



**Analyse des paramètres pédologiques et gazeux
de la région de Bécancour
Rapport préliminaire de la campagne 2010**

RAPPORT INRSCO2-2011-V2.6

par

**Sébastien Lange
Jean-Christophe Aznar
et
Michel Malo**

Soumis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

2011 – Québec

R-1268

Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement,

490 de la Couronne, Québec, Qc, G1K 9A9

Téléphone : (418) 654-2535 ; Télécopieur : (418) 654-2600 ; Site internet : chaireco2.ete.inrs.ca

Préambule

Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a octroyé une subvention à l'INRS-ETE pour mettre en place une chaire de recherche sur la séquestration géologique du CO₂ au Québec. Le décret n° 714-2008 approuvant l'octroi a été adopté le 25 juin 2008. La subvention d'une durée de cinq ans (exercices financiers 2008-2009 à 2012-2013) provient du Fonds vert. La création de la chaire s'inscrit dans l'action 20 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques intitulé « Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir ».

Les travaux de la chaire permettront d'explorer les principales options de séquestration géologique du CO₂ au Québec. Les objectifs principaux sont d'évaluer la capacité de stockage du CO₂ au Québec, de tester quelques sites pour leur potentiel de rétention du CO₂ après injection, et de former une expertise au Québec dans le domaine de la technologie du captage et de la séquestration du CO₂ (CSC). Les objectifs secondaires pour arriver à répondre aux objectifs principaux sont de: 1) faire l'inventaire des réservoirs géologiques potentiels au Québec; 2) faire l'inventaire des sources majeures d'émission du CO₂ au Québec; 3) compiler les travaux réalisés ailleurs dans le monde sur la technologie du CSC; 4) caractériser les paramètres géologiques et géophysiques des réservoirs potentiels; 5) évaluer leur capacité de stockage; 6) choisir des sites potentiels pour réaliser des essais d'injection du CO₂; 7) tester un ou deux sites avec suivi sur une période d'un à deux ans pour évaluer la capacité de rétention du CO₂ et les risques de fuite. En marge de l'atteinte des objectifs mentionnés plus haut, les travaux complémentaires concernent l'évaluation des enjeux socio-économiques de l'implantation de la technologie du CSC au Québec (lois, sécurité, etc.) et des études technico-économiques pour l'implantation d'une usine pilote.

Les cinq volets de recherche suivants permettront d'atteindre les objectifs et de réaliser les travaux complémentaires :

1. Inventaire
2. Caractérisation
3. Capacité de stockage
4. Test-pilote
5. Enjeux socio-économiques.

Le présent rapport sur l'analyse des paramètres pédologiques et gazeux de la région de Bécancour cadre dans le volet de recherche Test-pilote. En effet, ces travaux permettront d'établir des mesures de référence pré-injection de CO₂.

Résumé

Le développement d'un projet de séquestration géologique du CO₂ implique une surveillance environnementale constante dès le début du projet jusqu'après sa réalisation. En effet, pour statuer sur d'éventuelles remontées de CO₂ en post-injection dues à des fuites provenant du réservoir géologique, il est essentiel de connaître la répartition spatiale initiale ou pré-injection du CO₂ à la surface du sol sur l'ensemble de la zone directement située au dessus de la zone d'injection considérée. De plus, il est préférable d'élargir un peu le rayon de la zone d'étude à la surface du sol afin de contrer d'éventuels mouvements horizontaux du gaz dus à la dispersion et à la diffusion du gaz pendant sa remontée vers la surface. Le patron de distribution pré-injection correspond au patron de distribution que l'on pourrait qualifier de naturel incluant les effets naturels tel que la respiration racinaire et la dégradation de matière organique et les effets anthropiques. Si le réservoir est étanche et qu'aucune fuite n'est présente en post-injection, le patron de distribution des concentrations de CO₂ et des ratios isotopiques ¹³C/¹²C ne sera pas modifié. Au contraire, si le réservoir présente des fuites et donc des remontées, le patron de distribution des concentrations de CO₂ et des ratios isotopiques ¹³C/¹²C sera modifié. Sur certaines zones, les concentrations en CO₂ seront plus élevées et les ratio-isotopiques naturels (pré-injection) seront affectés par le ratio-isotopique du gaz injecté. Ces zones correspondront à des zones d'émission de surface du gaz injecté en profondeur. Préalablement à l'injection, il est donc nécessaire de définir les patrons de distribution de CO₂ et des ratios isotopiques ¹³C/¹²C et de vérifier leur stabilité dans le temps afin de s'affranchir de variations naturelles induites par les variations temporelles dues par exemple aux changements de saisons. Toutes ces étapes préliminaires vont permettre de caractériser les zones les plus susceptibles d'émettre des gaz provenant du réservoir si celui-ci est perméable. Ces zones une fois identifiées devront être contrôlées plus spécifiquement en post-injection et surveillées en continu suite à l'injection. Ce rapport présente donc les résultats préliminaires de l'échantillonnage ponctuel de la région de Bécancour réalisé à l'automne 2010.

Sommaire

Préambule	3
Résumé	3
1. Introduction	7
2. Méthodologie	7
A. La zone d'étude	7
B. Les différents paramètres mesurés	9
i. Concentrations en CO ₂ et ratios isotopiques ¹³ C/ ¹² C à la surface du sol	9
ii. Concentrations de gaz dans le sol	10
iii. Paramètres physico-chimiques des sols	11
iv. Autres mesures	12
C. Planification des mesures ponctuelles	13
D. Distribution spatiale de chacun des paramètres	14
3. Résultats	14
A. Distribution spatiale du CO ₂ et du CH ₄ dans le sol à 0,5m de profondeur	15
B. Distribution spatiale de la densité apparente et de la teneur en carbone organique total du sol	16
C. Distribution spatiale des concentrations en hydrocarbures dans le sol à 0,5m de profondeur	18
4. Conclusions	22
5. Planification de la campagne d'échantillonnage 2011	22
6. Remerciements	22
7. Références	22

FIGURES

Figure 1. Zone d'étude.	8
Figure 2. Grille d'échantillonnage ponctuelle.	8
Figure 3. Exemple d'une sous partie de la grille d'échantillonnage finale avec en vert les coordonnées des sites initialement prévus et en rouge les coordonnées finales de ces mêmes sites décalés suite aux contraintes de terrain.	9
Figure 3. Échantillonnage du gaz servant à l'analyse des concentrations en CO ₂ et des ratios isotopiques ¹³ C/ ¹² C à la surface du sol à l'aide de sac en Tedlar et d'une pompe.	10
Figure 4. Sonde à gaz (à gauche) et prélèvement du gaz à l'aide de la seringue qui sera injecté dans les deux fioles présentées (à droite).	11
Figure 5. Cylindre de sol pour la mesure de la densité apparente (à gauche) et la sonde de mesure des propriétés des sols (Stevens, POGO) (à droite).	12
Figure 6. A) Sonde à gaz qui sera enfoncée dans le sol (à gauche) et B) analyseur portable (à droite).	13
Figure 7 : Sites échantillonnés pour le gaz et les paramètres physico-chimiques des sols à l'automne 2010.	14
Figure 8 : Concentration de CO ₂ à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	15
Figure 9 : Concentration de CH ₄ à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	16
Figure 10 : Densité apparente du sol entre 0,1 et 0,2 m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	17
Figure 11 : Teneur en carbone organique totale du sol entre 0,1 et 0,2 m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	17
Figure 12 : Concentration d'éthane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	18
Figure 13 : Concentration d'éthylène à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	19
Figure 14 : Concentration de propane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	19
Figure 15 : Concentration de propylène à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	20
Figure 16 : Concentration d'isobutane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	20
Figure 17 : Concentration de butane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	21
Figure 18 : Concentration de n-paraffine à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.	21

Introduction

La surveillance environnementale est un point crucial lors du développement d'un projet de séquestration géologique du CO₂ (Climate Action, 2011). Cette surveillance est essentielle pour l'acceptation sociale des projets (de Donato *et al.*, 2011; Korre *et al.*, 2011; Rouchon *et al.*, 2011). Dans les zones habitées, les remontées de CO₂ via un réseau de failles ou le long de puits de forage peuvent être préoccupantes pour les acteurs locaux. Dans la région de Bécancour ce risque est jugé minime du fait de l'épaisseur et la nature des formations géologiques recouvrant les formations ciblées comme réservoir pour l'injection. Cependant, il est essentiel de faire un suivi environnemental constant pour vérifier et au besoin identifier ces risques. Dans une première phase, il faut procéder à une caractérisation régionale des teneurs en CO₂ pré-injection. Cette caractérisation initiale servira de référence et sera considérée comme étant représentative des teneurs «naturelles» du site. Il sera donc possible par différence d'évaluer d'éventuels problèmes de contamination provenant de fuites de CO₂ en post-injection. Localement, de fortes teneurs en CO₂ peuvent être associées à des sources anthropiques telles des émissions industrielles ou bien à des zones naturelles d'émissions, comme des failles. Sans caractérisation initiale, ces phénomènes pourraient être attribués à tort à des remontées de gaz en post-injection. Cette caractérisation s'effectuera le long des routes, des chemins et sur des sites ponctuels répartis selon une grille régulière couvrant l'ensemble du site de Bécancour. Les mesures seront répétées temporellement afin de mieux saisir les variabilités inter et intra-annuelles. Ce travail servira de base à l'identification de zones considérées comme étant « à risques élevés » et qui devront être suivies en continu en post-injection. Ces zones à risques élevés seront identifiées selon des cartographies générées à partir des données recueillies dans la phase de caractérisation du projet. Le set de données initial sera constitué essentiellement des concentrations en CO₂ et des ratios isotopiques ¹³C/¹²C auxquels s'ajouteront des données physico-chimiques des sols telles que la densité et la teneur en carbone organique total. D'autres mesures telles que les concentrations en hydrocarbures et en radon dans le sol seront également recueillies. Elles serviront à caractériser les zones possibles d'émissions

naturelles de remontées gazeuses profondes. Les mesures de concentration de gaz seront réalisées en surface et dans les sols à faible profondeur. Seules les données ponctuelles seront présentées dans ce rapport qui a pour objectif de présenter l'état d'avancement des travaux suite à l'échantillonnage automnal de 2010 sur une partie de la zone d'étude. Une description des différents paramètres et de leur méthode de mesures ainsi qu'un bref descriptif de ce qui sera réalisé en 2011 sont également présentés.

Méthodologie

A. La zone d'étude

La zone d'étude présentée à la Figure 1 est bordée au nord-ouest par le fleuve et au sud-est par une ligne électrique d'Hydro-Québec et représente une superficie d'environ 40 km². Elle s'étend de la rivière de Bécancour à la rivière de Gentilly. Elle englobe donc le parc industriel et portuaire, des zones municipales, des zones agricoles privées et des boisés.

L'échantillonnage ponctuel sur cette zone comprend 482 sites d'échantillonnages espacés au 300m (Figure 2) selon une grille régulière. Aucune information n'est actuellement disponible sur ce site, il est donc nécessaire de créer une base de données qui dans le futur nous permettra d'adapter l'échantillonnage. L'échantillonnage sera intensifié sur des zones de fortes concentrations ou de plus grande variabilité ou, au contraire, diminué sur des zones plus homogènes. En conséquence, ce dispositif régulier a été retenu afin d'obtenir une première représentation de la répartition spatiale de chacun des paramètres à l'étude.

Cette grille régulière est donnée à titre informatif, le positionnement des sites sur la figure ci-dessus (ronds verts) provient d'un calcul simple où la distance entre les points est fixée *a priori*. Sur le terrain, des contraintes d'accessibilité et d'occupation du sol peuvent modifier ce dispositif théorique. Certains des sites identifiés sur la Figure 2 ne pourront donc pas être échantillonnés tels que ceux situés sur les terrains appartenant à la centrale nucléaire de Gentilly où aucune autorisation d'accès n'a été délivrée, sur des plans d'eau ou sur des bâtiments du parc industriel. De plus, l'entente convenue avec le parc nous impose une zone tampon de 200m entre les routes et les sites échantillonnés. Le nombre de sites d'échantillonnage est donc moindre et évalué à environ 350 sites. De plus, le

positionnement des points peu légèrement varié dû aux conditions du terrain. Les coordonnées réelles déterminées avec un GPS portable ayant une précision d'environ 5m sont donc relevées pour modifier la position des sites d'échantillonnage (Figure 3) et ainsi améliorer la résolution des cartes. La liste des coordonnées

géographiques des sites d'échantillonnage est fournie en annexe 1.

Dans le futur, avec l'avancement des travaux de caractérisation, la grille d'échantillonnage sera adaptée. Sur certaines zones, l'échantillonnage sera plus rapproché alors que sur d'autres, moins à risques, il sera espacé.



Figure 1. Zone d'étude.

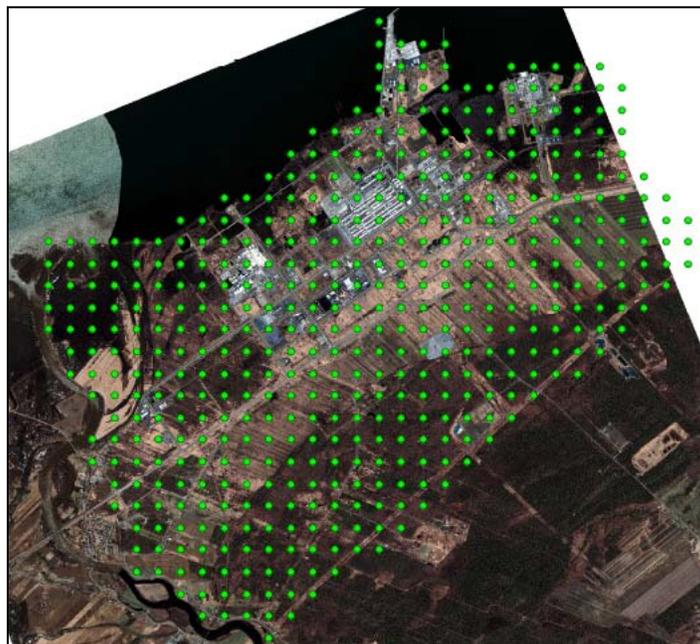


Figure 2. Grille d'échantillonnage ponctuelle.

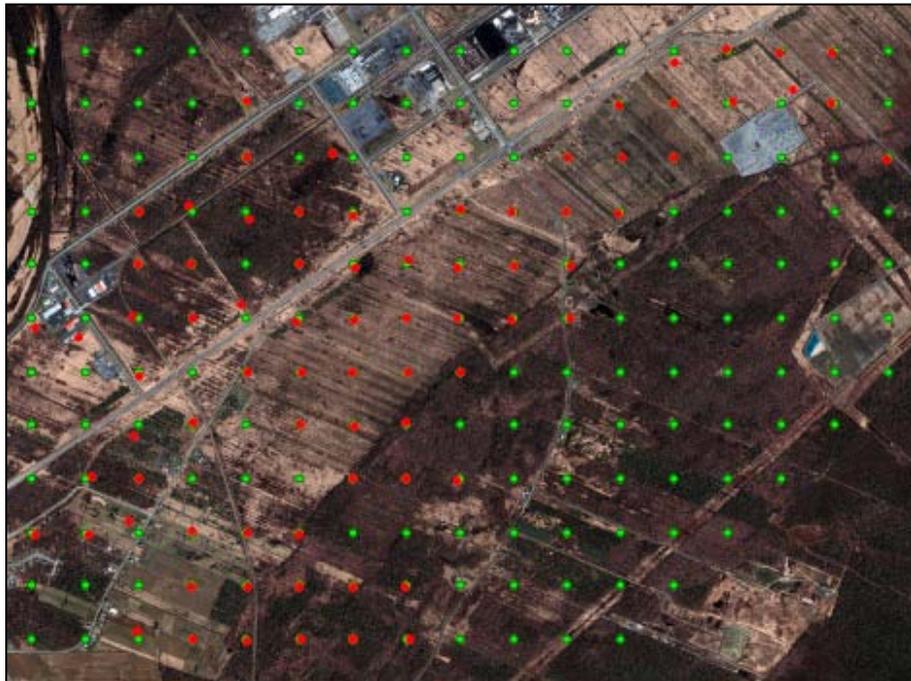


Figure 3. Exemple d'une sous partie de la grille d'échantillonnage finale avec en vert les coordonnées des sites initialement prévus et en rouge les coordonnées finales de ces mêmes sites décalés suite aux contraintes de terrain.

B. Les différents paramètres mesurés

i. Concentrations en CO₂ et ratios isotopiques ¹³C/¹²C à la surface du sol

Les concentrations en CO₂ et les ratios isotopiques ¹³C/¹²C sont deux paramètres essentiels car par différence entre leur valeur pré et post-injection, ils permettront de caractériser un changement environnemental potentiellement induit par l'injection de CO₂ en profondeur. En effet, si la concentration en CO₂ à la surface du sol augmente dans un même secteur, il existe des risques que cela provienne d'un apport de CO₂ injecté en profondeur qui aurait diffusé vers la surface. De plus, le CO₂ injecté en profondeur aura son propre ratio isotopique ¹³C/¹²C qui sera connu. Il faut donc évaluer ce même paramètre à l'état initial à la surface du sol pour voir si une modification aura lieu en post-injection. Si tel est le cas, une fuite du réservoir géologique sera identifiée par une dilution du ratio isotopique

naturel par le ratio isotopique du CO₂ provenant du réservoir qui diffuse en surface.

Néanmoins, les propriétés des gaz en surface sont extrêmement variables au cours d'une année. Il sera donc essentiel de déterminer les patrons de distribution des concentrations en CO₂ et des ratios isotopiques ¹³C/¹²C à plusieurs reprises dans l'année. Cela nous permettra de consolider nos connaissances du site et ainsi être capable de statuer sur tous les cas de figures possibles en post-injection.

Pour ce faire, à chaque site d'échantillonnage ponctuel un volume de gaz de surface est recueilli dans un sac en Tedlar à l'aide d'une petite pompe (Figure 4). Ce volume de gaz est analysé le jour même sur un spectromètre infra rouge laser (CRDS Analyzer for Isotopic CO₂ in Ambient Air - Model G2101-i, PICARRO). Cet appareil détermine les concentrations en CO₂ et les ratios isotopiques ¹³C/¹²C.



Figure 3. Échantillonnage du gaz servant à l'analyse des concentrations en CO_2 et des ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ à la surface du sol à l'aide de sac en Tedlar et d'une pompe.

ii. Concentrations de gaz dans le sol

À cause de la variabilité temporelle des concentrations de gaz en surface au cours d'une année, il est intéressant de compléter l'information acquise à la surface du sol (concentration en CO_2 et ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) par des mesures de la concentration des gaz dans le sol qui est moins variable que la concentration des gaz dans l'air. De plus, afin de minimiser les variations de concentrations des gaz dues notamment à l'activité biologique du sol (incluant la respiration des micro-organismes et l'activité racinaire de surface) et aux échanges gazeux sol/atmosphère qui peuvent biaiser les concentrations mesurées, les gaz dans le sol sont prélevés à une profondeur fixe de 50cm (Hendry *et al.*, 1999). Deux échantillonnages sont réalisés dans le sol afin de déterminer les concentrations en CO_2 et en hydrocarbures. Les concentrations en CO_2 dans le sol sont définies pour voir si une modification (augmentation) aura lieu en post-injection due à un apport de CO_2 injecté en profondeur. Les concentrations en hydrocarbures sont également intéressantes à mesurer car elles serviront à caractériser les zones préférentielles d'émissions naturelles de remontées gazeuses profondes. Ces gaz ne sont ni présents ni créés dans les couches superficielles du sol, ils proviennent des couches géologiques sous-jacentes. Ils sont libérés et diffusent jusqu'à la surface. Ils sont donc intéressants à caractériser car ils permettent d'identifier les chemins préférentiels de remontées gazeuses qui sont privilégiés naturellement et qui donc, seront privilégiés par le CO_2 pour diffuser vers la surface si le réservoir est perméable pour le CO_2 injecté. Les zones ainsi identifiées devront en post-injection être surveillées en continu. De

plus, si les concentrations en hydrocarbures nous révèlent des zones de remontées préférentielles associées à des fractures du socle géologique telles que la faille de Yamaska, il sera primordial de s'interroger sur l'étanchéité du réservoir.

Le dispositif utilisé pour échantillonner les gaz dans le sol est emprunté à l'exploration des hydrocarbures. Il consiste à enfoncer une sonde métallique à gaz de 1,5cm de diamètre qui comprend un fin capillaire en son centre. Ce capillaire permet d'échantillonner le gaz présent dans le sol à la profondeur désirée. La sonde est enfoncée selon le principe du pénétromètre en limitant donc les perturbations du sol ce qui restreint l'influence de la méthode de prélèvement sur les concentrations mesurées. Une fois installée, le gaz est prélevé dans le capillaire de la sonde à l'aide d'une seringue hypodermique de 20 mL. Un premier volume de 20 mL est prélevé et rejeté dans l'air ambiant afin de purger le capillaire et ainsi s'abstenir de toute contamination. Après cette purge, deux autres volumes de 15 mL et 20 mL sont prélevés et injectés immédiatement dans des fioles en verre pour lesquelles la sorption est négligeable. Le volume de 15 mL est injecté en surpression dans une fiole qui est préalablement mise à la pression atmosphérique. La fiole est par la suite envoyée chez Gases-GeoFrontiers au Texas pour l'analyse des hydrocarbures. Le volume de 20 mL est injecté en surpression dans une fiole de 12 mL préalablement mise sous-vide. Cette fiole servira à l'analyse des teneurs en CO_2 et méthane (CH_4) et sera analysée au laboratoire de l'INRS-ETE. Avant utilisation, chaque fiole de 12 mL a été mise sous vide à deux reprises.



Figure 4. Sonde à gaz (à gauche) et prélèvement du gaz à l'aide de la seringue qui sera injecté dans les deux fioles présentées (à droite).

De l'hélium a été injecté entre les deux fois afin de diluer et de minimiser la contamination en CO₂ par l'air contenu dans la fiole lors de sa fermeture. Les fioles utilisées pour l'analyse des hydrocarbures ne sont pas mises sous vide car la concentration des gaz d'intérêt est considérée comme nulle dans l'air ambiant. L'analyse des gaz contenus dans ces fioles se fera approximativement aux 15 jours. Pour vérifier les valeurs de concentration mesurée, des blancs ainsi que des standards de concentrations connues sont réalisés tous les jours et analysés en même temps que les échantillons de terrain.

iii. Paramètres physico-chimiques des sols

Pour cette étude, certains paramètres physico-chimiques du sol sont mesurés afin d'étendre nos connaissances sur la zone d'étude. Les paramètres physico-chimiques du sol d'intérêt pour cette étude sont la densité apparente du sol, sa porosité, sa teneur en eau et son contenu en carbone organique total (COT). La densité apparente est importante car si le réservoir géologique a des fuites en post-injection, il est fort probable que le gaz émerge en surface là où le sol sera le moins dense et donc où la porosité du sol sera la plus élevée multipliant ainsi le nombre de voie de transport pour le gaz. L'humidité du sol est elle aussi importante car le gaz diffuse 10 000 fois moins vite dans l'eau que dans l'air (Yanful, 1993). Le gaz se déplacera donc de préférence dans les zones plus sèches du sol. Enfin, la teneur en carbone organique total

du sol est intéressante car elle va nous permettre de définir les zones où l'activité biologique du sol est la plus élevée, caractérisant des zones d'émission de CO₂ naturellement plus élevées. Ces émissions ne pourront donc pas être attribuées à des fuites du réservoir en post-injection.

Les échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur fixe comprise entre 10 et 20cm. La couche de litière à la surface des sols forestiers (partie est/sud-est de la zone d'essai) a été retirée et non considérée dans le calcul de la profondeur. Les échantillons de sol servant à la détermination de la densité apparente ont été prélevés selon la méthode des cylindres (Grossman *et al.*, 2002). Cette méthode consiste à prélever un volume de sol intact de volume connu à l'aide d'un cylindre métallique et à en déterminer le poids de sol sec. Une fois la densité apparente évaluée, la porosité totale est calculée selon l'équation 1 :

$$\theta_a = 1 - \rho_b / \rho_s \quad \text{éq. 1}$$

où θ_a est la porosité totale du sol, ρ_b la densité apparente et ρ_s la densité réelle du sol estimée à 2,65 Mg/m³ (Flint *et al.*, 2002b). L'humidité du sol est déterminée à l'aide d'une sonde de mesure des propriétés des sols (Stevens, POGO; Fig. 5). Cette sonde nous fournit des données telles que la teneur en eau déterminée par la permittivité diélectrique apparente des sols et par la réflectométrie temporelle (TDR), la température du sol et sa conductivité électrique.



Figure 5. Cylindre de sol pour la mesure de la densité apparente (à gauche) et la sonde de mesure des propriétés des sols (Stevens, POGO) (à droite).

La teneur en carbone organique total a été déterminé à partir d'un échantillon de sol prélevé directement dans le profil et analysé à l'INRS.

iv. Autres mesures

Pour parfaire nos connaissances sur le site et identifier plus précisément les zones de remontées potentielles et d'émission de surface qui sont plus à risques, d'autres paramètres, non considérés jusqu'alors, sont envisagés pour compléter l'information.

Le premier paramètre est le pH du sol car celui-ci devrait s'acidifier là où les teneurs en CO₂ dans les sols augmenteront traduisant ainsi une remontée du CO₂ injecté. Le pH est important car s'il advenait que le sol s'acidifie, la composition chimique du sol serait bouleversée et des éléments stables en pré-injection tel des métaux lourds deviendraient mobiles suite à l'acidification du sol (Thomas, 2002; Ardelan *et al.*, 2009; West *et al.*, 2009). La modification possible du pH du sol ne doit donc pas être négligée dans une zone incluant un parc industriel et où les teneurs en métaux dans les sols doivent probablement être supérieures à la normale. Néanmoins, ce paramètre n'est intéressant que si une acidification du sol due à la présence de CO₂ dans les sols peut être mesurée. Le pH du sol en pré-injection ne doit donc pas être initialement trop acide si l'on veut être capable de détecter une variation de pH même minime et le sol doit avoir un faible pouvoir tampon. Le pouvoir tampon d'un sol représente sa capacité à résister aux variations de son pH. Il s'exprime selon la capacité d'échange cationique (CEC) du sol qui est reliée à la somme des bases échangeables soit la somme des principaux cations : calcium, potassium,

magnésium, sodium et ammonium. Il est ainsi plus difficile de mesurer une variation de pH lorsque le sol est fortement tamponné (type argileux) par rapport à un sol peu tamponné (type sableux). Des analyses préliminaires sont donc réalisées pour caractériser le pH et le pouvoir tampon des sols de la zone échantillonnée à l'automne 2010. Ces analyses permettront d'évaluer la pertinence de la mesure du pH du sol sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces résultats ne sont pas présentés dans ce rapport car les analyses sont en cours.

Le deuxième paramètre est la concentration de radon dans le sol qui comme pour les hydrocarbures dans le sol, fait généralement état d'une zone où il existe des remontées de gaz préférentielles (Beaubien *et al.*, 2003; Gal *et al.*, 2011; Lombardi *et al.*, 2011; Papp *et al.*, 2011). Les mesures de concentration de radon dans le sol se feront *in situ* et du fait de leur rapidité permettront d'augmenter le nombre de sites de mesures par rapport à la grille d'échantillonnage proposée (Fig. 2). Des mesures entre les points d'échantillonnage seront donc effectuées et les positions seront relevées à l'aide du GPS. Ainsi, dans un intervalle de temps relativement court, nous obtiendrons une densification des mesures d'un paramètre utile pour identifier des zones potentielles d'émissions considérées comme plus à risques en post-injection.

La sonde à radon de 52,5cm (Fig. 6A) sera enfoncée dans le sol comme la sonde à gaz présenté précédemment et connectée sur l'analyseur (Fig. 6B) qui déterminera les teneurs en radon dans le sol instantanément.



Figure 6. A) Sonde à gaz qui sera enfoncée dans le sol (à gauche) et B) analyseur portable (à droite).

C. Planification des mesures ponctuelles

L'échantillonnage ponctuel d'environ 350 sites sur l'ensemble de la zone d'étude nécessite plusieurs semaines et des conditions idéales pour le prélèvement des gaz et l'utilisation de certain appareil sur le terrain. En effet, le prélèvement de gaz dans les sols à 50cm de profondeur requiert que celui-ci soit relativement sec puisque air et eau se partagent la porosité du sol : si le sol est saturé, aucun gaz ne peut être prélevé. Également, les prélèvements sont déconseillés pendant et après un événement pluvieux puisque l'eau qui pénètre dans les sols tend à chasser l'air qu'il contient. Un intervalle de temps de plusieurs heures est alors nécessaire pour le drainage du sol et pour rétablir l'équilibre de la phase gazeuse dans le sol. Contrairement, les paramètres physico-chimiques du sol sont peu ou pas affectés par de mauvaises conditions météorologiques. Néanmoins, vu l'ampleur de la tâche qu'implique une telle grille d'échantillonnage, si un seul paramètre est limitant (généralement les gaz des sols) alors l'échantillonnage est interrompu.

Les propriétés des gaz sont extrêmement

variables au cours de l'année. Il est donc nécessaire de procéder à une répétition des mesures au cours du temps (automne, été, printemps). Du fait de l'accessibilité restreinte occasionnée par la neige et de la profondeur de sol gelé, aucun échantillonnage de gaz des sols ne sera effectué en hiver. Les paramètres physico-chimiques tels que la densité apparente et la teneur en COT ne seront pas répétés car ces données seront considérées comme stables pendant toute la durée de l'étude.

L'échantillonnage ponctuel a débuté en septembre 2010 et s'est interrompu mi-octobre 2010 du fait des fortes précipitations qui ont saturées les sols. 77 sites ont été visités (Fig. 7). Ils sont principalement situés au sud de la route 132 dans la zone en friche appartenant à la société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIP). Tous ces sites ont été échantillonnés pour les paramètres physico-chimiques des sols alors que seulement 52 l'ont été pour les gaz du sol du fait de la saturation en eau trop élevée des sols à l'automne 2010.

L'échantillonnage ponctuel reprendra au printemps 2011 lorsque la neige aura fondu et que les sols seront dégelés et drainés.



Figure 7 : Sites échantillonnés pour le gaz et les paramètres physico-chimiques des sols à l'automne 2010.

D. Distribution spatiale de chacun des paramètres

Les résultats des analyses de la zone échantillonnée à l'automne 2010 (Fig. 6) sont présentés sous forme de cartes et discutés. Un tableau de l'ensemble des valeurs utilisées pour créer ces cartes est fourni en annexe.

L'interpolation spatiale qui a permis de créer les cartes a été réalisée sur le logiciel ArcGIS 10 à l'aide de la méthode des voisins naturels. Cette méthode recherche le sous-ensemble d'échantillons en entrée le plus proche d'un point désigné et lui applique une pondération sur la base de surfaces proportionnelles afin d'interpoler une valeur (<http://help.arcgis.com/fr/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000077000000.htm>). La taille des pixels des cartes créées est de 13,256m.

Ces cartes préliminaires ne permettent pas d'extrapoler les distributions spatiales sur l'ensemble de la zone d'étude. Seule la zone pour laquelle des mesures ont été réalisées à l'automne est représentée.

Résultats

Les figures suivantes font état de la distribution spatiale des différents paramètres présentés précédemment à l'exception de la teneur en eau du sol, des concentrations en ^{13}C et des ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. À l'automne 2010, la sonde de mesure des propriétés des sols ne fonctionnait pas. Les teneurs en eau mesurées (annexe) l'ont été par différence gravimétrique. Elles sont donc directement fonction des conditions météorologiques impliquant une forte variabilité temporelle du fait que l'échantillonnage s'est déroulée sur 5 semaines. Pour déterminer la teneur en eau des sols, il est préférable d'utiliser soit les valeurs déterminées par conductivité temporelle soit d'utiliser la conductivité électrique des sols déterminée directement avec la sonde Stevens. Pour ces raisons, la teneur en eau du sol n'est pas présentée dans ce rapport. Les concentrations en ^{13}C ainsi que les ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ne sont pas présentés car les données obtenues par l'analyseur isotopique Picaro ne sont pas exploitables. Plusieurs corrections envoyées par la compagnie au début de 2011 ont dû être prises en compte. De plus, certains paramètres (date et heure) étaient différents entre le logiciel et l'ordinateur affectant l'enregistrement des données. Enfin, nous nous sommes aperçus a

posteriori que le volume du sac en Tedlar prélevé sur chaque site d'échantillonnage influait sur la lecture faite par l'analyseur isotopique Picaro. Le sac doit être en surpression donc gonflé à son maximum pour que la lecture faite par l'analyseur soit stable. Pour toutes les raisons énumérées ci-dessus, les concentrations en ^{13}C ainsi que les ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ne sont pas présentés. Ces données seront donc reprises au printemps 2011.

A. Distribution spatiale du CO_2 et du CH_4 dans le sol à 0,5m de profondeur

Les concentrations de CO_2 obtenues sur les sites échantillonnés à l'automne 2010 (Fig. 8) montrent peu de variations spatiales avec pour la plupart des sites, des concentrations inférieures à 15 000ppm. Seule une partie de la zone située au

sud-ouest de la zone montre des concentrations plus élevées en CO_2 . Cette zone correspond à des champs cultivés, on peut donc supposer que les intrants et le travail du sol induit par les activités agricoles ont augmenté sensiblement les concentrations en CO_2 dans le sol. Cela se confirme par les teneurs en carbone organique total (Fig. 11) qui sont également plus élevées dans cette même zone.

Les concentrations CH_4 obtenues sur les sites échantillonnés à l'automne 2010 (Fig. 7) montrent également peu de variations spatiales avec pour la plupart des sites, des concentrations inférieures à 75ppm. Néanmoins, les zones où les teneurs en méthane sont plus élevées correspondent à des zones qui ont été échantillonnées lorsque l'humidité du sol était élevée favorisant ainsi la production de méthane.

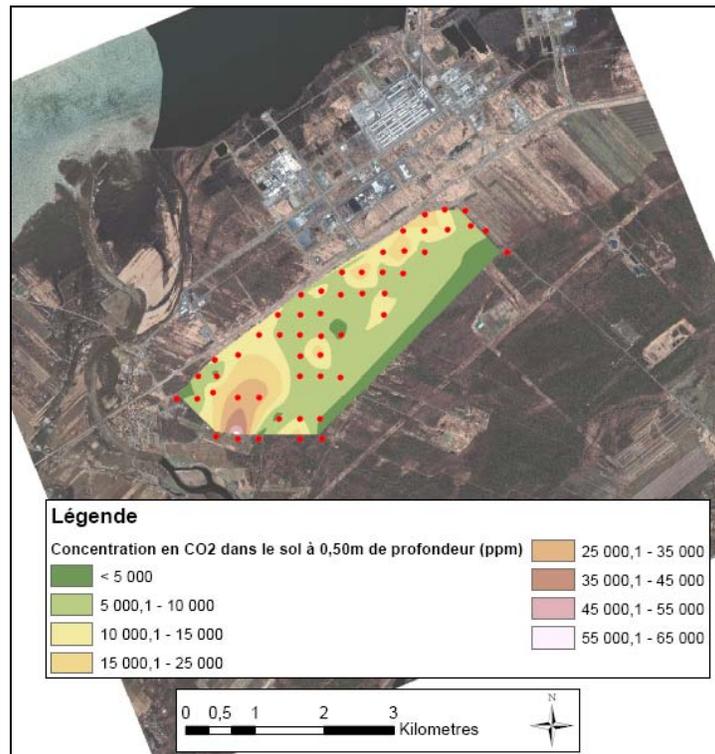


Figure 8 : Concentration de CO_2 à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

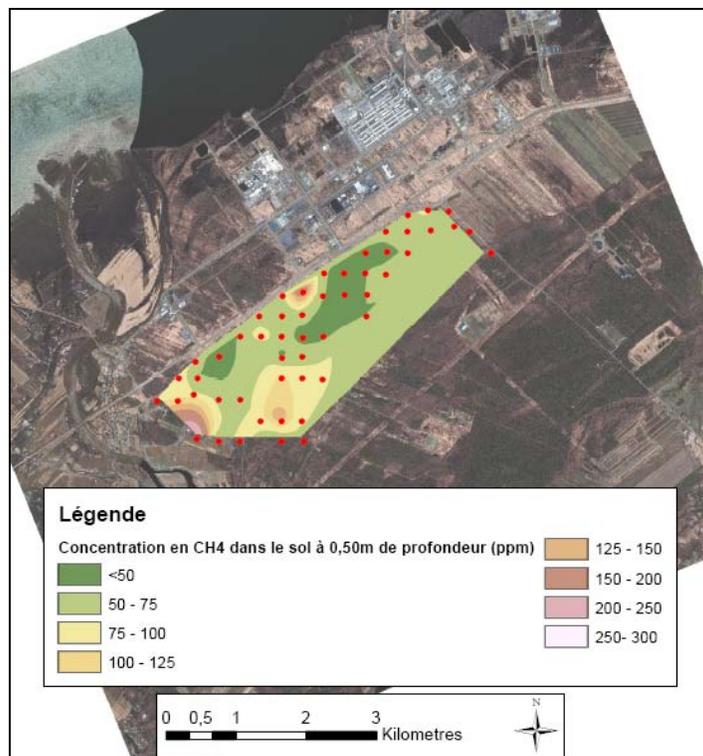


Figure 9 : Concentration de CH₄ à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

B. Distribution spatiale de la densité apparente et de la teneur en carbone organique total du sol

Les densités apparentes de la zone échantillonnée à l'automne 2010 sont peu variables et comprises principalement entre 1,1 et 1,6 Mg.m⁻³ (Fig. 10). Ces densités sont courantes pour des sols allant d'une

texture de loam argileux à une texture argileuse. Il n'y a donc pas de compaction excessive sur cette zone. La distribution des densités montre également que celles-ci sont plus faibles dans les zones forestières où la teneur en carbone organique du sol est plus élevée ce qui aère les sols (Fig. 11). Inversement, les densités sont les plus élevées là où les teneurs en carbone organique sont les plus faibles.

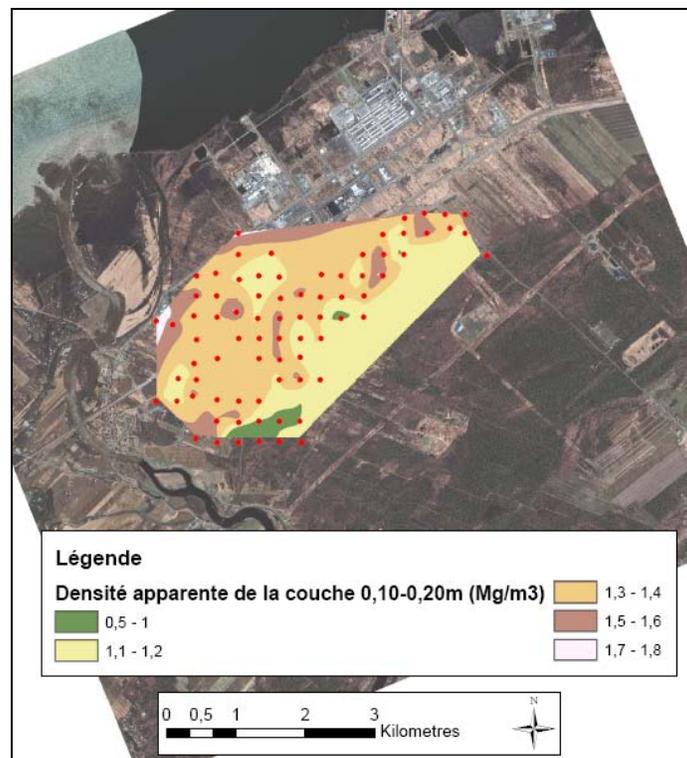


Figure 10 : Densité apparente du sol entre 0,1 et 0,2 m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

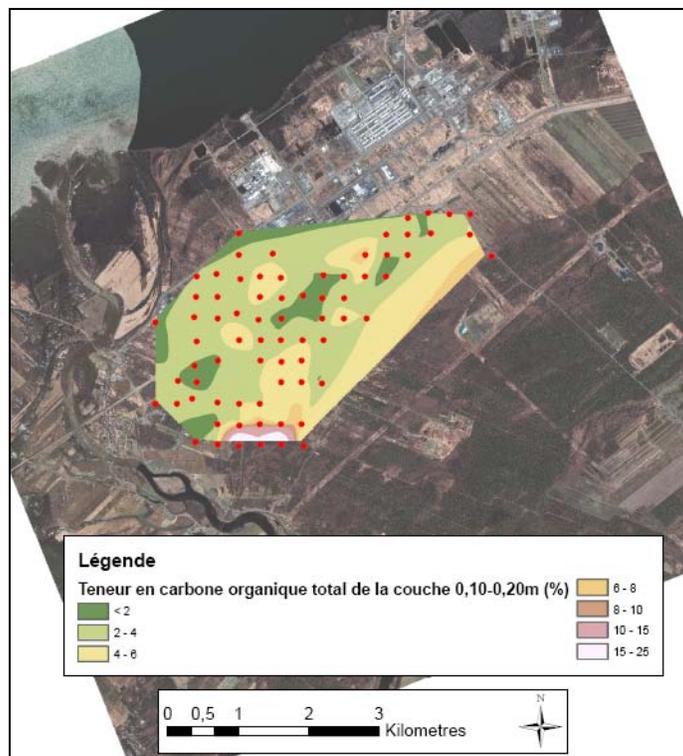


Figure 11 : Teneur en carbone organique totale du sol entre 0,1 et 0,2 m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

C. Distribution spatiale des concentrations en hydrocarbures dans le sol à 0,5m de profondeur

Les figures 12 à 18 montrent la distribution des concentrations en hydrocarbures dans le sol à 0,5m de profondeur. Les concentrations en

hydrocarbures les plus élevées dans le sol, se situent toutes au même endroit soit au bout de la rue Desormeaux proche de la route 132. Néanmoins, toutes ces concentrations sont considérées comme étant faibles. Probablement que la nature argileuse du sol et des sédiments sous-jacents limite la migration des hydrocarbures vers la surface.

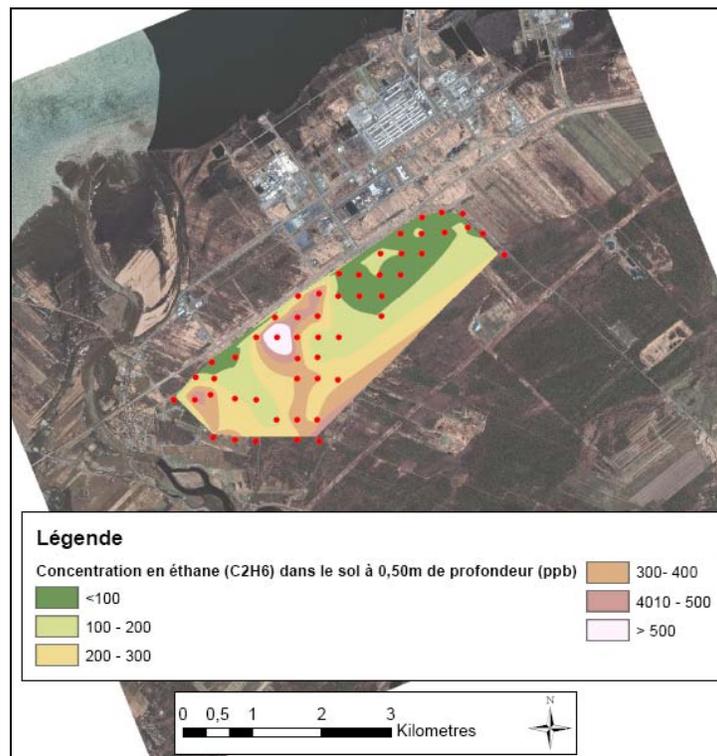


Figure 12 : Concentration d'éthane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

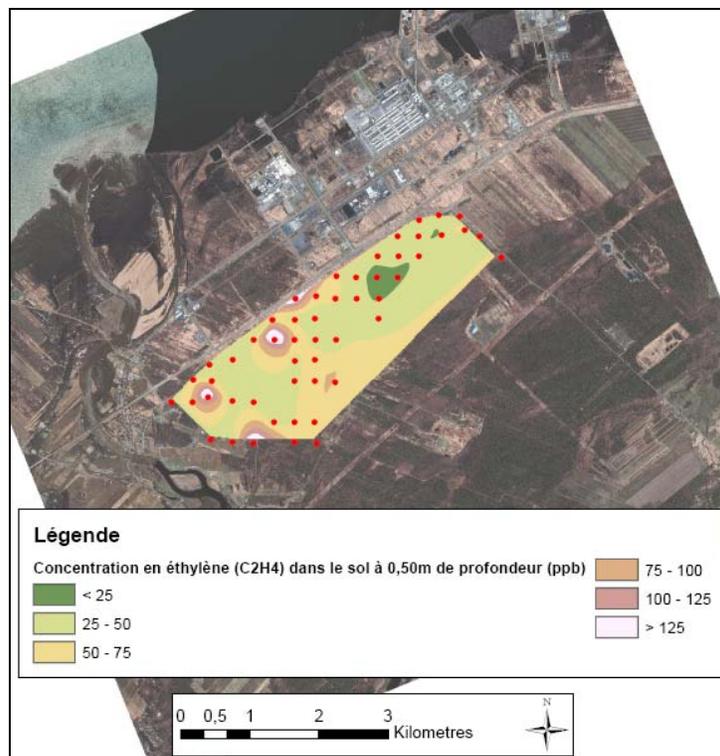


Figure 13 : Concentration d'éthylène à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

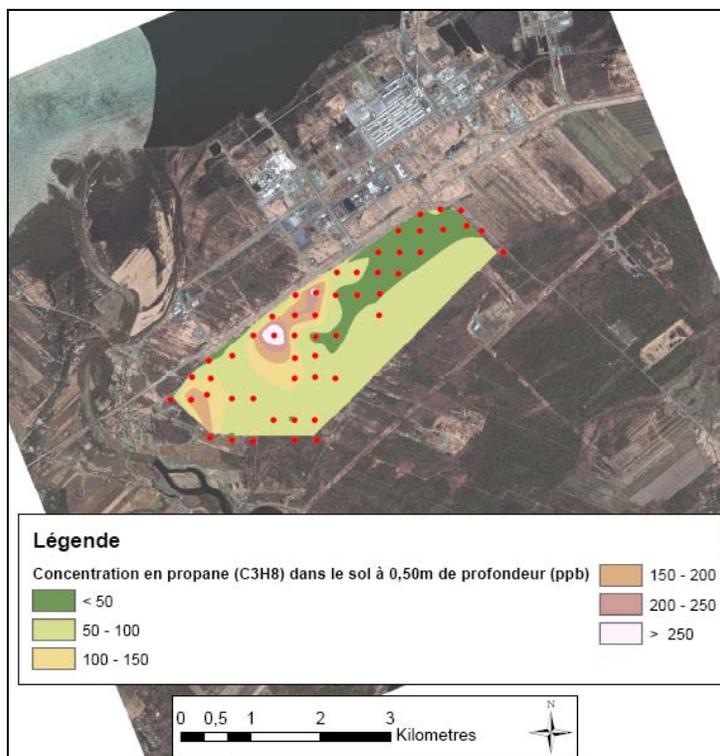


Figure 14 : Concentration de propane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

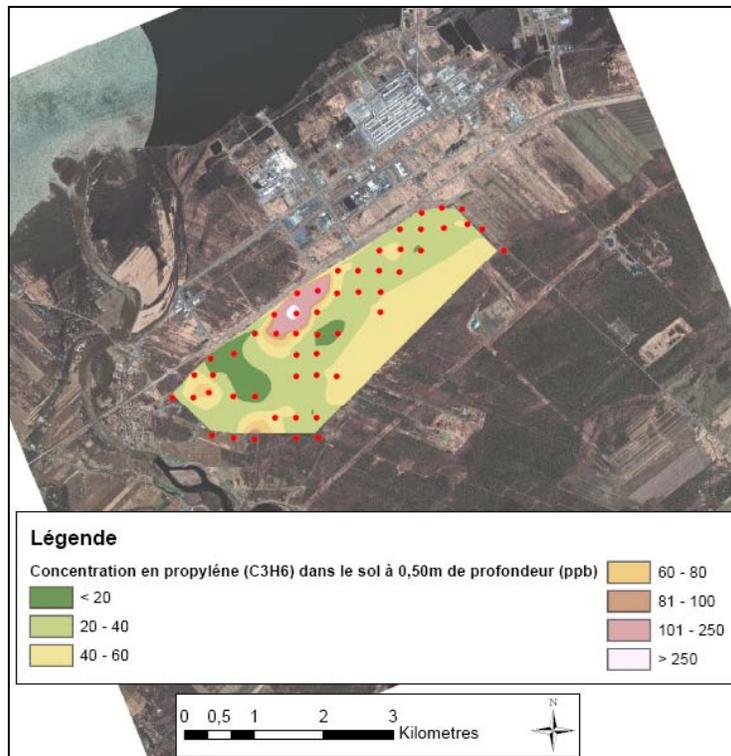


Figure 15 : Concentration de propylène à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

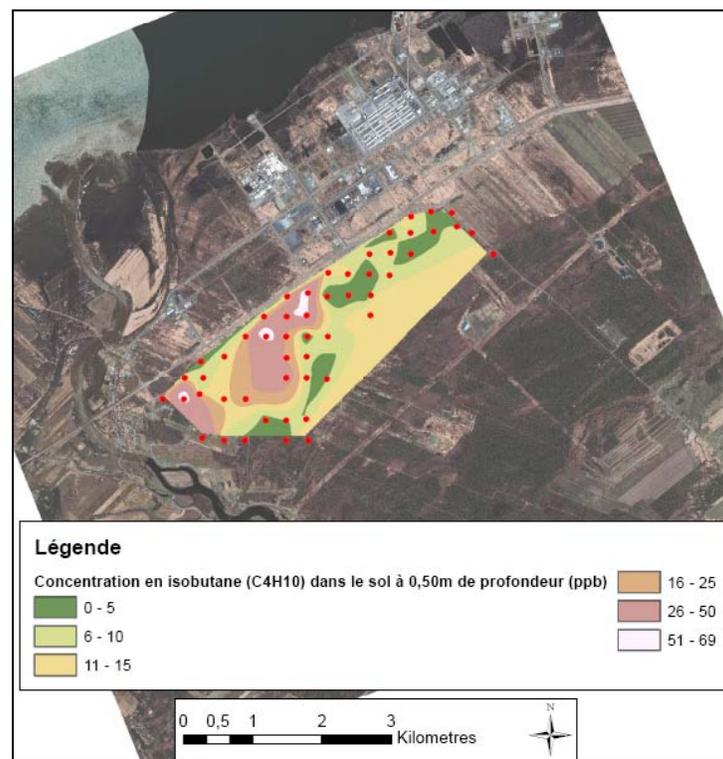


Figure 16 : Concentration d'isobutane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

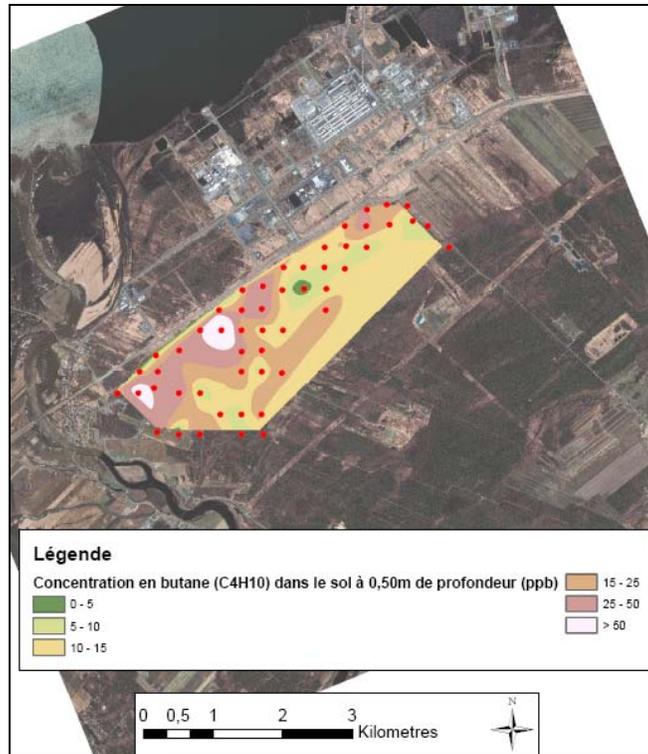


Figure 17 : Concentration de butane à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

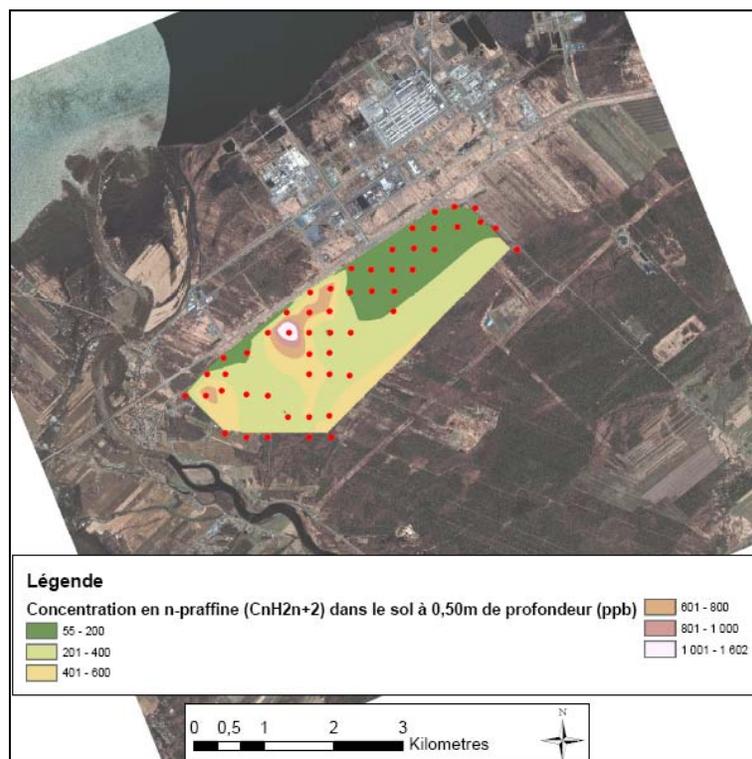


Figure 18 : Concentration de n-paraffine à 0,5m de profondeur des sites échantillonnés à l'automne 2010.

Conclusions

Ce rapport présente la description et l'analyse préliminaires des paramètres pédologiques et gazeux de la région de Bécancour obtenus à l'automne 2010. 77 sites ont été échantillonnés principalement situés au sud de la route 132 dans la zone en friche appartenant au SPIPB. L'échantillonnage a été interrompu suite à de fortes pluies qui ont saturé les sols ne permettant pas d'échantillonner les gaz des sols. L'échantillonnage reprendra au printemps 2011 lorsque les sols seront dégelés et drainés. D'après l'analyse préliminaire de ces données, aucune zone ne présente de risques élevés d'émissions de CO₂ en surface.

Planification de la campagne d'échantillonnage 2011

Il est à noter que du fait de facteurs limitant tel que la météo ou la saturation des sols en eau, il n'est pas envisageable de déterminer un programme précis pour la saison d'échantillonnage 2011. Néanmoins nous compléterons l'échantillonnage ponctuel sur le reste du site et nous repasserons sur la zone échantillonnée à l'automne 2010 pour caractériser les concentrations en CO₂ ainsi que les ratios isotopiques ¹³C/¹²C et échantillonner les gaz des sols là où cela n'a pas été possible à l'automne. Les travaux commenceront lorsque la neige aura fondu et que les sols seront dégelés et drainés soit vers le début de mai 2011. Les mois de mai et juin 2011 seront donc consacrés à l'échantillonnage ponctuel. L'échantillonnage linéaire sur les routes et les chemins sera réalisé par la suite. Finalement, une autre série de mesures ponctuelles sera envisagée vers la fin de l'été et le début de l'automne sur certains sites pour étudier la variabilité intra-annuelle de chacun des paramètres à l'étude.

Remerciements

Ce projet a été développé au sein de la Chaire de Séquestration du CO₂ (INRS-ETE) supportée par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). Nous sommes très reconnaissants à la direction et au personnel du SPIPB ainsi qu'à Roberto Mamani-Mamani, de l'INRS-ETE pour son assistance sur le terrain.

Références

- Ardelan, M. V., E. Steinnes, S. Lierhagen and S. O. Linde (2009). "Effects of experimental CO₂ leakage on solubility and transport of seven trace metals in seawater and sediment." Science of the Total Environment **407**(24): 6255-6266.
- Beaubien, S. E., G. Ciotoli and S. Lombardi (2003). "Carbon dioxide and radon gas hazard in the Alban Hills area (central Italy)." Journal of Volcanology and Geothermal Research **123**(1-2): 63-80.
- Climate Action (2011). Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide. Guidance Document 2. Characterisation of the Storage Complex, CO₂ Stream, Composition, Monitoring and Corrective Measures, European Commission: 155.
- de Donato, P., J. Pironon, J. Sterpenich, A. Laurent, M. Piedevacheb, Z. Pokryszka, N. Quisel, Barrès, O. Thomas and N. Rampoux (2011). "CO₂ flow baseline: key factors of the geochemical monitoring program of future CO₂ storage at Claye-Souilly (Paris basin)." Energy Procedia **4**(GHGT-10): 5438-5446.
- Flint, A. L. and L. E. Flint (2002b). Porosity. Methods of Soil Analysis. Part 4-Physical Methods. J. H. Dane and G. C. Topp. Madison, WI., Soil Science Society of America, Inc.: 241-254.
- Gal, F., F. Joubin, H. Haas, V. Jean-prost and V. Ruffier (2011). "Soil gas (222Rn, CO₂, 4He) behaviour over a natural CO₂ accumulation, Montmiral area (Drôme, France): geographical, geological and temporal relationships." Journal of Environmental Radioactivity **102**(2): 107-118.
- Grossman, R. B. and T. G. Reinsch (2002). The solid phase. Bulk density and linear extensibility. Methods of Soil Analysis. Part 4-Physical Methods. J. H. Dane and G. C. Topp. Madison, WI., Soil Science Society of America, Inc.: 201-228.

- Hendry, M. J., C. A. Mendoza, R. A. Kirkland and J. R. Lawrence (1999). "Quantification of transient CO₂ production in a sandy unsaturated zone." Water Resources Research **35**(7): 2189-2198.
- Korre, A., C. E. Imrie, F. May, S. E. Beaubien, V. Vandermeijer, S. Persoglia, L. Golmen, H. Fabriol and D. T. (2011). "Quantification techniques for potential CO₂ leakage from geological storage sites." Energy Procedia **4**(GHGT-10): 3346-3353.
- Lombardi, S. and N. Voltattorni (2011). "Rn, He and CO₂ soil gas geochemistry for the study of active and inactive faults." Applied Geochemistry **25**(8): 1206-1220.
- Papp, B., A. Szakacs, T. Néda, S. Papp and C. Cosma (2011). "Soil radon and thoron studies near the mofettes at Harghita Bai (Romania) and their relation to the field location of fault zones." Geofluids **10**(4): 586-593.
- Rouchon, V., C. Magnier, D. Miller, C. Bandeira, R. Gonçalves and R. Dino (2011). "The relationship between CO₂ flux and gas composition in soils above an EOR-CO₂ oil field (Brazil): a guideline for the surveillance of CO₂ storage sites." Energy Procedia **4**(GHGT-10): 3354-3362.
- Thomas, G. W. (2002). Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. D. L. Sparks. Madison, WI., Soil Science Society of America, Inc.: 475-490.
- West, J. M., J. M. Pearce, P. Coombs, J. R. Ford, C. Scheib, J. J. Colls, K. L. Smith and M. D. Steven (2009). The impact of controlled injection of CO₂ on the soil ecosystem and chemistry of an English lowland pasture. Energy Procedia, Washington DC.
- Yanful, E. K. (1993). "Oxygen diffusion through soil covers on sulphidic mine tailings." Journal of Geotechnical Engineering - ASCE **119**(8): 1207-1228.

Annexe : Coordonnées géographiques des sites et set de données obtenues suite à l'échantillonnage automnal de 2010

Site	X	Y	Date	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Densité apparente (g.cm ⁻³)	Teneur en eau volumique (m ³ .m ⁻³)	pH	Ethane (ppb)	Ethylene (ppb)	Propane (ppb)	Propylene (ppb)	i-Butane (ppb)	n-Butane (ppb)	n-Paraffin C2-C4 (ppb)	COT (%)	Codage végétation
2390	701506	5138230	20-sept-10	24084,86	61,29	1,29	0,35		53,20	48,50	34,00	34,90	14,60	26,40	113,60	2,70	1
2400	701793	5138304	21-sept-10	12359,52	81,44	1,43	0,30	6,14	64,60	34,00	61,10	30,50	4,40	20,50	146,20	1,61	2
2410	702091	5138289	21-sept-10	6919,92	66,88	1,23	0,30	4,38	26,00	33,10	32,20	21,70	0,00	17,70	75,90	3,66	3
2420	702383	5138285	18-oct-10			1,31	0,48	4,27								2,64	2
2660	701193	5137993	20-sept-10	13369,04	65,72	1,30	0,30		24,90	25,00	17,10	21,80	0,00	11,20	53,20	2,89	1
2670	701498	5138002	22-sept-10	11664,72	70,18	0,99	0,33	4,04	120,30	43,80	33,10	29,30	8,70	32,60	186,00	3,05	1
2680	701830	5138016	20-sept-10	15302,95	60,51	1,57	0,27	6,46	75,80	20,80	28,40	29,10	4,50	18,90	123,10	1,77	1
2690	702167	5138076	20-sept-10	5821,91	61,87	1,31	0,30		138,70	61,50	51,00	48,60	5,60	6,30	196,00		1
2700	702382	5138001	21-sept-10	6409,15	59,05	1,07	0,23	4,13	57,30	39,90	25,10	30,80	5,90	5,00	87,40	3,37	3
2850	699104	5137704	19-oct-10			1,29	0,42									2,30	1
2870	699585	5137719	19-oct-10			1,19	0,52	4,66								3,19	1
2910	700901	5137696	20-sept-10	10019,85	41,36	1,21	0,12		125,50	33,20	44,00	39,10	6,70	12,50	182,00	7,85	1
2920	701206	5137704	22-sept-10	25793,36	32,70	1,51	0,42	5,85	108,50	42,30	36,60	52,30	11,30	15,80	160,90	2,12	1
2930	701499	5137697	22-sept-10	6955,06	52,99	0,96	0,26	4,47	50,00	30,10	27,70	17,30	0,00	6,70	84,40	2,15	1
2950	699105	5138013	19-oct-10			1,65	0,11									0,87	1
2970	702692	5137689	21-sept-10	1748,15	53,80	1,04	0,23	3,78	204,60	52,60	100,90	53,10	13,70	12,00	317,50	7,16	4
3080	698505	5137396	19-oct-10			1,19	0,36	3,71								2,20	4
3090	698783	5137424	19-oct-10			1,30	0,39									2,69	4
3100	699122	5137350	20-oct-10			1,16	0,43									2,34	4
3110	699401	5137401	19-oct-10			1,10	0,41	4,00								4,37	1
3120	699700	5137376	19-oct-10			1,08	0,53									4,84	1
3140	700304	5137411	22-sept-10	7165,23	52,99	1,39	0,25		74,70	51,90	57,60	41,00	12,70	16,00	148,30	1,71	1
3150	700592	5137398	22-sept-10	22372,67	45,24	1,40	0,38	5,48	77,90	46,30	83,30	39,90	11,20	12,90	174,10	1,67	1
3160	700896	5137398	22-sept-10	9084,43	46,72	1,03	0,33		107,40	13,60	23,20	19,30	0,00	9,60	140,20	4,66	1
3170	701190	5137390	21-sept-10	6159,16	59,11	1,63	0,36		23,30	12,90	34,20	35,40	7,50	8,90	66,40	0,99	1
3310	698496	5137108	19-oct-10			1,50	0,25	3,89								2,87	1
3320	698796	5137101	20-oct-10			1,25	0,43									2,56	4
3340	699401	5137102	20-oct-10			1,07	0,49									5,09	4
3350	699714	5137079	23-sept-10	8865,21	52,60	1,29	0,39	5,30	164,10	165,20	72,90	69,80	4,60	6,40	243,40	3,12	1
3360	700011	5137122	22-sept-10	12277,58	206,52	1,46	0,33		531,90	72,30	285,60	255,40	63,30	52,50	870,00	1,93	1
3370	700289	5137082	22-sept-10	7358,75	53,17	1,24	0,33		106,90	58,70	52,90	44,30	0,00	14,00	173,80	1,52	1
3380	700601	5137089	22-sept-10	7608,39	41,77	1,25	0,36		53,20	37,20	28,30	33,10	0,00	0,00	81,50	2,75	1

Projet INRSCO2-2011-V2.6 – Paramètres pédologiques et gazeux de la région de Bécancour

Site	X	Y	Date	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Densité apparente (g.cm ⁻³)	Teneur en eau volumique (m ³ .m ⁻³)	pH	Ethane (ppb)	Ethylene (ppb)	Propane (ppb)	Propylene (ppb)	i-Butane (ppb)	n-Butane (ppb)	n-Paraffin C2-C4 (ppb)	COT (%)	Codage végétation
3390	700920	5137096	21-sept-10	10179,47	49,02	1,27	0,33		53,10	21,80	30,30	30,60	0,00	7,50	90,90		1
3490	697920	5136741	19-oct-10			1,78	0,18	5,14								1,48	1
3500	698162	5136686	19-oct-10			1,49	0,30										1
3510	698466	5136813	19-oct-10			1,18	0,37	4,04								3,34	1
3520	698802	5136799	20-oct-10			1,36	0,35									2,99	1
3530	699074	5136872	20-oct-10			1,63	0,36									2,30	1
3540	699384	5136778	23-sept-10	10592,13	50,10	1,16	0,40		75,90	47,40	55,90	40,60	9,30	7,50	139,30	2,41	1
3550	699707	5136787	23-sept-10	6155,04	57,47	1,47	0,33	6,26	485,60	38,00	225,10	383,00	49,10	23,00	733,70	1,55	1
3560	699998	5136802	22-sept-10	7126,02	57,74	1,23	0,31	5,35	399,90	29,80	205,00	43,40	60,40	45,20	650,10		1
3570	700287	5136804	22-sept-10			1,29	0,40									1,63	1
3580	700593	5136787	21-sept-10			0,88	0,53									5,06	1
3590	700916	5136797	21-sept-10	12107,56	47,85	1,05	0,52	5,47	96,60	33,70	67,10	44,50	14,60	17,00	180,70	3,71	1
3710	698505	5136470	19-oct-10			1,31	0,34	5,15								3,66	1
3730	699109	5136495	23-sept-10	11996,88	50,58	1,20	0,18	5,83	157,90	26,00	88,40	14,30	8,70	23,10	269,40	5,75	4
3740	699413	5136496	23-sept-10	9332,67	92,22	1,29	0,38	5,59	1064,30	188,20	454,30	130,10	71,40	138,20	1656,80	3,20	1
3750	699699	5136493	23-sept-10	6396,85	61,29	1,43	0,47	4,26	353,60	83,80	91,60	70,80	27,60	25,10	470,30	2,13	1
3760	700008	5136490	23-sept-10	7432,02	44,08	1,02	0,55	4,51	137,50	36,20	34,20	19,00	0,00	11,60	183,30	3,06	1
3770	700303	5136496	23-sept-10	2864,67	40,86	1,24	0,19	3,90	172,00	26,90	38,60	7,30	8,80	9,40	220,00	2,78	4
3900	698473	5136135	29-sept-10	14080,01	71,52	1,32	0,32		50,70	27,80	25,90	7,70	0,00	0,00	76,60	1,95	2
3910	698807	5136208	23-sept-10	11675,60	32,00	1,34	0,30		68,50	31,20	60,50	18,70	9,70	27,70	156,70	1,67	2
3930	699406	5136201	23-sept-10			1,26	0,40									3,25	1
3940	699708	5136186	23-sept-10	6485,28	45,35	1,45	0,38		398,20	38,80	118,10	27,30	22,50	31,40	547,70	4,10	1
3950	699995	5136210	23-sept-10	19499,47	56,51	1,13	0,36	3,91	134,90	61,20	67,00	21,60	7,50	18,10	220,00	5,96	5
4060	698238	5135905	29-sept-10	6034,44	88,81	1,06	0,31		105,00	48,60	64,50	46,40	5,30	0,00	169,50	2,05	5
4070	698502	5135897	23-sept-10	3068,24	49,42	1,25	0,21		101,90	34,60	105,60	17,30	9,20	28,70	236,20	1,14	5
4110	699702	5135894	29-sept-10	5062,39	103,20	1,16	0,20	4,22	305,30	42,60	131,40	33,40	40,40	23,10	459,80	5,26	5
4120	699995	5135899	29-sept-10	7471,35	90,01	1,48	0,30	3,70	339,50	60,30	82,10	33,10	8,30	6,90	428,50	5,28	5
4130	700285	5135886	29-sept-10	7558,53	89,97	1,07	0,32		239,80	82,10	53,80	46,90	0,00	19,20	312,80	1,84	5
4210	697922	5135584	29-sept-10	3285,33	74,14	1,29	0,29		66,50	37,80	23,50	21,30	14,70	10,70	100,70	2,46	5
4220	698220	5135585	27-sept-10	5219,52	94,43	1,02	0,25	4,12	505,60	77,90	217,80	60,00	65,70	69,60	793,00	2,29	4
4230	698446	5135659	27-sept-10	15454,39	75,56	1,44	0,39		356,30	163,60	130,80	76,50	9,50	44,40	531,50	2,43	6
4240	698800	5135602	27-sept-10	29441,93	62,17	1,30	0,36		195,20	35,20	95,90	24,50	11,20	41,60	332,70	2,45	6
4250	699110	5135593	27-sept-10	35608,71	58,76	1,31	0,39		164,70	35,70	67,00	0,00	22,90	5,70	237,40	3,82	6
4260	699400	5135588	27-sept-10			1,33	0,39	5,39								3,32	6
4380	698797	5135295	29-sept-10			1,39	0,23									1,79	7
4390	699111	5135286	29-sept-10			1,46	0,44	5,74								3,36	1
4400	699399	5135292	29-sept-10	3341,35	85,24	1,11	0,26	3,85	122,90	35,10	54,40	43,00	4,60	11,30	188,60	6,93	5
4410	699700	5135289	29-sept-10	8874,94	153,04	0,94	0,30		385,10	47,00	49,00	42,50	6,60	7,60	441,70	4,24	5

Projet INRSCO2-2011-V2.6 – Paramètres pédologiques et gazeux de la région de Bécancour

Site	X	Y	Date	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Densité apparente (g.cm ⁻³)	Teneur en eau volumique (m ³ .m ⁻³)	pH	Ethane (ppb)	Ethylene (ppb)	Propane (ppb)	Propylene (ppb)	i-Butane (ppb)	n-Butane (ppb)	n-Paraffin C2-C4 (ppb)	COT (%)	Codage végétation
4420	699992	5135295	29-sept-10	5604,73	77,42	0,90	0,22	4,10	228,70	66,20	67,30	17,40	4,60	19,30	315,30	7,71	4
4500	698490	5135038	27-sept-10	15568,28	258,86	1,50	0,32	4,56	298,00	38,60	168,30	19,60	48,40	46,70	513,00	1,71	7
4510	698803	5134998	27-sept-10	62873,50	49,16	1,45	0,36		327,40	25,70	35,30	24,20	10,30	0,00	362,70	2,51	7
4520	699105	5134990	27-sept-10	3067,47	82,29	0,46	0,26	3,22	257,80	159,50	116,10	95,00	4,80	26,40	400,30	24,44	4
4530	699410	5135001	29-sept-10			0,46	0,76	4,92								16,36	5
4540	699702	5135000	29-sept-10	17712,25	59,69	1,01	0,40	3,23	260,00	63,10	49,90	28,00	0,00	7,00	316,90	24,45	5
4550	700021	5134995	29-sept-10	3499,00	71,22	1,16	0,18	3,42	473,60	55,70	60,10	37,50	15,60	11,30	545,00	4,74	4