

Impact agroenvironnemental de l'utilisation de différents résidus forestiers en grandes cultures

BERNARD GAGNON¹, NOURA ZIADI¹

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560, boul. Hochelaga, Québec (Québec) G1V 2J3
Courriel : bernard.gagnon@agr.gc.ca

Mots clés : biosolides papetiers, résidus alcalins, cendres de bois, maïs, soya

Introduction

Au Québec, 750,000 tonnes humides de matières résiduelles fertilisantes (MRF) ont été appliquées sur les champs agricoles en 2010 (Hébert et Chaker, 2011) dont près de la moitié étaient constituées de biosolides générés par l'industrie des pâtes et papiers, et un autre 90,000 tonnes étaient composées d'amendements calcaires et magnésiens (cendres, poussières de cimenterie, boues de chaux, etc.) auxquels s'ajoutent les résidus non répertoriés de scierie. Actuellement, les trois quarts des MRF sont valorisés dans les régions administratives du Centre-du-Québec, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Montérégie et Mauricie.

Les biosolides papetiers sont riches en matière organique et peuvent également constituer une source de grande valeur en N et P pour les cultures (Camberato et al. 2006). Pour leur part, les résidus alcalins peuvent apporter certains éléments minéraux tout en accroissant le pH des sols. L'épandage des MRF sur les sols agricoles est soumis à une réglementation provinciale stricte quant aux contaminants chimiques et aux agents pathogènes (Québec MDDEP 2008). Les biosolides papetiers font en général l'objet de peu de contraintes d'utilisation puisqu'ils représentent un risque négligeable pour la santé (Charbonneau et al. 2001). Par contre, certains résidus alcalins tels les cendres de bois sont plus riches en métaux. Jusqu'à ce jour, il y a peu d'études disponibles sur les effets d'application à long terme de ces produits sur les cultures commerciales. Au cours de cette présentation, il sera question de quelques projets, bien concrets, d'utilisation en grandes cultures de biosolides papetiers et résidus alcalins, et de leurs impacts sur la qualité des récoltes et l'environnement.

Projet Mauricie

À Yamachiche en Mauricie, l'apport de biosolides papetiers mixtes s'est fait avec des résidus alcalins (boues de chaux, cendres de bois, chaux agricole) pendant neuf années consécutives sur un sol loameux, en post-levée de maïs-grain (2000–2002, 2004, 2006–2008), de haricot sec (2003) et de soya (2005). De 2000 à 2008, les biosolides ont été appliqués sur des parcelles de 3 m × 10 m à des taux de 0, 30 et 60 t hum. ha⁻¹, alors que les résidus alcalins ont été appliqués à un taux de 3 t hum. ha⁻¹ en mélange avec 30 t ha⁻¹ de résidus papetiers. De 2003 à 2008, deux traitements ont été ajoutés, soit des biosolides appliqués à 90 t hum. ha⁻¹ et un traitement de fertilisation N minéral (120 unités pour le maïs et 20 unités pour les légumineuses). Un supplément de N minéral (45 kg N ha⁻¹ en moyenne) a été apporté à la dose de 30 t de biosolides au cours des six dernières années pour combler les besoins en N du maïs.

L'application annuelle répétée de boues de chaux suivie par la chaux agricole a procuré les augmentations de pH les plus importantes tout au long de l'étude. Les cendres de bois se sont situées à un niveau intermédiaire. Il n'y a pas eu de différences significatives entre les traitements pour le rendement lors des trois premières années. Suite à un changement dans la provenance des biosolides papetiers et des cendres de bois, les rendements ont augmenté avec les doses de biosolides dans le maïs et le haricot sec, avec l'engrais minéral dans le maïs, et avec les cendres de bois dans le haricot sec et le soya (Tableau 1). Les biosolides appliqués à 30 t hum. ha⁻¹ avec un supplément d'azote ou à 60 t hum. ha⁻¹ seule ont permis d'obtenir des rendements comparables à l'engrais N minéral dans le maïs. L'analyse au cours de la saison des flux d'échange anionique a indiqué que les biosolides papetiers mixtes étaient une source immédiate de P pour la culture maïs que les nitrates n'étaient accessibles que quelques semaines plus tard dû à la faible teneur en N inorganique des matériaux (< 1% du N total). Conséquemment, les doses ≥ 60 t hum. ont occasionné des pertes de nitrates par lessivage à l'automne. Comparativement à l'engrais N minéral, ces biosolides ont fourni 40% de l'azote nécessaire aux cultures. D'autre part, les biosolides appliqués à un taux ≤ 30 t hum. ha⁻¹ n'ont pas accru la teneur en métaux (Cu, Zn, Cd et Mo) des cultures. Toutefois, l'application répétée de produits chaulants, de par leur effet sur le pH du sol, a augmenté de façon importante la teneur en Mo des plants de soya, ce qui peut représenter un risque pour l'alimentation des ruminants en induisant une déficience métabolique en cuivre.

Tableau 1. Effet des biosolides papetiers et résidus alcalins sur le rendement en grains des cultures (2003-2008)

Traitement	Maïs	Haricot sec	Soya
	-----t ha ⁻¹ -----	-----kg ha ⁻¹ -----	-----kg ha ⁻¹ -----
N minéral	11.7	2982	3931
Témoin (0N)	10.2	2919	3914
Biosolides papetiers 30 t ha ⁻¹	11.4	3261	3649
Biosolides papetiers 60 t ha ⁻¹	11.8	3417	4266
Biosolides papetiers 90 t ha ⁻¹	12.1	3686	4135
Biosolides 30 t + boues de chaux 3 t ha ⁻¹	11.8	3236	4170
Biosolides 30 t + cendres de bois 3 t ha ⁻¹	11.8	3344	4500
Biosolides 30 t + chaux calcique 3 t ha ⁻¹	11.7	2911	3954

Projet Alfred

Au Collège d'Alfred dans l'est ontarien, des biosolides papetiers mixtes présentant des risques identifiés en Cd et pathogènes ont été appliqués au printemps pendant trois années successives (2003-2005) à du maïs-ensilage (Gagnon et al., 2010). Les biosolides provenaient de l'usine de Thurso en Outaouais et étaient mélangés avec un effluent municipal à raison de 3% du débit. Les traitements consistaient en une fertilisation minérale complète NPK, 30 t hum. ha⁻¹ de biosolides avec suppléments de N et K, et 60 et 120 t hum. ha⁻¹ de biosolides supplémentés en K, chacun recevant ou non 2.5 t ha⁻¹ de chaux calcique. Les parcelles de 3 m × 6 m étaient séparées les unes des autres par des bandes enherbées de 3 m. La chaux a augmenté le pH du sol de 0.8 unité après trois ans. Les biosolides à 30 t hum. ha⁻¹ avec dose réduite de N minéral et à 60 t hum. ha⁻¹ ont procuré des rendements comparables à la fertilisation minérale pour toutes les années. Les biosolides, particulièrement à 120 t hum. ha⁻¹, ont accru le contenu du sol en N-NO₃ et l'indice de saturation en P (P/AI) tout en produisant des accumulations significatives de Cd et Zn dans le sol et la plante. Ces biosolides présentaient de faibles comptes de *E. coli*, et par conséquent très peu de contamination a été observée dans le sol et sur les cultures récoltées. Ainsi, dans l'ensemble, les résultats ont démontré que les biosolides utilisés, lorsque l'application n'excédait pas 60 t hum. ha⁻¹ an⁻¹, étaient une bonne source d'éléments nutritifs pour le maïs tout en représentant un faible risque pour la santé et pour l'environnement.

Projet Nicolet

L'application de biosolides de désencrage amendés de fumier de volaille peut représenter une avenue intéressante, harmonieuse avec l'environnement, pour valoriser ces deux matériaux organiques afin de rehausser la fertilité des sols fortement dégradés par les monocultures annuelles. Une expérience a été entreprise pour évaluer cette approche sur deux champs de 12 ha de textures différentes situés dans le bassin versant de la rivière Nicolet (Gagnon et al., 2004). Les biosolides ont été mélangés au fumier de volaille dans un rapport 25:1 et appliqués en bandes avant le semis du maïs au moyen d'un épandeur à fumier à un taux de 40 t hum. ha⁻¹. Tout le champ a reçu une fertilisation minérale complète NPK, au semis et complétée au stade 8 feuilles du maïs. En dépit d'une immobilisation du N en début de saison, le mélange de matériaux organiques n'a pas affecté le rendement en grains mais a amélioré le statut nutritionnel du sol (pH, éléments majeurs). Les résultats démontrent que le succès d'une telle opération réside dans les bonnes proportions de mélange pour les deux matériaux afin d'éviter une immobilisation de l'azote du sol.

Références

- Camberato, J.J., Gagnon, B., Angers, D.A., Chantigny, M.H. et Pan, W.L. 2006. Pulp and paper mill by-products as soil amendments and plant nutrient sources. *Can. J. Soil Sci.* 86, 641–653. Erratum (2007) 87, 118.
- Charbonneau, H., Hébert, M. et Jaouich, A. 2001. Portrait de la valorisation agricole des matières résiduelles fertilisantes au Québec – partie 2: Contenu en éléments fertilisants et qualité environnementale. *Vecteur Environnement* 34 (1), 56–60.
- Gagnon, B., Nolin, M.C. et Cambouris, A.N. 2004. Combined de-inking paper sludge and poultry manure application on corn yield and soil nutrients. *Can. J. Soil Sci.* 84, 503–512.
- Gagnon, B., Ziadi, N., Côté, C. et Foisy, M. 2010. Environmental impact of repeated applications of combined paper mill biosolids in silage corn production. *Can. J. Soil Sci.* 90, 215–227.
- Hébert, M. et Chaker, B. 2011. Bilan 2010 du recyclage des matières résiduelles fertilisantes. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés, Québec, QC. 24 pp.
- Québec MDDEP. 2008. Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes. Critères de références et normes réglementaires. Direction des politiques en milieu terrestre, Québec, QC.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Impact agroenvironnemental de l'utilisation de différents résidus forestiers en grandes cultures

Bernard Gagnon, agr., M.Sc.,
professionnel de recherche,
coll. Noura Ziadi, Ph.D.
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
Québec, QC

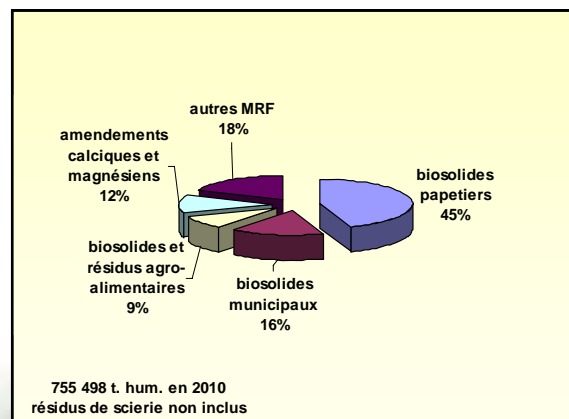


Journée d'information
scientifique - Grandes cultures

Ensemble pour la diffusion
de la recherche agronomique

Drummondville, 23 février 2012

Répartition des matières résiduelles fertilisantes valorisées par épandage agricole au Québec

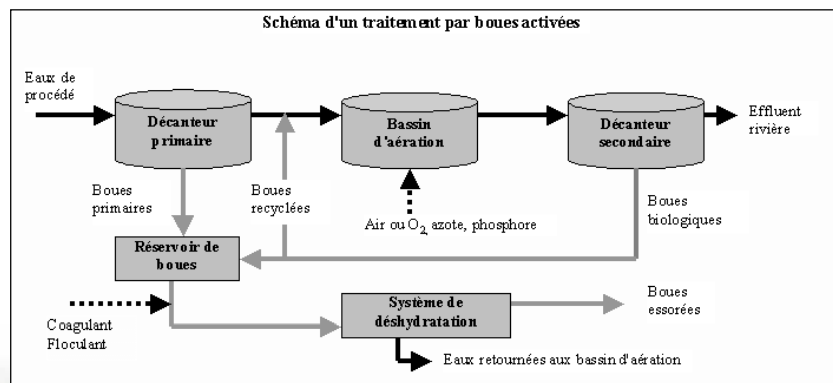


Hébert et Chaker 2011

Types de résidus forestiers

- Biosolides mixtes papetiers
 - 85 % du volume produit mais seulement 23 % de valorisé en agriculture
 - teneurs en N et matière organique semblables au fumier de bovins
 - bonne source de P
 - faibles teneurs en métaux
- Biosolides primaires/désencrage
 - rapport C/N élevé
 - bonne source de matière organique
 - pouvoir chaulant (désencrage)
- Cendres de bois
 - combustion de biosolides papetiers
 - combustion de résidus de scierie
 - pouvoir chaulant plus élevé
 - plus riches en K et Ca
 - plus riches en métaux
 - équivalent CaCO_3 50 %
- Résidus alcalins
 - boues de chaux (papiers Kraft)
 - très riches en Ca
 - équivalent CaCO_3 100 %, similaire à la chaux agricole

Système de traitement des effluents des papeteries



Environnement Québec, 2003

Système de traitement des effluents des papetières



Projet Mauricie à Yamachiche

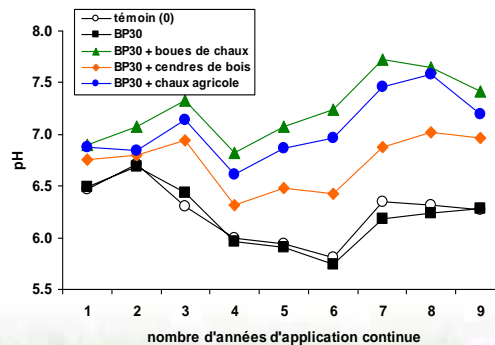
Effet à long terme de l'application répétée de biosolides mixtes papetiers et de résidus calciques en grandes cultures



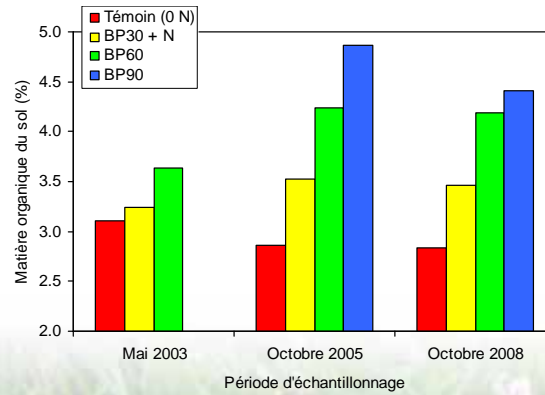
Description du projet

- Description des traitements
 - Biosolides mixtes papetiers
 - 2000-2002 : 0, 30 et 60 t hum. ha⁻¹
 - 2003-2008 : 0, 30, 60 et 90 t hum. ha⁻¹
 - Amendements chaulants : 3 t hum. ha⁻¹ avec 30 t de biosolides papetiers
 - boues de chaux provenant de la fabrication de pâtes Kraft
 - cendres de bois (2000-2002 combustion de résidus de pâtes et papiers, 2003-2008 combustion de résidus de bois et écorces)
 - chaux agricole de type fine calcaïque
 - Engrais minéral (2003-2008)
- Application des produits en post-levée sans incorporation
- Fertilisation complémentaire en N minéral pour les parcelles recevant 30 t
 - 45 unités de N ha⁻¹ pour le maïs
 - 0 unité pour le haricot et le soya

Effet des amendements chaulants sur le pH du sol (couche arable 0-30 cm)



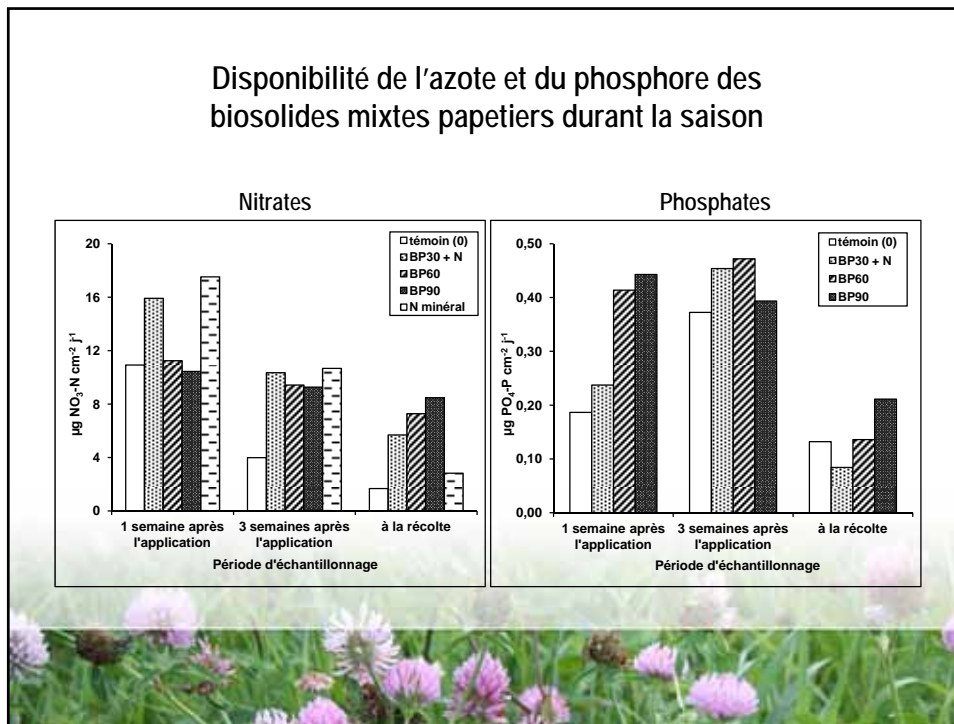
Effet des biosolides papetiers sur la matière organique du sol (couche arable 0-30 cm)



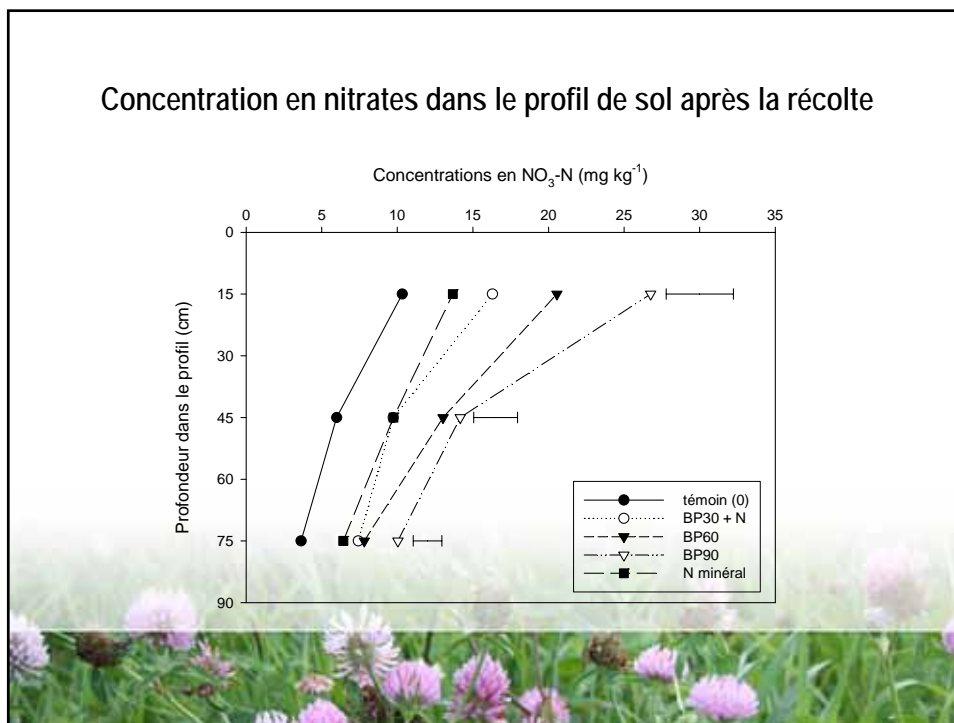
Effet des biosolides papetiers et amendements chaulants sur le rendement des cultures

Produits chaulants	Maïs-grain	Haricot sec	Soya
	t grain ha ⁻¹	kg grain ha ⁻¹	kg grain ha ⁻¹
N minéral	10,1 ←	2982	3479
Témoin (0 N)	8,9	2919	3464
Biosolides 30 t	9,8 ←	3261	3230
Biosolides 60 t	10,2 ←	3417	3775
Biosolides 90 t	10,5	3686 ↓	3659
Biosolides 30 t Boues de chaux	10,2	3236	3690
Biosolides 30 t Cendres de bois	10,2	3344 *	3982 *
Biosolides 30 t Chaux calcique	10,2	2911	3499

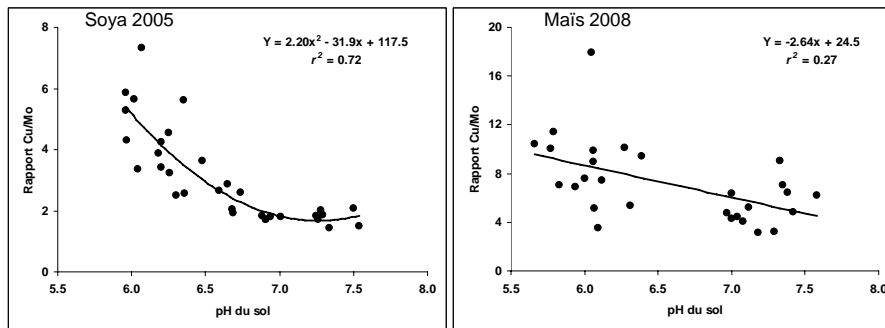
Disponibilité de l'azote et du phosphore des biosolides mixtes papetiers durant la saison



Concentration en nitrates dans le profil de sol après la récolte



Relation entre le rapport Cu/Mo et le pH du sol



- Disponibilité du Mo étroitement liée au pH du sol
- Les légumineuses peuvent accumuler de grandes quantités de Mo
- Déficience en Cu (molybdénose) chez les ruminants, rapport critique Cu/Mo : 2:1

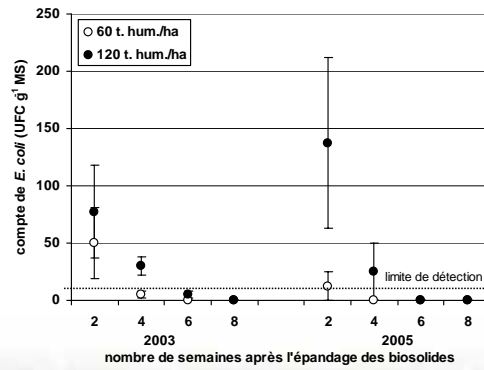
Projet Collège d'Alfred, est de l'Ontario

Utilisation de biosolides mixtes papetiers et de chaux commerciale dans la production du maïs-ensilage

- Spécificité des biosolides :
 - Provenance : usine de Thurso en Outaouais
 - Biosolides mixtes mélangés avec un effluent municipal (3 % du débit)
 - Peuvent contenir des matières fécales humaines
 - Prétraitement d'acidification et d'alcalinisation avant l'épandage
 - Biosolides fertilisants classés C2 pour le Cd et P2 pour les pathogènes
 - Critère P2 respecté car utilisation sur culture fourragère destinée à l'alimentation animale avec un délai d'innocuité de 30 jours
- Applications répétées sur trois ans à 0, 30, 60 et 120 t hum. ha⁻¹
- Applications annuelles de chaux calcaïque à 0 et 2,5 t ha⁻¹
- Fertilisation minérale ajustée en fonction du besoin de la culture, de l'apport en N, P et K des biosolides, et de l'effet résiduel des applications précédentes

Évolution de la population de *E. coli* suite à l'application

----- UFC g ⁻¹ -----		
2003	2004	2005
12 610	312	50



Gagnon et coll. 2010

Projet Nicolet

Utilisation conjointe de biosolides de désencrage
et de fumier de volaille en maïs-grain



Gagnon et coll. 2004

Conclusions

- ↑ pH du sol par les résidus alcalins
- ↑ Matière organique du sol par les biosolides mixtes papetiers
- Bon potentiel de fertilisation des biosolides mixtes papetiers
 - ↑ Rendements dans le maïs et le haricot sec (efficacité 40 % N total)
- ↑ Rendements du haricot sec et du soya par les cendres de bois
- Accumulation des métaux
 - Effet linéaire de la dose de biosolides : Cd > Zn > Mo (soya)
 - Peu d'effets mesurés avec des applications annuelles ≤ 30 t hum. ha⁻¹
 - Aucun niveau de toxicité dans les tissus végétaux sauf Mo où le seuil critique Cu/Mo (2:1) a été atteint pour le soya avec l'application de résidus alcalins
- Pathogènes présents dans les biosolides papetiers
 - Comptes variables mais inférieurs aux fumiers et lisiers
 - Pas de pathogènes détectés à des applications ≤ 30 t hum. ha⁻¹
 - Disparition des pathogènes en dedans de 8 semaines suivant l'application



Remerciements

- Compostage Mauricie
 - Étienne Tardif
 - Jean-Paul Jacob
 - René Schreiber
- Ferme Firmin Fréchette & fils
- Collège d'Alfred (Université de Guelph)
 - Marc Foisy
- Caroline Côté, IRDA St-Hyacinthe
- Agriculture et Agro-Alimentaire Canada
 - Alain Larouche
 - Sylvie Michaud
 - Sylvie Côté
 - Mario Laterrière
 - Étudiants, stagiaires et ouvriers agricoles

