

Étude de l'impact des embruns salins sur les caractéristiques chimiques du sol situé à proximité d'une autoroute

Étude présentée au Ministère des Transports du Québec,
direction de l'Est de la Montérégie, service des projets,
dans le cadre du prolongement de l'autoroute 35

Cesar Chlela, agr. M.Sc.

Luc Brodeur, agr.

Novembre 2008



Personnels impliqués auprès de Phytodata inc. :

Cesar Chlela, agr. M.Sc :

- Planification de l'étude
- Coordination et réalisation
- Analyse des données et rédaction du rapport

Hervé VanderHeyden, B.sc. biologie et Mohammed Boudache, agr. :

- Échantillonnage terrain
- Géopositionnement et cartographie

Luc Brodeur, agr. :

- Planification et gestion du projet
- Appui à la réalisation et à la rédaction

Personne ressource auprès du ministère des transports du Québec:

Guy Bédard, architecte paysagiste

Service des projets, Direction de l'Est-de-la-Montérégie

Ministère des Transports du Québec

201, place Charles-LeMoine, 5e étage

Longueuil (Québec) J4K 2T5

TABLE DES MATIÈRES

PROBLÉMATIQUE	4
ÉTUDES ANTÉRIEURES PORTANT SUR LES IMPACTS DES SELS DE DÉGLAÇAGE	4
OBJECTIF DE L'ÉTUDE ET CONTEXTE AGRONOMIQUE	5
1. Autoroute 15 à l'étude et choix des sites.....	7
2. Mesures de l'impact sur les caractéristiques chimiques du sol.....	7
3. Analyses des données.....	8
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	10
1. Impact sur la variation de la concentration du sol en sodium.	10
2. Impact sur la variation de la concentration du sol en calcium.	13
3. Impact sur la variation de la concentration du sol en Magnésium.	17
4. Impact sur la variation de la concentration du sol en Potassium.	17
5. Impact sur la salinité	17
CONCLUSION	24
BIBLIOGRAPHIE	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte pédologique des champs qui sont situés de part et d'autre du tracé de l'autoroute 35.....	6
Figure 2 : Délimitation des sites qui ont été ciblés le long de l'autoroute 15 à un kilomètre de la sortie de Napierville, direction Montréal, du côté Est de l'autoroute.	8
Figure 3 : La série d'échantillonnage de sol, d'un total de 72 échantillons pour les deux sites à l'étude, a été géo référencé en décembre 2007. Les deux premiers échantillons se situent entre l'autoroute et la clôture qui sépare le champ de l'autoroute.....	9
Figure 4 : Variation spatiale de la concentration en sodium (Na) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.	11
Figure 5 : Variation spatiale de la concentration en sodium (Na) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.	12
Figure 6 : Distribution des points d'échantillonnage de sol montrant la distance du fossé et de la limite d'emprise par rapport à la chaussée.	13
Figure 7 : Variation spatiale de la concentration en calcium (Ca) des échantillons de sol effectués en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.....	15
Figure 8 : Variation spatiale de la concentration en calcium (Ca) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.	16
Figure 9 : Variation spatiale de la concentration en magnésium (Mg) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.....	18

Figure 10 : Variation spatiale de la concentration en magnésium (Mg) des échantillons de sol effectués en avril 2008, juste après la fonte des neiges.....19

Figure 11 : Variation spatiale de la concentration en potassium (K) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.....20

Figure 12 : Variation spatiale de la concentration en potassium (K) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.21

Figure 13 : Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) des échantillons de sol effectués en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.....22

Figure 14 : Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) des échantillons de sol effectués en avril 2008, juste après la fonte des neiges.23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Extrait des analyses de variance (ANOVA) effectuées pour le site cultivé en maïs. .26

Tableau 2 : Extrait des analyses de variance (ANOVA) effectuées pour le site en pâturage.26

Tableau 3: Comparaisons multiples des moyennes de concentrations du sol échantillonné dans le site de maïs. La première colonne représente la distance des points d'échantillonnage par rapport à la chaussée. Le fossé de drainage se situe à une distance de 15 m de la chaussée ç.à.d. entre le premier et le deuxième point.27

Tableau 4 : Comparaisons multiples des moyennes de concentrations du sol échantillonné dans le site de pâturage. La première colonne représente la distance des points d'échantillonnage par rapport à la chaussée. Le fossé de drainage se situe à une distance de 15 m de la chaussée ç.à.d. entre le premier et le deuxième point.....28

PROBLÉMATIQUE

Les sels de déglacage et les embruns salins provenant des autoroutes peuvent avoir un impact sur la croissance des végétaux et sur les propriétés physiques du sol.

Les sels de voiries font référence à tout sel épandu sur les routes. Au Canada, ils sont utilisés principalement comme agents de déglacage et d'anti-givrage durant l'hiver. Bien que le chlorure de sodium (NaCl) soit le sel le plus utilisé au Canada, d'autres sels inorganiques le sont également, tels que le chlorure de calcium (CaCl_2), le chlorure de magnésium (MgCl_2) et le chlorure de potassium (KCl) (Environnement Canada, 2001).

Les producteurs agricoles sont inquiets de l'impact de ces sels sur les sols et la production agricole. Le tracé de l'autoroute 35, qui traverse en grande partie des propriétés agricoles, pourrait affecter les sols et les cultures par les embruns salins. Il n'existe aucune étude évaluant l'impact des sels d'embrun sur les propriétés physiques et chimiques des sols avec des cultures agricoles en bordure d'autoroute.

Selon la carte pédologique de la région (figure 1), les sols qui seront exposés aux embruns sont principalement constitués de sable Saint Jude, phase limoneuse. On y trouve aussi des loams sableux graveleux et des loams argileux Ste Rosalie.

Les cultures pratiquées dans cette région sont des cultures annuelles (blé, soya, maïs) ou vivaces (luzerne, foin de légumineuses et de graminées, pâturages).

Les cultures exposées aux embruns pourraient subir des dommages de deux manières :

- ◇ Par l'accumulation des sels dans le sol pour les cultures annuelles et herbacées vivaces. Le sel pourrait atteindre des niveaux critiques après plusieurs années

d'exposition, endommager les racines des plantes, défloculer les argiles et débalancer l'équilibre chimique du sol.

- ◇ Par le dépôt de sel sur les végétaux pour les cultures ligneuses vivaces, ce qui pourrait endommager les tissus des plantes.

ÉTUDES ANTÉRIEURES PORTANT SUR LES IMPACTS DES SELS DE DÉGLAÇAGE

La plupart des études publiées portent sur l'effet du ruissellement des sels de voirie; or peu d'études font état des dommages au sol et à la végétation sous l'effet de la dispersion atmosphérique des sels, ce que nous appelons les embruns salins.

Une étude en Colombie Britannique a déterminé que les effets du ruissellement des sels de déglacage sur des plantes annuelles ou vivaces étaient observés à des distances variant de 40 à 100 mètres de la bordure de la route. Cette étude propose aussi des seuils de tolérance pour diverses espèces végétales, dont des graminées et des feuilles larges. La zone d'impact sur les végétaux sensibles s'étend généralement sur une distance de 80 mètres des autoroutes à voies multiples et jusqu'à 35 mètres des routes à deux voies.

L'augmentation des charges de sel dans le sol peut modifier les propriétés essentielles au maintien d'un sol propice à la croissance des végétaux. Des dommages à la végétation ont été rapportés pour des concentrations dans le sol atteignant 16 mg de Na/kg et 30 mg de Cl/kg (en poids sec). Des changements dans la phytocénose naturelle ont été observés dans des régions touchées par des sels de voirie, qu'ils soient dispersés sous l'effet du ruissellement ou par des éclaboussures provenant de la circulation routière (EC, 2005).

Selon Cain *et al.* (2001), les concentrations élevées de sodium et de chlorure dans le sol influent sur les végétaux en inhibant l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs sous l'effet de déséquilibres osmotiques causant un déséquilibre nutritif chez certaines espèces. À long terme, les concentrations élevées de sodium inhibent la croissance; à de plus fortes concentrations elles provoquent des effets toxiques en s'attaquant aux cellules des végétaux, ce qui se manifeste par des symptômes de brûlure des feuilles et la mort des tissus.

Des études réalisées en Ontario démontrent que des impacts sur des cèdres et des pins pouvaient être observés à une distance de 120 mètres de l'autoroute, même si la majorité des dommages étaient observés à proximité (Hofstra *et al.* 1979).

Contrairement aux végétaux ligneux dont les parties aériennes sont exposées aux embruns en hiver, les vivaces herbacées comme le foin ne sont habituellement pas exposées aux embruns salins car les parties aériennes sont mortes durant l'hiver. La repousse des herbacées vivaces au printemps se fait à partir des racines ou des tiges souterraines; une augmentation de la salinité du sol pourrait affecter leur repousse.

Les sels de déglacage peuvent aussi détériorer la structure du sol par effet de défloculation des argiles, ce qui peut affecter le développement des racines et en conséquence la croissance des parties aériennes. Les sols défloculés sont plus sensibles à la compaction et ils se drainent moins bien.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE ET CONTEXTE AGRONOMIQUE

Notre objectif principal est d'évaluer les impacts possibles des sels d'embrun sur les productions pratiquées en zone agricole.

Les sites choisis pour les fins de l'étude devront tenir compte des caractéristiques des sols et des cultures pratiquées dans l'environnement de la future autoroute 35.

- ◇ Choisir une autoroute dont les caractéristiques pédologiques se rapprochent de celles de l'autoroute 35.
- ◇ Étudier l'impact des sels d'embrun sur deux types de production pratiquées le long de la future autoroute: un site en pâturage depuis plusieurs années et l'autre en rotation maïs grain /soya.

MÉTHODOLOGIE

1. Autoroute 15 à l'étude et choix des sites

Les bordures des autoroutes existantes sont exposées depuis plusieurs années aux sels d'embruns. L'autoroute 15 est orientée dans l'axe nord-sud, de même que l'autoroute 35. Les vents dominants d'ouest pourraient disperser les embruns sur de grandes distances. Le trafic routier de l'autoroute 15 qui soulève les embruns est beaucoup plus important que celui qui fréquentera l'autoroute 35. Les débits journaliers moyens annuels (DJMA) pour l'A-15 sont de 13700 alors que pour l'A-35, les DJMA sont estimés à 6900 en 2011. Le débit de l'A-15 est actuel et celui de l'A-35 est projeté pour le segment 2, soit celui comparable à l'A-15 et le plus encadré de terres agricoles. Le site à l'étude est donc influencé depuis plusieurs années par un débit routier qui est le double de celui prévu pour l'autoroute projetée.

Les champs le long de l'autoroute 15 sont essentiellement constitués d'argile et de loam. L'impact de l'accumulation des sels sera beaucoup plus grand dans les argiles, alors que le sel sera plus facilement lessivé dans un sol sableux. Nous avons pu identifier deux sites dont la pédologie se rapproche de celle des bords de l'autoroute 35. Un des deux sites est essentiellement constitué de loam argileux Saint-Blaise et le deuxième de loam sableux Botreaux et Saint-Patrice.

Deux sites ont été ciblés le long de l'autoroute 15 à un kilomètre de la sortie de Napierville, direction Montréal, du côté Est de l'autoroute (figure 2) :

- ◇ un site est exploité en pâturage depuis plus de 5 ans dans un loam sableux.
- ◇ un autre est exploité depuis plus de 30 ans en production de soya et de maïs dans un loam argileux.

2. Mesures de l'impact sur les caractéristiques chimiques du sol.

Sur les deux sites, nous avons évalué l'impact spatial des embruns sur les caractéristiques chimiques du sol sur une distance de 120 mètres de la bordure de l'autoroute. Cette distance a été retenue à partir de la publication mentionnée précédemment (Hofstra et al, 1979). Nous avons réalisé des échantillons de sol à deux périodes, en automne et au printemps, selon le plan d'échantillonnage suivant:

- ◇ Dans chaque site, nous avons établi trois transects espacés de 100 mètres (figure 2).
- ◇ Sur chaque transect, nous avons prélevé des échantillons de sols à des intervalles de 10 mètres à partir de 10 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute.
- ◇ Les échantillons ont été prélevés sur une distance de 120 mètres, pour un total de 12 échantillons par transect, de 36 échantillons par site, et de 72 échantillons pour les deux sites (figure 3).
- ◇ L'échantillonnage a été réalisé à deux périodes : en automne (décembre 2007) et au printemps (avril 2008); l'emplacement de chaque échantillon a été géo référencé en décembre 2007 de sorte que les mêmes emplacements ont été échantillonnés en avril 2008.
- ◇ Chaque échantillon de sol a été formé de quatre composites prélevés dans la couche de sol arable de 0 à 20 cm de profondeur; l'analyse de chaque échantillon est représentatif des caractéristiques du sol pour une surface de un mètre carré (1m²).
- ◇ L'analyse complète des 72 échantillons de sol (pH, M.O, CEC, C.E., P, K, Ca, Mg, Al, Cu, Fe, Mn, Zn, S, Na et granulométrie) a été réalisé par un laboratoire accrédité.

3. Analyses des données

Les résultats des échantillons de sol réalisés au printemps et appartenant au même transect ont été comparées entre elles, avec les autres transects et avec celles obtenues à l'automne précédent. Les analyses statistiques ont été effectuées avec SPSS

14.0, pour détecter toute différence significative dans les caractéristiques chimiques du sol, en fonction de la distance de l'autoroute et de la période d'échantillonnage.

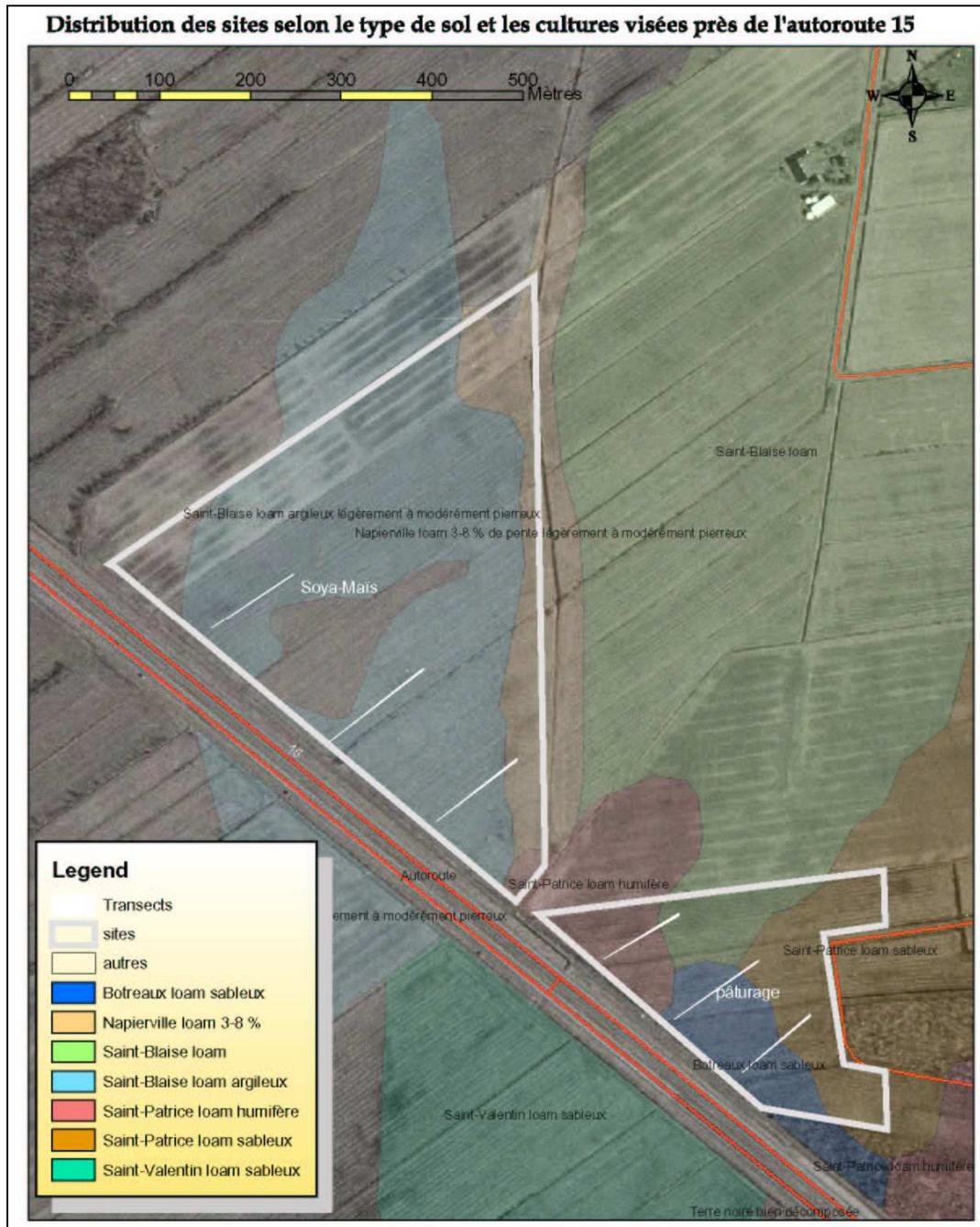


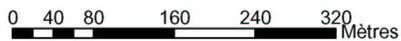
Figure 2 : Délimitation des sites qui ont été ciblés le long de l'autoroute 15 à un kilomètre de la sortie de Napierville, direction Montréal, du côté Est de l'autoroute.

Les sites d'échantillonnage dans les champs de maïs et prairie



Légende

- Mais
- Prairie
- Transect
- Cloture



© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 3 : La série d'échantillonnage de sol, d'un total de 72 échantillons pour les deux sites à l'étude, a été géo référencé en décembre 2007. Les deux premiers échantillons se situent entre l'autoroute et la clôture qui sépare le champ de l'autoroute.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude, il a été décidé d'étudier l'impact de l'embrun salin des sels inorganiques les plus couramment utilisés pour l'entretien des routes, soit le chlorure de sodium, le chlorure de calcium, le chlorure de magnésium et le chlorure de potassium.

1. Impact sur la variation de la concentration du sol en sodium.

Au Canada, le chlorure de sodium est utilisé comme agent de désintégration et de fonte de la glace depuis les années 1940 (Perchanok et al., 1991). Le chlorure de sodium qui est formé de 40% en masse de sodium et de 60% de chlore, est le principal sel utilisé comme fondant en Amérique du Nord (CIS, 1994).

Pour l'ensemble des transects, la concentration en sodium des sols échantillonnés en décembre 2007 était très élevée à une distance de dix mètres de l'autoroute. À partir de trente mètres de l'autoroute, cette concentration a diminué rapidement pour atteindre des valeurs inférieures à 100 ppm (figure 4). Le même phénomène a été observé en 2008, mais avec des concentrations plus élevées qu'en 2007. Les échantillons proches de l'autoroute avaient des valeurs de l'ordre de 800 ppm. Par contre, à 120 mètres de l'autoroute, les concentrations étaient proches de 15 ppm. (figure 5).

Les analyses statistiques effectuées pour le site cultivé en maïs montrent que la concentration la plus élevée (262 ppm) se trouvait à 10 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute. Cette concentration était significativement supérieure à toutes les autres concentrations (tableau 1). À 20 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute, la concentration a chuté significativement pour atteindre une valeur de 38 ppm (tableau 3). La concentration en

Na en décembre 2007 variait en moyenne entre 262 ppm (à 10 mètres de l'autoroute) et 17 ppm (à 90 mètres de l'autoroute).

En avril 2008 la concentration du site en maïs variait de 17 ppm à 857 ppm. La concentration la plus élevée était toujours située à 10 mètres de l'autoroute. Cette concentration a chuté à une valeur de 58 ppm 10 mètres plus loin, puis diminue graduellement pour atteindre une valeur moyenne de 17 ppm à 90 mètres de l'autoroute. La diminution est statistiquement significative pour cette période entre 0 et 20 mètres de l'autoroute (tableau 3).

Pour le site cultivé en pâturage depuis plus de 5 ans, la concentration en Na du sol échantillonné en décembre 2007 a montré un effet quadratique significatif qui variait en moyenne entre 407 ppm et 26 ppm (tableau 2). La valeur la plus élevée significativement était toujours située à 10 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute. Cette concentration a diminué rapidement à 20 mètres de la bordure de l'autoroute pour atteindre une concentration de 91 ppm (tableau 4).

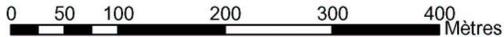
Les concentrations des sols de pâturage échantillonnés en avril 2008 variaient entre 599 ppm et 26 ppm. La concentration la plus élevée était toujours à 10 mètres de l'autoroute. Cette concentration a diminué significativement à une valeur de 66 ppm 10 mètres plus loin, et a diminué graduellement pour atteindre une valeur moyenne de 26 ppm à 110 mètres de l'autoroute. (tableau 4).

Les sels de voirie épandus entre décembre 2007 et mars 2008 ont augmenté la concentration du sol en Na dans les 10 premiers mètres de l'autoroute, des augmentations de 595 ppm dans le site de maïs et de 192 dans le site en pâturage.

Variation spatiale de la concentration du sol en sodium (année 2007)



Légende	
---+	Cloture
NA 2007 (ppm)	
Green	15 - 60
Light Green	60 - 100
Yellow-Green	100 - 150
Yellow	150 - 200
Light Orange	200 - 350
Orange	350 - 500
Dark Orange	500 - 650
Red-Orange	650 - 800
Red	800 - 1000



© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 4 : Variation spatiale de la concentration en sodium (Na) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.

Variation spatiale de la concentration du sol en sodium (année 2008)

 111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
JOL 2N0



Figure 5 : Variation spatiale de la concentration en sodium (Na) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.

Par contre les embruns salins n'ont pas eu d'impact significatif sur l'augmentation du Na à une distance de 20 mètres de l'autoroute.

Les concentrations en sodium sont importantes de la chaussée jusqu'au fossé de drainage, situé à 15m de la bordure de l'autoroute (entre le premier et le deuxième point d'échantillonnage) (figure 6). Le fossé de drainage capte essentiellement le ruissellement, mais la dispersion aérienne se déposant au sol jusqu'à ce point bas ne peut plus se déplacer vers les terres limitrophes.



Figure 6 : Distribution des points d'échantillonnage de sol montrant la distance du fossé et de la limite d'emprise par rapport à la chaussée.

D'autres références ont étudié la variation de la concentration du sol en Na, entre autres en Ontario, Maine, Vermont, Michigan, Minnesota, Angleterre et Suisse. Dans ces références, la concentration la plus élevée était de 8360 ppm à 1 mètre de la bordure asphaltée d'une autoroute au Minnesota; et un maximum de 191 ppm a été trouvé à 42,4 mètres d'une autoroute en Suisse (Cain et al, 2001).

Harrington et Meikle en 1992 ont étudié l'impact des applications du NaCl sur le développement racinaire. Le développement a été réduit avec des valeurs critiques de concentration en Na disponible variant de 67,5 à 300 ppm.

Dans notre étude, seuls les sols échantillonnés avant la clôture de l'autoroute, qui est situé à 25 mètres de la bordure asphaltée, avaient des concentrations supérieures à 100 ppm de Na disponible.

2. Impact sur la variation de la concentration du sol en calcium.

Le chlorure de calcium (36% de la masse en calcium et 64% en chlore) est le deuxième sel de voirie le plus utilisé en Amérique du Nord, il est également le principal abat-poussière chimique en usage au Canada. Il est utilisé entre autre comme agent de pré-mouillage du sel et du sable pour l'entretien des routes en hiver, et sert à stabiliser les mélanges de base après leur pulvérisation sur les routes.

Globalement la concentration en calcium des sols à l'étude variait en 2007 de 4770 à 11700 kg/ha. Les concentrations les plus élevées étaient situées à une distance de 20 mètres de l'autoroute (figure 7). En 2008, les concentrations ont légèrement augmenté. La valeur minimale de 4770 est montée à 5135 kg/ha et la valeur maximale est passée de 11700 à 17900 Kg/ha. Les concentrations les plus élevées se trouvaient toujours dans les 20 premiers mètres du bord de l'autoroute (figure 8).

Pour le site de maïs, l'analyse statistique des trois transects a révélé un effet quadratique signalant une diminution significative de la concentration du Calcium dans le sol échantillonné à 10 mètres de l'autoroute par rapport à tous les autres échantillons (tableau 1).

La concentration du sol échantillonné en décembre 2007 variait en moyenne entre 5520 kg/ha et 10774 kg/ha (tableau 3). La concentration la plus élevée se trouvait à 10 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute. Cette concentration a diminué

de moitié à une distance de 20 mètres de l'autoroute.

Les mêmes résultats ont été observés en avril 2008. L'analyse statistique a aussi signalé un effet quadratique (tableau 1) dont la valeur la plus élevée (12152 kg/ha) est celle située à 10 mètres de l'autoroute. Cette concentration était significativement supérieure à celles observées entre 20 et 120 mètres et dont les valeurs variaient entre 7587 et 5842 kg/ha (tableau 3).

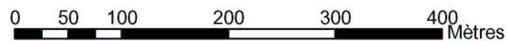
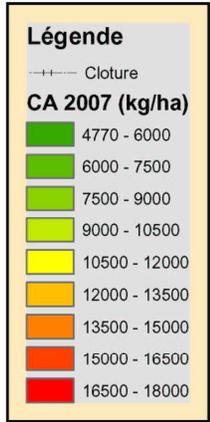
Les sels de voirie de l'hiver 2008 dans les champs de maïs n'ont eu un effet que sur l'augmentation de la concentration en Calcium dans le site à 10 mètres de l'autoroute. À cette distance, la concentration du sol a augmenté de 1378 kg/ha. Les sels d'embrun quant à eux n'ont eu aucun effet sur la variation de la concentration du sol en Calcium.

Dans les champs cultivés en pâturage, aucune augmentation significative de la concentration de calcium n'a été observée ni en fonction de la distance, ni avec le temps (tableau 2). En 2007, les moyennes variaient entre 8967 et 6257 kg/ha alors qu'en 2008, elles variaient entre 8569 et 5797 kg/ha (tableau 4).

Variation spatiale de la concentration du sol en calcium (année 2007)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



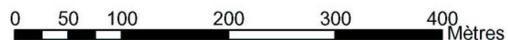
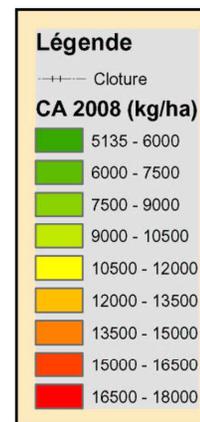
© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 7 : Variation spatiale de la concentration en calcium (Ca) des échantillons de sol effectués en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.

Variation spatiale de la concentration du sol en calcium (année 2008)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 8 : Variation spatiale de la concentration en calcium (Ca) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.

3. Impact sur la variation de la concentration du sol en Magnésium.

Le chlorure de magnésium (26% de magnésium et 74% de chlore) est un abat-poussière de remplacement utilisé sur les piles de matériaux, l'accotement des routes ou les bassins servants de transfert de matériel (MEEO, 1993).

Les concentrations du sol en magnésium variaient en 2007 de 266 à 1189 kg/ha (figure 9). Les concentrations les plus élevées étaient distribuées aléatoirement, surtout dans le site en pâturage. En 2008, une légère augmentation de la concentration en Mg a été observée dans le site de maïs dans les 20 premiers mètres à partir de l'autoroute. À cette distance, les valeurs étaient proches de 800 kg/ha (figure 10).

Les tableaux 1 et 2 montrent un effet quadratique significatif sur la concentration du sol en magnésium. La concentration de 667 kg/ha dans les dix premiers mètres du site de maïs était significativement supérieure au reste du champ. De décembre 2007 au printemps 2008, cette concentration a augmenté significativement de 192 kg/ha (tableau 3).

4. Impact sur la variation de la concentration du sol en Potassium.

Le chlorure de potassium (52% de potassium et 48% de chlore) est peu utilisé comme fondant. Cependant les résidus miniers de potasse contenant entre 0,5 et 2% de chlorure de potassium sont quelquefois épandus sur certaines routes du Canada comme agent de déglçage (ICE, 1997).

La concentration en potassium variait en 2007 de 91 à 426 kg/ha. Les concentrations les plus élevées ne se situaient pas forcément près de l'autoroute (figure 11). En 2008, ces concentrations ont légèrement varié tout en gardant la même distribution aléatoire. La valeur minimale est descendue à 71 kg/ha et la valeur maximale est montée à 498 Kg/ha (figure 12).

Pour les deux sites à l'étude, l'analyse statistique a montré que l'épandage du sel de voirie n'a aucun impact significatif sur la variation de la concentration du potassium dans le champ (tableau 1 et 2).

5. Impact sur la salinité

On définit la salinité comme étant la teneur totale de matière dissoute dans l'eau lorsque tous les carbonates ont été remplacés par les chlorures et que toute la matière organique a été oxydée. Parmi les cations qui contribuent sensiblement à la salinité, mentionnons le sodium, le calcium, le magnésium et le potassium.

Dans les champs à l'étude, la conductivité électrique n'était pas élevée. En 2007, les valeurs variaient entre 0,64 dS/m et 0,08 dS/m. Les valeurs les plus élevées étaient celles relevées le plus proche de l'autoroute (figure 13). En 2008, la conductivité électrique a légèrement augmenté dans les dix premiers mètres pour atteindre une valeur de 0,97 dS/m (figure 14).

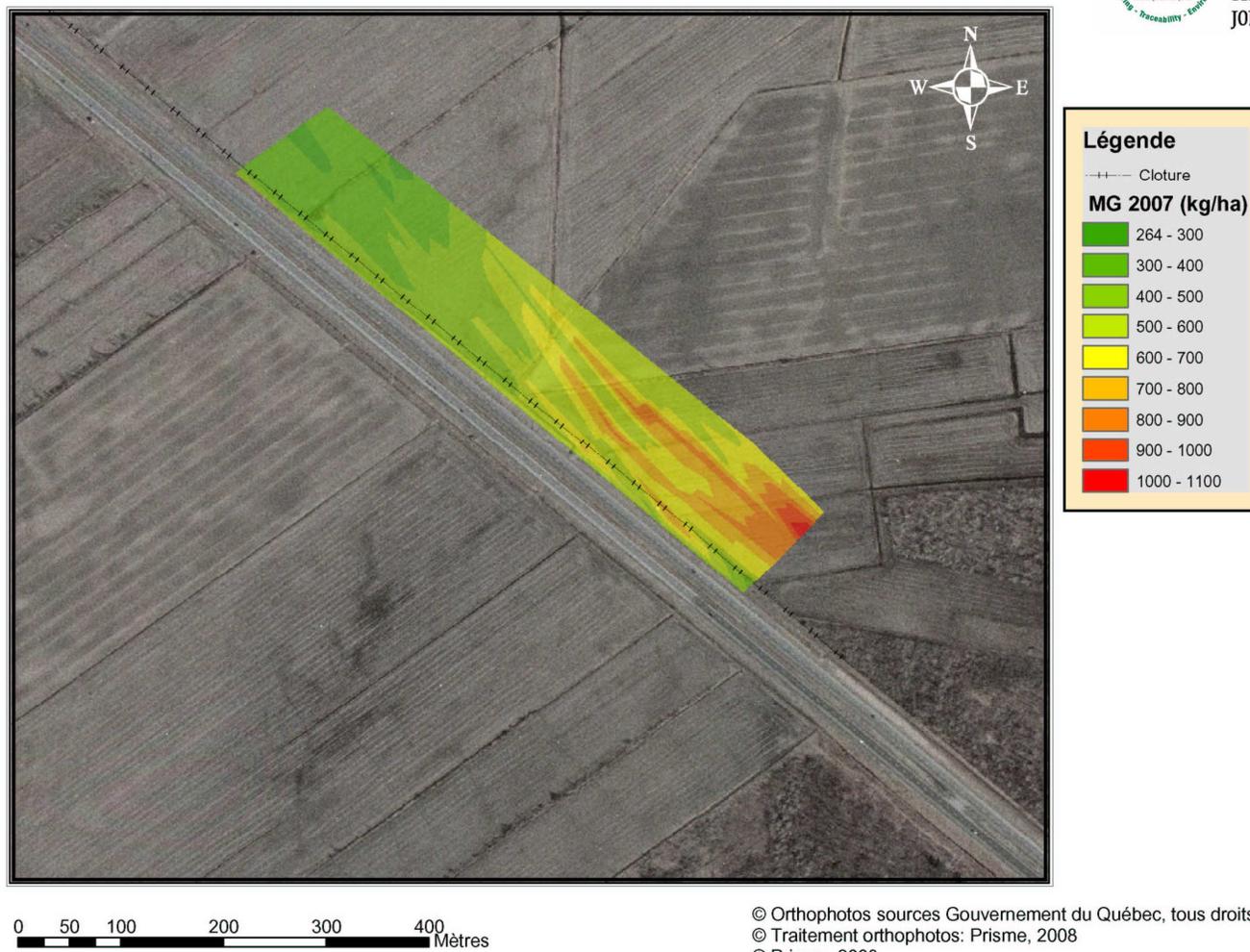
L'augmentation de la salinité du sol par l'épandage de sels de voirie peut avoir des répercussions sur le biote du sol (la macroflore, la microflore et la faune). Le rendement des récoltes diminue avec l'augmentation des niveaux de conductivité électrique. La salinité de la solution du sol le long des routes provinciales peut avoir des effets nocifs sur les espèces « sensibles », comme le maïs, ou « modérément sensibles » à la salinité du sol.

Par contre la conductivité électrique la plus élevée que nous avons observée dans les champs étudiés était de 0,219 dS/m alors que le taux critique de la conductivité électrique pour un champ de maïs est de 2 dS/m, soit 10 fois plus que les niveaux mesurés dans notre étude.

Variation spatiale de la concentration du sol en magnésium (année 2007)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 9 : Variation spatiale de la concentration en magnésium (Mg) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.

Variation spatiale de la concentration du sol en magnésium (année 2008)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0

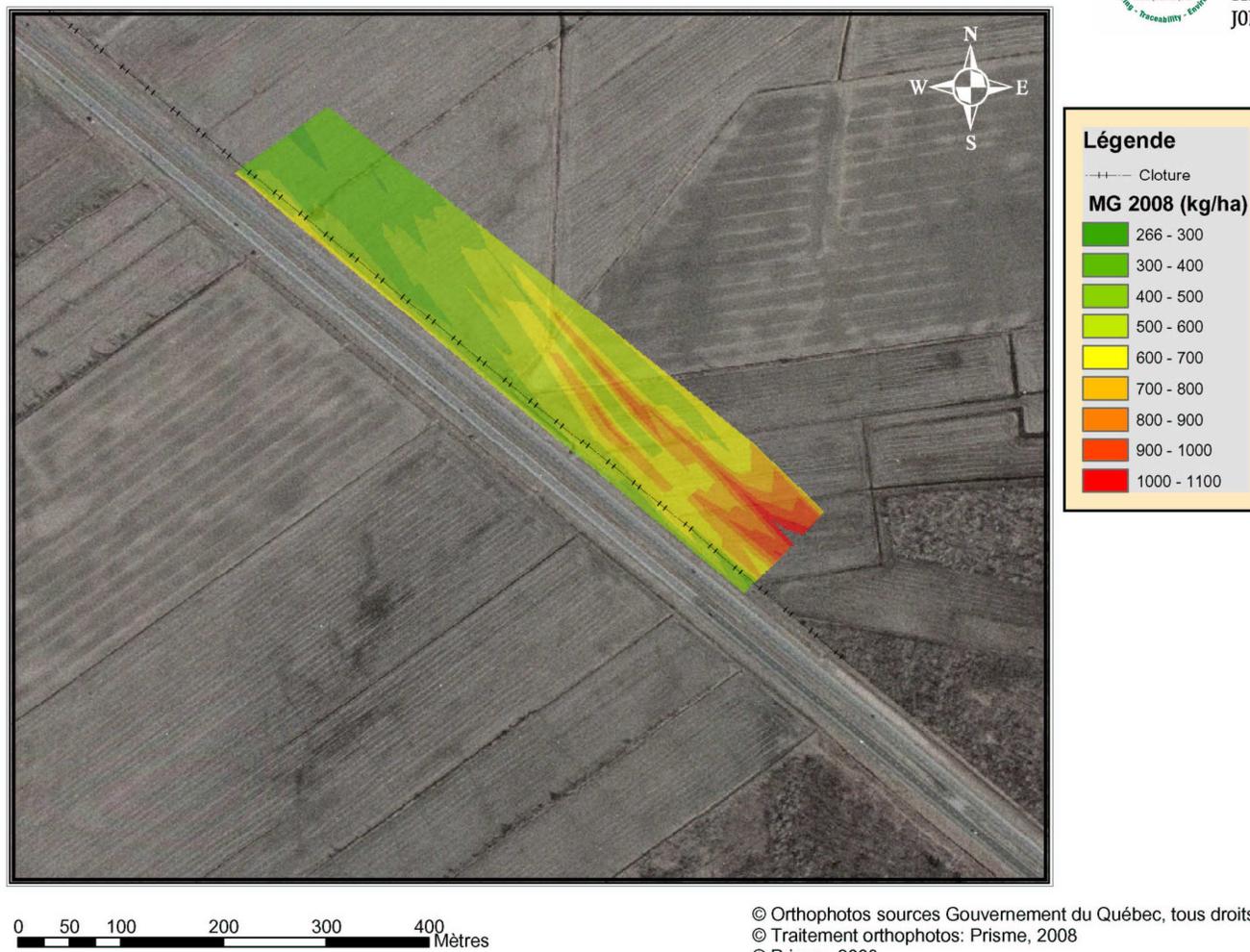


Figure 10 : Variation spatiale de la concentration en magnésium (Mg) des échantillons de sol effectués en avril 2008, juste après la fonte des neiges.

Variation spatiale de la concentration du sol en potassium (année 2007)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



0 50 100 200 300 400 Mètres

© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 11 : Variation spatiale de la concentration en potassium (K) du sol échantillonné en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.

Variation spatiale de la concentration du sol en potassium (année 2008)



0 50 100 200 300 400 Mètres

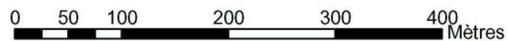
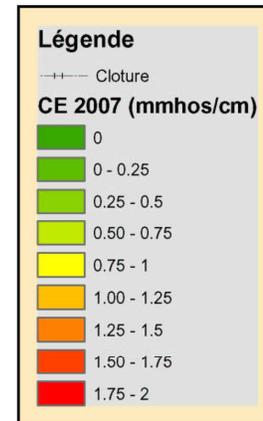
© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 12 : Variation spatiale de la concentration en potassium (K) du sol échantillonné en avril 2008, juste après la fonte des neiges.

Variation spatiale de la salinité du sol (année 2007)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



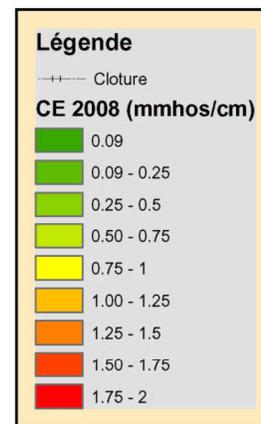
© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 13 : Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) des échantillons de sol effectués en décembre 2007, juste avant le début d'épandage des sels.

Variation spatiale de la salinité du sol (année 2008)



111, rue St-Patrice
Sherrington, Qc
J0L 2N0



0 50 100 200 300 400 Mètres

© Orthophotos sources Gouvernement du Québec, tous droits réservés, 2006
© Traitement orthophotos: Prisme, 2008
© Prisme, 2008

Figure 14 : Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) des échantillons de sol effectués en avril 2008, juste après la fonte des neiges.

CONCLUSION

L'épandage des sels de voirie peut avoir des répercussions nuisibles sur les paramètres physico-chimiques du sol. Les effets sur les électrolytes influencent la stabilité structurelle du sol, sa dispersion, sa perméabilité, son gonflement et la formation de croûtes durcies à sa surface.

Dans cette étude, nous avons analysé l'impact du sel d'embrun provenant d'une autoroute sur les paramètres suivants: concentrations du sol en Na, en Ca, en Mg, en K, ainsi que la conductivité électrique.

La concentration du sodium était très élevée dans les dix premiers mètres adjacents à l'autoroute, 262 ppm en 2007 et 857 ppm en 2008. Cette concentration a diminué rapidement pour atteindre à trente mètres de l'autoroute des valeurs inférieures à 100 ppm. Le sel épandu durant l'hiver 2008 a fait augmenter significativement la concentration en Na à 10 mètres de la bordure asphaltée de l'autoroute. Les échantillons proches de l'autoroute avaient des valeurs de l'ordre de 800 ppm ; par contre à 120 mètres de l'autoroute les concentrations étaient tombées à près de 15 ppm.

L'impact du sel d'embrun sur la concentration en Na a été observé sur les 30 premiers mètres de la bordure asphaltée. Les sols échantillonnés avant la clôture de l'autoroute (située à 25 mètres de la bordure asphaltée) avaient des concentrations supérieures aux seuils critiques pour le développement racinaire, évalué entre 67,5 et 300 ppm de Na disponible. Par contre, les concentrations de sols échantillonnés dans les champs étaient toutes inférieures au seuil critique.

En ce qui concerne les sels de chlorure de calcium et de magnésium, ils ont eu un effet quadratique sur l'augmentation de la concentration de Ca et Mg dans les 20 premiers mètres du bord de l'autoroute. Les valeurs maximales de 17900 kg Ca /ha et 667 kg Mg/ha se trouvaient dans les 10 premiers mètres de l'autoroute. Les concentrations ont diminué significativement à 20 mètres de l'autoroute. Les sels d'embrun n'ont eu aucun effet sur la variation de la concentration du sol en Ca et du Mg dans le champ.

Pour les deux sites à l'étude, l'analyse statistique a montré que l'épandage du sel de potassium n'a aucun impact significatif sur la variation de la concentration du potassium dans le champ.

La conductivité électrique n'était pas élevée. La valeur la plus élevée des six transects (0,97 dS/m) était celle relevée le plus près de l'autoroute. Par contre, la valeur la plus élevée à l'intérieur du champ était de 0,219 dS/m alors que le taux critique de la conductivité électrique pour un champ de maïs est de 2 dS/m.

BIBLIOGRAPHIE

Cain, N.P., B. Hale, E. Berkelaar et D. Morin. 2001. *Critical review of effects of NaCl and other road salts on terrestrial vegetation in Canada.* 248 pages. Rapport présenté au Groupe ressource environnemental d'Environnement Canada chargé d'évaluer les sels de voirie inscrits sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire de la LCPE, juillet 2001, Direction des substances existantes, Environnement Canada, Hull (Québec).

CIS (Camford Information Services), 1994. Sodium chloride, *CPI Product Profiles*, Don Mills (Ontario), 3 pages.

EC (Environnement Canada), 2005. *Projet de parachèvement de l'autoroute 35 entre la frontière américaine et Saint-Jean-sur-Richelieu*, Les impacts des sels de voirie. Lettre du 28 novembre 2005. MRC Le Haut-Richelieu 6211-06-110.

EC (Environnement Canada), 2001. *Loi Canadienne sur la protection e l'environnement. Liste des substance d'intérêt prioritaire.* Rapport d'évaluation. Sels de voirie. 2001, 187 pages.

Harrington, J.A. et T. Meikle. 1992. Road salt effects on the germination of eight select prairie species. *Proceedings 13th North American Prairie Conference*, 1992, Department of Parks and Recreation, Windsor (Ontario), p. 183-192.

Hofstra, G., R. Hall et G.P. Lumis, 1979. Studies of salt-induced damage to roadside plants in Ontario, *J. Arboric.*, 5: 25-31.

ICE (Institut canadien des engrais), 1997. Présence de chlorure de potassium dans les résidus des mines de potasse utilisés pour le salage des routes. Communication personnelle de J. Farrell, directeur des affaires techniques, ICE à R. Chénier, Environnement Canada, Hull.

MEEO (Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario), 1993. *A study of dust suppressants in Ontario. Final Report.* Préparé par CH2M Hill Engineering Ltd. pour la Direction de la gestion des déchets, ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, Toronto (Ontario).

Perchanok, M.S., D.G. Manning et J.J. Armstrong. 1991. *Highway deicers: Standards, practice and research in the Province of Ontario.* Direction de la recherché et du développement, ministère des Transports de l'Ontario, Downsview (Ontario), 53 p. (MAT-91-13).

Tableau 1 : Extrait des analyses de variance (ANOVA) effectuées pour le site cultivé en maïs.

Source	Élément		Conductivité électrique (CE)		Sodium (Na)		Calcium (Ca)		Potassium (K)		Magnésium (Mg)									
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008								
	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.								
Transect	2,288	n.s.	1,533	n.s.	0,910	n.s.	0,940	n.s.	4,478	n.s.	2,921	n.s.	7,365	**	15,628	**	18,606	**	14,564	**
Distance	13,385	**	0,650	n.s.	12,105	**	73,737	**	4,647	**	6,178	**	1,428	n.s.	0,716	n.s.	1,733	n.s.	6,267	**
Contrast Distance																				
Effet linéaire	--	**	--	n.s.	--	**	--	**	--	n.s.	--	t	--	n.s.	--	n.s.	--	*	--	**
Effet quadratique	--	**	--	n.s.	--	**	--	**	--	**	--	**	--	n.s.	--	n.s.	--	**	--	**
Effet cubique	--	**	--	t	--	**	--	**	--	**	--	**	--	n.s.	--	n.s.	--	n.s.	--	**
R carrée	0,957		0,748		0,899		0,977		0,982		0,983		0,975		0,935		0,991		0,989	

** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; t = tendance à 0,1; n.s. non significatif.

Tableau 2 : Extrait des analyses de variance (ANOVA) effectuées pour le site en pâturage.

Source	Élément		Conductivité électrique (CE)		Sodium (Na)		Calcium (Ca)		Potassium (K)		Magnésium (Mg)									
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008								
	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.	F	sig.								
Transect	1,078	n.s.	0,878	n.s.	1,446	n.s.	1,134	n.s.	2,813	n.s.	3,575	*	0,146	n.s.	1,301	n.s.	1,615	n.s.	5,731	t
Distance	0,702	n.s.	0,887	n.s.	21,730	**	20,011	**	4,156	**	1,538	n.s.	0,589	n.s.	0,546	n.s.	1,567	n.s.	3,114	t
Contrast Distance																				
Effet linéaire	--	t	--	n.s.	--	**	--	**	--	**	--	t	--	n.s.	--	n.s.	--	n.s.	--	*
Effet quadratique	--	t	--	n.s.	--	**	--	**	--	**	--	**	--	n.s.	--	n.s.	--	**	--	**
Effet cubique	--	n.s.	--	n.s.	--	**	--	**	--	n.s.	--	n.s.	--	n.s.	--	t	--	n.s.	--	n.s.
R carrée	0,910		0,841		0,943		0,930		0,990		0,963		0,916		0,946		0,972		0,977	

** significatif à 0,01; * significatif à 0,05; t = tendance à 0,1; n.s. non significatif.

Tableau 3: Comparaisons multiples des moyennes de concentrations du sol échantillonné dans le site de maïs. La première colonne représente la distance des points d'échantillonnage par rapport à la chaussée. Le fossé de drainage se situe à une distance de 15 m de la chaussée ç.à.d. entre le premier et le deuxième point.

Élement Distance	Conductivité électrique (CE d.S/m)		Sodium (mg/kg sol sec)		Calcium (Kg/ha)		Potassium (Kg/ha)		Magnésium (Kg/ha)	
	CE 2007	CE 2008	Na 2007	Na 2008	Ca 2007	Ca 2008	K 2007	K 2008	Mg 2007	Mg 2008
10	0,53 a	0,40 a	262 a	857 a	10774 a	12152 a	202 a	205 a	475 a	667 a
20	0,19 bc	0,16 a	38 b	58 b	5792 b	5889 b	219 a	253 a	394 a	386 b
30	0,21 b	0,15 a	45 b	44 b	6936 b	6409 b	283 a	246 a	399 a	388 b
40	0,13 bc	0,22 a	26 b	31 b	5937 b	6310 b	209 a	174 a	392 a	409 b
50	0,11 bc	0,19 a	27 b	25 b	5745 b	5886 b	174 a	184 a	360 a	378 b
60	0,10 c	0,15 a	24 b	21 b	5533 b	5842 b	208 a	166 a	360 a	361 b
70	0,11 bc	0,18 a	22 b	21 b	5734 b	6611 b	224 a	166 a	369 a	389 b
80	0,10 c	0,22 a	20 b	20 b	5520 b	5994 b	209 a	267 a	357 a	366 b
90	0,13 bc	0,13 a	19 b	17 b	6336 b	6713 b	205 a	179 a	324 a	362 b
100	0,16 bc	0,17 a	18 b	17 b	7351 b	7592 b	173 a	202 a	381 a	388 b
110	0,14 bc	0,18 a	17 b	19 b	7068 b	7597 b	234 a	175 a	376 a	394 b
120	0,16 bc	0,15 a	18 b	17 b	6813 b	6914 b	175 a	191 a	379 a	395 b

Les moyennes suivies d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes ($P < 0.05$, test Duncan)

Tableau 4 : Comparaisons multiples des moyennes de concentrations du sol échantillonné dans le site de pâturage. La première colonne représente la distance des points d'échantillonnage par rapport à la chaussée. Le fossé de drainage se situe à une distance de 15 m de la chaussée ç.à.d. entre le premier et le deuxième point.

Élement Distance	Conductivité électrique (CE d.S/m)		Sodium (mg/kg sol sec)		Calcium (Kg/ha)		Potassium (Kg/ha)		Magnésium (Kg/ha)	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
10	0,54 a	0,56 a	407 a	599 a	8967 ab	8569 a	182 a	164 a	488 a	442 a
20	0,35 a	0,21 a	91 b	66 b	9676 a	10749 a	169 a	134 a	624 a	541 a
30	0,33 a	0,37 a	53 b	56 b	7244 c	7535 a	207 a	113 a	608 a	659 a
40	0,37 a	0,38 a	45 b	50 b	7688 bc	7199 a	167 a	127 a	657 a	666 a
50	0,38 a	0,46 a	47 b	52 b	6273 c	6354 a	171 a	133 a	796 a	836 a
60	0,38 a	0,35 a	41 b	38 b	6307 c	6374 a	148 a	144 a	688 a	742 a
70	0,30 a	0,21 a	34 b	31 b	6345 c	5797 a	197 a	171 a	711 a	714 a
80	0,35 a	0,53 a	35 b	45 b	6257 c	6597 a	242 a	140 a	862 a	1001 a
90	0,37 a	0,35 a	32 b	32 b	6471 c	6651 a	178 a	151 a	831 a	841 a
100	0,40 a	0,45 a	32 b	31 b	6913 c	6574 a	230 a	143 a	737 a	712 a
110	0,26 a	0,31 a	29 b	26 b	7063 c	7236 a	160 a	131 a	637 a	720 a
120	0,28 a	0,24 a	26 b	27 b	7256 c	7930 a	137 a	109 a	590 a	633 a

Les moyennes suivies d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes ($P < 0.05$, test Duncan)