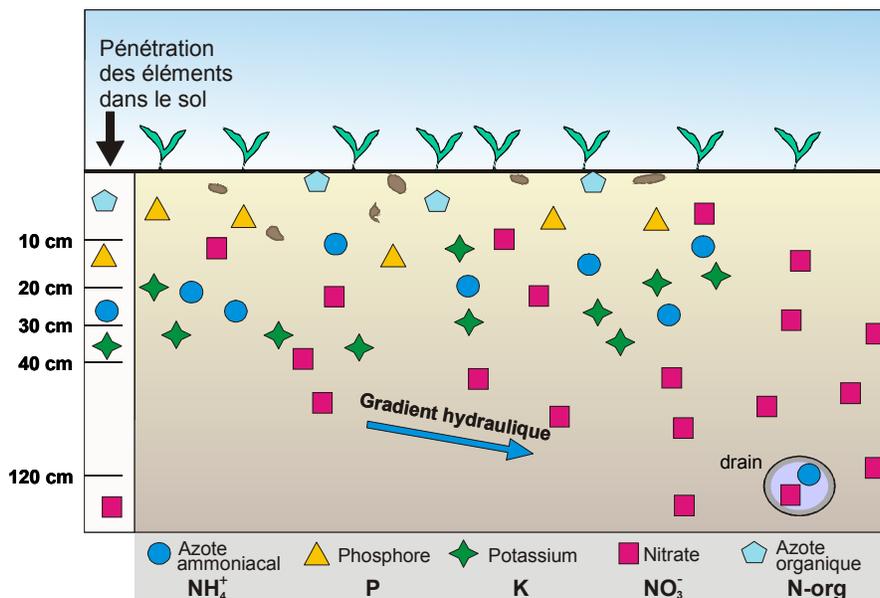


Figure 2.10 Schéma des phénomènes mesurables durant l'année suivant la reprise du fumier

Le bilan théorique qui suit (tableau 2.3) illustre la réduction des charges en éléments fertilisants dans le sol, sous un amas de 500 t de fumier de bovins ayant été entreposé pendant quatre mois sans gel, deux ans après sa reprise.

Tableau 2.3 Bilan théorique de la réduction des charges en éléments fertilisants dans le sol sous un amas de 500 tonnes de fumier ayant été entreposé pendant 4 mois sans gel, 2 ans après sa reprise

	Azote	Phosphore	Potassium
Contenus résiduels dans le sol (0 - 50 cm) sous l'amas immédiatement après la reprise	≈ 100 kg	≈ 20 kg	≈ 500 kg
Moins les éléments disponibles retirés de la couche de sol durant la période			
Prélevés par l'enlèvement de 3 cm de sol lors de la réhabilitation	≈ 15 kg	≈ 3 kg	≈ 70 kg
Prélevés par la végétation à l'emplacement de l'amas	≈ 55 kg	≈ 7 kg	≈ 60 kg
Rétrogradés et fixés par le sol	0 kg	≈ 5 kg	0 kg
Réduits en N ₂	≈ 2 kg	-	-
Diffusés dans la nappe phréatique	≈ 5 kg	0 kg	0 kg
Exportés par le système de drainage	≈ 10 kg	≈ 0,8 kg	≈ 40 kg
Résiduels (provenant du fumier) dans les premiers 50 cm de sol sous l'amas, 2 ans après la reprise	≈ 13 kg	≈ 4 kg	≈ 330 kg

3. PROPRIÉTÉS AGRO-PÉDOLOGIQUES DES SOLS QUÉBÉCOIS

Le sol est l'assise des amas au champ. Il est l'interface entre la base de l'amas et la partie haute de la nappe phréatique. Étant constitué d'une couche arable (0 à 20 cm), puis d'un horizon d'accumulation (à une profondeur de 20 et 40 cm) et enfin d'un horizon de matériel meuble non altéré (à une profondeur de 40 à 60 cm), il possède différentes propriétés physiques, chimiques et hydrodynamiques gouvernant le transfert du lixiviat par lessivage, plus en profondeur.

Le devenir des reliquats du lixiviat sous la profondeur de 60 cm, que ce soit par transformation, adsorption, rétention, fixation, remontée capillaire en période d'évapotranspiration, diffusion et dispersion dans la nappe phréatique et épuisement par rabattement de la nappe imposé par un système de drainage, n'est pas pris en compte dans ce guide. Il paraît trop complexe de prédire, en utilisant un modèle hydrologique de suivi de contaminants dans des médias poreux, alternativement saturés et non saturés, les limites du panache de contaminants dans le temps en présence de l'amas et au cours des années suivant sa reprise.

Selon Grégoire et Côté (2004), l'accumulation de N, de P sous forme de P_2O_5 et de K sous forme de K_2O dans les premiers 50 cm de sol sous les amas, après 9 mois de présence, était de 340 g, 140 g et 1600 g respectivement par tonne de fumier. Pendant la même période, les pertes par drainage souterrain ont totalisé 31 g de N, 1,9 g de P_2O_5 et 160 g de K_2O , alors que les pertes par ruissellement recueillies à moins de 1 m du pourtour de l'amas ont été de 32 g de N, 8,4 g de P_2O_5 et de 205 g de K_2O . C'est dire que les charges de N, P et K atteignant les drains souterrains (ou la partie haute de la nappe phréatique) sont faibles (9, 6 et 13 % respectivement) pendant cette période par rapport à la quantité qui est adsorbée.

Ce sont les propriétés physico-chimiques du sol qui gouvernent la capacité d'adsorption. Leur connaissance est primordiale pour prédire en combien de mois cette capacité sera atteinte. Les travaux de Grégoire et Côté, 2004, ont démontré que si la capacité d'adsorption est dépassée (notamment en azote) à la suite d'une persistance trop longue des amas sur un site, le sol relâchera vers la nappe phréatique, au cours des deux années suivant la reprise de l'amas, une proportion importante d'azote et à des teneurs pouvant excéder 100 mg/l², dans l'eau de drainage.

3.1 Banque de données sur les sols agricoles

L'étude sur la dégradation des sols agricoles, réalisée à l'IRDA entre 1987 et 1990 (Tabi *et al.*), sur les 159 séries de sols les plus représentatives du patrimoine agricole québécois, a généré une importante banque d'information sur les propriétés agro-pédologiques des sols (annexe I). L'analyse de cette information permet de conclure que la plus grande attention doit être accordée à la couche arable, celle sur laquelle repose l'amas et qui reçoit le lixiviat et le ruissellement. La couche sous-jacente, sur une épaisseur de 20 cm, et une troisième, de même épaisseur, doivent aussi être considérées dans l'évaluation des transferts de lixiviats en présence de l'amas et, dans une moindre mesure, durant les premières années suivant sa reprise (Côté *et al.*, 2001 et Grégoire et Côté, 2004).

² La teneur habituelle en N dans l'eau de drainage sous une prairie fertilisée est de 5 à 10 mg/l et de 12 à 20 mg/l pour un champ de maïs.

La perméabilité ainsi que les propriétés chimiques de ces couches de sol sont, pour le conseiller, une source d'informations utiles pour la formulation de ses recommandations concernant la gestion des amas au champ.

3.1.1 Perméabilité

L'analyse de l'annexe I montre que les plus faibles perméabilités se rencontrent dans la couche arable (0-20 cm) des sols sableux fins et limoneux en raison d'un plus faible état d'agrégation des particules (figure 3.1).

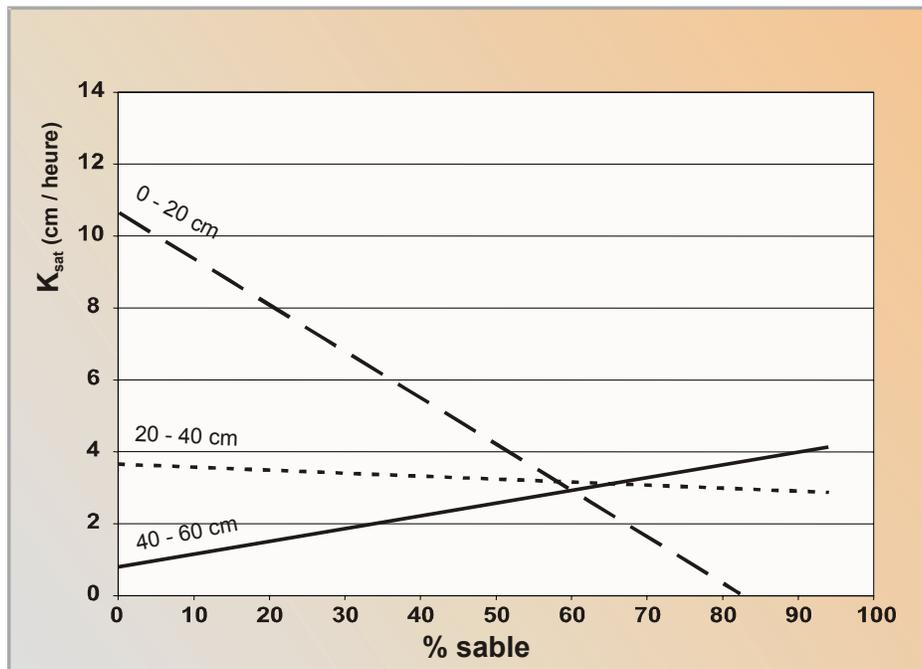


Figure 3.1 Conductivité hydraulique du sol en fonction de son pourcentage en sable (tiré de Tabi *et al*, 1990)

Plus la teneur en argile est grande en présence de matière organique, plus les agrégats granulaires stables deviennent nombreux, ce qui augmente la perméabilité (figure 3.2). Dans ces conditions, la couche arable d'un sol argileux contenant 70 % d'argile sera 10 fois plus perméable que celle d'un sol qui en contient moins de 10 %. On mesure régulièrement sur des séries de sols argileux une conductivité hydraulique 40 fois plus élevée que sur des séries sableuses. C'est le cas, par exemple, de la série Saint-Urbain (argile limoneuse) et de la série Sainte-Hélène (sable) où la conductivité hydraulique saturée (K_{sat}) est de 48 cm/h et de 1,14 cm/h respectivement.

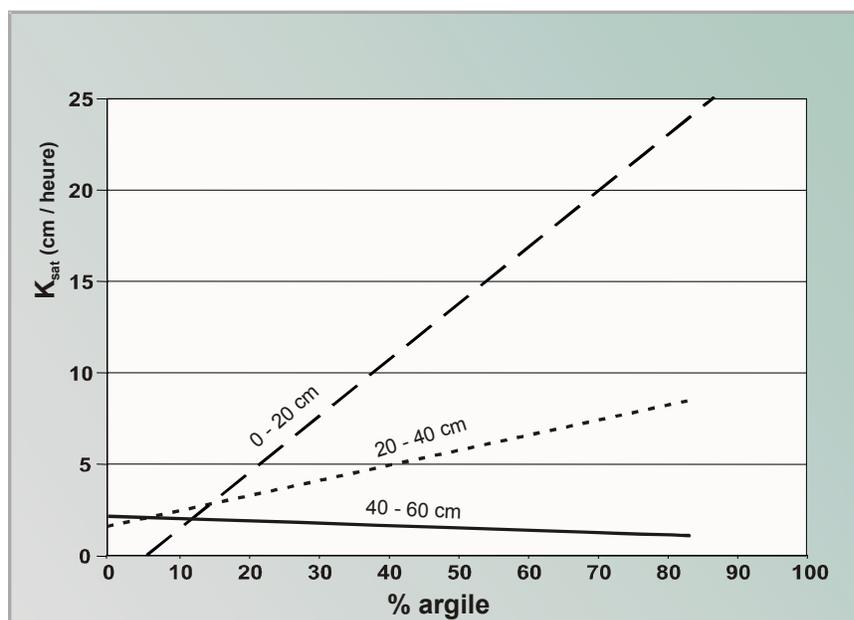


Figure 3.2 Conductivité hydraulique du sol en fonction de son pourcentage en argile (tiré de Tabi *et al*, 1990)

La couche de 20-40 cm de sol située sous la couche arable présente, aussi, une tendance à afficher une perméabilité plus élevée avec l'accroissement de sa teneur en argile. Cette tendance est cependant moins forte que dans le cas de la couche arable, en partie en raison d'un plus faible état d'agrégation des particules minérales et organiques. Globalement, la conductivité hydraulique du sol diminue en moyenne de 30 %, de la couche arable à cette couche sous-jacente (4,9 à 3,3 cm/h).

À une profondeur entre 40 et 60 cm, les caractéristiques du sous-sol sont généralement intimement liées à la nature de la roche-mère. Elles ne sont pas influencées par le profil cultural. La perméabilité dépend donc de la texture du sol. Pour cette portion de sol, les relations existant entre ces deux variables sont toutefois moins bien définies. Par rapport à la couche arable, la conductivité hydraulique à cette profondeur est en moyenne trois fois plus faible.

Comme le montre la figure 3.3, la conductivité hydraulique du sol diminue de façon importante dans les deux premières couches lorsque s'accroît la densité apparente. Sur la base de la perméabilité de la couche arable, on ne peut donc, comme on l'entend souvent, discriminer les sols de texture sableuse pour leur capacité à recevoir des amas, **à moins qu'ils soient dominés par une phase sableuse grossière ou graveleuse**³. Une vérification de la texture des sols sableux sur le terrain à l'aide d'un tamis est recommandée lorsqu'un doute existe quant à la répartition des classes de sable fin, moyen et grossier.

³ Les sols dont la teneur en sable total excède 86 % et dont la fraction de sable grossier dépasse 50 % seraient à déconseiller pour l'entreposage d'amas pendant plus d'un mois (ou 4 mois hivernaux), car ils sont trop perméables. Au contraire, les sols sableux où dominent les fractions sable fin et très fin (>50 % du sable total) pourraient permettre l'entreposage d'amas pour une durée de 3 mois sans gel.

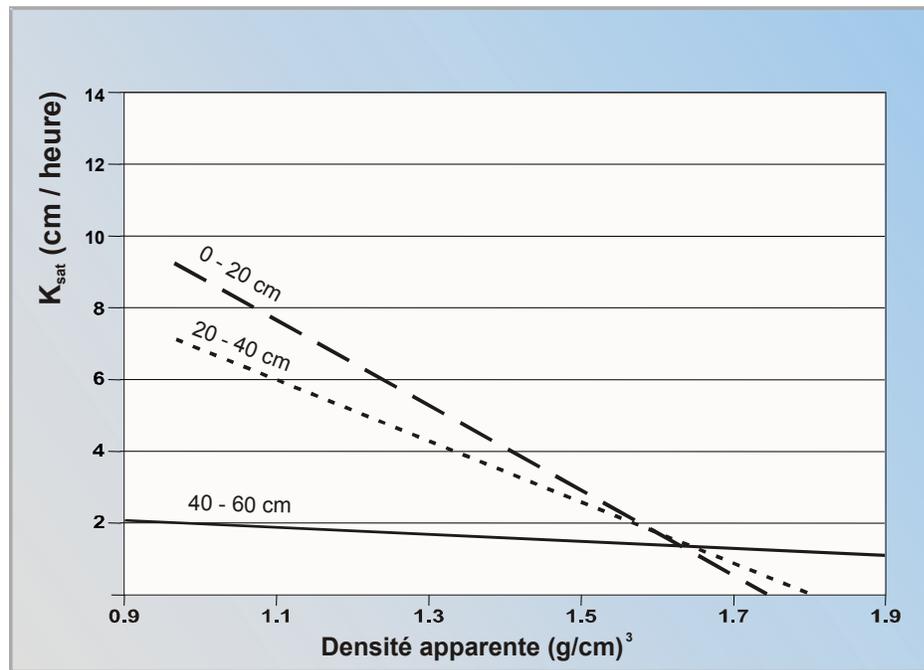


Figure 3.3 Conductivité hydraulique du sol en fonction de sa densité apparente (tiré de Tabi *et al*, 1990)

Sans égard à la texture du sol, la compaction réduit de façon importante la perméabilité.

Trois phénomènes de colmatage ont aussi un impact sur la perméabilité du sol sous les amas. Ils se produisent habituellement dans les premiers jours suivant la lixiviation. Ils peuvent réduire la conductivité hydraulique du sol par un facteur de 10 et plus.

Le colmatage physique résulte de l'obstruction des macropores par les fines particules de fumier; il dure plusieurs années, tant que la matière organique n'est pas oxydée ou réintégrée à l'humus du sol. Le colmatage biologique découle, quant à lui, de l'obstruction des pores par la biomasse microbienne. Il disparaît lorsque cette biomasse est hydrolysée, mais il peut se reformer de façon séquentielle. Le colmatage chimique se produit dans les sols contenant une fraction d'argile. Il consiste en une destruction des macropores et des micropores par déstabilisation de la structure causée par les cations monovalents, tels NH_4^+ , Na^+ et K^+ . S'il n'y a pas d'autres amas sur le même site, ce type de colmatage se résorbe au cours des années suivant la reprise, ce qui n'est pas le cas sur les sites permanents tels que ceux situés à proximité des bâtiments d'élevage.

Ainsi, sous l'amas, un sol ayant une faible perméabilité doit être recherché afin de réduire la percolation des lixiviats vers la nappe phréatique. Au contraire, le sol de la bande filtrante devrait avoir une perméabilité plus élevée afin de favoriser une infiltration des lixiviats et de diminuer le ruissellement vers les fossés.

3.1.2 Propriétés chimiques

Parmi les éléments fertilisants issus de la lixiviation et du ruissellement des amas, le phosphore (P) est celui qui doit être le plus possible capté et retenu dans le sol, de manière à ne pas enrichir les plans d'eau. La teneur en aluminium libre (Al Mehlich-3) du sol est le principal facteur de fixation du P provenant du lixiviat. Dans la couche arable, elle a tendance à décroître avec l'augmentation de la teneur en argile (figure 3.4). Les teneurs en Al Mehlich-3 les plus élevées (jusqu'à 2000 mg/kg) se retrouvent naturellement dans les sols les plus sableux, mais il y a des exceptions.

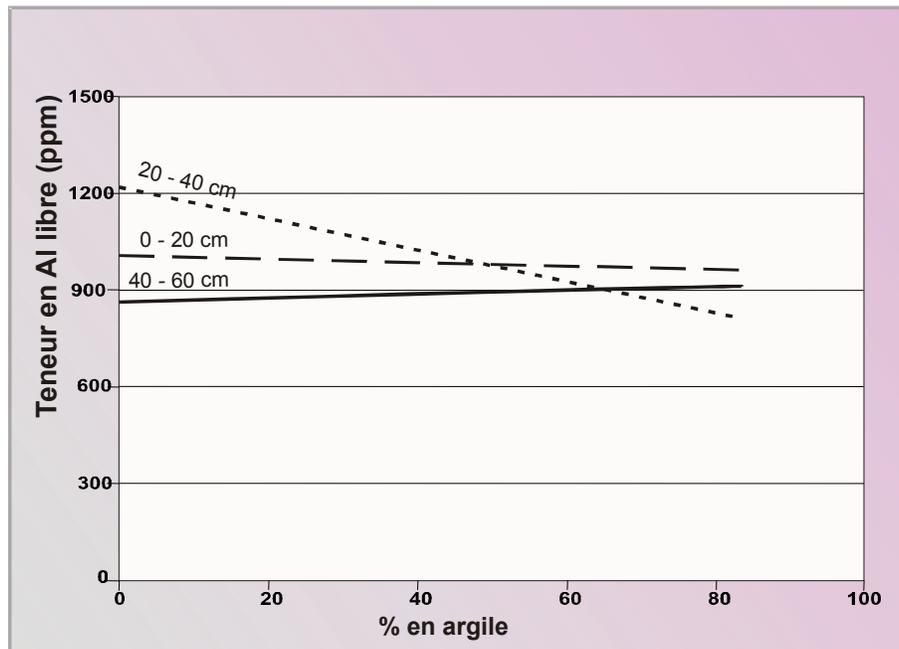


Figure 3.4 Teneur en aluminium libre du sol en fonction de son pourcentage en argile (tiré de Tabi *et al*, 1990)

Sur les 159 séries de sols traitées par l'étude de l'IRDA, seulement trois contenant 85 % de sable et plus ont une teneur en Al Mehlich-3 sous les 1000 mg/kg de sol; ce sont les séries Kénogami, Saint-Samuel et Saint-Jude. La valeur médiane en Al Mehlich-3 observée pour tous les sols de l'étude est de 970 mg/kg. Les laboratoires fournissent habituellement cette analyse ainsi que celle de la teneur en P Mehlich-3 (médiane de 31 mg/kg dans l'étude de l'IRDA, 1990, et de 38 mg/kg dans celle de Beudet *et al*, 2004). Ces analyses permettent de connaître le taux de saturation en P, soit la capacité résiduelle du sol à fixer du nouveau P.

La teneur du sol en Al Mehlich-3 entre 20 et 40 cm de profondeur diffère peu de celle retrouvée dans la couche arable. Par ailleurs, comme la densité apparente du sol y est plus élevée et que le taux de saturation en P y est beaucoup plus faible que dans la couche arable, la présence d'Al Mehlich-3 joue un rôle prépondérant dans la fixation du P qui pourrait y arriver soit par voie préférentielle ou par désorption dans la couche arable.

L'azote ammoniacal (N-NH₄), sous sa forme cationique, est facilement adsorbé sur les colloïdes du sol et les feuillets d'argile. La capacité d'échange cationique du sol (CEC), tout comme son contenu en argile, est un bon indicateur de la capacité du sol à retenir cette fraction minérale azotée, dominante avec le potassium (K) dans le lixiviat et l'eau de ruissellement. Sa valeur médiane dans les sols de l'étude (Tabi *et al*, 1990) est de 16,5 meq/100 g de sol dans la couche arable. La CEC s'accroît avec la teneur en argile des sols (figure 15), quelle que soit la couche concernée.

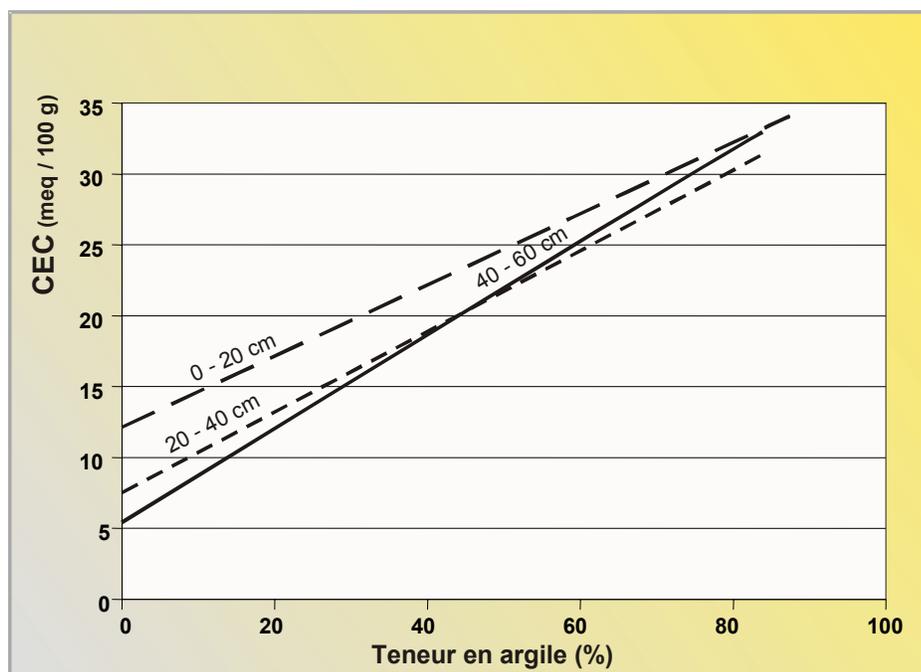


Figure 3.5 Capacité d'échange cationique selon la teneur en argile sous la couche arable (tiré de Tabi *et al*, 1990)

Certaines séries de sols sableux sont caractérisées par un accroissement de la teneur en argile à une profondeur de 40 à 60 cm. Leur CEC s'en trouve plus élevée et leur perméabilité sensiblement réduite.

Les plus faibles CEC se retrouvent le plus souvent dans des sols contenant moins de 20 % d'argile. Or pour favoriser la rétention du N-NH₄ et du K, on doit rechercher des sols avec une CEC élevée (> 15 meq/100 g).

La capacité de rétention du sol peut être évaluée lorsque l'on connaît sa CEC et sa densité apparente. Ainsi, un loam sableux Beurivage, affichant une CEC de 16 meq/100 g de sol et une densité apparente de 1,25 g/cm³ sur une épaisseur de 20 cm, pourrait retenir 36 g de NH₄ ou 70 g de K par mètre carré (m²) de sol arable sous l'amas, si 5 % de la CEC était utilisée à cette fin. Ces quantités pourraient être atteintes en moyenne après trois mois en saison hors gel lorsque l'amas est composé de fumier humide (dans l'essai de Grégoire et Côté, 2004, c'est 30 g de NH₄/m² et 350 g de K/m² qui ont été retrouvés dans la couche arable après 8 mois d'entreposage de fumier humide, y compris 5 mois d'hiver).

Pour du fumier sec, le risque d'atteindre ce niveau en trois mois est très faible (Anonyme, 2003). Toutefois, l'expérience démontre que la teneur en eau initiale du fumier est très variable au moment de la confection des amas et que son humidification est tout aussi aléatoire, d'où la difficulté de prédire l'intensité du compostage et de la lixiviation qui en résulteront.

3.2 Sols plus à risque

Les sols sableux avec prédominance de sable moyen et grossier présentent une CEC inférieure à 10 meq/100 g et une conductivité hydraulique élevée. Ils sont donc plus à risque de ne pas retenir tous les éléments et de le transmettre vers des couches plus profondes, puis vers la nappe phréatique. Ces limitations peuvent cependant être corrigées en partie (voir la section 7.5).

4. CARACTÉRISTIQUES DES FUMIERS EN AMAS AU CHAMP

Aux fins du présent guide, les fumiers mis en amas au champ sont classés selon les catégories suivantes : fumier humide, fumier sec, fientes humides ou fientes séchées. Sont considérés comme humides les fumiers contenant plus de 60 % d'eau. Les fumiers secs (élevage sur litière) comportent, quant à eux, moins de 52 % d'eau. Les fientes humides ont un taux d'humidité de 65 % à 75 %. Lorsque ces fientes ont subi un séchage, leur teneur en eau atteint plutôt de 12 % à 60 %.

Le tableau 4.1 résume les caractéristiques des divers fumiers et fientes qui forment généralement les amas au champ. Les quatre catégories dans lesquelles ils se trouvent se distinguent avant tout par leur teneur en eau et la présence de litière. La teneur en eau et la proportion de litière qu'ils contiennent, particulières à la conduite de chaque ferme, se répercutent nécessairement sur leur charge fertilisante. Une attention spéciale doit être apportée aux fientes séchées en raison des pertes d'éléments fertilisants en cours de séchage difficiles à prévoir.

Tableau 4.1 Caractéristiques des engrais de ferme généralement mis en amas⁴

CATÉGORIE Type d'élevage	Matière sèche	Teneur en eau min-max	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Masse volumique
	%	%	kg/t bh			t/m ³
FUMIER HUMIDE						
Bovins laitiers	21	74-88	5,7	3,6	5,3	0,80
Veaux de grain	29	65-71	5,4	3,1	4,2	0,75
Bouvillons d'engraissement	27	66-80	7,1	4,4	6,0	0,75
Vaches-veaux, taureaux (bovins de boucherie)	26	60-88	4,8	2,4	4,9	0,75
Ovins (brebis et agneaux et béliers)	25	70-80	10,9	5,0	14,2	0,63
Ovins (agnelles de remplacement)	25	70-80	18,8	5,5	18,3	0,63
Ovins (agneaux légers, lourds)	25	70-80	23,1	8,3	14,3	0,64
Solides de lisier de porcs (séparation)	18	80-85	8	6	1,2	0,80
Mélange solides de lisier de porc et sciures	33	65-70	4	3	0,7	0,65
FIENTES HUMIDES (MS<50%)						
Pondeuses - consommation	29	65-75	17,1	16,6	9,3	0,87
FUMIER SEC						
Poulets à griller (<3 kg)	74	23-29	28,3	23,5	18,0	0,27
Poulettes - consommation	76	20-50	34,9	34,3	21,8	0,33
Poulettes - incubation	78	20-50	14,5	24,9	13,3	0,27
Poules pondeuses - consommation	82	20-30	27,6	34,3	21,0	0,45
Poules pondeuses - incubation	56	30-50	11,9	30,5	18,0	0,48
Dindons à griller, lourds	71	26-32	23,2	23,8	16,8	0,38
FIENTES SÉCHÉES (MS>50%)						
Poulettes - consommation	55	14-60	38,6	31,5	20,7	0,55
Poules pondeuses - consommation	68	12-52	39,6	38,2	21,6	0,46

⁴ Les données présentées au tableau 4.1 proviennent à la fois des valeurs références du CRAAQ pour les charges fertilisantes des effluents d'élevages et de mesures effectuées à l'IRDA, et elles correspondent à leur état au moment de la mise en amas.

Étant donné que leurs teneurs en éléments fertilisants peuvent varier énormément d'une ferme à l'autre selon leur gestion propre, il est nécessaire de caractériser les fumiers et les fientes avant leur mise en amas, mais aussi d'évaluer les pertes qu'ils subiront. Une caractérisation complète des fumiers et des fientes inclut le rapport C/N, ainsi que la concentration en azote ammoniacal (N-NH₄)⁵. Ces informations permettront de calculer la taille à donner aux amas pour répondre adéquatement aux besoins de fertilisation des cultures.

La conductivité hydraulique des amas de fumier varie grandement suivant leur composition, leur état de consolidation et de vieillissement, et selon la position de la mesure dans l'amas (tableau 4.2). En raison de cette variabilité, il est difficile de prévoir l'amplitude comparative du ruissellement qui fuit au pourtour de l'amas ainsi que celle du lixiviat qui s'échappe sous l'amas sur une période de quelques mois. Généralement, le sol affiche, par rapport au fumier, une conductivité hydraulique qui va de légèrement supérieure à 20 fois inférieure.

Tableau 4.2 Conductivité hydraulique comparative du fumier en amas et du sol

	Conductivité hydraulique	
	cm/heure	
	Minimale	Maximale
Fumier, couche superficielle (*)	5	50
Fumier, sous la couche superficielle (*)	0,5	50
Sol de la couche arable (0-20 cm) non colmaté par du lixiviat (**)	0,5	15
Sol de la couche arable (0-20 cm) colmaté par du lixiviat (*)	0,005	0,05
Sol sous la couche arable (20-40cm) non colmaté par du lixiviat (**)	0,02	20
Sol de la couche (40-60 cm) non colmaté par du lixiviat (**)	0,02	15

Source : * Mesures et estimation de l'auteur

** Tabi *et al* 1990

⁵ L'analyse de l'azote ammoniacal (N-NH₄) s'avère plus variable et donc moins fiable que l'azote total ou le rapport C/N du matériel, notamment dans les fientes séchées des poules pondeuses.

5. TRANSPORT DES FUMIERS ET MISE EN FORME DE L'AMAS

Généralement, les engrais de ferme sont transportés et mis en amas au champ en utilisant un tracteur et un épandeur ou une benne à bascule. Si les distances à parcourir sont grandes, l'utilisation d'un camion est préférable.

Certains des engrais de ferme sont frais et déposés à une fréquence journalière ou presque; c'est le cas des fumiers de bovins laitiers. Quant aux fumiers de parcs de bovins d'engraissement, ils sont le plus souvent apportés au champ de façon hebdomadaire. D'autres sont transportés au champ en une seule occasion, soit à la fin d'une période d'élevage ou d'une saison d'hivernage.

Le fumier humide, qui est recueilli à la montée de l'écurie ou dans un parquet d'engraissement de bovins ou dans une cour d'exercice, est généralement transporté dans une benne étanche ou dans un épandeur à décharge latérale ou à hérissons. Sa vidange sur le site peut nécessiter des précautions ou un remaniement pour confectionner un amas en forme d'andain (triangulaire ou trapézoïdal), ou de forme carrée ou ronde.

Les fumiers d'ovins provenant d'élevages sur litière accumulée sont repris en grosses mottes ou en galettes et nécessitent un émiettement au moment de leur épandage. C'est pourquoi il est recommandé que leur transport au champ en vue de confectionner un amas soit fait avec un épandeur à hérissons. Ils pourront ainsi être émiettés une première fois lors de leur décharge. Le vieillissement de ces fumiers durant leur période d'entreposage au champ facilitera leur émiettement final à l'épandage.

Comme le fumier humide, les fientes humides des poules pondeuses (incorrectement appelées « fumier pâteux »), la fraction solide de lisier de porc et les fumiers secs sont transportés dans une benne étanche ou dans un épandeur à décharge latérale ou à hérissons. Les fientes humides sont entreposées au champ en prévision d'un épandage prochain. Leur gestion adéquate est nécessaire afin de faire correspondre leurs fenêtres d'épandage aux besoins des cultures.

Au sortir d'un ouvrage de stockage abrité, les fientes séchées sont souvent pulvérulentes, et des précautions doivent être prises pour leur transport et leur mise en amas afin d'éviter les pertes occasionnées par le vent. Selon la gestion actuelle, les fientes séchées constituent souvent des amas de très petite taille (moins de 20 t). Leur humidification par les précipitations facilite leur épandage.

Dans tous les cas, l'amas devra être mis en forme pour éliminer les cuvettes où l'eau pourrait s'accumuler. De plus, des amas étroits et hauts réduisent la surface de contact avec la pluie (voir aussi la section 8). La mise en place des amas du bas vers le haut du terrain permet d'éviter de circuler dans la bande filtrante et de créer des ornières qui deviendraient des voies d'écoulement préférentiel des lixiviats.

6. CRITÈRES DE SÉLECTION DES SITES

6.1 Distances à respecter

Différents règlements et diverses directives dictent les distances à respecter entre les amas, les points d'eau et le voisinage afin d'assurer la protection de l'environnement, particulièrement celle de l'eau et du sol (ex. : *Règlement sur le captage des eaux souterraines*). En l'absence de prescription, le conseiller peut consulter l'annexe II. Un exemple de formulaire de saisie des distances séparatrices y est proposé.

Bien entendu, l'objectif du *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA) voulant que « les eaux contaminées provenant de l'amas ne doivent pas atteindre les eaux de surface » doit guider la recommandation des distances à respecter. Ainsi, les distances peuvent varier en fonction de la pente du terrain, du type de surface (végétation, rugosité, etc.), du type de sol (sable, loam, argile), du drainage souterrain et de la configuration du site.

6.2 Caractéristiques du terrain

6.2.1 Pente

Un site plat ou en faible pente (inférieure à 6 %) permet de diriger et d'étaler la lame de ruissellement en provenance de l'amas, d'abord vers la bande filtrante, puis vers l'andain filtrant, s'il est présent. Les écoulements préférentiels étant à éviter, les sites présentant des pentes uniformes devraient être recherchés. L'amas devrait être situé préférentiellement dans le haut de la pente, pour diminuer l'emprise du ruissellement en amont. La confection des amas dans le sens de la pente diminue aussi l'emprise du ruissellement et réduit la longueur des éventuels andains filtrants et rigoles d'interception. Dans un champ en planche à deux versants (arrondie), l'amas devrait être situé sur le haut de la planche et respecter les contraintes de largeurs édictées à la section 6.2.5.

6.2.2 Dépression

Les amas placés sur des sites en cuvette risquent plus facilement d'être ennoyés à leur base lors de pluies intenses ou de la fonte des neiges, rendant les conditions de reprise plus difficiles. C'est pourquoi les sites plats ou légèrement convexes devraient être privilégiés.

6.2.3 Sol

Il n'est pas nécessaire que le sol sous l'amas soit enherbé. Pour faciliter la reprise de tout le fumier, il doit cependant être le plus lisse possible ou présenter une faible rugosité (c'est-à-dire sans billons ni sillons de labour ou de chisel). Au contraire, la surface du sol des bandes filtrantes peut être rendue plus rugueuse (par un travail primaire du sol perpendiculaire à la pente, par exemple) pour ralentir l'écoulement et accroître le captage des éléments.

6.2.4 Drainage souterrain

La présence d'une ligne de drains souterrains, installée à plus de 90 cm de profondeur, sous l'amas ou à proximité ne justifie pas le rejet d'un site. Au contraire, la proximité des drains produit un rabattement de nappe plus rapide, ce qui permet au sol de s'assécher suffisamment pour que l'adsorption des éléments fertilisants issus du lixiviat puisse s'effectuer sur les sites d'échanges présents majoritairement dans les micropores du sol. Les voies d'écoulement préférentiel (fentes de retrait), s'il en existe immédiatement au-dessus de la ligne de drains, sont rapidement obstruées par les processus habituels de colmatage et par le gonflement du sol qui s'humidifie (voir explications dans l'encadré ci-dessous). **Toutefois, par mesure préventive, il est conseillé de ne mettre en amas que du fumier sec ou du fumier humide plus ressuyé lorsque des voies d'écoulement préférentiel sont clairement identifiées à la surface du sol.**

L'apparition de fentes de retrait est conditionnée par trois facteurs : la pédologie du site (teneur en argile), le climat et le type de couverture du sol (Bégin et Naud, 2007). Les fentes de retrait ne présentent pas de risque accru de contamination de l'eau de drainage pour les raisons suivantes :

1. Lorsque les fentes de retrait sont présentes, le sol est sec, la réserve en eau utile du sol est très faible et la nappe phréatique se situe généralement à 1 mètre ou plus sous les drains;
2. La mise en amas du fumier humide (ressuyé) durant cette période, produira durant sa phase de consolidation, une percolation du lixiviat sous l'amas qui humidifiera graduellement le sol (écoulement lent) et contribuera au gonflement de l'argile, au colmatage et à la fermeture des voies d'écoulement préférentiel.
3. Au moment où la nappe phréatique remontera au-dessus des drains, après qu'une lame de lixiviat de 15 à 30 cm se sera produite, les voies d'écoulement préférentiel seront disparues et ne pourront se reformer qu'après un laps de temps important après la reprise des amas.

Sur les sites retenus pour faire des amas et présentant déjà des fentes de retrait, un travail du sol (labour, chisel, etc.) permet de briser la continuité des pores et d'éviter l'infiltration rapide du lixiviat.

Les voies d'écoulement préférentiel, autres que des fentes de retrait (canaux de vers de terre et trous de racines), peu profondes (tout au plus 1 mètre), présentent pour leur part un faible risque de contamination des eaux de drainage parce que persistantes dans les sols humides et même saturés. Doit-on pour cette raison interdire les amas au champ dans les bons sols agricoles? Non, puisque ces voies d'écoulement se colmatent graduellement par la percolation du lixiviat.

6.2.5 Configuration du site

Le site doit avoir des dimensions suffisantes pour permettre l'aménagement d'une bande filtrante et, s'il y a lieu, d'un andain filtrant. La surface de la bande filtrante doit être suffisamment large afin de filtrer le lixiviat susceptible de ruisseler de tous les côtés de l'amas. S'il est requis, l'andain filtrant est placé en aval de l'amas. Les planches arrondies bordées par des raies de curage (ou voies d'eau enherbées) doivent avoir plus de 30 m de largeur pour accueillir un amas de 4 m de largeur. Les planches bordées par des fossés devraient avoir une largeur supérieure à 36 m pour accueillir un amas de 6 m de largeur.

6.3 Sites contre-indiqués pour les amas au champ

Les lieux présentant les caractéristiques suivantes peuvent augmenter les risques de ruissellement, de percolation ou d'accumulation excessive d'éléments fertilisants et ne devraient donc pas être utilisés pour stocker les fumiers en amas :

- ✓ Les affleurements rocheux et les sols minces de moins de 80 cm de profond.
- ✓ Les zones inondables par débordement de cours d'eau et de plans d'eau.
- ✓ Les terrains situés en deçà des distances séparatrices imposées par la réglementation.
- ✓ Un emplacement situé à moins de 100 m d'un autre ayant été utilisé à cette fin l'année précédente.⁶
- ✓ **Un site non cultivable attenant à un champ cultivé.**
- ✓ Un terrain où la nappe phréatique se situe régulièrement à moins de 50 cm de profondeur durant la saison de croissance des cultures.
- ✓ Un site sur lequel l'eau de ruissellement en amont ne peut être détournée et risque d'atteindre l'amas.
- ✓ Les parties de champ en légère dépression qui, sans être inondables par le débordement d'un cours d'eau, sont submergées (ennoyées) tous les ans par plusieurs centimètres d'eau lors de la fonte des neiges ou d'épisodes de pluies intenses.
- ✓ Les dépôts meubles de types eskers et drumlins abritant des petites formations aquifères de classe I actuellement exploitées.
- ✓ Les terrains dont la pente est de 6 % et plus.
- ✓ Les sols comportant une couche arable dont la texture est à prédominance graveleuse ou sableuse grossière.

⁶ Cette distance est recommandée pour pouvoir effectuer la réhabilitation d'un site. De plus, elle permet de réduire le risque de superposition des panaches de contaminations dans l'eau souterraine.

7. PRÉPARATION DES SITES

L'aménagement adéquat des sites pour l'entreposage des amas de fumier contribue à limiter les pertes de matières fertilisantes.

7.1 Localisation des amas

Les sites qui accueilleront les amas devraient être indiqués par le numéro de champ du plan de ferme (figure 7.1) faisant partie du PAEF de l'exploitation agricole. Les renseignements consignés dans les formulaires présentés aux annexes du présent guide préciseront les éléments liés à la localisation.

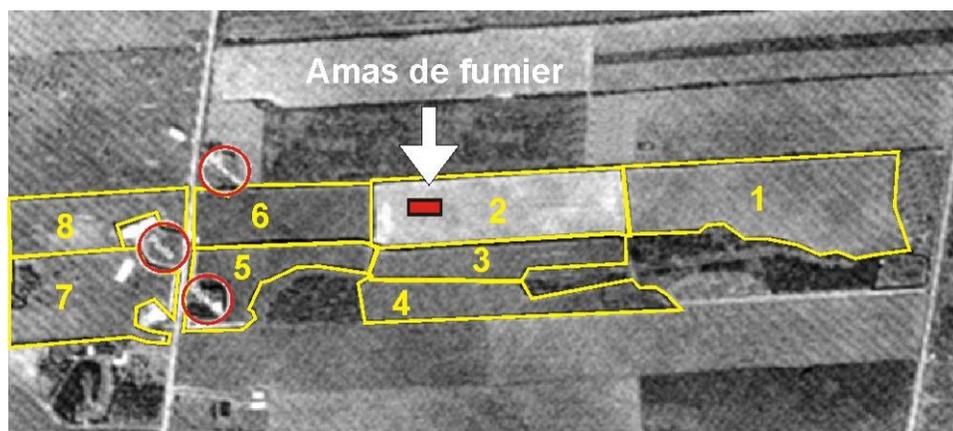


Figure 7.1 Exemple de plan de ferme

7.2 Rigole d'interception

Dans tous les cas, le conseiller agricole doit faire un diagnostic global de la situation et évaluer la nécessité de recommander une rigole d'interception afin d'éviter le ruissellement des eaux vers l'amas. Lorsque le terrain sur lequel repose l'amas comporte une pente de plus de 2%, la rigole d'interception devrait être recommandée à moins que le conseiller agricole ne juge celle-ci inutile suite à son diagnostic. La rigole doit être en amont du site et creusée avant le gel du sol (figure 7.2). Cette rigole, qui peut avoir la taille d'un sillon de charrue, a pour rôle de détourner la lame de ruissellement. La distance entre la rigole et l'amas doit être la plus courte possible pour ne pas capter trop de ruissellement, mais suffisamment large pour permettre le passage de la machinerie.

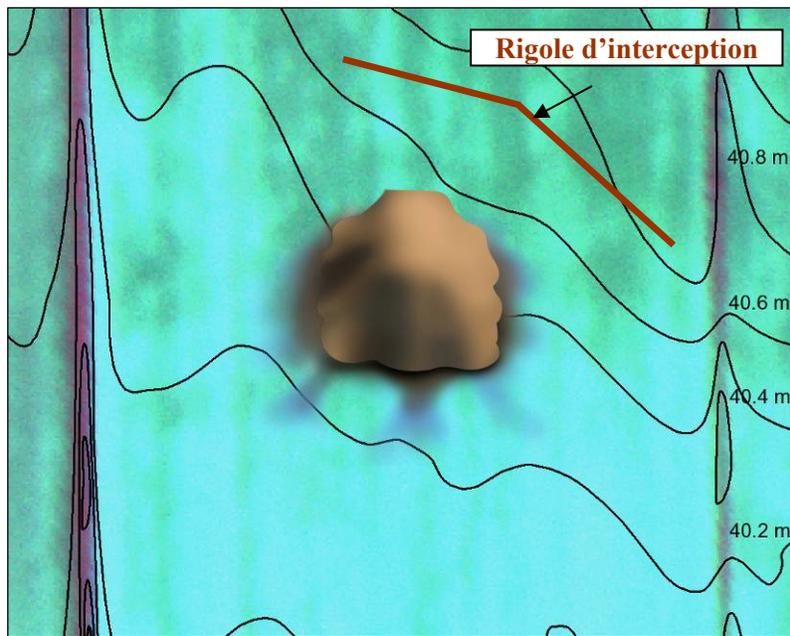


Figure 7.2 Rigole d'interception

7.3 Bande filtrante

La bande filtrante est le principal et le plus important aménagement à réaliser autour de l'amas. Elle doit toujours être présente. Lorsque le couvert de sol ou la rugosité de la surface sont adéquats, la bande filtrante permet de stabiliser le lixiviat dans le champ et de réduire les risques de son écoulement vers les cours d'eau.

La largeur de la bande filtrante en amont est variable, alors qu'elle devrait être d'au moins 10 m en aval et sur les côtés (figure 7.3). La bande filtrante débute à la base de l'amas, avant consolidation, et se termine soit par une rigole d'interception en amont, soit par une berme, un espace cultivé ou un andain filtrant (si nécessaire) en aval. La bande filtrante doit entourer l'amas de tous les côtés.

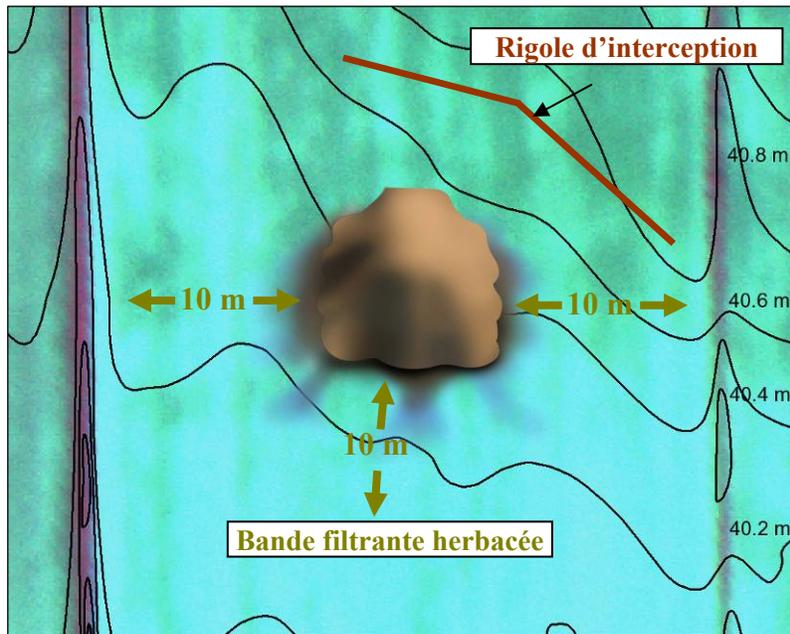


Figure 7.3 Bande filtrante

Aucune rigole ou voie d'écoulement préférentiel (ornières profondes) qui pourrait concentrer l'écoulement entre l'amas et l'extrémité de la bande filtrante ne doit être présente à l'intérieur de la bande filtrante. Par conséquent, il faut éviter de circuler dans la partie en aval de la bande filtrante, sinon effacer toutes traces de pneu ou d'ornières favorisant un écoulement préférentiel à l'extérieur de la bande. Il faut aussi éviter de déneiger inutilement cette partie.

La bande filtrante est préférablement constituée de plantes pérennes (prairie ou pâturage). En second choix, une couverture de céréales d'automne, ou des chaumes de céréales ou de maïs avec leur paille peuvent agir comme bande filtrante. En troisième choix, en l'absence de végétation ou de résidus de culture, certaines façons culturales (chisel, labour) dans le sens des courbes de niveau (perpendiculaires au sens de la pente) peuvent accroître l'efficacité de la bande filtrante en augmentant la rugosité de sa surface. L'augmentation de la rugosité de surface sert à freiner et capter le ruissellement dans la bande filtrante et ainsi, permettre au lixiviat de geler en hiver et de

s'infiltrer dans le sol au printemps. Des résidus de cultures peuvent aussi être apportés sur les lieux pour augmenter la rugosité de surface.

Les conditions suivantes rendent la bande filtrante inexistante ou inefficace :

- L'amas est placé dans un champ en jachère.
- L'amas est placé dans un champ de maïs, de soya, de céréales ou de pommes de terre déjà récolté dont la paille et les tiges ont aussi été récoltées.
- La bande filtrante est composée de chaumes sans paille ou d'un paillis sur sol nu, sauf si la surface du sol est rendue rugueuse par un travail du sol perpendiculaire à la pente.
- Le sol est nu sans rugosité, ou la rugosité (billons, sillons de labour, etc.) suit le sens de la pente.

7.4 Andain filtrant

L'andain filtrant est requis principalement lorsque l'amas doit rester tout l'hiver dans le champ (voir chapitre 9). Il est composé de bran de scie, de planures ou d'autres matériaux équivalents qui ne risquent pas d'être dispersés par le vent. Au moment de sa confection, il a environ 50 cm de hauteur et 75 cm de largeur. Il est disposé en aval de la bande filtrante (figures 7.4 et 7.5), de façon à filtrer toute l'eau qu'elle rejette, et suffisamment éloigné d'une raie de curage pour éviter qu'il ne soit ennoyé.

L'andain sera récupéré au moment de la reprise, puis réservé. Il peut être réutilisé plusieurs fois pour de nouveaux amas.

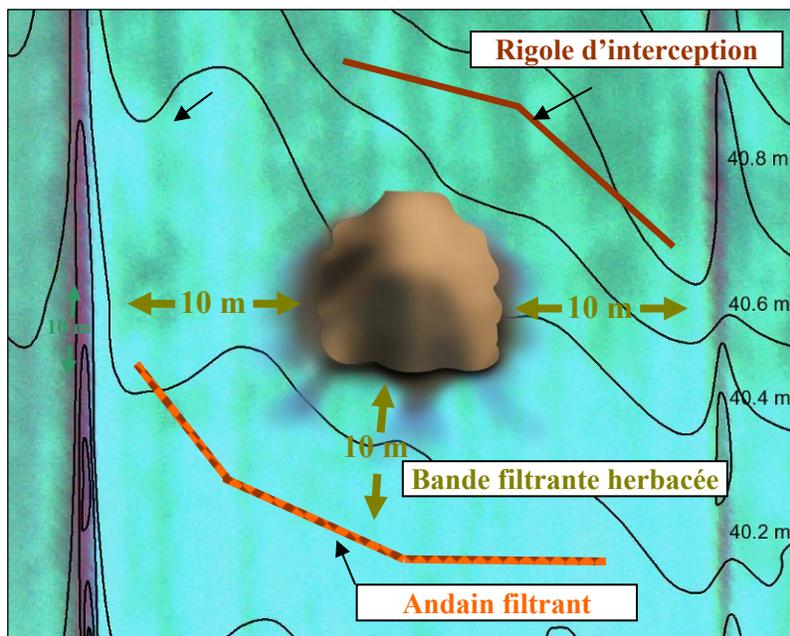


Figure 7.4 Amas au champ avec andain filtrant sur terrain aplani et rigole d'interception.

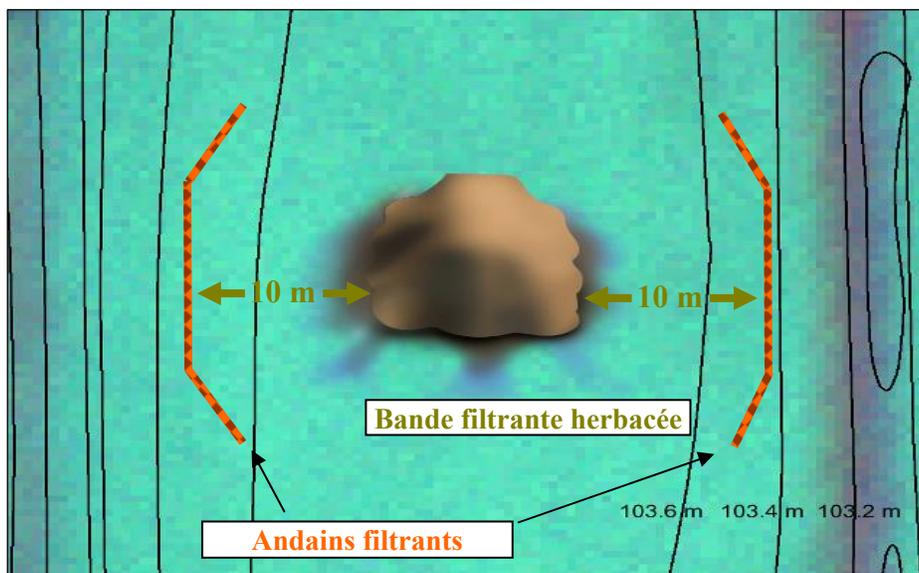


Figure 7.5 Amas au champ avec andain filtrant en planche arrondie sans rigole d'interception.

7.5 Correctifs pour les sols à risque

Les sols sableux avec prédominance de sable moyen ou grossier peuvent être amendés par un apport de sol argileux provenant, si possible, d'un sous-sol peu structuré et pauvre en éléments fertilisants. Une couche de 2 cm d'épaisseur de sol argileux, mélangée aux 18 cm de sol sableux en place puis tassée, peut réduire la conductivité hydraulique des sols sableux d'un facteur de 10 et faire passer sa CEC de 10 meq/100 g à plus de 14 meq/100 g. **Cette pratique est très exceptionnelle et devrait être réservée pour des amas de petite taille ou pour pallier une contrainte texturale importante.**

La conductivité hydraulique d'un sol sableux peut également être réduite d'un facteur de 10 et plus par tassement du sol. Pour faciliter le tassement d'un sol sableux, il faut au préalable l'ameublir par le biais d'une pratique culturale, puis procéder au tassement en faisant rouler une lourde charge (plus de 5 t par essieux) sur le sol, à plusieurs reprises. Lors de cette opération, il est important de veiller à ne pas compacter le sol de la bande filtrante.

7.6 Utilisation de litière sous l'amas

L'utilisation de litière sèche sous l'amas a des effets mitigés, selon la composition du fumier. Sous un amas de fumier humide entreposé pour une courte durée, la litière absorbera une partie du lixiviat durant la phase de consolidation de l'amas. Par la suite, étant un milieu plus aéré que le fumier humide, la litière commencera à composter et produira à son tour du lixiviat.

La litière sèche déposée sur le sol avant la confection d'un amas de fumier sec aura pour effet d'absorber le lixiviat produit à la base de l'amas (« beigne ») durant ses premiers mois d'existence et d'absorber, beaucoup plus tard, le lixiviat produit par le centre de l'amas en état de maturation. Sous un amas de fientes séchées ou de fientes humides, un lit de bran de scie ou de planures facilitera la reprise et l'épandage.

8. DIMENSIONS ET FORMES DES AMAS

Le ou les amas disposés dans un champ renferment les éléments fertilisants nécessaires à une partie ou à la totalité des besoins d'un champ indiqués au PAEF. Pour éviter une circulation excessive sur le site lors de la mise en amas et de la reprise, ils ne devraient pas excéder une masse individuelle de 500 t (600 à 800 m³, selon la masse volumique des fumiers). Des amas de plus petite taille permettent de diminuer la circulation au même endroit lors de la reprise et offrent une surface de captage supérieure de la bande filtrante par masse de fumier mise en amas.

La dimension (masse et volume) de l'amas de fumier entreposé au champ doit par conséquent être évaluée a priori selon les besoins en fertilisation du champ (ou des champs adjacents) où est réalisé l'amas et en tenant compte des analyses de la valeur fertilisante des engrais de ferme.

En tenant compte des valeurs références présentées au tableau 4.1 et en limitant les dimensions des amas en fonction des critères de 500 t, de 3500 kg de N ou de 2000 kg de P₂O₅, les dimensions et les charges en N et P₂O₅ des amas des différents types d'engrais de ferme devraient avoisiner les valeurs théoriques présentées au tableau 8.1.

Tableau 8.1 Dimensions et charges théoriques des amas par type d'engrais de ferme.

CATÉGORIE Type d'élevage	Valeurs théoriques			
	Masse	N	P ₂ O ₅	Volume
	t (bh)	kg	kg	m ³
FUMIER HUMIDE				
Bovins laitiers	500	2850	1800	625
Veaux de grain	500	2700	1550	667
Bouvillons d'engraissement	455	3227	2000	606
Vaches-veaux, taureaux (bovins de boucherie)	500	2400	1200	667
Ovins (brebis et agneaux et béliers)	321	3500	1606	510
Ovins (agnelles de remplacement)	186	3500	1024	296
Ovins (agneaux légers, lourds)	152	3500	1258	237
Solides de lisier de porcs (séparation)	333	2667	2000	417
Mélange solides de lisiers de porcs et sciures	500	2000	1500	769
FIENTES HUMIDES (MS<50%)				
Pondeuses - consommation	120	2060	2000	138
FUMIER SEC				
Poulets à griller (<3 kg)	85	2409	2000	315
Poulettes – consommation	58	2035	2000	177
Poulettes - incubation	80	1165	2000	297
Poules pondeuses - consommation	58	1609	2000	130
Poules pondeuses - incubation	66	780	2000	137
Dindons à griller, lourds	84	1950	2000	221
FIENTES SÉCHÉES (MS>50%)				
Poulettes - consommation	63	2451	2000	115
Poules pondeuses- consommation	52	2073	2000	114

La mise en forme d'un amas est nécessaire pour éliminer les cuvettes qui accumulent l'eau et qui favorisent l'écoulement de lixiviats à l'intérieur de l'amas. Des amas étroits et hauts réduisent la surface de contact avec la pluie. Il faut par conséquent favoriser les amas en andains de forme trapézoïdale et triangulaire.

8.1 Les amas en andains

En général, les amas en andains de fumier sec sont de forme triangulaire (4 m de largeur) et ils occupent une superficie au sol de 3 à 4 mètres carrés par tonne (m^2/t) lorsque la hauteur des piles est de 1,5 à 2 m. Avec du fumier humide, l'empilement ne dépassant habituellement pas 1,5 m de haut, leur superficie au sol est plutôt de 2 à 3 m^2/t . L'utilisation de la forme trapézoïdale plutôt que triangulaire (figure 8.1) permet de réduire de 30 % la surface au sol qu'occupent les andains.

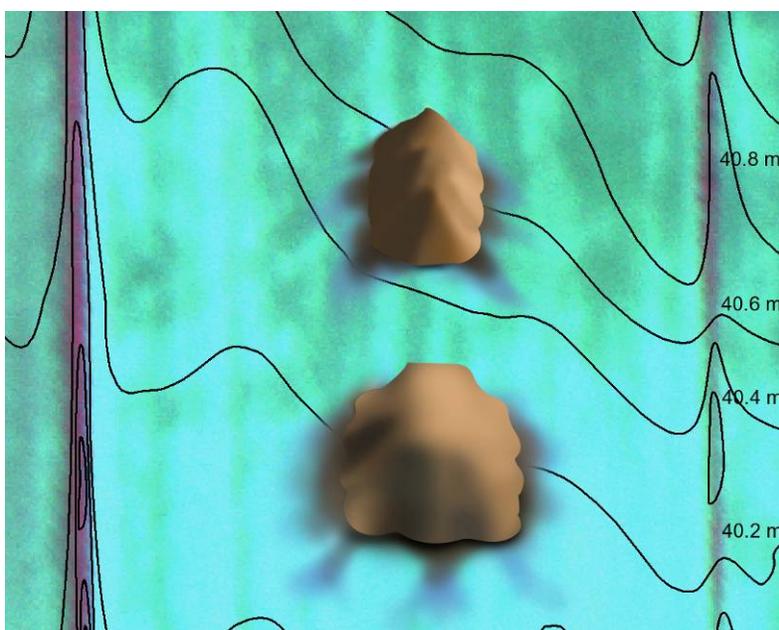


Figure 8.1 Amas en andains de formes triangulaire et trapézoïdale

Il est préférable de confectionner des amas en andains assez hauts (de 2 à 3 m). Un amas de fumier sec prendra ainsi plus de temps à s'humidifier et à lixivier, autant en hiver qu'en été.

Un amas de fumier humide confectionné étroit et haut en hiver dégèlera plus rapidement au printemps, facilitant ainsi la reprise.

8.2 Les amas larges

Les amas dont la largeur dépasse 8 m, de forme circulaire ou carrée, sont faciles à confectionner avec des épandeurs à décharge latérale ou arrière. Compte tenu de leur forme géométrique, ils occupent moins d'espace au sol (par tonne) que les amas de forme triangulaire ou trapézoïdale. Leur reprise au printemps est tout de même retardée en raison de la lenteur avec laquelle leur centre dégèle. Lorsqu'un chargeur frontal est employé, il est plus difficile de faire la reprise complète des amas larges, étant donné le mélange du fumier avec le sol au fond des traces de pneus.

Les amas de plus petite taille présentent les avantages suivants :

- ✓ *moins de circulation concentrée au même endroit lors de la reprise,*
- ✓ *plus de surface de captage par les bandes filtrantes par tonne de fumier entreposé,*
- ✓ *une réhabilitation du site facilitée.*

9. GESTION DES AMAS

L'aménagement d'amas de fumier au champ doit être planifié pour limiter la période d'entreposage à moins de trois mois sans gel du sol, sauf s'il s'agit de fumier compact d'ovins. Au-delà de cette durée, les pertes de nutriments occasionnées par le ruissellement et la lixiviation sous l'amas augmentent, tel que décrit à la section 2.2, lors de la phase de maturation du fumier, qui suit la phase de consolidation de l'amas (2 mois). Le fumier compact d'ovins bénéficie par contre d'une période prolongée de maturation pour favoriser son émiettement.

MISES EN GARDE

- ✓ L'entreposage du fumier sous forme d'amas n'a pas pour but d'effectuer du compostage. Le fumier mis en amas est destiné à être valorisé le plus possible à son état frais, sauf s'il s'agit de fumier compact d'ovins.
- ✓ Éviter les facteurs propices au compostage générateur de lixiviats. Le compostage du fumier est davantage favorisé lorsque sa teneur en eau se situe entre 40 % et 65 % et lorsqu'on procède à des retournements ou à une aération forcée (voir Potvin et Bernard, 1995). Les fumiers très secs (ayant une teneur en eau de moins de 30 %) ne compostent pas de façon continue tant qu'ils ne sont pas humidifiés profondément par plusieurs mois de pluies. De même, les fumiers très humides (teneur en eau de plus de 80 %) ne compostent pas facilement s'ils sont tassés (masse volumique supérieure à 900 kg/m³).
- ✓ Éviter de disposer sous un amas de fumier humide une couche absorbante composée de matériaux organiques grossiers qui stimulera l'aération et le compostage de la masse de fumier juste au-dessus.

Deux périodes se prêtent à la confection et l'entreposage des amas, soit la période automne-hiver et la période printemps-été. En tout temps, une bande filtrante doit être présente, mais ces deux périodes commandent certaines pratiques de gestion spécifiques.

9.1 La période automne-hiver

La période automne-hiver de confection des amas débute lorsque les épandages tardifs en post-récolte prévus au plan de fertilisation sont terminés pour l'année en cours. À cette période, le sol est habituellement gelé et les fumiers secs ou humides ne sont normalement pas en phase de compostage, sauf parfois en de petites parties de l'amas. Durant cette période, le sol gelé est présumé suffisamment étanche pour prévenir l'infiltration du lixiviat. Il est à noter que le déneigement du site facilite le gel du sol.

Immédiatement avant et après la période de gel du sol, il est difficile de circuler dans les champs avec de la machinerie lourde en raison de la teneur en eau élevée du sol et de l'absence de gel. Durant ces quelques semaines, il peut donc être utile de disposer d'un site facile d'accès, bien drainé et offrant une bonne capacité portante. Cette période peut s'avérer contraignante pour les éleveurs de bovins qui gèrent des fumiers humides, compte tenu du manque de disponibilité de sites d'entreposage faciles d'accès pour des équipements lourds.

À défaut de pouvoir compter sur un site présentant ces particularités, il faut entreposer temporairement le fumier dans un ouvrage de stockage étanche et de capacité suffisante. Lorsque le sol est enfin gelé, il suffit de transporter le fumier de l'ouvrage de stockage vers un site hivernal afin de libérer l'ouvrage en prévision d'une utilisation possible en avril si les conditions de terrain l'exigent.

Le site d'entreposage durant la période automne-hiver comprend une bande filtrante et un andain filtrant. Si la pente est supérieure à 2 % ou s'il y a des risques de ruissellement vers l'amas, une rigole d'interception est également nécessaire.

En période automne-hiver, les **fumiers humides** sont transportés au champ quotidiennement ou hebdomadairement, de sorte que l'amas progresse jusqu'au dégel du sol. Ceux-ci devraient avoir une consistance suffisamment ferme pour que l'amas ne s'affaisse pas démesurément. L'affaissement est fonction de la teneur en eau du fumier et du type de litière utilisée. L'amas de **fumier sec** est confectionné la plupart du temps durant un court chantier de quelques jours tout au plus.

Compte tenu du risque d'accumulation importante d'éléments fertilisants dans le sol qui pourrait en résulter, la confection d'amas de **fientes humides ou séchées** n'est pas recommandée durant la période automne-hiver. De toute façon, ce matériel est généralement entreposé dans des ouvrages de stockage étanches chez le producteur avicole.

L'amas de **fumier (humide ou sec)** installé après le gel du sol et les pluies d'automne peut demeurer en place jusqu'à six mois plus tard, si le sol est demeuré gelé durant 3 mois. La recommandation selon laquelle il ne faudrait pas dépasser une durée d'entreposage de trois mois sans gel est alors respectée. Si la durée d'entreposage est prolongée, les pertes d'éléments fertilisants devant être récupérées par la bande filtrante augmentent (figures 9.1 et 9.2).

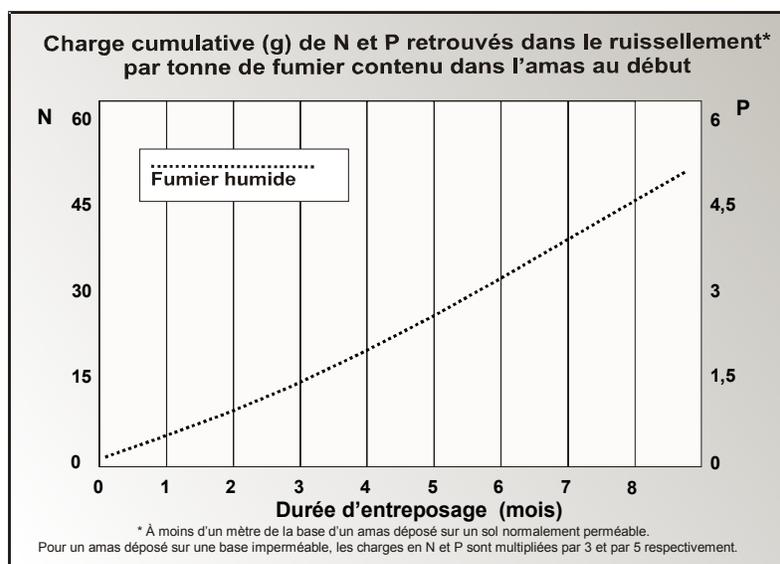


Figure 9.1 Charge cumulative d'azote et de phosphore dans l'eau de ruissellement d'un amas de fumier humide

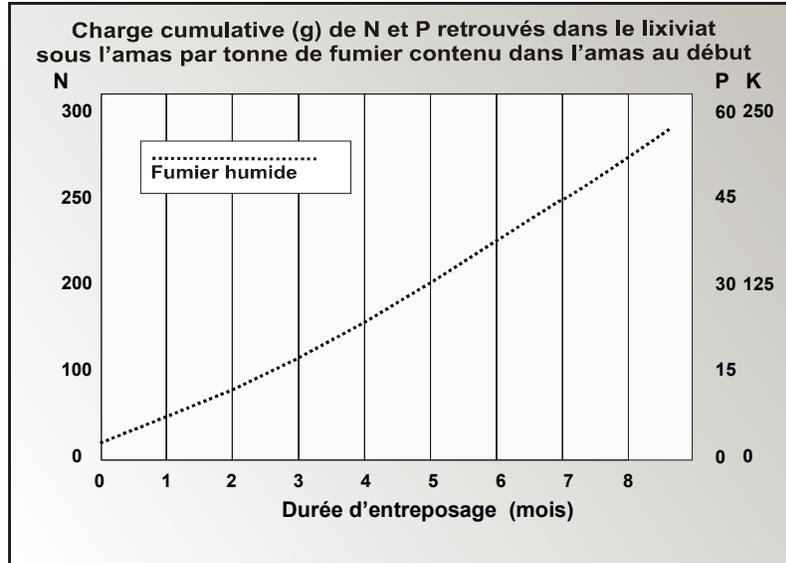


Figure 9.2 Charge cumulative d'azote, de phosphore et de potassium dans le lixiviat d'un amas de fumier humide

Afin de profiter au maximum de la valeur fertilisante du **fumier (humide ou sec)**, il est préférable de l'épandre dans les deux mois suivant la période de dégel (généralement d'avril à juin). En effet, les pertes de valeur fertilisante s'accroissent particulièrement à partir du cinquième mois sans gel (figure 9.3).

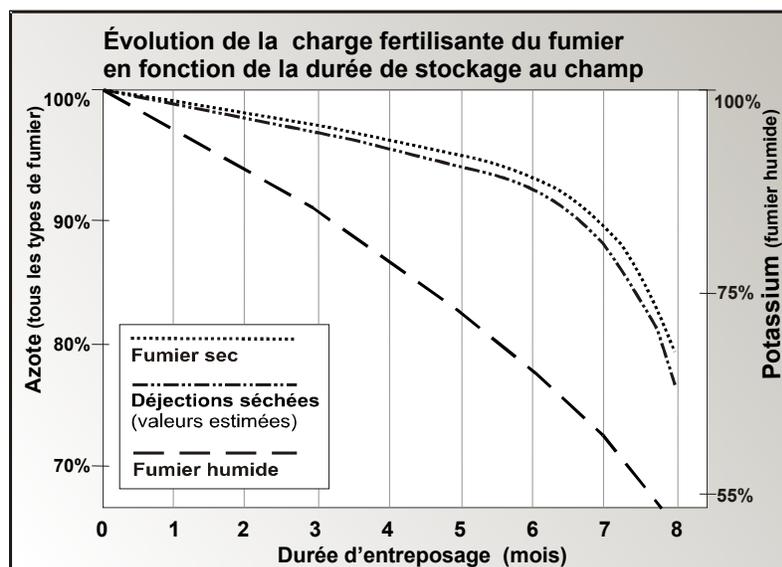


Figure 9.3 Évolution de la charge fertilisante du fumier entreposé au champ

Si du **fumier sec** est installé avant la période de gel du sol, celui-ci s'humidifie sous l'effet des pluies d'automne et poursuit son humidification lors des redoux hivernaux (équivalant à un mois sans gel), puis de nouveau au moment du dégel jusqu'à sa reprise. Cette période de 3 mois

cumulatifs d'humidification hâte la date de reprise de l'amas. D'autant plus qu'après le dégel printanier, à la faveur du réchauffement et des pluies, le processus de lixiviation s'accélère dans les amas installés plus tôt en automne avant la période de gel (figure 9.3).

9.2 La période printemps-été

La période printanière et estivale de confection des amas débute plus tôt au printemps sur les terrains faciles d'accès et suffisamment ressuyés. Elle se poursuit tout l'été jusqu'à la fin de l'épandage postrécolte. En raison de leur masse volumique et de la capacité portante du sol, souvent le fumier humide et les fientes humides ne peuvent être transportés au champ tôt au printemps. Durant cette période, ils sont donc occasionnellement stockés dans des ouvrages de stockage étanches.

Durant la période où les précipitations dépassent l'évaporation, le fumier demeure humide en dépit des pertes de masse par lixiviation. Le sol environnant de la bande filtrante étant soumis, lui aussi, au même régime hydrique, il importe d'y retrouver une plante en croissance active capable d'évapotranspiration abondante. Plus tard en été, le régime hydrique s'inverse. Le temps chaud et sec favorise l'assèchement des amas et du sol environnant avec pour résultat d'amorcer le compostage, d'où la nécessité de reprise avant trois mois d'entreposage au champ.

Le site d'entreposage printanier et estival comprend une bande filtrante. Si le champ comporte une pente supérieure à 2 %, il comprend également une rigole d'interception. Si la bande filtrante est jugée moins efficace (section 7.3), l'andain filtrant doit être recommandé. De fait, la rigole d'interception et l'andain filtrant doivent être recommandés lorsqu'on prévoit des situations qui provoqueront des écoulements d'eau vers l'amas ou de l'amas vers les éléments à protéger.

Les **fumiers humides** pourraient être épandus directement au champ durant le printemps et l'été. S'ils sont mis en amas, ils sont transportés quotidiennement ou hebdomadairement. Ils devraient avoir une consistance suffisamment ferme pour que l'amas ne s'affaisse pas démesurément. Les amas de fumier d'ovins élevés sur litière accumulée ont avantage à être confectionnés plus tard au printemps ou à l'été, si la valorisation se fait plus tard à la fin de l'été et au début de l'automne.

Afin de profiter du maximum de sa valeur fertilisante et pour limiter la contamination du site sous l'amas, il est recommandé d'effectuer la reprise de l'amas de fumier (**humide ou sec**) avant que ne se soit écoulée une période de trois mois d'entreposage (figure 9.3), surtout si l'amas a été confectionné tôt au printemps sur un site facile d'accès.

Pour les amas de **fientes humides ou séchées**, la reprise devrait s'effectuer moins d'un mois après le début de son entreposage au champ, surtout s'ils ont été confectionnés tôt au printemps. Par conséquent, si la période d'entreposage devait se prolonger un peu à cause des conditions météo, une réhabilitation du site pourrait devenir nécessaire. Cette limitation est due à la charge fertilisante très élevée de ces engrais de ferme.

Pour éviter les surdoses d'éléments fertilisants et pour réduire les dérives de poussières, les **fientes séchées** peuvent être épandues en mélange avec un autre engrais de ferme moins concentré. Un épandeur adapté pour de faibles doses peut aussi être utilisé.

9.3 Inspection de l'amas

Les amas au champ sont sensibles aux intempéries et aux aléas climatiques, particulièrement à la fonte des neiges, en période de redoux hivernal et en périodes de surplus hydriques, plus fréquents à l'automne et au printemps. Il est donc recommandé de faire une visite des sites d'entreposage des amas durant les périodes critiques (fonte des neiges, redoux hivernal, précipitations abondantes) afin d'évaluer la situation et d'apporter des correctifs si nécessaire. Par exemple, en cas d'écoulement en dehors de la bande filtrante, l'ajout d'un andain filtrant (ou l'amélioration de l'andain filtrant existant) pourrait être recommandé.

10. RÉHABILITATION DES SOLS ARABLES APRÈS LA REPRISE

Le lessivage des nitrates (NO_3) vers la nappe phréatique, au cours des deux premières années suivant la reprise de l'amas (figure 2.10), est la conséquence environnementale la plus à craindre. Le nitrate provient de la nitrification de l'azote ammoniacal (N-NH_4) résiduel présent dans le sol arable sous l'amas, de même que de la minéralisation de l'azote organique (N-org.) résiduel qui s'y trouve aussi.

Le meilleur indicateur du besoin de réhabilitation d'un site est la charge résiduelle en éléments fertilisants qui peut y être mesurée juste après la reprise de l'amas. Pour obtenir cette charge résiduelle, il suffit de calculer la différence entre les teneurs en éléments fertilisants des premiers 20 cm de sol sous l'amas immédiatement après la reprise et celles observées à proximité du site, reportée sur une base massique par unité de surface (en kg/ha).

Une augmentation de charge de plus de 5000 kg/ha de N-total ou de 375 kg/ha de N-NH_4 justifie une réhabilitation du site. Calculées sur une profondeur de 20 cm de sol ayant une masse volumique apparente de 1250 kg/m^3 , ces charges correspondent à des augmentations de teneurs de 2000 mg/kg (ppm) de N-total ou de 150 mg/kg de N-NH_4 . D'autres éléments sont aussi à considérer, soit la teneur en potassium disponible (K Mehlich-3) et, au besoin, la teneur en matière organique. Le niveau d'augmentation de la charge en K Mehlich-3 pour procéder à une réhabilitation du sol serait de 3500 kg/ha, soit une augmentation de teneur de 1400 mg/kg de K Mehlich-3.

En pratique, pour tous les éléments analysés, les résultats d'analyse de sol en provenance des laboratoires accrédités sont souvent rapportés en kg/ha en utilisant un facteur de conversion de 2,24 :

$$1 \text{ mg/kg (ppm)} \times 2,24 = 2,24 \text{ kg/ha}$$

Il s'agira donc de diviser les résultats du laboratoire par 2,24 pour obtenir les résultats en concentration.

Exemple :

Analyse K Mehlich-3

- dans le sol sous l'amas : $2690 \text{ kg/ha} \div 2,24 = 1200 \text{ mg/kg}$
- dans le sol à proximité de l'amas
(hors de la zone d'influence de l'amas) : $225 \text{ kg/ha} \div 2,24 = 100 \text{ mg/kg}$

Alors, l'augmentation de la teneur en K Mehlich-3 ($1200 - 100 = 1100 \text{ mg/kg}$) du sol sous l'amas ne justifie pas une réhabilitation du site.

La charge du sol en matière organique révélera la quantité de fumier résiduel laissée sur le site lors de la reprise de l'amas, surtout si le chantier a été difficile. La minéralisation de l'azote organique et la nitrification de l'azote ammoniacal s'opèrent très rapidement au cours du premier mois suivant la reprise.

Pour un amas ayant séjourné dans un champ plus de trois mois durant la période sans gel, il est nécessaire de faire un échantillonnage composite du sol arable sur 20 cm de profondeur moins de sept jours après la reprise et d'obtenir rapidement du laboratoire une analyse minimale du sol.

Un exemple de planification d'un projet de réhabilitation d'un sol ayant accueilli un amas au champ est présenté à l'annexe III.

10.1 Deux méthodes de réhabilitation

La réhabilitation du sol d'un site au printemps et durant la saison de croissance n'est pas toujours facile en raison de diverses contraintes. Par exemple, le site de l'amas est enclavé à l'intérieur d'un champ déjà ensemencé ou en croissance active; ou encore, la capacité portante du sol n'est pas suffisante pour supporter le transport d'une partie du sol. La réhabilitation devrait se faire lors des travaux de semis de la parcelle. Toutefois, il peut arriver qu'elle soit effectuée plus tard en saison, à un moment jugé plus propice.

Dans le but d'éviter le plus possible d'être confronté aux contraintes citées précédemment, il est fortement recommandé de planifier l'emplacement des sites destinés à recevoir les amas. Il est également important de prévoir que la durée de l'entreposage des amas au champ soit suffisamment courte pour éliminer le besoin de réhabilitation.

Advenant la nécessité de réhabiliter un sol sur lequel a été entreposé un amas, deux méthodes peuvent être utilisées : l'enlèvement du sol et l'apport de matériel organique. Utilisées conjointement, ces deux méthodes donnent de meilleurs résultats.

10.1.1 Enlèvement du sol

L'enlèvement de la partie superficielle de la couche arable est partiel et ne devrait pas dépasser 10 cm d'épaisseur. Si le sol prélevé est valorisé à proximité de la bande filtrante, il est déposé en parts égales vers l'extrémité de celle-ci. Du sol de la bande filtrante est ensuite rapporté à l'emplacement de l'amas avec une niveleuse.

Si le sol prélevé est valorisé à une plus grande distance du site, la dépression créée par l'enlèvement du sol riche sera comblée par du sol pauvre en N, P et K et en matière organique. Le tout sera incorporé sur une profondeur de 20 cm par une façon culturale.

10.1.2 Apport de matériel organique

Pour contrer le lessivage de l'azote nitrique vers la nappe phréatique, l'apport d'un matériel organique ayant un haut rapport carbone sur azote (C/N) présente aussi beaucoup d'intérêt. Ce matériel servira de support stimulant à l'activité d'humification des charges résiduelles tant en carbone qu'en azote. L'humus ainsi produit libérera très lentement ses éléments fertilisants suivant les besoins des cultures.

La structure du sol qui doit, elle aussi, être réhabilitée profitera du même traitement. Le bran de scie (C/N = 450 à 800), la mousse de tourbe (C/N = 60 à 80) et la paille hachée finement (C/N = 60 à 100) sont des produits courants à utiliser à cette fin. Le sol, sous l'amas, a un C/N de 10. La quantité de matériel appliquée en surface, puis incorporée par une méthode culturale appropriée sur 20 cm de profondeur, pourrait varier de 3 kg de bran de scie/m² à 6 kg de mousse ou de paille/m² de sol occupé par l'amas.

11. PLANIFICATION D'UN PROJET DE CONFECTION D'AMAS AU CHAMP

Pour réussir la confection d'amas au champ ayant le moins d'impacts sur l'environnement, une planification adéquate doit être réalisée. À cet effet, les facteurs réducteurs de niveau de risques peuvent être utilisés (tableau 11.1). Le formulaire présenté à l'annexe III peut aussi s'avérer utile.

Tableau 11.1 Facteurs réducteurs du niveau de risques engendrés par l'utilisation des amas de fumier humide ou sec au champ*

RISQUE	FACTEURS RÉDUCTEURS DU RISQUE
Charge de contaminants percolée vers la nappe phréatique sous et au pourtour de l'amas	<p>1- Limitation soit de la masse de l'amas à une valeur inférieure à 500 tm, soit à un contenu inférieur à 2000 kg de P₂O₅ ou 3500 kg de N; multiplier le nombre d'amas.</p> <p>2- Recherche d'un rapport C/N des fumiers capable de retenir une partie importante du N-NH₄ généré lors du compostage sans trop le stimuler (un C/N de 15-25 est préférable), mais aussi capable de limiter les conditions propices au compostage générateur de lixiviat.</p> <p>3- Réduction de la teneur en eau initiale du fumier mis en amas à moins de 80 % pendant la période sans gel ou à 85 % pour la période avec gel.</p> <p>4- Réduction de la durée de l'amas au champ (moins de 3 mois sans gel); une période de 4 à 5 mois d'hiver est calculée comme un mois sans gel pour tenir compte des redoux.</p> <p>5- Utilisation de la technique favorisant l'imperméabilisation du sol par le gel.</p> <p>6- Sélection d'un site dont le sol est de texture argileuse, limoneuse ou sableuse fine.</p> <p>7- Sélection d'un sol profond (plus de 80 cm au-dessus d'un socle rocheux).</p>
Charge de contaminants entraînée par ruissellement à la surface du sol au-delà d'un périmètre de 10 m de la base de l'amas	<p>8- Les facteurs 1, 2, 3 et 4 cités ci-dessus s'appliquent.</p> <p>9- Choix d'un site propice (pente inférieure à 6 %, ruissellement en amont détourné).</p> <p>10- Utilisation d'une bande filtrante efficace en périphérie de l'amas et dans laquelle on évite de circuler.</p> <p>11- Utilisation d'un andain filtrant situé au-delà de la bande filtrante.</p> <p>12- Sélection d'un site présentant une couche arable de sol la plus perméable possible (éviter les sols compactés).</p> <p>13- Accroissement de la distance entre la bande filtrante et un élément (plan d'eau, fossé, puits de surface, etc.) à protéger.</p>
Accumulation d'éléments fertilisants dans le sol sous et au pourtour de l'amas	<p>14- Les facteurs 1, 2, 3, 4 et 5 énumérés plus haut s'appliquent.</p> <p>15- Utilisation d'un outillage favorisant la reprise la plus complète du fumier.</p> <p>16- Réhabilitation du site le plus rapidement possible après la reprise.</p>

* Adapté de Côté, D., M. Giroux, M. R. Laverdière, 2005.

12. CONCLUSION

Trois principes interdépendants, proposés dans le présent guide, sont faciles d'application:

- ✓ Les éléments de planification des amas au champ de ce guide doivent accompagner le Plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF), signé par un conseiller agricole ou un professionnel autorisé.
- ✓ Le ruissellement doit être capté en tout temps par une bande filtrante, de même que par un andain filtrant en hiver.
- ✓ Les risques de contamination de la nappe phréatique doivent être atténués par une gestion rigoureuse de la durée d'entreposage des amas de fumier et par la réhabilitation, s'il y a lieu, des sites après la reprise.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier particulièrement son collègue M. Rodrigue Grégoire, agronome et chercheur à l'IRDA, pour son importante contribution à l'étude du comportement des amas de fumier au champ et sa grande disponibilité pour en discuter.

Des remerciements bien sincères sont aussi transmis à mes collègues MM. Gérard Laflamme et Marcel Giroux, agronomes et chercheurs à l'IRDA, pour leur empressement à fournir des informations pertinentes tant sur la banque de données issue de l'Étude sur la dégradation des sols québécois (1990) que sur des principes de chimie des sols.

La révision du texte du guide a été effectuée par deux collègues de la Direction de l'environnement et du développement durable du MAPAQ, M^{me} Raymonde Fortin, agronome, et M. Denis Naud, ingénieur, en collaboration avec M^{me} Lyne Lauzon, biologiste et coordonnatrice des publications au Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Je les en remercie vivement.

La révision du guide en 2008 a été réalisée avec la participation de M. Hakim Lagha, agronome, M. Denis Naud, ingénieur et de Mme Raymonde Fortin, agronome de la Direction de l'agroenvironnement et du développement durable du MAPAQ ainsi que de Mme Nathalie Côté, agronome de la Fédération des producteurs de bovins du Québec.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme. 1996. Résorption des excédents de déjections animales – 12 fiches pour s’y retrouver. Produit par la Direction départementale de l’Agriculture et de la Forêt des Côtes d’Armor, France. 24 pages.
- Anonyme. 1999. Guide de classification des eaux souterraines du Québec. Service des pesticides et des eaux souterraines. Direction des politiques des secteurs agricole et naturel. Direction générale de l’environnement. Ministère de l’Environnement du Québec. 16 pages.
- Anonyme. 2003. Protecting Water Quality through Improved Storage Methods for Poultry Manure. Rapport final produit par Soil Research Group, 503 Imperial Road North, Guelph, Ontario. 44 pages.
- Beudet, P., M. Grenier, M. Giroux et V. Girard. 2004. Description statistique des propriétés chimiques des sols minéraux du Québec. Produit par le MAPAQ et l’IRDA. 109 pages.
- Bodet, J.M., S. Hacala, C. Aubert et C. Textier. 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. Document produit par l’Institut de l’élevage, ITAVI, ITCF et ITP. 104 pages.
- Boulding, J. Russel. 1995. Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and Groundwater Contamination – Assessment, Prevention, and Remediation. CRC Press, inc. Boca Raton, Florida. 848 pages.
- Côté, D., M. Giroux, M. R. Laverdière. 2005. Avis scientifique sur la pratique des amas au champ, IRDA. 3 pages.
- Côté, D., R. Lauzier, G. Pinard et S. Seydoux. 2001. L’entreposage hivernal au champ de fumier frais de bovins. Évaluation de l’innocuité environnementale du ruissellement et du lessivage des lixiviats. Rapport de recherche, IRDA. 32 pages.
- CRAAQ. 2003. Charges fertilisantes des effluents d’élevage – Période transitoire. Valeurs références. <http://pub.craaq.qc.ca/transit/tm.pdf>.
- Domenico, P.A. and F.W. Scwartz. 1990. Physical and Chemical hydrogeology, New York, John Wiley and Sons. 824 pages.
- Envireau. 2001. Étude court-terme sur l’entreposage au champ d’amas de fumiers de vaches laitières. Rapport de recherche réalisé pour la Fédération des producteurs de lait du Québec. 48 pages.
- Envireau. 2003. Entreposage de fumier solide sur sol naturel. Rapport de recherche préparé pour la Fédération des producteurs de lait du Québec. 46 pages.
- Envireau. 2003. Normes d’entreposage de fumiers solides en champs – normes de rejets à l’environnement – revue de littérature. Rapport rédigé pour la Fédération des producteurs de lait du Québec. 26 pages.

Trevisan,⁽¹⁾ D. et J.M. Dorioz.⁽²⁾ 2001. Épandage des effluents d'élevage sur prairie et contamination microbiologique de l'eau – Guide pour le diagnostic et la maîtrise des risques. 42 pages.
(1 : SUACI Montagnes Alpes du Nord, 2 : INRA)

Potvin, D. et Y. Bernard. 1995. Recherche de techniques de compostage adaptées à une gestion optimale des fumiers. Rapport de recherche réalisé par le CRIQ pour le ministère de l'Environnement du Québec. 334 pages.

Grégoire, R. et D. Côté. 2004. Mesures du ruissellement et de la percolation pour des amas de fumier de bovins de boucherie contenant deux niveaux de litière. Rapport de recherche, IRDA. 172 pages.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec – Rapport Synthèse. Service des Sols, Direction de la recherche du MAPAQ. 71 pages.

Ziegler, D et M Heduit. 1991. Engrais de ferme – Valeur fertilisante, gestion et environnement. Produit par l'IRC, l'ITCF et l'ITEB de France. 35 pages.

Nouvelles références en 2008

Bégin, P.-L. et D. Naud. 2007. Impact des fentes de retrait sur la pollution de l'eau par les amas de fumier au champ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Revue de littérature. 35 pages et annexes.

Fortin, R., H. Lagha, C. Roy, J.-Y Drolet et S. Pigeon. 2008. Projet pilote sur les amas de fumier au champ. Projet interne, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Rapport final. 28 pages et annexes.

Jobin, C., Naud, D. et D. Côté. 2006. Aménagement des amas de fumier au champ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Feuillet technique. 10 pages et annexes.

Magnan, J. 2008. Projet de suivi spécifique de producteurs utilisant la technique d'entreposage temporaire de fumier en amas au champ. Fédération des producteurs de bovins du Québec, Fédération des producteurs de lait du Québec, Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec, Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec, Syndicat des producteurs d'œufs d'incubation du Québec, Union des producteurs agricoles du Québec. Projet CDAQ, rapport final. 50 pages et annexes.

OAQ. 2005. Ligne directrice de l'Ordre des agronomes du Québec sur la gestion d'amas de fumier solide au champ. 4 pages.

ANNEXE I

BANQUE DE DONNÉES AGRO-PÉDOLOGIQUES SUR LES PRINCIPALES SÉRIES DE SOLS DU QUÉBEC

Couche arable : 0 à 20 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Achigan	71	27	2	1,3		4,77	6,2	3,85	2,12	1,2	0,07	12,1	29,5	1644
Albanel	7	51	41	8,68	1,16	5,47	6	7,14	11,15	2,48	0,3	21,54	15	1093
Alma	7	48	45	3,91	1,02	5,78	6,4	7,08	12,91	1,02	0,25	23,49	12,6	1501
Ange Gardien	49	32	19	3,14	1,35	4,52	6,8	8,87	14,71	0,95	0,1	22,58	21,5	447
Anglier	3	39	58	14,9	1,25	5,41	6,4	3,48	11,4	3,16	0,52	21,79	19,6	1066
Apika	67	26	7	2,42	1,25	4,28	5,8	2,87	3,3	0,2	0,04	10,95	39,9	1418
Argentenay	79	14	7	4,04		5,11	6,4	3,85	6,57	0,4	0,06	11,21	26,9	513
Ascot	45	42	13	3,65		5,21	6,3	5,47	8,7	0,13	0,14	16,06	20,4	1466
Aston	84	14	2	0,62		3,09	5,7	3,38	3,05	0,3	0,11	12,83	105,2	689
Baby	7	68	25	6,12	1,15	5,11	5,4	4,13	4,75	1,99	0,12	17,61	18,8	1074
Batiscan	20	61	19	2,31	1,27	5,72	5,6	3,91	5,42	0,94	0,28	17,23	29,8	1053
Bearbrook	6	34	60	25,38	1,22	5,5	5,9	6,08	13,88	6,76	0,5	34,67	13,4	1043
Bearn	3	34	63	13,54	1,11	6,15	5,6	4,94	5,5	3,41	0,35	22,76	15,7	1207
Beaudette	18	66	16	1,7	1,42	4,8	6,3	3,75	9,89	2,93	0,28	21,02	33,4	744
Beaurivage	73	16	11	2,29		5,24	6,2	5,18	6,9	0,58	0,05	16,1	29,5	1229
Bedford	52	30	18	2,92	1,4	5,98	7,8	5,12	18,9	0,93	0,1	22,1	27,4	383
Berthier	49	31	20	1,9	1,18	5,72	6,7	8,64	10,78	4,06	0,25	20,85	30,7	692
Botreaux	83	12	5	2,26		3,85	5,8	4,94	4,29	0,31	0,02	12,95	26,8	355
Boucherville	45	38	17	3,34	1,62	5,81	7,3	3,14	12,77	1	0,1	15,24	7,6	571
Bouchette	26	63	11	1,05	1,28	5,34	6,4	3,63	8,23	2,25	0,1	17,32	23	1111
Bourget	46	34	20	1,1	1	5,54	5,8	6,9	4,65	0,28	0,2	16,93	12,9	2019
Brandon	8	47	45	5,93	1,12	5,39	6,1	8,92	9,85	2,69	0,24	25,8	11,8	1192
Brampton	43	42	15	0,66		5,2	6,2	8,39	8,69	0,95	0,11	19,65	55,6	1024
Bullard	24	66	10	1,83	1,2	4,88	5,4	3,15	3,5	0,77	0,1	12,94	22,1	847
Calais	35	48	17	1,3			6,3	4,66	9,04	0,48	0,11	15,4	25,5	923
Chaloupe	42	43	15	1,62	1,25	5,68	5,8	3,87	6,2	1,04	0,09	17,93	32,5	1004
Champlain	20	55	25	1,41	1,08	5,57	6,3	7,96	8,49	0,88	0,1	18,03	30,7	1229
Chapeau	25	49	26	1,53	1,35	5,78	6,2	4,58	9,42	1,53	0,15	17,41	26,2	890
Chateaugay	28	42	30	4	1,44	5,63	6,1	3,45	9,87	2,01	0,21	22,25	20,9	1045
Chicoutimi	3	50	47	3,14	1,07	5,43	5,9	8,67	8,24	1,97	0,23	23,76	8,8	1468
Coaticook	26	60	14	2,12	1,18	5,66	6,1	4,78	7,89	0,52	0,14	15,54	42,6	1209
Colton	68	22	10	3,41			6	4,41	0,19	0,98	0,07	8,29	50,9	1441

K sat : conductivité hydraulique saturée **DMP** : diamètre moyen pondéré des agrégats **MO** : matière organique

Couche arable : 0 à 20 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Coteau	68	24	8	0,83		4,98	6	3,26	4,44	1,34	0,07	15,31	30,1	1007
Cotnoir	73	15	12	3,09	1,24	3,55	6,4	3,81	8,03	1,35	0,07	16,4	13,3	726
Courval	72	16	12	2,83	1,54	4,2	6,3	2,81	6	1,08	0,18	12,6	68	565
Dalhousie	10	63	27	0,53	1,31	5,2	5,9	4,47	6,54	3,38	0,26	21,39	15,6	858
Danby	58	33	9	2,51		5,44	5,9	4,43	3,47	0,42	0,08	12,44	52,2	1283
De l'anse	2	44	54	5,1	0,92	5,56	5,8	12,69	16,93	1,27	0,4	31,53	27	1112
Des Orignaux	55	34	11	1,91		5,75	5,9	4,88	6,99	0,47	0,09	17,22	27,9	1105
Des Saults	47	41	12	1,14	1,38	5,36	6,4	2,97	5,07	0,68	0,06	11	14,5	424
Des Biens	82	11	7	3,84		2,43	5,8	2,77	3,34	0,12	0,06	10,08	72,9	1107
Dessaint	45	37	18	1,17		5,8	6,4	5,91	8,68	0,34	0,09	16,03	74,8	961
Dolbeau	68	27	5	2,2		4,31	6,2	3,62	4,62	0,06	0,04	11,66	15,5	1754
Dorval	37	35	28	2,39	1,43	5,49	7,3	4,25	21,73	0,71	0,21	25,68	46,7	752
Du Creux	22	45	33	2,46	1,18	5,2	5,2	7,2	4,52	0,5	0,11	18,8	64,8	1186
Du Jour	42	32	26	3,72	1,45	5,11	6	4,8	6,21	1,55	0,31	17,28	42	753
Defferin	37	52	11	1,25			5,5	4,94	2,94	0,22	0,08	12,24	13,8	1449
Duhamel	36	39	25	8,13	1,22	5,92	6	4,93	8,06	3,52	0,23	20,18	14,6	956
Dupas	61	25	14	1,84		5,49	6,4	3,74	10,87	1,44	0,11	19,92	63,9	683
Eugene	33	54	13	2,9	1,21	5,6	5,7	3,5	4,37	1,04	0,15	13,71	28,8	1167
Fleury	80	7	13	0,85		5,37	6,2	21,68	14,76	2,05	0,1	27,46	37,9	840
Fourchette	42	33	25	2,61		5,63	6,1	6,6	7,03	0,87	0,11	16,37	170,2	946
Greensboro	37	52	11	1,43		4,75	6,5	3,81	7,11	0,26	0,15	13,78	59	1168
Guerin	1	23	76	24,69	1,06	6,2	6,7	10,03	13,95	3,81	0,38	26,7	23,1	1066
Guigues	13	71	16	4,12	1,2	4,29	5,4	3,01	2,63	0,81	0,12	13,84	31,2	1153
Guyenne	1	37	62	7,23	1,08	4,54	5,4	5,59	7,09	0,17	0,29	21,74	13,9	1270
Hébertville	0	40	60	3,7	1,09	4,64	6,8	13,71	22,06	3,62	0,61	38,9	38,6	814
Henryville	38	46	16	3,5	1,45	4,87	7,1	4,11	12,25	0,56	0,13	16,05	20,5	457
Hilarion	73	22	5	1,3		4,53	6,1	3,18	5,34	0,14	0,04	14,07	63	1514
Honfleur	82	11	7	1,53		4,09	6	4,54	2,1	0,14	0,17	13,4	20,1	1805
Howick	13	59	28	2,25	1,26	5,82	5,4	6,92	7,4	3,37	0,3	21,87	51,9	908
Irenée	59	39	2	1,42			5,7	4,14	1,88	0,07	0,03	14,11	8,6	1752
Ivry	86	14	0	3,1		5,19	6,3	2,58	3,41	0,95	0,09	10,81	77,9	1466
Joliette	85	12	3	2,5		5,07	5,9	2,53	3,94	0,07	0,03	12,02	75,3	1394

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche arable : 0 à 20 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Joseph	49	37	14	1,78		4,8	6,4	4,04	4,9	0,82	0,09	10,84	25,2	417
Kamouraska	2	36	62	12,7	1,16	6,07	6,2	7,8	15,64	4,02	0,44	23,18	25,6	879
Kenogami	85	11	4	4,45		3,48	5,6	2,52	2,08	0,11	0,05	9,21	75,9	963
Knowlton	71	25	4	1,24		5,27	5,8	3,93	2,44	0,23	0,04	13,12	68,2	1063
La Malbaie	17	51	32	4,36	1,53	5,25	7,2	2,08	12,84	1,43	0,32	17,79	6	777
La Pocatière	18	33	49	3,93	1,34	4,77	6,4	3,48	11,22	4,37	0,55	21	26	1121
Labarre	15	50	35	4,59	1,44	5,22	6,1	3,77	9,05	3,03	0,25	18,88	14,3	1025
Lanoraie	88	10	2	3,06		3,29	4,9	2,65	0,31	0,03	0,05	12,67	159,3	1903
Laplaine	15	24	61	12,82	1,33	5,62	6,4	5,77	15,6	4,59	0,6	28,81	37,6	1071
Lapointe	83	9	8	1,99		3,37	5,6	5,64	1,37	0,07	0,04	13,43	8,2	1942
Levrard	38	37	25	1,29	1,45	4,59	6,8	4,42	10,6	3,1	0,24	18,9	42,3	815
Loutre	76	19	5	5,91	1,3	3,85	5,9	2	2,14	0,23	0,07	9,51	50	1525
Macamic	1	23	76	24,38	1	6,01	5,5	5,4	13,78	0,28	0,59	30,27	12,5	1269
Magog	42	46	12	0,89		5,78	6,1	4,22	5,57	0,22	0,08	10,07	28,7	780
Massueville	81	11	8	0,63		3,5	5,7	4,08	2,64	0,3	0,16	10,56	91	644
Mawcook	48	32	20	3,96		5,87	6,1	4,39	8,79	0,81	0,14	15	68,2	550
Melançon	61	27	12	1,42	1,1	4,49	6	9	8,88	1,96	0,07	20,38	18,35	713
Melbourne	60	32	8	2,34	1,18	5,68	6,5	4,57	6,69	0,15	0,05	14,1	9,3	654
Milby	30	64	6	1,23	1,28	5,12	6,3	2,46	5	0,71	0,1	10,74	33,3	593
Mitis	86	6	8	4,8		3,32	5,7	3,14	5,52	0,78	0,15	12,34	92,5	436
Montmagny	19	65	16	0,84	1,33	4,24	6,1	4,93	5,99	1,43	0,14	14,6	48,7	947
Moreau	35	49	16	1,76	0,99	4,58	5,2	6,8	2,01	0,08	0,07	15,61	17,1	1796
Morin	89	8	3	1,76		4,6	6,5	4,83	7,31	0,08	0,07	14,7	41,8	1899
Napierville	41	46	13	1,18	1,45	5,15	6,7	4,21	9,65	2,44	0,17	16,51	40,8	694
Nedelec	9	53	38	10,87	1,05	5,88	5,6	4,01	4,52	1,94	0,18	16,11	20,3	1082
Neigette	31	46	23	3,57		3,69	6	4,33	9,71	0,5	0,13	19,55	36,3	897
Neubois	25	52	23	3,23	1,23	6,1	6,7	5,22	9,68	1,45	0,2	16,91	80,9	782
Normandin	29	51	20	4,78	1,36	5,95	5,9	3,64	6,62	1,84	0,21	14,54	15,9	912
Orford	38	47	15	0,99		5,11	6	5,32	5,24	1,57	0,09	16,22	51,4	744
Orleans	45	36	19	1,14		3,56	5,6	3,48	8,48	0,49	0,4	18,95	138	1227
Ormstown	24	62	14	0,85	1,3	4,68	6,1	4,91	8,82	2,57	0,55	18,95	64,5	990
Palmarolle	2	15	83	34,51	1,04	5,76	5,9	6,05	18,31	0,3	0,44	35,56	6,4	1189

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche arable : 0 à 20 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Paquin	10	35	55	47,6	1,25	6,18	5,9	3	9,16	3,5	0,34	23,09	10,2	1177
Pelletier	83	10	7	7,37		4,21	6,2	2,82	3,92	0,19	0,07	9,91	41,4	970
Péribonka	28	58	14	1,75	0,96	4,48	5,5	6,3	2,99	0,1	0,04	15,37	7,9	1590
Piedmont	51	40	9	1,18		4,75	5,8	4,35	4,36	1,07	0,11	15,66	26,7	1208
Pierreville	72	21	7	1,06		4,13	6	2,97	2,46	0,4	0,05	10,67	30,5	433
Platon	14	40	46	10,6	1,19	5,84	5,9	9,12	12,86	2,97	0,41	26,26	34,7	874
Pont-rouge	81	11	8	1,68		5,11	5,7	4,43	2,34	0,22	0,04	14,95	68,3	1886
Pontiac	26	58	16	2,38	1,33	5,41	6	4,08	6,98	1,97	0,29	19,3	48,4	952
Providence	6	39	55	40,34	1,27	6,05	6,5	4,67	12,59	5,62	0,76	26,1	25,8	703
Racine	54	26	20	3,06		4,84	6,3	8,05	10,27	1	0,14	19,85	89	1175
Raimbault	70	21	9	1,05		5,56	7,1	4,96	10,54	0,14	0,05	13,95	45,4	548
Remigny	3	26	71	23,06	1,05	6,18	6,2	6,98	15,4	5,52	0,45	28,19	154	1282
Rideau	12	37	51	7,94	1,24	5,48	5,8	6,76	9,49	4,14	0,33	26,05	15,5	894
Ripon	78	16	6	1,63		4,74	5,3	3,91	1,12	0,19	0,06	12,61	31	1318
Riv. Du Loup	45	34	21	1,67		5,59	6,3	7,36	9,26	0,32	0,11	19,17	34,6	1171
Roulier	3	34	63	32,79	1,1	6,14	6,1	3,94	10,39	4,11	0,45	24,13	13,3	1074
Roxton	69	20	11	6,5		4,17	6,9	5,51	10,76	0,79	0,25	16,98	105,2	826
Rubicon	59	31	10	0,64		3,71	6,4	2,39	4,5	0,5	0,07	10,95	57	893
Sabrevois	47	38	15	3,83	1,54	5,75	7	3,79	10,58	1,16	0,1	14,17	17,9	694
Saint-Aimée	47	35	18	1,14	1,35	4,19	6,3	6,05	8,34	1,8	0,14	17,7	26	828
Saint-Amable	80	12	8	1,7		4,24	6,9	3,18	5,94	0,61	0,08	11,5	81,8	793
Saint-André	60	25	15	2,35		5,41	5,4	3,68	4,03	0,6	0,08	10,46	37,2	949
Saint-Anicet	34	52	14	1,14	1,45	5,06	6,3	3,61	9,09	2,62	0,26	17,2	30,5	651
Saint-Benoit	63	26	11	1,75	1,34	6,03	6,1	4,36	6,14	1,55	0,21	17,37	21,7	884
Saint-Bernard	34	48	18	8,38		6,03	6,6	4,55	13,65	1,24	0,19	20,48	57,3	851
Saint- Blaise	43	38	19	2,51	1,46	5,69	6,5	4,59	10,65	1,95	0,16	18,94	78,6	777
Saint-François	82	11	7	1,98		4,82	6,1	4,36	5,5	0,32	0,08	14,24	52,1	1536
Saint-Gabriel	80	16	4	3,36		4,77	5,8	3,57	2,64	0,45	0,04	13,24	48,8	1293
Saint-Hyacinthe	14	54	32	7,63	1,52	5,09	7,5	3,91	10,67	2,86	0,45	16,05	84,9	571
Saint-Jude	86	8	6	1,69		3,61	6,1	3,27	3,12	0,18	0,05	12,36	41	878
Saint-Laurent	16	44	40	5,54	1,35	6,04	6,2	3,9	11,52	2,52	0,2	21,98	31,9	1039

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche arable : 0 à 20 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Saint-Nicolas	42	36	22	4,16		5,34	5,7	5,39	8,67	0,64	0,2	15,69	33	939
Saint-Pacôme	77	12	11	2,77		3,77	5,6	3,68	9,24	1,05	0,12	17,74	20,7	723
Saint-Pascal	22	39	40	6,15	1,28	5,29	5,5	5,95	8,84	1,96	0,24	21,73	19,2	855
Saint-Raymond	49	36	15	0,93	1,11	5,31	6,3	7,66	9,77	0,13	0,05	19,5	23,1	1745
Saint-Samuel	86	5	9	1,62		4,82	6,2	5,26	3,74	0,33	0,07	8,7	106,1	674
Saint-Sebastien	51	30	19	12,4		5,81	6,3	5,57	11,43	0,49	0,15	16,26	41	752
Saint-Thomas	89	5	6	7,38		3,47	5,6	1,47	1,14	0,14	0,1	9,68	143,6	1218
Saint-Urbain	3	32	65	47,9	1,21	6,25	7	5,98	11,46	5,43	0,55	22,08	11,4	662
Saint-Zotique	34	37	29	2,38	1,2	5,66	7,4	10,81	18,77	5,02	0,67	27,17	15,5	421
Sainte-Barbe	10	65	25	0,91	1,37	4,17	7,2	6,88	17,16	2,43	0,22	23,8	53,2	813
Sainte-Brigide	48	40	12	1,35	1,64	5,36	7,2	3,33	7,73	0,86	0,13	11,1	32,4	373
Sainte Hélène	81	11	8	1,14		5,19	5,5	3,96	2,3	0,14	0,1	13,56	14,8	695
Sainte-Marie	40	45	15	0,66		4,49	5,3	4,37	3,42	0,53	0,08	18,87	31,2	1066
Sainte -Philomène	72	15	13	1,62		5,01	6,4	4,42	7,54	1,97	0,32	14,75	70,3	837
Sainte-Rosalie	5	44	51	7,47	1,36	5,45	7,1	4,09	13,97	5,88	0,38	24,84	10,9	700
Sainte-Sohie	83	11	6	1,46		4,23	5,2	4,08	1,1	0,28	0,31	14,01	75,4	1363
Savoie	54	27	19	1,19		5,69	7,4	7,87	20,62	0,42	0,09	24,42	30,6	321
Shefford	54	34	12	8,97		5,27	5,7	5,32	5,9	0,32	0,14	18	39,2	747
Sheldon	58	31	11	1,83	1,26	5,65	5,8	4,36	3,66	0,12	0,11	12,71	17,8	1552
Sherbrooke	41	49	10	2,61		5,75	6,9	3,8	9,68	0,37	0,13	14,18	14,7	1087
Shipton	50	36	15	2,65	1,13	4,19	5,8	5,83	5,04	0,24	0,07	16,91	15,6	1780
Soulanges	55	40	5	0,72	1,31	4,19	6	4,39	4,49	0,83	0,07	13,19	58	1097
Suffied	34	40	26	4,47	1,35	5,33	6,4	6,48	7,72	1,75	0,14	19,9	32,1	906
Taillon	27	38	25	1,36	0,91	5,32	6,1	7,44	6,73	0,23	0,13	19,33	6,3	1953
Taillon	17	53	30	6,75	1,24	5,63	5,4	3,74	7,69	1,14	0,31	22,02	33,8	923
Tremblay	57	40	3	1,69		4,41	5,4	4,3	2,59	0,09	0,04	15,21	20,6	1673
Uplands	87	6	7	1,83		5,03	6,1	2,42	3,06	0,29	0,06	12,5	49,5	1605
Valère	69	22	9	0,75		4,57	5,2	6,17	3,12	0,06	0,04	17,52	18,4	1524
Valin	66	10	24	1,84	1,15	4,13	5,6	6,08	1,11	0,08	0,04	12,7	3,7	1912
Vaudreuil	71	19	10	1,35		3,74	6	4,03	6,73	1,64	0,67	14,69	114,3	780
Woodbridge	41	38	21	2,96		5,56	6	6,97	7,77	0,21	0,07	17,72	32	1514
Yamaska	14	64	22	4,62	1,48	6,24	6,8	3,35	13,32	2,16	0,29	19,2	56,4	837

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 20 à 40 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Achigan	77	22	1	1,31			5,8	1,95	0,71	0,58	0,03	10,92	16,9	1831
Albanel	5	52	43	3,16	1,53		6,5	1,83	9,33	3	0,21	18,4	6,8	983
Alma	12	53	35	1,14	1,5		6,7	1,14	8,1	1,65	0,19	17,01	9,7	1238
Ange Gardien	49	34	17	2,73	1,69		7,2	1,83	7,21	0,59	0,07	11,86	5,3	462
Anglier	3	33	64	6,74	1,32		6,6	1,62	11,81	4,02	0,43	22,97	10,4	1105
Apika	66	28	6	1,91	1,39		6,1	1,34	1,89	0,1	0,01	7,95	22	1575
Argentenay	82	13	5	2,19			6,6	0,75	1,92	0,46	0,03	3,79	15,7	420
Ascot	51	37	12	1,47			6,2	3,07	4,96	0,1	0,1	12,71	7,1	1751
Aston	87	11	2	1,06			6,4	0,37	1,91	0,36	0,08	4,23	41,6	308
Baby	3	67	30	1,7	1,5		6,1	0,98	3,65	2,19	0,1	12,12	18,2	992
Batiscan	18	63	19	1,63	1,35		5,7	1,72	4,28	0,86	0,2	13,91	15,1	1146
Bearbrook	8	34	58		1,35		6,7	2,08	15,25	8,78	0,54	32,09	5,5	1022
Bearn	3	41	56	5,3	1,39		6,2	1,84	7,01	4,65	0,22	19,36	5,9	1167
Beaudette	16	59	25	0,58	1,56		7	1,28	10,83	4,14	0,2	19,28	7,9	836
Beaurivage	86	9	5	3,09			6,3	2,29	2,32	0,21	0,01	10,06	11	1516
Bedford	52	32	16	0,98	1,56		8,1	1,97	16,6	0,73	0,08	18,2	8	359
Berthier	45	33	22	1,77	1,49		7	1,25	8,15	4,04	0,28	15,91	19,5	648
Botreaux	87	9	4	3,17			6,4	2,28	1,31	0,18	0,01	7,08	8,9	178
Boucherville	43	37	20	0,77	1,92		7,6	0,72	10,55	1,51	0,11	12,82	1,9	715
Bouchette	15	71	14	0,57	1,6		6,7	1,2	6,12	2,06	0,08	11,6	11,4	992
Bourget	52	34	14	1,85	1,21		6	2,53	1,61	0,11	0,06	11,4	8,6	2156
Brandon	9	46	45	5,15	1,4		6,4	2,14	7,34	4,53	0,39	21,92	9,2	1081
Brampton	51	39	10	0,4			6,8	1,18	2,79	0,52	0,06	6,35	14,4	666
Bullard	26	64	10	0,96	1,3		5,5	2,44	3,04	0,72	0,07	11,61	16,2	841
Calais	39	47	14	0,24			6,7	1,26	4,08	0,37	0,1	7,58	7,4	892
Chaloupe	48	37	15	0,81	1,38		5,6	0,98	3,58	1,3	0,07	13,44	15,7	936
Champlain	23	60	17	0,73	1,53		6,4	1,25	3,65	0,87	0,07	10,93	18,5	1109
Chapeau	18	47	35	0,99	1,54		6,5	0,9	7,87	3,59	0,26	17	17,7	752
Chateaugay	25	38	37	2,33	1,5		6,5	2,02	13,3	2,43	0,23	23,42	14,8	1069
Chicoutimi	5	54	51	0,24	1,52		6,8	2,51	9,14	3,18	0,29	18,55	7	1170
Coaticook	27	59	14	1,39	1,42		5,8	1,62	2,65	0,45	0,1	10,39	17	1366

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 20 à 40 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Colton	80	13	7	5,99			6,3	1,84	0,82	0,04	0,03	6,07	19,4	1780
Coteau	75	16	9	1,29			6,2	1,1	2,62	0,77	0,05	11,11	23,6	1126
Cotnoir	82	11	7	1,49	1,5		6,8	0,82	3,82	1,04	0,03	7,22	4,5	457
Courval	46	22	32	3,27	1,6		7	0,78	8,06	3,84	0,31	15,5	10,2	710
Dalhousie	9	58	33	0,12	1,52		6,5	0,95	6,4	4,21	0,29	17,5	12,4	767
Danby	65	28	7	1,97			6,3	2,44	2,89	0,15	0,03	10,69	10,2	1696
De l'anse	1	46	53	3,19	0,97		5	8,23	8,77	1,43	0,35	29,38	16,3	1340
Des Orignaux	55	33	12	1,17			6	1,83	4,18	0,41	0,06	13,15	9,9	1302
Des Saults	49	40	11	1,24	1,63		6,4	0,69	2,87	0,81	0,06	7,37	7,7	416
Des Biens	87	7	6	4,12			6	1,18	1,72	0,06	0,04	7,56	61,2	1370
Dessaint	52	37	11	0,74			6,4	1,55	3,33	0,18	0,05	9,14	21,8	1060
Dolbeau	72	24	4	2,31			6,2	1,5	0,96	0,03	0,02	7,12	11,1	1515
Dorval	36	34	30	1,65	1,44		7,6	3,74	22,48	0,72	0,17	27,1	27,2	773
Du Creux	28	43	29	2,06	1,18		6	5,48	7,41	0,63	0,1	18,05	54,2	1023
Du Jour	38	25	37	1,4	1,42		6,4	1,76	6,89	3,34	0,22	16,66	13	680
Defferin	39	48	13	1,17			6	1,44	2,21	0,47	0,05	6,89	19,6	1320
Duhamel	32	44	24	5,89	1,5		6,7	2,31	7,28	3,6	0,18	16,52	7,1	935
Dupas	67	23	10	1,73			6,6	0,91	6,39	1,75	0,08	12,59	15,7	538
Eugene	30	51	19	1,16	1,56		6	0,98	4,09	1,48	0,12	11,73	16,1	1099
Fleury	79	11	10	2,31			6,7	1,04	2,88	0,68	0,07	6,27	6	250
Fourchette	61	26	13	0,95			6,4	1,39	2,7	0,5	0,05	6,51	34,6	571
Greensboro	38	52	10	0,96			6,3	1,66	2,07	0,15	0,04	8,07	25,2	1387
Guerin	2	25	73	14,79	1,21		6,9	5,32	13,6	5	0,39	25,25	14,2	1045
Guigues	12	72	16	1,6	1,46		5,7	1,03	1,79	0,53	0,07	11,36	23,1	1116
Guyenne	1	39	60	3,31	1,34		5,8	2,06	7,31	0,28	0,27	18,55	12,9	1203
Hébertville	2	45	53	10	1,5		7	2,12	13,11	3,72	0,43	28,82	7,5	921
Henryville	37	40	23	2,44	1,55		7,4	1,68	10,2	0,48	0,09	12,91	4,9	516
Hilarion	81	15	4	3,38			6,6	1,03	3,58	0,09	0,01	9,43	41,8	1654
Honfleur	94	3	3	10,8			6,2	0,84	0,5	0,07	0,04	5,92	12,4	1731
Howick	33	45	22	1,34	1,49		6,1	2,45	6,79	3,02	0,28	16,57	18,6	932
Irenée	69	29	2	1,78			5,8	1,14	0,48	0,04	0,01	9,51	11,3	1867
Ivry	91	9	0	3,85			6,3	1,03	1,84	0,48	0,06	7,68	47,9	1599

K sat : conductivité hydraulique saturée **DMP** : diamètre moyen pondéré des agrégats **MO** : matière organique

Couche 20 à 40 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Joliette	91	6	3	2,55			5,9	1,6	1,34	0,05	0,01	10,54	11,7	1609
Joseph	79	12	9	1,56			7	0,51	2,93	0,99	0,08	5,5	5,7	280
Kamouraska	1	38	61	15,64	1,22		7	8,4	17,03	4,47	0,36	28,77	22,1	913
Kenogami	91	6	3	8,17			5,9	0,99	0,92	0,06	0,02	6,7	93	1361
Knowlton	81	17	2	6,61			5,9	1,6	1,12	0,07	0,02	8,83	33	1283
La Malbaie	15	54	31	4,8	1,59		7,7	1,03	15	1,49	0,31	17,74	3,4	602
La Pocatière	15	33	52	8,38	1,46		6,5	2,9	10,71	4,96	0,5	21,58	20,8	1140
Labarre	17	48	35	2,76	1,74		6,7	0,82	5,78	3,49	0,25	13,24	6,3	975
Lanoraie	93	6	1	3,88			5,6	0,59	0,45	0,03	0,02	7,13	64,9	1860
Laplaine	6	26	68	16,93	1,4		6,8	2,91	14,65	6,16	0,48	26,59	13,6	1100
Lapointe	94	4	2	10,6			5,8	1,27	0,45	0,06	0,02	8,69	3,9	1793
Levrard	34	47	19	0,76	1,59		7,4	1,44	8,19	3,13	0,13	13,8	10,5	807
Loutre	75	20	5	3,15	1,32		5,8	1,44	1,41	0,18	0,05	8,84	43,1	1521
Macamic	1	15	84	6,93	1,33		6	1,53	20,6	0,46	0,77	32,59	6,9	1222
Magog	48	40	12	0,74			6,3	0,83	1,98	0,39	0,04	5,04	16	819
Massueville	85	8	7	0,71			6,2	1,98	1,91	0,3	0,12	7,51	16,9	503
Mawcook	60	24	16	2,14			6,4	1,47	4,92	0,61	0,07	8,85	18,8	524
Melançon	64	23	13	0,59	1,52		6,6	1,36	4,85	1,57	0,06	9,69	5,1	651
Melbourne	53	35	12	2,17	1,23		6,8	2,41	5,12	0,1	0,03	11,83	8,1	922
Milby	30	63	7	0,96	1,34		6,5	1,77	4,59	0,66	0,05	9,56	16	602
Mitis	93	2	5	10,95			6,1	3,01	3,45	0,66	0,11	8,91	31,7	363
Montmagny	17	66	17	0,46	1,49		6,2	4,94	4,86	1,68	0,13	13,86	48,1	954
Moreau	29	64	7	0,77	1,23		5,8	1,31	0,67	0,03	0,03	9,36	17,7	1800
Morin	94	4	2	5,14			6,7	1,95	6,04	0,08	0,04	11,44	35,6	1890
Napierville	41	45	14	0,88	1,56		6,8	3,75	9,62	2,45	0,13	16,07	35,1	678
Nedelec	3	53	44	1,34	1,44		6,1	2,07	4,1	2,31	0,11	12,4	17	1199
Neigette	33	43	24	2,83			6	3,83	8,21	0,49	0,11	18,43	32,2	1017
Neubois	33	51	16	1,07	1,55		6,4	2,21	3,64	0,4	0,08	9,01	33,1	894
Normandin	8	55	37	1,37	1,66		6,6	0,69	5,91	2,9	0,26	12,69	10	862
Orford	46	45	9	0,66			6,4	1,55	1,96	1,82	0,05	8,6	13,4	644
Orleans	48	33	19	1,96			5,3	2,78	6,35	0,44	0,3	17,87	77,1	1382
Ormstown	22	62	16	0,72	1,47		6,4	1,76	6,7	2,51	0,34	13,32	26,5	1006

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 20 à 40 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Palmarolle	2	17	81	6,77	1,25		6,3	2,21	20,5	0,41	0,49	30,77	1,7	1178
Paquin	11	26	63	21,41	1,23		5,9	1,76	13,91	4,32	0,43	28,35	7,9	1167
Pelletier	82	11	7	4,83			6,2	1,04	1,42	0,17	0,03	6,57	31,3	1132
Péribonka	34	58	8	1,08	1,06		5,8	3,65	1,7	0,09	0,03	13,3	5,9	1669
Piedmont	55	36	9	0,71			6,1	1,2	2,24	0,83	0,12	11,75	18,6	1182
Pierreville	82	12	6	1,54			6,1	0,8	1,2	0,19	0,03	6,37	12,3	360
Platon	11	46	43	2,2	1,5		6,3	2,5	10,79	3,29	0,37	19,95	12,3	776
Pont-rouge	91	4	4	1,8			5,5	1,29	0,38	0,17	0,01	8,74	49,7	2036
Pontiac	28	53	19	0,96	1,43		6,2	1,84	6,26	1,75	0,17	16,48	38,1	1005
Providence	4	36	60	7,35	1,41		7,2	1,42	11,44	7,63	0,36	22,52	7	760
Racine	62	28	10				6,1	3,42	3,45	0,27	0,05	13,55	27,7	1466
Raimbault	73	18	9	0,62			7,5	0,72	4,44	0,13	0,02	5,19	10,4	364
Remigny	4	26	70	0,98	1,2		6,9	1,3	12,98	6,8	0,4	27,36	0,3	1457
Rideau	6	34	60	0,92	1,38		6,8	1,27	11,98	7,83	0,46	27,32	6,7	872
Ripon	85	10	5	5,07			5,7	1,19	0,44	0,12	0,07	9,16	12,5	1379
Riv. Du Loup	56	34	10	1,6			6,2	3,39	3,59	0,16	0,05	13,68	8,9	1550
Roulier	2	28	70	19,94	1,3		6,4	1,88	11,12	5,18	0,48	24,62	7,2	1100
Roxton	69	17	8				6,9	3,15	7,9	0,47	0,11	14,18	41,6	986
Rubicon	56	33	10	0,73			6,6	1,29	4,03	0,59	0,05	8,62	44,3	922
Sabrevois	44	37	19	0,66	1,79		7,3	0,85	8,3	1,65	0,08	11,6	2,2	711
Saint-Aimée	46	37	17	0,88	1,68		7	0,59	4,75	1,9	0,17	8,83	8,8	603
Saint-Amable	89	5	6	2,85			6,7	2,56	2,8	0,27	0,03	9,27	26,4	830
Saint-André	62	25	13	1,15			5,8	2,7	4,1	0,51	0,05	8,84	23,5	987
Saint-Anicet	34	50	16	0,68	1,55		6,7	2,15	8,51	3,02	0,19	15,78	11,3	667
Saint-Benoit	64	25	11	3,12	1,55		6,7	1,37	4	1,48	0,14	11,43	12	946
Saint-Bernard	34	49	17	4,28			6,9	3,39	13,1	1,68	0,17	20,73	77,3	899
Saint- Blaise	44	38	18	1,13	1,55		6,6	4,18	11,47	1,95	0,12	18,24	44,5	751
Saint-François	87	7	6	7,46			6,1	1,5	1,68	0,11	0,03	7,92	24,2	1534
Saint-Gabriel	94	4	2	8,92			5,8	1	0,49	0,16	0,02	6,86	21,1	1408
Saint-Hyacinthe	5	57	38	2,77	1,57		8	0,93	9,52	3,97	0,3	14,71	12,3	562
Saint-Jude	89	6	5	3,29			6,4	1,66	1,45	0,1	0,03	8,05	23,5	757
Saint-Laurent	13	43	44	3,45	1,42		6,5	2,98	11,31	3,09	0,21	21,59	22,3	1058

K sat : conductivité hydraulique saturée **DMP** : diamètre moyen pondéré des agrégats **MO** : matière organique

Couche 20 à 40 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Saint-Nicolas	42	34	24	6,03			6	4,28	8,7	0,66	0,14	14,94	22,2	962
Saint-Pacôme	87	4	9	9,55			5,8	1,65	5,1	0,75	0,11	12,02	9	624
Saint-Pascal	23	38	39	3,67	1,57		5,8	4,29	7,77	2,26	0,24	18,36	14,3	798
Saint-Raymond	55	38	7	1,25	1,21		6,4	2,89	3,69	0,05	0,01	12,8	13,9	2091
Saint-Samuel	92	3	5	2,65			6,3	1,01	1,11	0,1	0,03	4,79	31,1	446
Saint-Sebastien	57	29	14	8,05			5,9	2,38	7	0,5	0,12	12,31	21,5	895
Saint-Thomas	93	4	3	12,7			5,7	0,88	0,76	0,1	0,05	7,73	66,2	1245
Saint-Urbain	2	26	72	19,3	1,4		7,6	2,6	11,02	6,14	0,48	20,21	6	708
Saint-Zotique	27	36	37	0,76	1,56		7,7	2,82	12,12	4,8	0,41	18,78	7,1	591
Sainte-Barbe	14	70	16	0,52	1,61		7,4	2,03	11,42	1,86	0,15	15,2	17,6	759
Sainte-Brigide	48	36	16	0,63	1,89		7,3	0,9	5,88	1,01	0,08	8,69	6,5	332
Sainte Hélène	83	9	8	2,48			5,7	1,88	1,54	0,1	0,06	10,48	6,5	750
Sainte-Marie	46	40	14	0,57			5,8	1,63	2,08	0,28	0,04	8,56	15,3	970
Sainte -Philomène	77	15	8	4,11			6,7	1,57	4,39	1,23	0,14	10,12	27,1	944
Sainte-Rosalie	2	34	64	2,52	1,39		7,6	1,33	11,42	7,8	0,35	23,69	4	724
Sainte-Sohie	90	5	5	7,22			5,4	1,15	0,33	0,09	0,11	8,44	31,3	1342
Savoie	56	29	15	1,63			7,8	1,06	11,44	0,28	0,07	13,98	4,8	275
Shefford	67	25	8				5,9	2,38	3,15	0,14	0,05	10,91	11,7	736
Sheldon	68	24	8	1,55	1,31		6,1	1,88	1,98	0,06	0,04	9	10	1904
Sherbrooke	41	47	12	0,86			6,9	1,93	3,95	0,25	0,04	9	17,5	1243
Shipton	50	37	13	0,8	1,36		5,8	2,42	2,52	0,22	0,05	12,46	11,5	1790
Soulanges	72	24	4	2,48	1,63		6,5	0,98	2,39	0,49	0,04	7,04	16,7	727
Suffied	30	44	26	0,59	1,69		7	3,59	7,91	1,72	0,11	16,76	12,9	865
Taillon	34	41	25	0,89	1,2		6,4	2,64	5,7	0,37	0,17	16,59	5,6	1984
Taillon	23	48	29	4,88	1,45		5,6	2,19	7,37	1,12	0,22	19,33	7,9	826
Tremblay	71	28	1	1,45			5,5	1,06	0,62	0,05	0,01	9,86	26,5	1760
Uplands	87	7	6	4,26			6,1	1,82	2,3	0,2	0,04	10,25	29,2	1660
Valère	73	19	8	0,64			5,3	4,9	1,9	0,04	0,03	15,37	25	1515
Valin	81	13	6	2,1	1,38		5,9	1,98	0,57	0,05	0	7,29	1,1	1838
Vaudreuil	81	12	7	4,15			6,7	1,09	3,45	0,87	0,06	6,21	28,8	576
Woodbridge	46	41	13	1,75			6,2	3,43	4,81	0,06	0,03	14,14	10,1	1918
Yamaska	10	53	37	3,73	1,58		6,7	1,18	11,33	4,47	0,32	19,84	26,9	936

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 40 à 60 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Albanel	2	45	53	1,62	1,56		7	1	9,93	3,82	0,4	17,56	6,2	1018
Alma	4	44	53	2,09	1,4		6,7	0,56	11,22	3,23	0,48	21,03	6,7	1176
Ange Gardien	62	29	29	2,21	1,81		7,8	0,56	6,05	0,52	0,04	9,41	3,2	359
Anglier	1	25	74	0,44	1,34		6,8	0,68	13,23	5,72	0,5	24,77	4,1	1049
Apika	67	27	6	3,9	1,54		5,8	0,6	0,74	0,15	0,02	5,91	20,9	1269
Argentenay														
Ascot														
Aston														
Baby	5	62	33		1,62		6,7	0,63	5,51	3,56	0,16	13,54	10,9	885
Batiscan														
Bearbrook	9	23	68	0,3	1,36		6,8	0,7	16,29	10,23	0,6	32,79	3,8	1064
Bearn	2	24	74	0,09	1,37		6,6	0,55	8,75	9,24	0,42	27,41	4,2	1065
Beaudette	30	41	29	1,1	1,46		7,3	0,48	11,32	45,88	0,25	19,57	3,4	810
Beaurivage														
Bedford	52	33	15	0,28	1,69		8,2	0,88	23,5	0,85	0,08	24,8	4,4	163
Berthier	38	29	33	1,5	1,38		7,4	0,93	12,26	5,66	0,39	20,56	19,7	700
Botreaux														
Boucherville	44	40	16	0,19	1,9		7,9	0,31	11,97	1,31	0,11	13,69	2	408
Bouchette	3	75	22	0,41	1,55		7,2	0,23	6,16	2,94	0,13	10,76	7,5	835
Bourget	65	24	11	9,94	1,45		6,1	0,47	2,31	0,31	0,11	8	29,7	1880
Brandon	6	42	52	0,66	1,37		6,8	0,65	6,96	5,95	0,55	20,56	7,5	1016
Brampton														
Bullard	23	67	10	0,85	1,26		5,6	2,49	2,53	0,5	0,06	11,27	37,3	1128
Calais														
Chaloupe	54	33	13	1,83	1,43		5,9	0,55	3,95	1,57	0,08	11,69	14	656
Champlain	45	45	10	0,47	1,62		6,6	0,39	2,16	0,81	0,05	5,99	12,2	707
Chapeau	14	43	42	1,41	1,39		6,8	0,39	9,3	5,23	0,48	18,27	13,2	744
Chateaugay	16	35	49	2,32	1,36		6,9	0,71	17,1	4,22	0,39	27,38	3,5	1126
Chicoutimi	4	43	53	0,3	1,38		7,1	0,56	10,38	4,05	0,66	19,25	8,7	1185
Coaticook	25	57	18	0,7	1,66		5,9	0,64	2,37	0,77	0,12	8,26	31,2	1170

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 40 à 60 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Colton														
Coteau														
Cotnoir	77	11	12	1,3	1,57		6,9	0,32	3,88	1,7	0,06	8,2	3,2	576
Courval	13	32	55	2,02	1,36		7,2	0,46	11,34	7,65	0,49	23,6	7,1	908
Dalhousie	5	41	54	0,47	1,42		7,2	0,45	10,1	7,81	0,66	23,43	8,1	829
Danby														
De l'anse	3	47	50	3,65	0,93		4,3	3,83	3,34	1,93	0,39	29,61	8,9	1376
Des Orignaux														
Des Saults														
Des Biens														
Dessaint														
Dolbeau														
Dorval														
Du Creux	41	36	23	1,01	1,66		5,8	3,17	4,92	0,72	0,08	14,22	29,7	933
Du Jour														
Defferin														
Duhamel	33	42	25	0,54	1,62		7,2	0,44	6,83	3,95	0,21	12,94	3,5	935
Dupas														
Eugene	26	36	38	0,26	1,47		6,5	0,44	8,88	5,18	0,3	20,77	7,3	1121
Fleury														
Fourchette														
Greensboro														
Guerin	3	29	68	0,61	1,33		8	0,65	29,72	5,33	0,55	37,05	1,5	793
Guigues	8	68	24	0,07	1,63		6,1	0,24	3,53	2,14	0,1	12,12	14,3	841
Guyenne	0	22	78	0,06	1,43		6,5	0,5	10,26	0,64	0,48	18,34	6,8	1052
Hébertville	0	44	56	2,25	1,45		7,7	0,74	25,9	2,42	0,59	31,16	5,4	689
Henryville	41	40	19	0,97	1,55		7,7	0,9	8,56	0,43	0,07	11,64	3,5	322
Hilarion														
Honfleur														
Howick	2	41	57	0,41	1,37		6,7	0,49	12,62	8,39	0,43	25,86	5	1042
Irenée														
Ivry														

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 40 à 60 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Joliette														
Joseph														
Kamouraska	2	25	73	8,88	1,29		7,6	0,77	12,07	8,01	0,68	21,98	11,1	1047
Kenogami	14	51	35	0,72	1,56		6,3	0,47	4,67	1,85	0,23	12,09	17,5	1019
Knowlton														
La Malbaie	14	56	30	4,15	1,62		7,9	0,7	18,32	1,65	0,37	20,96	2,2	489
La Pocatière	10	29	61	5,82	1,38		7,2	1,03	9,77	6,67	0,58	19,84	7,9	1107
Labarre	2	50	48	0,58	1,56		7	0,28	6,41	6,56	0,51	16,94	7	1080
Lanoraie														
Laplaine	5	18	77	0,69	1,39		7,5	0,76	13,07	7,5	0,63	27,76	8,7	1132
Lapointe														
Levrard	19	50	31	0,77	1,58		7,7	0,37	8,87	6,6	0,21	17,8	3,4	1003
Loutre	79	16	5	6,92	1,47		5,9	0,37	0,51	0,13	0,04	4,97	40,6	1274
Macamic	1	12	87	0,08	1,35		6,8	0,87	37,79	0,49	0,55	44,64	1,5	955
Magog														
Massueville														
Mawcook														
Melançon	69	18	13	0,92	1,57		7	0,36	3,29	1,41	0,07	7,26	4,2	587
Melbourne	52	33	15	2,63	1,24		7,1	1,68	10,36	0,16	0,03	15,17	8,8	497
Milby	39	55	6	1,38	1,32		6,6	0,72	3,12	0,41	0,05	6,43	14,4	654
Mitis														
Montmagny	29	56	15	0,2	1,65		7,1	0,77	2,77	2,46	0,13	8,96	30,1	647
Moreau	44	50	6	0,96	1,43		5,9	0,57	0,58	0,03	0,04	6,31	33,8	1632
Morin														
Napierville	38	43	19	0,59	1,72		7,3	0,64	10,1	3,04	0,09	14,43	4	651
Nedelec	1	37	62		1,45		6,5	0,56	8,11	5,7	0,23	19,22	5,3	1029
Neigette														
Neubois	22	53	25	0,16	1,69		6,5	0,43	5,38	1,53	0,14	10,62	17,1	686
Normandin	4	47	49	0,61	1,51		7	0,37	7,53	4,76	0,44	15,81	7,5	903
Orford														
Orleans														
Ormstown	19	53	28	0,4	1,52		6,6	0,5	8,31	5,04	0,26	17,34	8,3	891

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 40 à 60 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Palmarolle	1	14	85	0,12	1,33		7,2	0,75	53,66	0,42	0,5	57,97	0,2	
Paquin	2	25	73	2,46	1,36		6,6	0,6	13,02	6,16	0,48	27,26	5,3	1072
Pelletier														
Péribonka	51	43	6	2,53	1,44		6	0,64	0,76	0,07	0,03	5,96	31,6	1532
Piedmont														
Pierreville														
Platon	10	61	29		1,6		6,9	0,89	9,59	3,55	0,36	16,63	7	656
Pont-rouge														
Pontiac	10	43	47	0,72	1,37		6,7	0,44	10,42	4,69	0,38	20,52	18,7	835
Providence	3	32	65	1,36	1,37		7,4	0,61	11,85	8,88	0,38	24,24	4,4	750
Racine														
Raimbault														
Remigny	4	26	70	3,78	1,24		7,3	0,69	12,76	7,4	0,42	25,73	0	1447
Rideau	4	30	66	0,32	1,35		7,3	0,51	11,86	8,42	0,6	26,12	6,6	858
Ripon														
Riv. Du Loup														
Roulier	2	25	73	0,07	1,31		7,1	0,71	13,51	6,57	0,5	25,88	3,1	1096
Roxton														
Rubicon														
Sabrevois	39	44	17	0,17	1,87		7,5	0,27	7,75	1,83	0,09	10,25	1,9	570
Saint-Aimée	30	49	21	0,67	1,63		7,7	0,28	5,51	3,34	0,21	10,14	6,5	552
Saint-Amable														
Saint-André														
Saint-Anicet	32	48	20	0,91	1,55		7,1	0,58	9,66	4,28	0,22	16,41	5,3	716
Saint-Benoit	57	29	14	2,97	1,54		7	0,79	6,04	2,85	0,14	12,7	11,4	814
Saint-Bernard														
Saint- Blaise	44	39	17	0,19	1,74		7,5	0,55	12,81	1,63	0,09	15,22	4,4	491
Saint-François														
Saint-Gabriel														
Saint-Hyacinthe	1	55	44	1,83	1,52		8,3	0,65	12,68	4,89	0,32	18,55	7,4	537
Saint-Jude														
Saint-Laurent	14	47	39	0,88	1,59		6,4	0,55	9,89	4,13	0,46	19,67	19,5	958

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

Couche 40 à 60 cm														
Série	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	K sat (cm/h)	Densité apparente (g/cm ³)	DMP (mm)	pH eau	MO (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	CEC (meq/100g)	P (ppm)	Al (ppm)
Saint-Nicolas														
Saint-Pacôme														
Saint-Pascal	20	43	37	0,46	1,7		6,8	0,98	8,36	3,51	0,29	15,22	3,6	719
Saint-Raymond	94	3	3	13,3			6,5	0,43	0,96	0,04	0,02	3,96	78,5	1722
Saint-Samuel														
Saint-Sebastien														
Saint-Thomas														
Saint-Urbain	1	24	75	4,3	1,41		8	1,4	12,14	7,23	0,51	21,36	5,1	692
Saint-Zotique	10	36	54	2,61	1,45		7,9	1,08	15,51	6,5	0,53	24,88	6	750
Sainte-Barbe	18	68	14	1,25	1,49		7,7	0,55	9,22	2,21	0,17	13,2	17,8	581
Sainte-Brigide	43	39	18	0,2	1,91		7,7	0,28	4,83	1,54	0,09	7,77	5,2	277
Sainte Hélène														
Sainte-Marie														
Sainte -Philomène														
Sainte-Rosalie	1	31	68	0,38	1,39		7,9	0,51	8,92	8,14	0,41	20,34	3,8	714
Sainte-Sophie														
Savoie														
Shefford														
Sheldon	69	24	7	3,99	1,52		6	0,8	0,71	0,04	0,03	4,77	42,4	1707
Sherbrooke														
Shipton	38	43	19	0,15	1,74		5,8	0,54	2,86	0,99	0,1	9,6	27,8	1204
Soulanges	63	19	18	1,66	1,53		7	0,32	6,51	2,52	0,17	12	6,5	712
Suffied	26	40	34	0,12	1,62		7,2	0,51	8,01	2,37	0,15	14,43	3,9	842
Taillon	9	44	47	0,84	1,33		6,5	0,46	9,93	2,57	0,39	19,35	9,1	1271
Taillon	29	43	28	2,76	1,5		5,9	1,21	7,49	1,26	0,22	15,92	9,8	698
Tremblay														
Uplands														
Valère														
Valin	92	5	3				6	0,75	0,36	0,06	0	8,45	7,8	1759
Vaudreuil														
Woodbridge														
Yamaska	17	48	35	2,42	1,58		6,9	0,37	8,64	5,85	0,39	16,99	8,3	810

K sat : conductivité hydraulique saturée DMP : diamètre moyen pondéré des agrégats MO : matière organique

ANNEXE II

SYNTHÈSE DES DISTANCES SÉPARATRICES PROPOSÉES PAR DIVERS RÈGLEMENTS ET DIRECTIVE

Distances séparatrices à respecter pour les amas au champ

1- Distance de tout ouvrage de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine	
RCES	300 m
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	100 m
Colombie-Britannique (Agricultural Waste Control Regulation)	30 m
Île-du-Prince-Édouard (Guidelines for Manure Management)	90–300 m
Manitoba (Livestock Operations and Groundwater Quality)	100 m
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	45–90 m
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	100 m
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100 m
État de New York (Conservation Practice Standard, N-Y Natural Resources Conservation Service, USDA)	90 m
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	30 m
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	75 m
2- Distance d'un lac, cours d'eau, marais naturel, marécage ou étang	
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	30–100 m
Colombie-Britannique (Agricultural Waste Control Regulation)	30 m
Manitoba (Livestock Operations and Groundwater Quality)	100 m
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	100 m
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	100 m
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	30–300 m
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100 m
État de New York (Conservation Practice Standard, N-Y Natural Resources Conservation Service, USDA)	90 m
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	90 m
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	90–300 m
3- Distance d'une propriété voisine	
Alberta (Agricultural Operation Practices Act)	150 m
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	50–600 m
Ontario (Loi sur la gestion des éléments nutritifs)	125–250 m
Saskatchewan (Saskatchewan Agriculture and Food)	800 m
Terre-Neuve et Labrador (Environmental Farm Practices Guidelines for Livestock Producers in Newfoundland and Labrador)	100 m
4- Distance d'un fossé agricole	
Nouvelle-Écosse (Manure Management Guideline for Livestock Producers)	20 m
État du Minnesota (Manure Stockpiling Site)	15 m
État du Wisconsin (Waste Storage Facility, Conservation Practice Standard)	30 m

**Exemple de formulaire de saisie des distances minimales à établir
entre un amas au champ et un élément à protéger**

Ferme	Municipalité	Rang	Lot no	Champ no
Éléments à protéger				Distance (m)
Ouvrage de captage destiné à la consommation humaine	Alimentant moins de 20 personnes (distance minimale 300 m)			
	Alimentant plus de 20 personnes avec un débit supérieur à 75 m³ (aire de protection bactériologique)			
	Utilisé à des fins d'eau de source ou d'eau minérale (aire de protection bactériologique)			
Cours d'eau, marais naturel, marécage ou étang situé en aval				
Cours d'eau, marais naturel, marécage ou étang situé en amont				
Lac ou réservoir				
Fossé				
Voie d'eau enherbée, raie de curage				
Résidence isolée				
Ligne de propriété				
Zone résidentielle, bâtiment public				
Remarques				
Agronome responsable				
Date				

ANNEXE III

EXEMPLES DE FORMULAIRES DE PLANIFICATION POUR LA CONFECTION D'AMAS OU LA RÉHABILITATION DU SOL

Planification d'un projet de confection d'amas de fumier au champ

Ferme	Municipalité	Rang	Lot no	Champ no
			Commentaires	
1	Culture prévue (année :)			
2	Besoin en éléments fertilisants			
3	Caractéristiques du fumier			
4	Masse de l'amas (tonnes)			
5	Mode de transport			
6	Forme d'amas			
7	Affleurement rocheux			
8	Sol mince sur roc			
9	Zone inondable			
10	Rencontre les distances séparatrices			
11	Site situé à plus de 100 m de celui de l'année précédente			
12	Nappe phréatique à plus de 50 cm			
13	L'eau de ruissellement amont peut être détournée			
14	Site au dessus d'un esker protégé en exploitation			
15	Pente inférieure à 6 %			
16	Absence de dépression sur le site choisi			
17	Texture du sol acceptable			
18	Drains situés à plus de 90 cm de profondeur			
19	Date prévue de confection de l'amas			
20	Accessibilité au champ			
21	Capacité de stockage d'appoint (m³ ou tonnes)			
22	Nature de la bande filtrante			
23	Andain filtrant nécessaire			
24	Date prévue de la reprise			
Autres remarques				
Agronome responsable				
Date				

Planification d'un projet de réhabilitation du sol d'un amas de fumier au champ

Ferme	Municipalité	Lot no	Champ no
		Commentaires	
Date de la reprise			
Site enclavé			
Date d'échantillonnage du sol			
Date de réception des résultats d'analyse du sol			
Teneur du sol en N sous l'amas			
Teneur du sol en N-NH₄ sous l'amas			
Teneur du sol en K Mehlich-3			
Besoin de réhabilitation			
Décision de réhabiliter le site			
Mode de réhabilitation			
Autres remarques			
Agronome responsable			
Date			

L'échantillonnage du sol est nécessaire si l'amas est déposé pour une durée supérieure à 3 mois durant la période sans gel.

