

**REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX RELIÉS**

À

**L'ENTREPOSAGE D'AMAS
DE FUMIER AUX CHAMPS**

**Présentée au
Ministère du Développement durable, Environnement et Parc**

**Présentée par
RÉSEAU environnement**



**Réalisée par
PGA EXPERTS Inc. (S.E.N.C.)**

Le 4 avril 2006

TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION.....	1
2.0	IMPORTANCE DES PERTES.....	1
3.0	IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS.....	3
3.1	Eaux de surface.....	3
3.2	Eaux souterraines.....	4
3.3	Enrichissement des sols.....	4
4.0	FACTEURS INFLUENÇANT LES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS.....	6
4.1	Perméabilité des fumiers	6
4.2	Perméabilité des sols.....	9
5.0	MESURES DE MITIGATION	13
5.1	Recouvrement des amas.....	13
5.2	Entreposage sur sols gelés	16
5.3	Utilisation d'une couche d'affinage	17
5.4	Utilisation de bandes filtrantes	18
5.5	Utilisation d'un andain de matériel filtrant.....	19
5.6	Durée d'entreposage.....	20
6.0	ANALYSE DE MÉTHODES DE MITIGATION	21
7.0	RECOMMANDATIONS VENANT DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	26
8.0	PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À VALIDER.....	28
9.0	CONCLUSION.....	30
10.0	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	31
11.0	SOMMAIRE.....	34

1.0 INTRODUCTION

Afin d'assurer une utilisation environnementale sécuritaire des amas aux champs, en alternative à l'entreposage étanche, RÉSEAU environnement a mandaté PGA Experts Inc. pour réaliser une revue de littérature prenant en compte les aspects techniques, tant environnementaux que de production ainsi que les aspects légaux. Par celle-ci, RÉSEAU environnement se donnait comme objectif de clarifier, dans le contexte nord-américain voire même international les impacts des amas aux champs sur l'environnement et d'établir les critères techniques de pratiques pour assurer le non-écoulement des contaminants vers les eaux de surface ainsi que la protection des eaux souterraines dans le contexte québécois. RÉSEAU environnement proposait aussi d'analyser l'information actuellement existante et d'identifier les informations manquantes, s'il y avait lieu, afin d'émettre des recommandations pertinentes à l'élaboration d'un guide de conception des amas aux champs.

Dans le but d'obtenir davantage d'information sur l'impact environnemental d'amas de fumier entreposé au champ, en provenance d'autres provinces canadiennes, d'Europe et des États-Unis, une demande a été formulée au Centre de Conservation des Sols de l'Est du Canada. Les bases de données, Agricola et CAB ont été consultées. Malheureusement, très peu de travaux de recherche ont été réalisés sur l'impact environnemental de l'entreposage temporaire (6 à 12 mois), d'amas de fumier au champ. La majorité des documents trouvés provenaient de la province de Québec. Il s'agit en fait de la province possédant le plus de publications scientifiques sur ce sujet. Les autres provinces canadiennes et pays consultés, ont procédé à l'élaboration de guides basés sur des commentaires d'experts ("common sense"), plutôt que sur des résultats de recherches scientifiques.

Les résultats du nombre limité de documents consultés sont rapportés dans le présent rapport. On y retrouve en outre l'ampleur des pertes d'éléments fertilisants suite à l'entreposage temporaire d'amas de fumier aux champs. Les facteurs responsables des pertes, de même que les mesures de mitigations étudiées y sont aussi rapportés. Finalement, les informations pertinentes additionnelles requises pour l'élaboration d'un guide de conception des amas aux champs y sont identifiées.

2.0 IMPORTANCE DES PERTES

Les fumiers entreposés sur sol ou encore sur dalle de béton sans muret perdent une partie de leurs contenus en éléments fertilisants. Le tableau 1 résume l'ampleur des pertes dans des amas de fumier entreposés sans structure étanche, rapportée dans diverses études réalisées au Québec.

Une seule étude a permis d'établir les quantités d'éléments fertilisants pouvant être perdues par quantité de fumier entreposé (Grégoire et Côté 2004). Cette étude ne traitait que du fumier de bovin de boucherie. Les bilans rapportés dans cette étude ont permis de quantifier les enrichissements des sols et les quantités d'éléments non retenues dans les eaux de ruissellement et lixiviation. Le tableau 2 fait état des résultats de cette étude.

Tableau 1. Pertes d'éléments fertilisants d'amas de fumier entreposé sans structure étanche

Auteurs	Type de fumier	Durée entreposage (jours)	Pertes (% base humide)		
			Azote	Phosphore	Potassium
Piché et Ganbazo 1995	Bovin laitier	365	8 à 15	3 à 6	27 à 36
Envir-eau 2001	Bovin de boucherie	365	40	15 à 25	20
Envir-eau 2001	Poulet à griller	365	35	0 à 8	Nd
Envir-eau 2003	Fumier de bovin laitier	335	21	9	67
Biorex 1994	Bovin laitier	365	62,1	26,4	52,6
Jobin 1992	Bovin laitier		57-63	0-5	50
Grégoire et Côté 2004, essais 1	Bovin de boucherie	219	19,98	14,13	24,54
Grégoire et Côté 2004, essais 2	Bovin de boucherie	287	33,32	18,78	44,59

Tableau 2. Charges en éléments fertilisants retrouvées dans les eaux combinées de ruissellement et drainage et dans le sol*.

Sources	Charge en azote	Charge en phosphore (Kg/1000 Kg de fumier base humide)	Charge en potassium
Sol (0-50 cm)	0,339	0,061	1,304
Eaux ruissellement et lessivage	0,062	0,004	0,296

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

3.0 IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS

La contamination des eaux de surface et souterraines constitue la principale préoccupation environnementale reliée à l'entreposage d'amas de fumier au champ. Cette contamination peut s'effectuer directement à partir d'éléments contenus dans les eaux s'écoulant d'amas de fumier ou encore par les accumulations dans le sol localisé à proximité des amas.

3.1 Eaux de surface

Les effets néfastes du transfert de contaminants en provenance d'écoulements d'amas de fumier, sur les eaux de surface, ont été observés à de très faibles concentrations. Les résultats rapportés par Piché et Gangbazo (1995), indiquent une croissance maximale d'algues exposées à un lixiviat d'amas de fumier de bovin laitier dilué d'un facteur de 2000 fois.

Les distances pouvant être parcourues par les éléments fertilisants contenus dans les eaux de ruissellement d'amas de fumier varient de 1 m à plus de dix (10) mètres selon les études et éléments fertilisants. Des échantillons de sols ont été prélevés à un (1) et deux (2) mètres des amas pour déterminer les pertes des éléments par ruissellement, dans des amas de fumier de bovin de boucherie et de fumier de poulet à griller couverts et non couverts (Envir-eau 2001). Le sol s'est enrichi en azote jusqu'à une distance de deux (2) mètres, pour les deux (2) types de fumiers en amas non couverts. Cet enrichissement ne s'est effectué qu'à une distance de un (1) mètre pour le phosphore. Cependant, un bilan de masse n'a pu être effectué à partir des données, compte tenu de la méthodologie utilisée. Les éléments fertilisants ayant pu être contenus dans les eaux de ruissellement et non retenus par le sol à une distance de deux (2) mètres n'ont pu être quantifiés. De plus, l'influence de facteurs tels que la pente du terrain, n'est pas considérée dans cette étude. Par conséquent, il ne peut être conclu que le respect des normes de localisation des amas édictées au RRPOA permettrait d'éliminer les impacts négatifs de l'entreposage sur les eaux de surface, tel que rapporté dans cette étude.

À une distance de dix (10) mètres d'un andain de fumier de bovin laitier, la concentration en phosphore de l'eau de ruissellement recueillie ne contenait pas plus de phosphore que celle d'une parcelle témoin (Côté et al. 2001). Par contre, les contenus en azote ammoniacal et potassium étaient respectivement de 18,4 mg/l et 125 mg/l, comparativement à 0,1 et 22 mg/l dans la parcelle témoin. Cependant, selon les auteurs, la validation de ces résultats exigerait des mesures plus nombreuses et plus fréquentes. **Davantage d'études sont donc requises, afin de déterminer les distances séparatrices des amas, des eaux de surface, pour éviter toute contamination.**

3.2 Eaux souterraines

Des accumulations de nitrates dans le profil du sol, sous les amas, pouvant contaminer les nappes souterraines ont été rapportées par différents auteurs, peu importe le type de fumier (Elektorowicz et Young 1992, Envir-Eau janvier 2001, février 2001 et août 2003, Côté et al. 2001, Grégoire et Côté 2004, Felton et al. 2003). Ces nitrates tirent leurs origines de la conversion de l'azote ammoniacal, par le processus de nitrification. La nitrification se produit à deux (2) niveaux, soit dans les amas durant l'entreposage, à partir de l'azote ammoniacal contenu en grande quantité dans le fumier et après l'enlèvement des amas, à partir de l'azote ammoniacal accumulé dans la couche superficielle de sol.

Dans une étude réalisée à partir de fumier de bovin de boucherie et de poulet à griller couvert ou non, la concentration en nitrates dans l'eau souterraine, s'est accrue de novembre jusqu'en début d'été (Envir-Eau 2001). Les concentrations en nitrates de l'eau souterraine ont excédé la norme de 10 mg/l pour l'amas de fumier de bovin non couvert et pour les deux (2) amas de fumier de poulet couverts ou non. La concentration en nitrates de l'eau souterraine a même augmenté à 35 mg/l pour l'amas de fumier de poulet couvert. Des concentrations similaires de nitrates (> 10 mg/l) dans l'eau souterraine sont rapportées pour les régions de forte concentration de producteurs de poulet à griller des états du Maryland, du Delaware et de la Virginie (Felton et al., 2003).

Lors d'entreposages répétés de fumier de bovin laitier, à la ferme, directement sur le sol, les concentrations en nitrates excédaient 10 mg/l, même lorsque la conductivité hydraulique du sol sous les amas étaient de l'ordre 8.5×10^{-9} cm/s (Elektorowicz et Young 1992).

3.3 Enrichissement des sols

Les sols s'enrichissent en éléments fertilisants suite à l'entreposage d'amas de fumier aux champs. Bien que des enrichissements soient observés jusqu'à 60 cm de profondeur, la majorité s'effectue dans les 10 à 25 premiers cm de sol (Envir-eau janvier 2001, Côté et al. 2001, Grégoire et Côté 2004). L'enrichissement est plus important pour le potassium, suivi de l'azote et du phosphore, peu importe le type de fumier.

Après douze (12) mois d'entreposage de fumier de bovin de boucherie, la teneur en azote des dix (10) premiers centimètres de sol est passée de 1100 mg/Kg à 2200 mg/Kg. Celle en phosphore est passée de 330 mg/Kg à 450 mg/Kg et celle en potassium de 28 mg/Kg à 2210 mg/Kg (Envir-eau 2001). Selon les mêmes auteurs, après douze (12) mois d'entreposage de fumier de poulet à griller, la concentration en azote est passée de 1100 mg/Kg à 2200 mg/Kg, celle en phosphore de 330 mg/Kg à 410 mg/Kg et celle en potassium de 28 mg/Kg à 2180 mg/Kg, dans la couche de sol de 0-10 cm.

D'importantes accumulations d'éléments fertilisants ont été observées sous des amas de fumier de bovin laitier, malgré l'entreposage sur sol gelé. L'enrichissement en azote,

phosphore et potassium représentait des taux d'application de respectivement 600 Kg/Ha, 400 Kg/Ha et 4000 Kg/Ha (Côté et al. 2001). Cet enrichissement correspondait à des pertes estimées à 1 % de l'azote, 3 % du phosphore et 7 % du potassium par rapport à la valeur fertilisante totale du fumier entreposé. Selon les auteurs, les enrichissements en azote sont suffisamment élevés pour contaminer la nappe phréatique ou les eaux de surface si un drain se situait à proximité. L'enrichissement s'est effectué dans les premiers 60 cm de sol. Le fumier restant en surface après l'enlèvement des amas, était en partie responsable de ces accumulations.

La masse d'azote totale par tonne de fumier de bovin de boucherie entreposé pendant dix (10) mois est de respectivement 228 grammes et 116 grammes pour les couches de 0-25 et 25-50 cm (Grégoire et Côté 2004). De ces quantités, 108 grammes par tonne de fumier entreposé, soit 47 % de l'azote ammoniacal, se retrouvaient dans la couche de 0-25 cm. Selon ces auteurs, après la reprise de l'amas, les conditions propices à la minéralisation pourraient résulter en une charge d'azote supérieure à la capacité de prélèvement des cultures. L'enrichissement en phosphore disponible par tonne de fumier entreposé était de 19 grammes dans la couche de 0-25 cm et de 7,3 g dans la couche de 25-50 cm. Cela se traduit par une augmentation de la concentration du sol de 20,7 mg/Kg dans la couche arable. Le potassium est l'élément qui présente le plus haut taux d'enrichissement avec en moyenne 810 grammes par tonne de fumier entreposé, dans la couche de 0-25 cm et de 165 grammes par tonne de fumier entreposé dans la couche de 25-50 cm. Entre 48 % et 60 % des pertes du potassium se retrouvent dans les 50 premiers centimètres de sol. Basé sur une superficie d'environ 24 m², occupée par un amas d'une masse d'environ de dix (10) tonnes, les quantités laissées par un amas représentaient des taux d'application de respectivement 950 Kg/Ha, 79 Kg/Ha et 3375 Kg/Ha pour l'azote, le phosphore et le potassium.

L'établissement d'une culture, après l'enlèvement des amas pourrait prélever une bonne quantité des éléments laissés. Cependant, les fortes concentrations en sels dissous comme l'azote ammoniacal et le potassium pourraient empêcher la germination des semences. À de fortes concentrations, les sels solubles contenus dans les fumiers ont un effet négatif sur les racines des plantes et la germination des semences. Les causes sont la plasmolyse des tissus, la restriction dans la disponibilité de l'eau ou encore une toxicité. De fortes concentrations en azote ammoniacal favorisent l'accumulation de nitrites, toxiques pour les plantes. Les sels d'azote et de potassium ont davantage d'effets néfastes sur la germination des semences que les sels de phosphore (Tisdale et al. 1999). L'effet néfaste de l'azote ammoniacal s'effectue par un accroissement de la pression osmotique ou par une toxicité du NH₃. La forme NH₃ peut pénétrer les parois cellulaires contrairement à la forme NH₄. Il s'agit d'un composé toxique (Dowling Charles, 1998). La tolérance à une toxicité varie selon les espèces, le maïs s'est avéré plus tolérant que l'orge ou le blé. Des données précises sur les concentrations en potassium et en azote pouvant être toxiques, sous les conditions de sols et de climat du Québec, pour diverses cultures, n'ont cependant pas été rapportées dans la littérature.

4.0 FACTEURS INFLUENÇANT LES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS

Les pertes en éléments fertilisants d'amas de fumier entreposé au champ se produisent de trois (3) façons, soit par volatilisation, lessivage et ruissellement. Les formes et la solubilité des éléments fertilisants contenus dans les fumiers varient. Par conséquent, les facteurs responsables des pertes diffèrent selon les éléments fertilisants.

Une grande proportion de l'azote est sous forme ammoniacal. Différents facteurs comme le pH, les élévations de température reliées au processus de compostage favorisent la conversion de l'azote ammoniacal en ammoniac. Pour ces raisons, plus de 70 % des pertes en azote s'effectuent par volatilisation de l'azote ammoniacal (Biorex 1994, Piché et Gangbazo 1995, Grégoire et Côté 2004). Le phosphore est un élément peu mobile et se déplace peu à l'intérieur de l'amas. De la sorte, considérant la somme des pertes par lessivage et ruissellement, plus de 80 % des pertes en phosphore s'effectue par ruissellement (Grégoire et Côté 2004).

Le potassium, relativement soluble, est l'élément perdu en plus grande quantité. Les pertes par lessivage et ruissellement sont similaires (Grégoire et Côté 2004). Les pertes en éléments fertilisants sont étroitement reliées aux quantités de précipitations. Cependant, aucune relation proportionnelle n'a été établie entre les quantités d'éléments fertilisants perdues et les quantités de précipitations (Coote et al. 1978, Piché et Gangbazo 1995). Les variations observées s'expliquent par le fait que d'autres facteurs ont une influence sur le mouvement des éléments fertilisants dans les amas et l'environnement. Ces facteurs sont principalement la perméabilité des fumiers et des sols.

4.1 Perméabilité des fumiers

Le type et la quantité de litière utilisés influencent des caractéristiques comme la conductivité hydraulique du fumier, le processus de compostage et l'incidence au gel de l'amas. Ce qui en retour influence les pertes par lixiviation et ruissellement (Envir-eau janvier 2001 et février 2001, Grégoire et Côté 2004, Chadwick et al, 2002).

Une plus grande variabilité au niveau de la conductivité hydraulique a été observée dans le fumier de bovin laitier, principalement en raison de la plus grande variabilité dans le type et les quantités de litière utilisés (Tableau 3, Envir-eau, février 2001). Dans cette étude seules les pertes par lixiviation ont été évaluées. Les pertes par ruissellement en relation avec le type de litière n'ont pas été étudiées.

La variabilité est moins importante dans le fumier de poulet à griller, puisque le même type et sensiblement les mêmes quantités de litière sont utilisés. De façon générale, une litière à grain fin produira un fumier imperméable générant peu de lixiviat, mais davantage de pertes par ruissellement. Dans le cas du poulet à griller on le considère comme perméable ce qui favorise l'infiltration des précipitations et par conséquent la production de lixiviat.

Tableau 3. Perméabilité de fumiers de bovin laitier contenant différents types de litière

Types de litière	Perméabilité (cm/s)
Sciure de bois	10 ⁻³ à 10 ⁻⁴
Planure et paille	10 ⁻³
Paille longue	10 ⁻² à 10 ⁻⁴
Paille hachée	10 ⁻² à 10 ⁻⁴

Dans une étude réalisée par Envir-eau inc. (février 2001), le fumier de bouillon d'abattage gelait à partir de décembre jusqu'en mars. La couche de glace formée a imperméabilisé l'amas. L'eau recueillie à la base provenait d'eau gravitaire évacuée par compression du tas. L'écoulement représentait 1,6 % du volume entreposé. Dans le cas du fumier de poulet à griller, l'amas n'a pas gelé. La plus grande perméabilité a permis une meilleure aération, ce qui a favorisé le processus de compostage, donc des températures plus élevées. Dans cet amas, un plus grand volume d'eau a percolé à travers. En effet, l'écoulement représentait 8 % du volume entreposé. La lixiviation dans l'amas de fumier de bovin s'est produite pendant toute l'année. Dans le cas du fumier de poulet à griller, la lixiviation a duré six (6) mois, soit de l'automne à la fin du printemps. Par la suite, une couche compostée, relativement imperméable s'est formée à l'intérieur. Ce qui a limité la percolation de l'eau à travers l'amas.

Deux (2) expériences ont été réalisées dans le but de déterminer si le fait de doubler l'apport en bran de scie de 2 à 4 Kg/tête/jour dans le fumier de bovin de boucherie pourrait réduire la perte en éléments fertilisants durant la période d'entreposage au champ (Grégoire et Côté 2004). Dans l'essai 1, les deux (2) types de fumier ont été entreposés sur une période de 7,2 mois, sur une membrane de plastique. Les eaux de ruissellement et de lixiviation étaient combinées. Dans le second essai, les deux (2) types de fumier étaient entreposés sur sol reconstitué, pendant 9,6 mois. Dans cet essai, les eaux de lixiviation et de ruissellement ont été séparées. Dans les deux (2) essais, les fumiers ont été entreposés sur sol gelé. Pour l'ensemble des pertes, soit par ruissellement, lessivage et volatilisation, la quantité de litière n'a pas eu d'effet significatif sur les pertes de la majorité des éléments fertilisants. La présence d'un plus haut taux de litière, n'a pas non plus influencé le taux de contamination des eaux de ruissellement et de lessivage par les coliformes totaux et fécaux. Une augmentation du contenu en litière tendait à réduire les pertes lors de l'essai 1 et de les augmenter lors de l'essai 2 (Tableau 4). Cependant, l'augmentation de la quantité de litière tendait à accroître les pertes par lessivage (Tableau 5). Selon les auteurs, l'augmentation du contenu en litière favorise davantage l'activité de compostage, ce qui accroît les températures et favorise l'infiltration d'eau. En effet, la température moyenne mensuelle était supérieure dans l'amas contenant les plus haut taux de litière, soit 21,15 vs 12,03°C.

Tableau 4. Effet du contenu en litière sur les pertes d'éléments fertilisants lors de l'entreposage au champ*

Niveau de litière (Kg/animal/jour)	Pertes en azote	Pertes en phosphore (% de la quantité initial)	Pertes en potassium
2 (essai 1)	24,4	17,6	26,7
4 (essai 1)	15,6	10,7	22,5
2 (essai 2)	33,5	16,1	42,5
4 (essai 2)	33,0	21,4	46,6

*Adapté de Grégoire et Côté 2004

Tableau 5. Effet de l'augmentation de la quantité de litière sur les pertes par lessivage*

Quantité de litière (Kg/animal/jour)	Pertes en azote	Pertes en phosphore (Kg/1000 Kg base humide)	Pertes en potassium
2	0,024	0,003	0,135
4	0,037	0,004	0,194

*Adapté de Grégoire et Côté 2004

Dans cette étude, d'autres facteurs comme le volume de précipitation de même que la durée d'entreposage ont été identifiés comme ayant davantage d'influence sur les pertes par ruissellement et lessivage que la quantité de litière. Il a également été rapporté que le contrôle des eaux de ruissellement constituait un élément important dans les pertes de certains éléments. Dans l'essai 1 les précipitations ont totalisé 411 mm comparativement à 279,3 mm dans l'essai 2. Dans ces conditions, les pertes par ruissellement et lessivage ont plus que doublé. Le tableau 6 rapporte les charges retrouvées dans les eaux combinées de ruissellement et lessivage, dans chaque essai.

Tableau 6. Charges en éléments fertilisants retrouvées dans les eaux de ruissellement et lessivage combinées, par tonne de fumier entreposé *

Essais	Pertes en azote	Pertes en phosphore (Kg/1000 Kg base humide)	Pertes en potassium
1	0,145	0,027	0,969
2	0,062	0,004	0,296

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

En matière de pertes par mois c'est en avril qu'elles ont été le plus élevées. La majorité des pertes en éléments fertilisants, soit environ 60 % ont été observées pendant les périodes d'hiver et de printemps combinées.

Le bilan effectué a permis d'établir qu'une bonne partie de l'azote était perdu par volatilisation, que la majorité des éléments étaient retenus dans les sols et que les charges en phosphore étaient plus importantes dans les eaux de ruissellement que dans celles de drainage (Tableaux 7 et 8). Les tableaux 7 et 8 présentent cette tendance qui a été observée pour tous les essais qu'il s'agisse de 2 ou 4 kg de litière par tête.

Tableau 7. Charges en éléments fertilisants retrouvées dans les eaux combinées de ruissellement et drainage et dans le sol*.

Sources	Charge en azote	Charge en phosphore (Kg/1000 Kg de base humide)	Charge en potassium
Sol, sous les amas	0,339	0,061	1,304
Eaux combinées	0,062	0,004	0,296

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

Tableau 8. Charges retrouvées dans les eaux de ruissellement et drainage*

Sources	Charge en azote	Charge en phosphore (Kg/1000 kg base humide)	Charge en potassium
Eaux de ruissellement	0,031	0,004	0,164
Eaux de drainage	0,031	0,001	0,132

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

À la lumière des résultats obtenus, les auteurs concluent que le fait d'abaisser la quantité de litière de 4 à 2 Kg/tête/jour et de réduire la durée d'entreposage à la période d'hiver à avril réduirait de respectivement 55, 76 et 64 % les pertes par ruissellement en azote, phosphore et potassium. **Davantage d'études sont cependant requises pour confirmer ces résultats sous diverses conditions de sols et climats.**

4.2 Perméabilité des sols

Les nitrates produits lors de l'entreposage ou suite à l'enlèvement des amas sont faiblement retenus. Ils se déplacent avec le mouvement de l'eau dans le profil de sol. Par conséquent, ils peuvent rejoindre les nappes d'eau souterraines. La conductivité hydraulique du sol constitue donc un élément important pouvant influencer la contamination des eaux souterraines par le nitrate.

En utilisant trois (3) modèles mathématiques, Envir-Eau inc. (Février 2001) a évalué l'impact de l'entreposage au champ d'amas de fumier de bovin laitier sur la qualité des eaux souterraines, sous des conditions de sols et de climat du Québec. Pour ce faire, les caractéristiques de trois (3) types de fumier ont été utilisées (Tableau 9). Les pires scénarios de lixiviation ont été utilisés afin de maximiser l'impact sur les eaux souterraines et ainsi établir un cadre sécuritaire pour l'entreposage au champ d'amas de fumier. La forme de l'amas favorisait l'infiltration d'eau. Il était de forme trapézoïdale avec une hauteur verticale de 1,2 mètre et une largeur maximale de 6 mètres représentant un volume approximatif de 100 m³. Une partie centrale de 4 mètres de largeur au sommet, formait un replat avec une faible pente vers l'intérieur de 1 %, pour favoriser l'infiltration. Les côtés de 1 mètre de largeur chacun avaient des pentes de 85 %. Finalement, la profondeur de la nappe souterraine avait été assumée à 1 m de profondeur.

Tableau 9. Quantité totale de lixiviat produit pour un amas de 100 t.m (base humide)

Durée d'entreposage (mois)	Période	Quantité totale de lixiviat produit pour la période (m3)		
		Type I (Sciure de bois/planure et paille)	Type II (paille longue)	Type III (paille hachée)
12	Octobre-septembre	45,80	44,21	51,68
16	Juin-septembre	73,12	69,43	76,97

Les modèles mathématiques utilisés sont HELP, LEACHM et MODFLOW. Ces modèles sont couramment utilisés dans le cadre d'évaluation de lixiviat produit par des sites d'enfouissement et lors d'études d'impact sur la nappe d'eau souterraine par différents contaminants. Le modèle HELP, permet d'obtenir les quantités de lixiviat se retrouvant à la base des amas, qui sont susceptibles de s'infiltrer dans le sol. Le modèle LEACHM, permet de simuler les mécanismes de transformation des composés azotés dans la partie non saturée des sols et ceux s'introduisant dans l'aquifère. Le modèle MODFLOW, permet de simuler la migration des nitrates dans la zone saturée. Selon le modèle HELP, 35 % des précipitations percolent sous l'amas, 20 % ruissellent et 43 % s'évaporent. Les tableaux 10 et 11 rapportent les contenus en nitrates de l'eau interstitielle avant son entrée dans la nappe, obtenus à l'aide du modèle LEACHM, pour des durées d'entreposage de 12 et 16 mois, pour les divers types de sols et litières.

Tableau 10. Concentration maximale en nitrates pour la période d’entreposage de douze (12) mois

Types de sols	Concentration maximale de nitrates (mg/l)		
	Type I (Sciure/planure et paille)	Type II (Paille longue)	Type III (Paille hachée)
Argile	13	12	17
Loam	90	75	182
Loam sableux	229	182	447
Sable	592	476	964

Tableau 11. Concentration maximale en nitrates pour la période d’entreposage de seize (16) mois

Types de sols	Concentration maximale de nitrate (mg/l)		
	Type I (Sciure/planure et paille)	Type II (Paille longue)	Type III (Paille hachée)
Argile	13	12	21
Loam	68	56	176
Loam sableux	159	127	426
Sable	444	343	978

La nitrification était plus élevée dans les fumiers contenant de la paille hachée. Les concentrations en nitrates sur sol argileux ne sont que légèrement supérieures à la norme de 10 mg/l. Il a également été rapporté que pour tous les types de sols, la concentration maximale en nitrates est atteinte, 400 jours après la mise en place de l’amas, soit 60 jours après son enlèvement. La migration des nitrates a été simulée à l’aide du modèle MODFLOW, pour un loam, un loam sableux et un sable, pour des périodes de 730, 1100 et 2190 jours après le début de l’entreposage. Aucun prélèvement des nitrates par la végétation n’a été assumé. Le loam présentait les impacts sur l’eau souterraine les plus faibles. Six (6) ans après le retrait de l’amas, le centre du panache, dont la concentration variait de 19 à 21 mg/l se situait à 7 m de l’amas. L’isocourbe de 10 mg/l se situait à 15 mètres de l’amas. Pour le loam sableux, et pour la même durée d’entreposage, le centre du panache dont la concentration variait de 43 à 46 mg/l se situait à 14 mètres de l’amas. L’isocourbe de 10 mg/l quant à elle, se situait jusqu’à 24 mètres de l’amas.

Dans le cas du sable, l'impact était le plus élevé. La concentration en nitrates demeurait très élevée six (6) ans après le retrait de l'amas (79 à 96 mg/l). L'isocourbe de 10 mg/l pouvait se retrouver jusqu'à 500 mètres du centre de l'amas. Selon les auteurs, l'entreposage d'amas de fumier au champ peut se faire avec peu d'impact sur la qualité des eaux souterraines, dépendant de la conductivité hydraulique (donc du type de sol) :

- L'enrichissement est très superficiel sur des dépôts d'argile et de limon argileux ayant des conductivités hydrauliques de 10^{-6} à 10^{-7} cm/s.
- L'impact environnemental est aussi limité dans les dépôts de loam et loam sableux ayant des conductivités hydrauliques de 10^{-4} à 10^{-5} cm/s, présentent des panaches de faible envergure spatiale limitée en périphérie de l'amas (moins de 20 m).
- Compte tenu de leurs conductivités hydrauliques élevées (10^{-2} à 10^{-3} cm/s), les amas devraient être recouverts pour l'entreposage sur des dépôts de sable.
- Finalement, l'entreposage sur roc à nu ou faiblement recouvert, devrait être prohibé. L'eau migre rapidement à travers le roc fracturé.

Malgré l'efficacité des modèles mathématiques utilisés, rapportée par les auteurs, des essais aux champs devraient être réalisés dans le but de confirmer les résultats théoriques obtenus.

Une étude réalisée au Québec par Elektorowicz et Young (1992), avait pour objectif d'évaluer l'effet de l'entreposage de fumier à la ferme directement sur le sol, sur la qualité des eaux souterraines. Le tableau 12, rapporte certaines caractéristiques des quatre (4) sites d'entreposage étudiés.

Tableau 12. Type et perméabilité des sols des sites d'entreposage des fumiers de bovin laitier*

Site	F	S	M	T
Type de sol	Argile limoneuse	Argile limoneuse	Argile	Sable limoneux
Conductivité hydraulique (cm/s)	5.0×10^{-8}	2.5×10^{-7}	8.5×10^{-9}	2.5×10^{-4}

*Adapté de Elektorowicz et Young (1992)

Les concentrations en nitrates ont dépassé 10 mg/l dans la solution du sol sur tous les sites, indépendamment de la conductivité hydraulique des sols. Selon les auteurs, l'infiltration de purin dans les sols argileux peut entraîner l'expansion d'argile et ainsi accroître le coefficient de perméabilité. **Il a été conclu que l'entreposage répété de grandes quantités de fumier directement sur le sol, n'est pas recommandé même sur un sol argileux.**

Des essais réalisés au Maryland et rapportés par Felton et al. (2003) ont consisté à entreposer de la litière de poulet à griller dans des amas de 7 mètres de longueur par 7,3 mètres de largeur et 5,5 mètres de hauteur couverts ou non et à observer les pertes d'azote et de phosphore dans les eaux de ruissellement et de lixiviation dans 2 types de sol, soit un loam sableux et un loam argileux. Les conductivités hydrauliques n'ont pas été mesurées. Des essais de précipitation ont aussi été réalisés en utilisant un simulateur de pluie à un taux de 50 mm/h pour entraîner un ruissellement (canalisé et récupéré) durant 60 minutes. Les résultats de ces essais ont notamment confirmé que le type de sol était un facteur très important influençant le flux massique d'azote et de phosphore dans les eaux de ruissellement et de lixiviation. Pour les amas non couverts sur sols argileux et sableux les valeurs maximum observées pour le débit de ruissellement ont été de 45 l/min et 10 l/min respectivement. Les valeurs maximum de masse de nitrates et d'orthophosphate récupérée dans les eaux de ruissellement après 60 minutes ont été respectivement autour de 5000 mg et 2000 mg pour le sol argileux et de 1000 mg et 1000 mg pour le sol sableux. Pour les concentrations observées dans les eaux de percolation récupérées sur une année dans des lysimètres à 60 cm de profondeur, les résultats n'ont pas été aussi clairs. Les auteurs indiquent que le taux d'humidité dans le sol lors des essais a influencé les résultats de façon importante, le sol argileux était plus humide et n'est pas apparu clairement plus étanche à la migration verticale des nitrates.

5.0 MESURES DE MITIGATION

Les pertes d'éléments fertilisants d'amas de fumier entreposé aux champs sont inévitables, puisque le principal facteur en cause est la quantité de précipitation et qu'il s'agit d'un facteur incontrôlable. Cependant, différents facteurs peuvent restreindre le mouvement des éléments fertilisants, de telle sorte que le contenu en éléments fertilisants et coliformes fécaux des eaux de ruissellement peut être réduit. Dans ce but, diverses méthodes de mitigation ont fait l'objet d'études. Les méthodes étudiées consistaient en :

- Le recouvrement des amas
- L'entreposage sur sol gelé
- L'utilisation d'une couche d'affinage sous les amas
- L'utilisation de bandes filtrantes
- L'utilisation d'un andain de matériel absorbant
- Réduction de la durée d'entreposage

5.1 Recouvrement des amas

Les pertes d'éléments fertilisants lors de l'entreposage d'amas de fumier de bovin de boucherie et de poulet à griller ont été évaluées avec et sans recouvrement (Envir-Eau janvier 2001). Un bilan de masse n'a pu être effectué, compte tenu de la méthodologie utilisée. Les amas n'ont pas été pesés et caractérisés au début et à la fin l'étude.

L'effet de la couverture a différé selon les éléments fertilisants et le type de fumier (Tableau 13 et 14). À l'exception du potassium, les pertes étaient plus élevées dans l'amas couvert pour le bovin pour l'ensemble des paramètres étudiés. Pour le fumier de poulet les pertes en azote étaient supérieures pour l'amas non couvert alors que celles en phosphore étaient plus élevées pour les amas couverts. Les résultats obtenus ne sont pas expliqués. La méthode d'évaluation utilisée dans cette expérience ne permet pas d'effectuer un bilan de masse. Il est par conséquent difficile d'évaluer l'effet réel d'une couverture sur les pertes en éléments fertilisants des amas.

Tableau 13. Résultats analytiques du fumier de bovin de boucherie *

Paramètres (base sèche)	Avant entreposage	Après entreposage	
		Couvert	Non couvert
NTK (mg/Kg)	33 000	16 000	20 000
N-NH ₄ (mg/Kg)	2 300	440	630
P total (mg/Kg)	4 800	3 600	4 100
N-NO ₂ (mg/Kg)	2,5	46	45
N-NO ₃ (mg/Kg)	1,1	190	480
K (mg/Kg)	18 000	25 000	14 000
E coli (UFC/g)	> 1 600 000	< 1	< 1

*adapté de Envir-Eau inc. janvier 2001

Tableau 14. Résultats analytiques du fumier de poulet à griller

Paramètres (base sèche)	Avant entreposage	Après entreposage	
		Couvert	Non couvert
NTK (mg/Kg)	30 000	22 000	17 000
N-NH ₄ (mg/Kg)	6 700	2 000	470
P total (mg/Kg)	12 000	11 000	12 000
N-NO ₂ (mg/Kg)	<0,3	<3	<3
N-NO ₃ (mg/Kg)	28	2 600	3 600
K (mg/Kg)	15 000	18 000	24 000
E coli (UFC/g)	< 1	<1	<1

*adapté de Envir-Eau inc. janvier 2001

Néanmoins l'effet observé d'une couverture sur les pertes totales en éléments fertilisants, indique que la présence d'une couverture a réduit le mouvement de l'azote total dans le profil de sol sous les amas (Tableau 15 et 16). Cependant même avec une couverture, un enrichissement en azote, phosphore et potassium a été observé. Cet enrichissement s'explique par le fait que les couvertures n'ont pas empêché la lixiviation de l'eau contenue initialement dans les amas, et ce, surtout dans le cas du fumier de bovin.

Le fumier laissé sur sol après l'enlèvement des amas, a aussi contribué à l'enrichissement en éléments fertilisants du sol sous les amas (ceci a aussi été clairement indiqué dans les résultats des essais de Felton et al. (2003)). Le phosphore était l'élément le moins affecté par la présence d'une couverture. La diminution du contenu en azote, dans la couche de 0-10 cm, pour le fumier de poulet sans couverture, s'explique par sa plus grande perméabilité, donc davantage d'infiltration dans l'amas de fumier de poulet comparativement au fumier de bovin. En effet, le volume total de lixiviat récolté dans l'amas non couvert de fumier de bovin correspondait à 1,67 % du volume de fumier entreposé comparativement à 8 % dans celui de l'amas de fumier de poulet à griller.

Tableau 15. Caractéristiques chimiques des sols sous les amas de fumier de bovin

Paramètres	Sol en surface		Sol sous les amas après 12 mois		
	Référence 0-10cm 10/11/98	Couvert 0-10cm 10/11/99	Couvert 0-20 cm 10/11/99	Non couvert 0-10 cm 10/11/99	Non couvert 20-40 cm 10/11/99
NTK (mg/Kg)	1 100	2 100	500	1 700	2 700
N-NH4 (mg/Kg)	20	200	10	270	90
P tot (mg/Kg)	330	450	290	400	310
N-NO2 (mg/Kg)	<3	<3	<3	<3	<3
N-NO3 (mg/Kg)	<3	28	22	<3	<3
K (mg/Kg)	28	1 870	580	2 210	390

Tableau 16. Caractéristiques chimiques des sols sous les amas de fumier de poulet à griller

Paramètres	Sol en surface		Sol sous les amas après 12 mois		
	Référence 0-10cm 10/11/98	Couvert 0-10cm 10/11/99	Couvert 20-40 cm 10/11/99	Non couvert 0-10 cm 10/11/99	Non couvert 20-40 cm 10/11/99
NTK (mg/Kg)	1 100	2 200	700	490	1 000
N-NH4 (mg/Kg)	20	420	60	440	50
P tot (mg/Kg)	330	410	300	450	300
N-NO2 (mg/Kg)	<3	<3	<3	<3	<3
N-NO3 (mg/Kg)	<3	7	<3	7	7
K (mg/Kg)	28	1 500	220	2 180	180

Selon Enviro (2001), l'installation de toiles pour couvrir les andains comporte des difficultés importantes au niveau de l'ancrage. De plus, les coûts sont relativement élevés. En supposant une main-d'œuvre non rémunérée, les coûts annuels seraient de respectivement \$26 572,00 et \$ 8 313,00 pour 220 m³ de fumier de bovin de boucherie à entreposer tous les 7 jours et 120 m³ de fumier de poulet à griller à entreposer tous les 40 jours.

Les essais de Felton et al. (2003) ont aussi indiqué un effet positif de l'utilisation de couvertures sur des amas de litière de poulet à griller, mais cet effet est aussi apparu variable en fonction du type de sol.

Les essais réalisés par le Soil Research Group (SRG, 2002) pour le Ministère de l'Agriculture de l'Ontario (OMAF) ont indiqué un effet bénéfique de l'utilisation d'une couverture imperméable sur les amas de litière de poulet à griller entreposés d'octobre 2001 au printemps 2002. D'après cette étude la couverture imperméable réduit l'épaisseur de la couche humide de l'amas qui est la zone où le plus haut taux de perte d'azote (60 %) est observé.

Des essais réalisés en Angleterre par Sagoo et al. (2004) avec des amas de litière de poulet à griller ont indiqué un effet très favorable de la couverture des amas au champ sur la réduction des émissions de NH₃ par volatilisation qui est une préoccupation liée à des normes européennes sur les émissions à l'atmosphère. La couverture des amas a ainsi réduit de 90 % les émissions de NH₃ durant la période de stockage de 6 mois observée. Cette réduction est cependant annulée par la volatilisation suite à l'épandage si l'incorporation par labour ou herse à disque n'est pas réalisée 4 heures après l'épandage. Cependant l'utilisation d'une couverture a augmenté les pertes d'azote par lixiviation passant de 1% de l'azote total initial dans la litière sans couverture à 3 % avec couverture. De plus l'incorporation de la litière épandue après entreposage sous couverture a fait augmenté les pertes de nitrates par lixiviation suite à l'épandage passant de 4 à 14 % de l'azote total initial. Pour la litière en amas sans couverture, l'incorporation après épandage n'a pas augmenté les pertes par lixiviation dues à l'épandage.

On peut tirer des résultats de ces différentes études que l'utilisation d'une couverture pour les amas est une mesure de mitigation d'efficacité variable en fonction de plusieurs autres paramètres et ne peut être adoptée de façon générale sans tenir compte de ces paramètres. Les études consultées ne couvrent pas non plus la variété de fumiers en amas au champ pouvant être couverts.

5.2 Entreposage sur sol gelé

Une étude réalisée par Côté et al. (2001) visait à évaluer l'effet de l'entreposage au champ d'amas de fumier de bovin laitier sur sol gelé, sur les pertes en éléments fertilisants. L'hypothèse était qu'un sol gelé pourrait agir comme une dalle de béton étanche et par conséquent, réduire le transfert d'éléments fertilisants dans le sol, sous les amas. La durée d'entreposage s'est effectuée deux (2) années consécutives sur une période de 120 jours, soit de la fin décembre à la mi-avril. L'entreposage sur sol gelé, n'a pas réduit l'enrichissement du sol sous les amas. L'enrichissement en azote, phosphore et potassium représentait des taux d'application respectivement 600 de Kg/Ha, 400 Kg/Ha et 4000 Kg/Ha. Cet enrichissement correspondait à des pertes estimées à 1 % de l'azote, 3 % du phosphore et 7 % du potassium par rapport à la valeur fertilisante totale du fumier entreposé. L'enrichissement s'est effectué dans la couche de 0-60 cm. Lors des conditions de température favorable à la nitrification, soit de la période de mai à octobre, l'azote ammoniacal accumulé sous les amas a été converti en nitrates.

Des concentrations en azote nitrique atteignant 268 mg/Kg et 217 mg/Kg ont été observées respectivement pour les couches de 0-20 cm et 20-40 cm sous les amas. Selon les auteurs, les enrichissements en azote sont suffisamment élevés pour contaminer la nappe phréatique ou en encore les eaux de surface si un drain se situait à proximité. La principale cause de cet enrichissement était le fumier restant en surface après l'enlèvement des amas. Les auteurs recommandent l'enlèvement de quelques centimètres de sol lors de la reprise du fumier pour réduire cet effet.

5.3 Utilisation d'une couche d'affinage

L'effet d'une couche d'affinage, installée sous des amas de fumier de bovins laitiers, sur l'enrichissement du sol, a été étudié par Envir-Eau inc. (2003). La couche d'affinage était composée de couches successives de planures de pin (13 cm), de chaux granulaire (90 kg) et de superphosphate (18 Kg), pour des amas de volume moyen de 5,5 m³. Les planures servent à absorber les liquides. Le superphosphate sert à immobiliser l'azote ammoniacal par la formation de phosphate d'ammonium. La chaux granulaire réagit avec les orthophosphates pour produire de l'hydroxylapatite, qui représente une forme de phosphore moins soluble. Avec une cette couche d'affinage, seul le lixiviat était traité, et non les eaux de ruissellement. Les amas ont été entreposés au champ pendant une période de onze (11) mois, soit de décembre à octobre. L'expérience s'est déroulée sur une seule année. La forme de l'andain combinée à la faible perméabilité du fumier ont fait que la quantité d'eau de ruissellement était 37 fois supérieure à celle du lixiviat (6 490 L vs 175 L). Les pertes en azote étaient plus importantes par ruissellement que par lixiviation (3073 g vs 240 g). La présence d'une couche d'affinage a permis une faible réduction de 89 g, soit 27 % de l'azote. La majorité des pertes en azote se sont effectuées durant les 2 premiers mois d'entreposage (décembre à janvier), soient de 62 % du cumulatif sans couche, 75 % du cumulatif avec couche pour le lixiviat et 58 % par ruissellement. La présence de chaux dans la couche d'affinage et son effet sur l'alcalinité a favorisé la nitrification. Durant la période de mars, avril et mai, les concentrations en nitrates ont atteint 600 mg/l dans le lixiviat provenant des amas avec couche d'affinage.

La concentration en nitrates n'a pas excédé 4,0 mg/l pour les amas sans couche. Pour ce qui est du phosphore, les principales pertes ont été observées dans les eaux de ruissellement (332 g, vs environs 38 g dans le lixiviat). **La présence d'une couche d'affinage n'a pas réduit les pertes de phosphore dans le lixiviat. Au contraire, ces pertes tendaient à être plus élevées d'environ six (6) grammes avec la couche d'affinage. Selon les auteurs, le superphosphate ajouté a possiblement contribué à cette augmentation.** Les pertes en phosphore les plus importantes ont également été observées durant la période de décembre-janvier, soit 45 % des pertes totales par ruissellement et 60 % des pertes totales par lixiviation. Pour ce qui est du potassium, 91% des pertes par écoulement se retrouvaient dans les eaux de ruissellement. Le lixiviat avec couche d'affinage contenait moins de coliformes fécaux. Cependant, l'effet était peu important puisque le nombre de coliformes était significativement plus élevé dans les eaux de ruissellement.

5.4 Utilisation de bandes filtrantes

Les pertes d'éléments fertilisants sont plus importantes par ruissellement que par lixiviation (Envir-Eau, 2003, Grégoire et Côté 2004). Dans le but de contrôler et contenir à proximité des amas, les éléments fertilisants perdus par ruissellement, diverses études ont été réalisées sur l'utilisation de bandes filtrantes en aval des amas de fumier entreposés aux champs.

Une bande filtrante de 10 mètres de largeur, composée de graminées, a été utilisée pour retenir les éléments fertilisants d'un amas de fumier de bovin laitier (Côté et al. 2001). L'amas utilisé mesurait 1,5 mètre de hauteur, 20 mètres de largeur et 25 mètres de longueur pour un volume d'environ 700 m³. L'évaluation de l'efficacité de la bande filtrante était limitée à une seule date d'observation au printemps et ne découlait pas d'analyse statistique. Cependant, l'analyse de l'eau contenue dans les collecteurs situés au pied de l'amas, en aval de la bande et dans des flaques d'eau de fonte des neiges d'un autre site (autre site à l'écart de l'amas et en amont de celui-ci, sur une planche voisine utilisée comme témoin), indique que certains éléments fertilisants ont été retenus (Tableau 17).

Tableau 17. Teneurs en éléments fertilisants des eaux de ruissellement à différents endroits de la bande végétative en comparaison à un témoin*

Endroits	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	N-org (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
Base de l'amas	179	0,39	0	25,4	1400
Aval de la bande végétative	18,4	0,02	8,99	1,99	125
Témoin	0,1	0	0,62	0,92	22

* Adapté de Côté et al. 2001

Dans une revue de littérature, il a été rapporté qu'une bande filtrante d'une largeur de six (6) mètres était efficace pour réduire le contenu en azote et phosphore des eaux de ruissellement en provenance d'amas de fumier (Mulla et al. 1999). Pour ce faire, l'écoulement de l'eau devait s'effectuer en couche mince, et la pente du terrain devait être de moins de 9 %. Selon ce même auteur, une bande végétative est généralement peu efficace pour la réduction des coliformes fécaux contenus dans les eaux de ruissellement en provenance d'amas de fumier entreposé aux champs.

Les effets de l'interaction entre le volume de précipitation, la quantité de fumier entreposé, le type de fumier, la largeur de la bande et la pente ne sont pas documentés. **Par conséquent, il est présentement impossible de procéder au dimensionnement de la bande filtrante dans diverses conditions. D'autres études devraient être réalisées dans ce but. L'effet de ces bandes sur des paramètres pouvant affecter la qualité des eaux de surface comme la DBO₅ devrait également être considéré.**

5.5 Utilisation d'un andain de matériel absorbant

Des pertes d'éléments fertilisants par ruissellement, à partir d'amas aux champs, ont été rapportées l'hiver, lors de période de redoux, et lors de la fonte des neiges (Piché et Ganbazo 1995, Côté et al. 2001, SRG 2002, Envir-Eau inc 2003 Grégoire et Côté 2004). Dans ces conditions, les eaux de ruissellement traversent les bandes filtrantes en raison de la présence de glace (Côté et al. 2001).

Dans le but de contenir à l'intérieur des bandes filtrantes, les éléments fertilisants transportés dans les eaux de ruissellement, diverses études ont été réalisées sur l'utilisation d'andains composés de matériel filtrant. Les matériaux absorbants utilisés sont soit du bran de scie ou encore de la paille. Ces andains sont aménagés en bordure d'une bande filtrante ou près de l'amas de fumier.

Un andain de sciure a été aménagé à la limite d'une bande filtrante de dix (10) mètres de largeur, en aval d'un amas de fumier de bovin laitier (Côté et al. 2001). L'amas de fumier mesurait 1,5 mètre de haut, 20 mètres de large et 25 mètres de long pour un volume de 700 m³. L'andain de sciure, de forme semi-circulaire, mesurait 1 mètre de large à sa base, près de 25 mètres de long et 0,5 mètre de haut. Une couche de glace d'environ 15 cm s'est formée à la base de l'andain de sciure. Cette couche de glace a contribué au rôle de digue de l'andain. Des réductions significatives dans le contenu des eaux de ruissellement ont été obtenues durant l'hiver (Tableau 18).

Tableau 18. Teneurs moyennes en éléments fertilisants des eaux de ruissellement en amont et en aval de l'andain de sciure (hiver 1999-2000)*

Endroits	N-NH ₄	N-NO ₃	N org. (mg/l)	P	K	Mg
Amont	24 a	0,14 a	12,6 a	2,27 a	130 a	12,1 a
Aval	0,397 b	0,277 a	0,562 b	0,113 b	8,96 b	4,86 b

* Adapté de Côté et al. (2001)

Un anneau de paille a été aménagé au pourtour d'amas de fumier de poulet à griller et de dindes (SRG 2002). Des événements de ruissellement ont été créés à partir d'un simulateur de précipitations. Des échantillons d'eau de ruissellement ont été prélevés durant deux (2) périodes soit pendant l'hiver (octobre à avril) et l'été (juin à septembre).

Du ruissellement a été observé tout au long de la période d'entreposage, l'hiver et l'été pour tous les amas. Le ruissellement a été jusqu'à quatre (4) fois supérieur durant la période d'hiver. L'ajout d'un anneau de paille au pourtour des amas a réduit de 50 % le volume des eaux de ruissellement. Cette pratique a également permis de réduire les concentrations en azote ammoniacal et phosphore total dans les eaux de ruissellement respectivement de 85 % et 61 %.

Les essais réalisés par le Soil Research Group (SRG, 2002) pour le ministère de l'Agriculture de l'Ontario (OMAF) ont indiqué un effet bénéfique de l'utilisation d'un anneau de brins de paille dont les dimensions ne sont pas spécifiées, sur des amas de litière de poulet à griller entreposé d'octobre 2001 au printemps 2002. D'après cette étude cet anneau a réduit le volume de ruissellement recueilli de 50 % et la concentration en N-NH₄ et P dans l'eau de ruissellement a été réduite de 1529 mg/l à 227 mg/l et de 493 mg/l à 194 mg/l respectivement par l'effet de filtration de l'anneau de paille.

Les effets de l'interaction entre le volume de précipitation, la quantité de fumier entreposé, le type de fumier, la dimension de l'andain et la pente ne sont pas documentés. **Bien que cette mesure de mitigation donne de bons résultats, les données disponibles ne permettent pas de procéder au dimensionnement d'un andain filtrant dans diverses conditions. D'autres études devraient être réalisées dans ce but. Les effets de ces andains sur des paramètres pouvant affecter la qualité des eaux de surface comme la DBO₅ et la présence de coliformes fécaux devraient également être considérés.**

5.6 Durée d'entreposage

Aucune étude n'a été réalisée spécifiquement sur l'effet de la durée d'entreposage sur les pertes d'éléments fertilisants en provenance d'amas de fumier. Toutefois, certains auteurs rapportent des observations à ce sujet.

Les pertes d'éléments fertilisants d'amas de fumier de bovin de boucherie ont été mesurées pendant des durées d'entreposage de 7,2 mois et de 9,6 mois (Grégoire et Côté 2004). Cependant, les essais avaient été réalisés sur deux (2) années différentes. Le premier essai s'est déroulé du 28 novembre au 14 juillet 2001 (7,2 mois), alors que le second s'est déroulé du 4 décembre 2001 au 17 septembre 2002 (9,6 mois).

Tableau 19. Pertes d'éléments fertilisants lors de différentes durées d'entreposage *

Durée d'entreposage (mois)	Pertes en azote	Pertes en phosphore	Pertes potassium
		(% de la quantité initiale)	
7,2	19,98	14,13	24,54
9,6	33,32	18,78	44,59

* Adapté de Grégoire et Côté 2004.

Les pertes ont été plus élevées dans le second essai, principalement en raison d'une période d'entreposage plus longue de 2,4 mois.

Différents facteurs doivent être considérés avant l'utilisation de cette approche. D'une part, la réduction de la durée d'entreposage au champ, implique l'utilisation d'une structure d'entreposage à la ferme. D'autre part, davantage d'études sont requises pour évaluer l'effet de la durée d'entreposage sur les quantités d'éléments fertilisants perdus. Il est possible que d'abondantes précipitations, en début d'entreposage, atténuent les avantages de la durée.

6.0 ANALYSE DE MÉTHODES DE MITIGATION

Dans le but d'évaluer l'utilisation de méthode de mitigation des impacts environnementaux de l'entreposage d'amas de fumier aux champs, certains des résultats rapportés ont été utilisés. Les données utilisées proviennent de différentes études réalisées dans des diverses conditions. Par conséquent, les éléments présentés dans cette section, ne constituent pas des modèles pouvant permettre d'évaluer avec précision, l'impact environnemental de l'entreposage d'amas de fumier aux champs. L'exercice réalisé donne un aperçu de ce que l'implantation de mesures de mitigation pourrait avoir sur les pertes en éléments fertilisants par ruissellement.

À la lumière des résultats rapportés dans les diverses études consultées, il est ressorti que:

- La majorité des éléments fertilisants perdus se retrouve dans la couche superficielle de sol;
- Le fumier restant après l'enlèvement des amas contribue à l'enrichissement du sol en éléments fertilisants;
- Les quantités d'éléments fertilisants restant dans le sol après l'enlèvement des amas, sont supérieures aux prélèvements des cultures;
- L'azote ammoniacal accumulé dans la couche superficielle de sol, après l'enlèvement des amas, est transformé en nitrates par le processus de nitrification. La concentration en nitrates dans le profil peut alors excéder la norme de 10 mg /l;
- La majorité du phosphore est perdu dans les fines particules auxquelles il est fixé et qui se retrouvent dans le sol suite à la reprise de l'amas à la fin de l'entreposage, le vecteur de ces pertes étant majoritairement l'eau de ruissellement;
- Les bandes végétatives ralentissent le déplacement des éléments contenus dans les eaux de ruissellement, durant les périodes où ces bandes ne sont pas recouvertes de glace;
- La présence d'un andain de matériel absorbant comme la paille ou le bran de scie, absorbe une certaine quantité d'eau de ruissellement, ce qui en réduit le contenu en éléments fertilisants;
- La durée d'entreposage influence la quantité d'éléments fertilisants perdus;
- Il existe un lien entre la quantité de fumier entreposé et la quantité d'éléments fertilisants perdus.

À partir de ces informations, les effets de l'entreposage temporaire d'amas de fumier sur l'enrichissement des sols et le contenu des eaux de ruissellement ont été évalués en simulant les effets de mesures de mitigation rapportées. Les mesures de mitigation utilisées dans l'évaluation ont été:

- Une durée d'entreposage de 7,2 mois et de 9,6 mois;
- L'entreposage d'une quantité de fumier de bovin laitier n'excédant pas les besoins en phosphore de la culture;
- L'enlèvement ou non d'une couche de sol de 5 cm sous les amas au moment de la reprise;
- La présence ou non d'une bande végétative de 10 mètres de largeur située en amont de l'andain;
- La présence ou non d'un andain filtrant à la limite de la bande végétative.

Le type de fumier, la dimension et le volume de l'andain de même que les autres facteurs utilisés ont été:

- Fumier de bovin laitier;
- Surface au sol occupée par les andains de 1,62 m²/tonne de fumier, basé sur une hauteur d'andain de 1 mètre, une largeur à la base de 4 mètres, un replat au sommet de 1,5 mètre, une longueur de 10 mètres et une densité de 900 Kg/m³;
- Une culture de maïs d'une superficie de 10 Ha;
- Des besoins en P₂O₅ de 40 Kg/Ha.

La composition du fumier de bovin d'abattage apparaît au tableau 20. La masse de fumier, la surface occupée par l'andain de même que le pourcentage de la superficie du champ occupée par l'andain de fumier, apparaissent au tableau 21. Les quantités d'éléments fertilisants retrouvées dans le sol et les eaux de ruissellement et de lessivage, pour des périodes de 7,2 et 9,6 mois apparaissent dans les tableaux 22 et 23. La période de 7,2 mois a été dérivée des données du tableau 19. Le tableau 24 rapporte le pourcentage d'éléments fertilisants retenus par une bande filtrante. Le tableau 25 rapporte le pourcentage d'éléments fertilisants retenus par un andain absorbant.

Tableau 20. Teneur en azote, phosphore, potassium, matière sèche et densité d'un fumier de bovin d'abattage*

N (Kg/T)	P ₂ O ₅ (Kg/T)	K ₂ O (Kg/T)	Matière sèche (%)	Densité** (Kg/m ³)
5,7	3,6	5,3	21,2	1000

* Source: CRAAQ 2003

* Source: Grégoire et Côté 2004

Tableau 21. Caractéristiques de l'andain entreposé

Masse de l'andain (T)	Surface occupée par l'andain (m2)	Pourcentage de la surface du champ occupé par l'andain (%)
170	276	0,28

Tableau 22. Charges en éléments fertilisants retrouvées dans les eaux combinées de ruissellement et drainage et dans le sol pendant une période d'entreposage de 9,6 mois*.

Sources	Charge en azote	Charge en phosphore (Kg/1000 Kg de fumier base humide)	Charge en potassium
Sol (0-25 cm)	0,224	0,044	1,013
Sol (25-50 cm)	0,115	0,017	0,338
Eaux ruissellement et lessivage	0,062	0,004	0,296

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

Tableau 23. Charges en éléments fertilisants retrouvées dans les eaux combinées de ruissellement et drainage et dans le sol pendant une période d'entreposage de 7,2 mois*.

Sources	Charge en azote	Charge en phosphore (Kg/1000 Kg de fumier base humide)	Charge en potassium
Sol (0-25 cm)	0,134	0,033	0,557
Sol (25-50 cm)	0,069	0,013	0,186
Eaux ruissellement et lessivage	0,037	0,003	0,1628

* Adapté de Grégoire et Côté 2004

Tableau 24. Pourcentage de capture d'éléments fertilisants par une bande végétative*

N	P	K
Pourcentage de capture (%)		
89	92	91

* Adapté de Côté et al. 2001

Tableau 25. Pourcentage de capture d'un andain absorbant*

N	P	K
Pourcentage de capture (%)		
98	95	93

*Adapté de Côté et al. 2001

Le tableau 26 résume les différentes simulations effectuées pour évaluer l'effet des mesures de mitigation sur l'enrichissement des sols et les pertes par ruissellement.

Tableau 26. Description des simulations effectuées

Simulations	Description
1	Aucun enlèvement de sol, durée d'entreposage 9,6 mois, aucune bande végétative, aucun andain absorbant
2	Enlèvement d'une couche de 5 cm de sol, durée d'entreposage 7,2 mois, aucune bande végétative, andain absorbant
3	Enlèvement d'une couche de 5 cm de sol, durée d'entreposage 7,2 mois, bande végétative, andain absorbant

Les tableaux 27, 28 et 29 rapportent les résultats des simulations utilisées pour évaluer l'enrichissement du sol sous les amas de même que les pertes dans les eaux de ruissellement. Dans l'ensemble des simulations effectuées, il a été assumé que la totalité des éléments perdus dans les eaux combinées de ruissellement et de lessivage se retrouvaient dans les eaux de ruissellement.

Selon les résultats obtenus suite aux diverses simulations, l'utilisation des méthodes de mitigation évaluées permettrait de réduire les quantités d'éléments fertilisants se retrouvant dans les eaux de ruissellement. Toutefois, les mesures de mitigation simulées n'indiquent rien sur le devenir des eaux de ruissellement. Il est possible que ces eaux de ruissellement contaminent les eaux de surface et souterraines dans certaines conditions. **Des essais pilotes devraient être conduits, sous diverses conditions de fumier, sols et climats dans le but de valider ces résultats et d'assurer que cette pratique ne se traduit pas par une contamination des eaux de surface et souterraines, malgré l'utilisation de mesures de mitigation.**

Tableau 27. Résultats obtenus pour la simulation 1

Éléments	Enrichissement du sol couche 0-25 cm (Kg/Ha)	Masse des éléments perdus dans les eaux de ruissellement (Kg)
N	1384	10,6
P2O5	622	0,68
K2O	7518	50,6

Tableau 28. Résultats obtenus pour la simulation 2

Éléments	Enrichissement du sol couche 0-25 cm (Kg/Ha)	Masse des éléments perdus dans les eaux de ruissellement (Kg)
N	166	0,13
P2O5	93	0,03
K2O	826	1,95

Tableau 29. Résultats obtenus pour la simulation 3

Éléments	Enrichissement du sol couche 0-25 cm (Kg/Ha)	Masse des éléments perdus dans les eaux de ruissellement (Kg)
N	166	0,013
P2O5	93	0,002
K2O	826	0,175

7.0 RECOMMANDATIONS VENANT DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les références bibliographiques analysées indiquent plusieurs mesures de mitigation. Dans certains cas ces mesures de mitigation sont intégrées dans une réglementation qui doit être obligatoirement respectée, dans d'autres cas elles se traduisent par des recommandations présentées dans des documents de vulgarisation et d'assistance technique. Dans presque tous les cas, les recommandations ou mesures de mitigation obligatoires ne peuvent être reliées à un processus de recherche et développement scientifique. Dans plusieurs cas aussi, les mesures de mitigation ou recommandations sont générales et ne tiennent pas compte de toutes les conditions spécifiques du site et du fumier considérés.

En ce qui concerne les données venant de sources européennes, nous n'avons pas trouvé de références scientifiques portant spécifiquement sur l'utilisation des amas au champ. Une grande quantité de projets de recherche ont porté sur la fertilisation, la migration des éléments fertilisants vers les eaux de surface et souterraines, les taux de soutirage de ces éléments par différentes cultures, etc.

Le cas du Royaume-Uni est très intéressant en ce sens. Au Royaume-Uni beaucoup de projets de recherche, d'essais au champ et de surveillance de la contamination des eaux souterraines ou de surface par les nitrates et de pertes d'azote par volatilisation venant des fumiers ont été réalisés et se poursuivent (notamment les travaux réalisés avec la participation de B.J. Chambers). Ce processus a notamment mené à la mise en place de deux (2) principales mesures. D'abord l'identification de régions vulnérables à la pollution par les nitrates (Nitrate Vulnerable Zones - NVZ) en vertu d'une norme européenne (Nitrates Directive (91/676/EEC). Ensuite l'application d'un programme d'action obligatoire et détaillé sur la fertilisation pour protéger les zones les plus à risque incluant une réglementation, le « Code of Good Agricultural Practice for the Protection of Water ». Cette réglementation implique des conditions plus contraignantes et un monitoring accru (effets sur les eaux de surface et souterraines) dans les NVZ. La seule référence à l'utilisation des amas au champ dans cette réglementation donne quelques recommandations générales : les amas au champ sont des moyens de stockage « temporaires », soit quelques mois, et ne doivent pas poser de risque de contamination de l'eau par le ruissellement, on ne doit pas installer d'amas sur des sols où sont installés des drains souterrains, à moins de 50 mètres d'un puits d'eau potable et à moins de 10 mètres d'un cours d'eau (DEFRA, 2002). Un des spécialistes anglais responsable de l'émission de ces recommandations, monsieur B.J. Chambers de la société ADAS a indiqué qu'elles avaient été émises uniquement sur la base de considérations de bons sens par un comité d'experts et non pas basé sur un programme de recherche et d'essais scientifiques. Cependant les pratiques agricoles en Europe ne paraissent pas utiliser les amas au champ pour des périodes prolongées de plusieurs mois comme au Québec ou ailleurs au Canada.

Dans le cas de la France, des prescriptions techniques sont imposées sur l'utilisation des amas au champ dans deux (2) textes légaux (France, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Arrêté du 7 février 2005). Ainsi, seuls les fumiers dont la consistance permet de faire un tas qui se tient et de ne pas produire d'écoulement latéral du jus sont acceptables pour faire des amas sur une période ne dépassant pas dix (10) mois. Le volume doit être stocké sur les parcelles réceptrices, correspondre aux besoins en fertilisants de celles-ci et le retour sur un même emplacement ne peut être effectué avant un délai de trois (3) ans. Pour les fumiers moins âgés que deux (2) mois, un entreposage préalable d'au moins deux (2) mois sur plate-forme pour obtenir une stabilisation naturelle est exigé avant de pouvoir faire un amas au champ. Des critères de distances séparatrices (100 mètres des habitations, au moins 35 mètres d'un puits, etc.) sont aussi imposés. Il n'est pas fait mention des types de sol, des conditions de précipitation, de mesures de mitigation, etc. Les contacts faits avec des gens de l'INRA ou d'autres organismes en France n'ont pas permis de faire ressortir de programmes de recherche spécifiques sur les amas au champ. L'avis de Madame Sophie Agasse du Service Agronomie Environnement de l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture à Paris, qui nous a transmis les textes de loi précités, est qu'ils auraient plutôt été produits par des comités ou sur l'avis d'experts lors de l'établissement des premières versions qui remontent au début des années quatre-vingt.

Dans le cas des États-Unis, certaines restrictions sont imposées à l'utilisation des amas au champ, mais les conditions ne sont pas complètement uniformes à la grandeur du pays. Nous n'avons pas non plus trouvé de références scientifiques directement à la base de ces conditions aux États-Unis. Nous avons notamment rejoint le docteur Gary K. Felton de l'université du Maryland, qui est un des experts dans ce domaine aux U.S.A. Celui-ci nous a confirmé qu'il existe peu d'études sur les amas au champ aux U.S.A. Il nous a aussi indiqué que les normes fournies dans les documents du USDA tel que le code 313 du Natural Resources Conservation Service (NRCS) n'étaient pas issus de travaux de recherche précis mais plutôt rédigés à partir des avis de comités d'experts tels que lui-même et de documents de référence techniques pour le dimensionnement et la construction de structures d'entreposage à même le sol.

Le cas du Maryland est intéressant puisque la production de volaille y est très importante et que c'est un des états où la gestion des fertilisants organiques est la plus strictement encadrée, en raison de la détérioration et de la sensibilité de l'écosystème de la baie de Chesapeake. La plus importante restriction à mentionner dans ce cas est l'obligation de limiter l'utilisation des amas au champ à une période maximale de sept (7) jours pour les fumiers solides disposés suivant le programme de l'état du Maryland de transport et épandage des fumiers solides chez les receveurs (Maryland Department of Agriculture, 2005). Si le fumier solide est entreposé au champ pour de plus longues périodes, des mesures de mitigation (Maryland Cooperative Extension, 1990) telles que l'utilisation de recouvrement étanche, de membranes étanches sur le sol ou des entrepôts à fumier couverts doivent être utilisées.

Au Minnesota, qui est un autre état avancé dans la gestion environnementale des fumiers, on permet un entreposage d'une durée maximale d'un an mais qui doit respecter certaines conditions telles que des distances (par rapport aux points d'eau, route, d'un champ drainé, etc.), type de sol, pente du sol, ne pas stocker année après année sur le même site, fournir un registre, limiter la quantité stockée aux besoins en fertilisants, etc. (Minnesota Pollution Control Agency, 2001).

Dans le reste du Canada la réglementation sur l'utilisation des amas au champ varie d'une province à l'autre mais là encore elle n'est pas issue de programmes de recherche scientifiques spécifiques sur ce sujet. La réglementation la plus détaillée est celle adoptée par l'Ontario qui est obligatoire pour la grande majorité des fermes dans cette province. Le règlement utilisé en Ontario impose plusieurs critères de base à respecter pour l'utilisation des amas au champ. De plus, une grille de calcul est aussi imposée pour établir la durée maximale d'entreposage autorisée en fonction du score imputé à plusieurs paramètres à évaluer pour le cas spécifique considéré. Cependant, la réglementation limite notamment cette durée d'entreposage à au plus 300 jours et sur des pentes de sol ayant 3 % au maximum. L'auteur principal de la réglementation en Ontario, Monsieur Hugh W. Fraser, a indiqué (communication personnelle) que celle-ci avait été établie à partir de l'expérience et du jugement de professionnels du domaine et n'était pas basée sur un programme d'essais ou de recherche scientifique. Un projet de recherche ontarien pertinent sur les amas de fumier de volaille et des mesures de mitigation pour réduire les rejets d'éléments fertilisants et de bactéries dans l'eau (SRG, 2002) est une des seules références utilisées par les auteurs de la réglementation ontarienne.

8.0 PRINCIPAUX ÉLÉMENTS À VALIDER

Malgré le peu d'information disponible sur les amas au champ venant d'essais scientifiques, plusieurs méthodes de mitigations sont rapportées et semblent constituer un gain environnemental qui devrait être évalué sur des bases scientifiques par rapport aux impacts sur la qualité des eaux de surface et souterraines :

- Entreposer les amas de fumier que sur les parcelles réceptrices (voir réglementation française, section 7);
- Entreposer uniquement le volume requis pour combler les besoins en phosphore de la parcelle réceptrice (Minnesota Pollution Control Agency 2001 – section 7);
- Entreposer les amas de fumier sur des sols dont la conductivité hydraulique est inférieure à 10^{-4} cm/s (voir Envir-Eau, février 2001 - section 4.2);
- Entreposer les amas de fumier sur des parcelles n'ayant pas de drains agricoles et dont la profondeur de la nappe phréatique est de plus de 1 m (Côté et al. 2001 - section 5.2, Envir-Eau février 2001 – section 4.2);
- Limiter la durée d'entreposage en fonction de critères de sensibilité du cas considéré (voir section 5.6);
- Prélever une couche de 5 cm de sol, sous l'aire d'entreposage des amas (Côté et al. 2001, section 5.2);
- Laisser une bande filtrante d'au moins 10 m de largeur en périphérie des amas (Côté et al. 2001, section 5.4);

- Aménager un andain de matériel absorbant, comme de la sciure de bois en amont de la bande filtrante. La largeur et la hauteur minimale de l'andain devaient être respectivement de 1 m et de 0,5 m (Côté et al. 2001, section 5.5);
- Entreposer les amas sur des parcelles dont la pente est inférieure à 5 % (valeur située entre la recommandation Ontarienne de 3 %- section 7 et celle de Mulla et al 1999 – section 5.4);
- Changer l'emplacement des amas à chaque année, de telle sorte que les amas ne se retrouvent pas au même endroit (Minnesota Pollution Control Agency 2001 – section 7, règlement français – section 7);
- Former les andains de façon à favoriser davantage l'infiltration d'eau que le ruissellement (voir Envir-Eau, février 2001 - section 4.2);
- Effectuer un échantillonnage de sols dans la couche de 0-20 cm, sous l'aire d'entreposage des amas, de même qu'en amont de la bande végétative et de l'andain de sciure, pour déterminer l'enrichissement du sol en nitrates, azote ammoniacal, phosphore et potassium. L'échantillonnage devrait être effectué à chaque année et rapporté dans les PAEF. Les zones d'entreposage des amas de fumier ne devraient recevoir aucune fertilisation supplémentaire (voir section 3.3);
- Des études devraient être réalisées notamment sur l'établissement de cultures dans la zone d'entreposage des amas et leurs effets sur le prélèvement des éléments fertilisants accumulés dans le profil de sol (voir section 3.3);
- De plus, nous constatons que les méthodes de mitigations rapportées ont été étudiées presque essentiellement en fonction des aspects agronomiques reliés aux amas au champ. Les chercheurs qui ont réalisé ces études sont des agronomes. Les aspects hydrogéologiques, de l'ingénierie, de l'hydrologie, économiques ainsi que ceux touchant à la santé (pathogènes) n'ont pas toujours été considérés. Dans une approche de développement durable, il y aurait lieu de faire des suivis par un groupe multidisciplinaire de chercheurs afin d'évaluer sur une base scientifique les impacts environnementaux des amas au champ en considérant tous ces différents aspects;
- Par exemple concernant les aspects relevant de l'ingénierie l'utilisation de membranes imperméables pour l'entreposage des amas de fumier devrait également faire partie d'un projet d'étude. Cette pratique, pourrait sans doute réduire l'enrichissement des sols et par conséquent la contamination des nappes, et déterminer au cas par cas les flux (concentration et quantités) de contaminants en fonction des designs et des objectifs environnementaux à atteindre;
- Par exemple concernant les aspects relevant de l'hydrogéologie : faire un suivi de la qualité chimique et bactériologique des eaux souterraines à l'aide de puits d'observation localisés à des points stratégiques du site;
- Etc.

À cet effet, des projets pilotes devraient être élaborés pour valider l'ensemble des éléments énumérés dans cette section. La mise en place d'un programme de tels projets pilotes permettrait d'identifier les objectifs et les résultats à atteindre, les moyens à mettre en place pour y parvenir et les suivis à réaliser pour vérifier l'atteinte de ces objectifs. Enfin, une évaluation des résultats obtenus devra être réalisée le cas échéant.

9.0 CONCLUSION

Pour l'ensemble des rapports de recherche consultés, les amas de fumier temporairement entreposés aux champs perdaient des éléments fertilisants et dans certains cas des coliformes fécaux, par ruissellement et lixiviation. Selon ces mêmes études, différents facteurs pouvaient influencer les quantités d'éléments fertilisants perdus et leur mouvement vers les eaux de surface ou les eaux souterraines. Parmi ces facteurs certains sont imprévisibles et difficilement contrôlables, comme les précipitations et les périodes de redoux en hiver. Bien que certaines des mesures de mitigation rapportées, permettaient de réduire les pertes et le mouvement des éléments fertilisants dans les sols et les eaux de surface et souterraines, leur efficacité dans diverses conditions demeure inconnue.

Par conséquent, considérant les informations tirées de ces études et autres documents consultés, on ne peut pas présentement établir des critères pour l'entreposage temporaire d'amas de telle sorte que l'on puisse garantir, au même titre que l'entreposage étanche, pour l'ensemble des conditions pouvant être rencontrées au Québec, qu'ils ne porteront aucunement préjudice à la qualité des eaux de surface et souterraines. Cette revue n'a pas permis de clarifier, dans le contexte nord-américain voire même international les impacts des amas aux champs sur l'environnement et d'établir les critères techniques de pratiques pour assurer le non-écoulement des contaminants vers les eaux de surface ainsi que la protection des eaux souterraines dans le contexte québécois. L'information existante nous apparaît donc insuffisante pour élaborer un guide complet de conception technique appuyé sur des bases scientifiques sécuritaires pour assurer le non écoulement des contaminants vers les eaux de surface ainsi que la protection des eaux souterraines dans le contexte québécois pour l'entreposage d'amas au champ.

Différents projets pilotes incluant des méthodes de mitigation, devraient être réalisés dans le but d'accroître les connaissances à ce sujet, tel qu'indiqué aux paragraphes 5,6 et 8 ci-avant. Puisqu'il s'agit d'un entreposage de fumier sur une structure non étanche, et qu'il y a perte d'éléments fertilisants et coliformes fécaux, cette pratique a le potentiel de porter préjudice à la qualité de l'environnement si elle n'est pas encadrée par des mesures de contrôle et de mitigation basées sur des essais concluants et pertinents aux conditions du Québec.

10.0 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bernard C., 1984. Détermination de la contribution des activités agricoles à la dégradation des eaux, Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de l'assainissement agricole, 25 pages.

Biorex inc. Avril 1994. Bilan Massique de deux régies du fumier incluant le compostage sur la ferme laitière québécoise. Rapport final présenté au ministère de l'Environnement du Québec. Biorex inc., 969 Route de l'église Bureau 250, Sainte-Foy (Québec).

Chadwick D.R., Matthews R., Nicholson R.J., Chambers B.J., Boyles L.O., 2002. Management Practices to Reduce Ammonia Emissions from Pig and Cattle Stores. Proceedings of the FAO Conference RAMIRAN 2002 (Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture).

Coote, D.R. et F.R. Hore, 1978. Pollution Potential of Cattle Feedlots Manure Storages in the Canadian Great Lakes Basin. Agricultural Watershed Studies, Agriculture Canada, 131 pages.

Côté Denis, Lauzier Richard, Pinard Germain, 2001. Projet de recherche no 041006 IRDA Juin 2001 : L'entreposage hivernal au champ de fumier frais de bovin. Évaluation de l'innocuité environnementale du ruissellement et du lessivage des lixiviats.

Craaq 2003. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Période transitoire charges fertilisantes des effluents d'élevage. Modalités de reconnaissance des valeurs de références pour la période transitoire.

Dowling C. 1998. Thèse de doctorat, University of New England, Faculty of Environmental Sciences.

DEFRA 2002. Guidelines for Farmers in NVZs-England. Guide publié par le Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) au Royaume Uni pour les Nitrate Vulnerable Zones (NVZs).

Dubé et Boulanger, 1983. Étude relative aux migrations d'éléments dans le sol autour des tas de fumier, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Service de recherche en sols, 64 pages.

Electorowicz, M. 1992. Mesure de l'incidence des amas de fumier sur les eaux souterraines, de surface. Rapport interne no 3331,05,10. PAAGF au ministère de l'Environnement du Québec.

Electorowicz, M. R.N. Young. 1992. Répercussions de la gestion classique des fumiers sur la qualité des eaux souterraines. Centre de recherche géotechnique de l'université McGill. Symposium sur la recherche et le développement en gestion environnementale des effluents d'élevage au Québec, 9 et 10 septembre 1992. Textes de conférences, Sainte-Foy, Hôtel Québec, Envirodoq Eno20404, 444 pages.

France, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Arrêté du 7 février 2005 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins, de volaille et/ou de gibier à plumes et de porcs.... 2 documents portant les numéros DEVP054078A et DEVP054077A

Envir-Eau inc. Janvier 2001. Évaluation des impacts potentiels du lixiviat généré par l'entreposage en champ d'amas de fumiers de bouillons d'abattage ou de poulets à griller. Rapport final préparé pour la Fédération des producteurs de bovins du Québec. La Fédération des producteurs de volailles du Québec, le ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Envir-Eau inc. 160, boul. de l'hôpital, Gatineau (Québec) 76 pages.

Envir-Eau inc. Février 2001. Entreposage au champ d'amas de fumiers de vaches laitières. Rapport final préparé pour la Fédération des producteurs de lait du Québec. Envir-Eau inc. 160, boul. de l'hôpital, Gatineau (Québec) 76 pages.

Envir-Eau inc. Janvier 2003. Entreposage de fumiers sur sol naturel. Rapport final préparé pour la Fédération des producteurs de lait du Québec. Envir-Eau inc. 160, boulevard de l'hôpital, Gatineau (Québec) 27 pages.

Felton, G. K. , Carr L.E. et Habersack M.J., 2003. Nutrient Fate and Transport Associated with Poultry Litter Stock Piles. Présentation faite au 2003 ASAE Annual International Meeting.

Grégoire, Rodrigue et Côté, Denis. 2004. Mesures du ruissellement et de la percolation du lixiviat pour des amas de fumier de bovins de boucherie contenant deux niveaux de litière. Rapport final. Projet de recherche N° 110122. Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement.

Jobin, P et al, 1992. Évaluation des différents systèmes de compostage de fumier à la ferme. Rapport préliminaire présenté à Agriculture Canada.

Maryland Cooperative Extension - University of Maryland, 1990. Fact Sheet 416 : Structures for Broiler Litter Manure Storage.

Maryland Department of Agriculture, 2005. Manure Transportation Project – Delivery Site Guidelines (103).

Maryland Department of Agriculture, 2005. Manure Transportation Project – Stockpiling Guidelines : Temporary Farm Field Storage (103).

Minnesota Pollution Control Agency, 2001. Technical Guidelines for Stockpiling of Manure. Feedlot Rule Summary.

Moore J.C. et F.W. Madison, 1985. Description and application of an animal waste phosphorus load information model. *Journal of environmental quality*, vol 14 (3): 364-369.

Natural Resources Conservation Service (USA), 2003. Conservation Practice Standard – Waste Storage Facility. Code 313.

Piché, I. et G. Gangbazo, 1995. Incidence des tas de fumiers sur la qualité des eaux de surface. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 40 pages.

Robinson J.B. et D.W. Draper, 1978. A model for estimating Inputs to the Great Lakes from livestock Enterprises in Great Lakes Basin. *Agricultural Watershed Studies*, Guelph, Ontario, 29 pages.

Sagoo E., Williams J.R., Chambers B.J., Boyles L.O., Matthews R., Chadwick D.R., 2004. Integrated Management Practices to Minimise Losses and Maximise Crop Nitrogen Value of Broiler Litter. *Proceedings of the FAO Conference RAMIRAN 2004 (Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture)*.

SRG 2002. Protecting Water Quality Through Improved Storage Methods for Poultry Manure. Soil Resource Group 503-1 Imperial Road North, Guelph, (Ontario) N1H 6T9. 43 pages

Tisdale, S.L., J. Havlin, J. D. Beaton and W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*. Sixth Edition. Prentice Hall inc. Upper Sadle River, NJ 07458. ISBN 0-13-626806-4.

11.0 SOMMAIRE

Afin d'assurer une utilisation environnementale sécuritaire des amas aux champs en alternative à l'entreposage étanche, RÉSEAU environnement a mandaté PGA Expert inc., pour réaliser une revue de littérature sur ce sujet. RÉSEAU Environnement avait proposé d'analyser l'information existante et d'identifier les informations manquantes, s'il y avait lieu, afin d'émettre des recommandations pertinentes à l'élaboration d'un guide de conception des amas aux champs.

Malheureusement, très peu de travaux de recherche ont été réalisés sur l'impact environnemental de l'entreposage temporaire d'amas de fumier aux champs. La majorité des documents trouvés provenaient de la province de Québec. Il s'agit en fait de la province possédant le plus de publications scientifiques sur ce sujet. Les autres provinces canadiennes et pays consultés, ont procédé à l'élaboration de guides basés sur des pratiques jugées sécuritaires plutôt que sur des résultats de recherches scientifiques.

Pour l'ensemble des rapports de recherche consultés, les amas de fumier temporairement entreposés aux champs perdaient des éléments fertilisants et dans certains cas des coliformes fécaux, par ruissellement et lixiviation. Différents facteurs pouvant influencer les quantités d'éléments fertilisants perdus et leur mouvement vers les eaux de surface ou les eaux souterraines ont été identifiés. Parmi ces facteurs, certains sont imprévisibles et difficilement contrôlables, comme les précipitations et les périodes de redoux en hiver. Certaines des mesures de mitigation rapportées, permettaient de réduire les pertes et le mouvement des éléments fertilisants dans les sols et les eaux de surface et souterraines, dans des conditions bien précises. L'efficacité de ces méthodes de mitigation dans diverses conditions demeure inconnue.

L'information existante est insuffisante pour élaborer un guide de conception technique appuyé sur des bases scientifiques sécuritaires pour assurer le non écoulement des contaminants vers les eaux de surface ainsi que la protection des eaux souterraines dans le contexte québécois pour l'entreposage d'amas au champ. L'information actuelle ne permet pas de garantir, au même titre que l'entreposage étanche, pour l'ensemble des conditions pouvant être rencontrées au Québec, que l'entreposage d'amas de fumier au champ ne portera aucunement préjudice à la qualité des eaux de surface et souterraines. Cependant des études laissent présager que certaines mesures de mitigation auraient un effet bénéfique sur la gestion des risques liés aux amas sans qu'il soit toutefois possible de quantifier, pour l'instant, cet effet de façon exacte. Différents projets pilotes incluant ces méthodes de mitigation, devraient donc être réalisés dans le but d'accroître les connaissances à ce sujet. Puisqu'il s'agit d'un entreposage de fumier sur une structure non étanche, et qu'il y a perte d'éléments fertilisants et coliformes fécaux, cette pratique a le potentiel de porter préjudice à la qualité de l'environnement si elle n'est pas encadrée par des mesures de contrôle et de mitigation basées sur des essais concluants et pertinents aux conditions du Québec.