

**AVIS TECHNIQUE REMIS AU MINISTÈRE DE
L'ENVIRONNEMENT :**

Évaluation de la qualité de l'eau d'exhaure du projet minier de Niocan pour l'irrigation des productions horticoles et l'abreuvement du bétail à Oka

Coordination et rédaction : Lucie Caron, agronome

**Recherche et rédaction : Daniel Lalonde, agronome
Sophie Lizotte, agronome
Lucie Tanguay, agronome
Daniel Vaillancourt, agronome**

Collaboration spéciale : Michel Lavallée, chimiste

Blainville, le 9 mars 2004

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Analyses d'eau	4
3. Normes	4
3.1 Eau d'irrigation	4
3.2 Eau d'abreuvement du bétail.....	4
4. Analyse des résultats de l'eau d'irrigation.....	5
5. Analyse des résultats pour l'eau d'abreuvement du bétail.....	12
6. Analyse des exigences de rejet.....	14
ANNEXE 1 Résultats d'analyse d'eau	18
ANNEXE 2 Recommandations	21
ANNEXE 3 Revue de littérature sur l'uranium.....	24
ANNEXE 4 Évaluation de l'évolution de la concentration de l'uranium dans le sol et les produits végétaux cultivés sur la carbonatite d'Oka et irrigués avec de l'eau souterraine.....	28
Références.....	31

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU D'EXHAURE DU PROJET MINIER DE NIOCAN POUR L'IRRIGATION DES PRODUCTIONS HORTICOLES ET L'ABREUVEMENT DU BÉTAIL À OKA

1. Introduction

Avec les changements climatiques qui se confirment, les besoins en eau pour l'irrigation des terres agricoles s'intensifieront. L'augmentation des besoins en eau amènera les producteurs agricoles à se tourner de plus en plus vers l'utilisation de l'eau souterraine comme source d'approvisionnement en eau. Actuellement, dans les Laurentides, les agriculteurs utilisent en très grande partie de l'eau de surface pour irriguer leurs terres.

À Oka, les opérations minières de Niocan entraîneront une diminution du niveau de la nappe phréatique, ce qui pourrait compromettre l'opportunité des producteurs agricoles d'utiliser l'eau souterraine comme eau d'irrigation. Niocan propose de récupérer l'eau d'exhaure à des fins d'irrigation des terres agricoles, avant qu'elle ne soit rejetée dans le ruisseau Rousse. Tel que mentionné dans l'avis ministériel du 20 juin 2003, intitulé «Étude des besoins hydriques des productions agricoles du secteur visé par le projet de mine d'Oka », l'acheminement de l'eau d'exhaure du site projeté de la mine vers les différentes fermes du secteur n'a pas été déterminé par le promoteur minier. Aussi, il faut s'assurer que l'eau d'exhaure réponde à des critères de qualité reconnus pour l'irrigation. Le présent rapport a pour objet d'évaluer si la qualité probable de l'eau d'exhaure répond à ces critères.

2. ANALYSES D'EAU

Des analyses d'eau nous ont été fournies par le ministère de l'Environnement sur quatre puits situés à proximité du site convoité par le promoteur minier Niocan. Ces analyses proviennent en fait de rapports de la firme Roche commandés par Niocan. Ces échantillons d'eau ont été prélevés, entre 1999 et 2002, à partir des quatre puits d'une profondeur variant de 17 à 116 mètres. En plus de ces analyses, Niocan a extrapolé une qualité probable de l'eau d'exhaure.

Parallèlement à ces résultats, le MAPAQ a procédé à l'analyse de deux échantillons d'eau dans le secteur de la carbonatite à l'automne 2003. Un de ces puits avait été analysé par Niocan. Vous trouverez l'ensemble de ces résultats à l'annexe 1.

3 NORMES

3.1 Eau d'irrigation

Une recherche de littérature sur les normes existantes concernant l'eau d'irrigation a été effectuée. Nous avons rassemblé dans l'annexe 2 les données de différentes sources:

- *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 2002*
- *Environment Studies Board, U.S. Environmental Protection Agency, 1972-1973*
- *Ohio State University, Harry Tayama, Department of horticulture, 2001*
- *University of California, Division of Agriculture, Science leaflet 2995, 1977*
- *A grower's guide to water, media and nutrition for greenhouse crops, Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA, 1996*
- *Techniques de cultures en muti-cellules, IQDHO, Les presses de l'Université Laval, 1999*
- *Guide de production des annuelles en caissettes, CRAAQ, 2002.*

Les recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement nous apparaissent comme la source d'information la plus officielle. Toutefois, il se peut que certains paramètres n'y soient pas élaborés. Les autres sources viennent donc soit compléter ou soit appuyer les recommandations canadiennes.

3.2 Eau d'abreuvement du bétail

Pour les fermes situées sur le rang Ste-Sophie, au sud du rang de l'Annonciation, Niocan a proposé la prolongation du système d'aqueduc. Ces entreprises utiliseraient donc l'eau d'aqueduc pour l'abreuvement du bétail. Pour les entreprises actuelles et éventuelles situées à l'extérieur de ce secteur et dans la perspective où les puits seraient affectés par l'exploitation minière, nous analyserons tout de même la qualité de l'eau d'exhaure en regard de l'abreuvement du bétail.

Les deux sources d'information retenues sont :

- *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2002*
- *Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ 2000.*

On retrouve ces normes dans l'annexe 2.

4. ANALYSE DES RÉSULTATS POUR L'EAU D'IRRIGATION

Certains paramètres montrent des dépassements par rapport aux normes de qualité reconnues pour l'irrigation, les voici :

- ◆ Alcalinité
- ◆ Chlorures
- ◆ Conductivité
- ◆ Molybdène
- ◆ pH
- ◆ Sodium
- ◆ Uranium

Chacun de ces éléments sera analysé individuellement en fonction de son effet sur les plantes et de la concentration observée dans les analyses d'eau disponibles.

Alcalinité

Effets de l'alcalinité sur les plantes

Une eau très alcaline réduit la disponibilité de certains éléments fertilisants et peut induire certaines carences. Ce phénomène est étroitement lié à l'augmentation du pH du milieu de croissance. Cette problématique est exacerbée dans les milieux de culture à base de mousse de tourbe utilisés pour la croissance des transplants en serre. En champ l'impact est beaucoup moins intense.

Concentration observée et recommandation

Le plus haut taux d'alcalinité observé dans les analyses est de 190 mg/l et celui qui a été anticipé dans l'eau d'exhaure par Niocan est de 200 mg/l. Il n'y a pas de recommandation à cet effet provenant du CCME. Les trois références proviennent de l'Université de l'Ohio, du Guide de production des annuelles en caissettes du CRAAQ et du document sur les techniques de culture en multi-cellule de l'IQDHO dont les seuils établis s'élèvent respectivement à 100, 80 à 120 et 40 à 48 mg/l. L'impact négatif de ce facteur de production sur les cultures est observé principalement pour les cultures en serre dans les milieux à base de mousse de tourbe et peut facilement être corrigé en appliquant les recommandations agronomiques appropriées telles que l'acidification de l'eau, le choix du milieu de culture, le choix de la culture, etc. L'alcalinité ne représente donc pas un empêchement à l'utilisation de l'eau d'exhaure pour l'irrigation.

Chlorures

Effets d'un excès de chlorures sur les plantes

Les chlorures peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler ensuite dans les feuilles. En excès, ceci provoque une brûlure des feuilles, de la chlorose et le dépérissement des rameaux. Aussi, si l'on pratique une irrigation par aspersion, l'absorption directe des chlorures par les feuilles peut causer des dommages, en particulier lors des journées chaudes et venteuses. Il est toutefois possible d'atténuer les effets de brûlures des feuilles par un arrosage nocturne à débit élevé.

Concentration observée et recommandation

Le plus haut taux de chlorures observé dans les analyses disponibles est de 110 mg/l. Le taux que Niocan anticipe dans l'eau d'exhaure est de 100 mg/l. La sensibilité des cultures aux chlorures est très variable. Ceci explique pourquoi la norme provenant du CCME se situe entre 100 et 700 mg/l. L'Université de Californie a établi la dose maximum à 70 mg/l. En production de transplants en serre et en multi-cellules, l'Institut québécois de l'horticulture ornementale (IQDHO) a établi à 80 mg/l la dose maximum.

Voici les concentrations de chlorures (mg/l) dans l'eau d'irrigation qui peuvent causer des dommages foliaires :

Culture	[Chlorures] dans l'eau d'irrigation (mg/l)
Fraise (absorption racinaire)	110-180
Framboise (absorption racinaire)	250
Poivron et tomate (absorption foliaire)	178-355
Maïs et concombre (absorption foliaire)	355-710
Chou-fleur (absorption foliaire)	> 710

D'après les analyses disponibles, le plus haut taux de chlorures observé est de 110 mg/l. Cet élément demande donc un suivi rigoureux pour les plantes sensibles telle que la fraise

Conductivité

Effets sur les plantes d'une conductivité excessive

La conductivité de l'eau est étroitement liée à son niveau de salinité.

Niveau observé et recommandation

Le plus haut niveau de conductivité observé dans les analyses disponibles est de 0,99 mmhos/cm. Le taux que Niocan anticipe dans l'eau d'exhaure est de 1 mmhos/cm. Ce niveau est au-dessus d'une de nos références concernant les serres, soit celle provenant de « *A grower's guide to water, media and nutrition for greenhouse crops* », qui est établi à 0,7 mmhos/cm pour les espèces sensibles. Toutefois de manière générale, une eau avec une conductivité de 1 mmhos/cm est considérée de qualité acceptable à bonne. De plus, comme l'eau d'irrigation pour les cultures de plein champ sera diluée par l'eau de pluie, il y aura une diminution de la conductivité globale de l'environnement racinaire des cultures. Ce niveau de conductivité est donc jugé acceptable.

Molybdène

Effets d'un excès de molybdène chez les plantes

Les tissus végétaux peuvent tolérer des concentrations de molybdène de plusieurs centaines de mg/kg de poids sec sans subir d'effets nuisibles (Référence no 7, section 4.1.3.14, Molybdène). Par conséquent, le danger lié à l'absorption du molybdène vise surtout à protéger les animaux d'élevage. L'accumulation de cet élément dans les cultures se fait plus facilement dans les sols alcalins, ce qui est le cas pour la carbonatite.

Concentration observée et recommandation

Le plus haut taux de molybdène observé dans les analyses d'eau disponibles est de 0,71 mg/l. Une autre analyse présentait aussi un taux de 0,045 mg/l. Pourtant, le taux que Niocan anticipe dans l'eau d'exhaure est de 0,02 mg/l. Les résultats d'analyses dépassent largement la recommandation canadienne pour l'eau d'irrigation qui est de 0,01 mg/l pour une utilisation continue dans tous les types de sol et aussi la plupart de toutes les autres références. Toutefois, l'impact sur les plantes est plutôt limité. D'ailleurs, dans la famille des crucifères (chou, chou-fleur etc.), des apports de cet oligo-élément sont régulièrement recommandés sur les jeunes plants à la suite d'observation fréquente de symptômes de carence.

Le danger avec le molybdène est donc l'impact qu'il pourrait avoir sur les bovins par l'ingestion de fourrage et d'eau contenant des niveaux élevés de molybdène. En ce qui concerne la production des fourrages, l'irrigation n'y est pas pratiquée. Cependant, il pourrait arriver que des champs irrigués fassent partie de la rotation du producteur de bovin. Des analyses d'eau et de fourrages seraient donc recommandées dans ces circonstances. L'eau d'abreuvement constitue toutefois un risque plus réel pour le bétail. L'effet du molybdène sur les animaux d'élevage sera abordé à la section 4.2.2 traitant de la qualité de l'eau d'abreuvement.

pH

Effets d'un pH élevé sur les plantes

Le pH est un indicateur du pouvoir alcalinisant de l'eau qui a été traité à la section 3.1. De plus, le pH de l'eau a peu d'impact sur celui du sol étant donné le très faible pouvoir tampon de l'eau par rapport à celui du sol. L'impact d'un pH élevé serait important dans le cas de cultures sans sol comme les cultures hydroponiques.

Niveau de pH observé et recommandation

Le pH le plus élevé observé dans les analyses d'eau disponibles est de 8,1. Le niveau de pH que Niocan anticipe dans l'eau d'exhaure est de 7,5 à 8. De façon naturelle, le pH des sols du secteur de la carbonatite est environ de 7. De tels niveaux de pH sont d'ailleurs recherchés pour la production de crucifères dans le but de minimiser l'incidence d'une maladie importante pour cette famille de plantes soit la hernie des crucifères. Le pH observé dans l'eau du secteur n'influence pas son utilisation pour l'irrigation.

Sodium

Effets d'un excès de sodium

Le sodium peut intervenir à deux niveaux, au niveau du sol et de la plante. Un excès de sodium peut altérer la structure du sol, ralentir les déplacements de l'eau dans le sol et à travers le sol et réduire l'aération du sol. Des sols avec des pH élevés contiennent généralement un niveau élevé de calcium qui limite l'effet de défloculation du sodium. Un excès de cet élément peut aussi entraîner une augmentation de la compétition entre les cations comme le calcium, le magnésium et le potassium (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) et avoir un impact sur la fertilité du sol. Sur les plantes, outre l'effet lié à la fertilité du sol, on peut observer des brûlures du feuillage, de la même manière qu'avec les chlorures

Concentration observée et recommandation

Le plus haut taux de sodium observé dans les analyses d'eau disponibles est de 120 mg/l, ce qui correspond au niveau que Niocan anticipe dans l'eau d'exhaure. Il n'y a pas de recommandations du niveau de sodium exprimé en mg/l dans les *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement* du CCME. Toutefois, on retrouve dans les recommandations pour la qualité des eaux au Canada du CCME un tableau précisant les concentrations de sodium dans l'eau d'irrigation pouvant causer des dommages foliaires.

Concentrations de sodium dans l'eau d'irrigation causant des dommages foliaires (mg/l)

Culture	[Na] dans l'eau d'irrigation (mg/l)
Poivron et tomate	115-230
Maïs, concombre, orge et luzerne	230-460
Chou-fleur	> 460

Selon ces données, les cultures de tomate et de poivron pourraient être affectées par le sodium présent dans l'eau. Aussi certaines autres sources d'information indiquent que des concentrations entre 50 et 70 mg/l pour les cultures de plein champ et de 40 mg/l pour les transplants en serre et en multi-cellules peuvent causer des problèmes.

Le CCME, dans son document de référence sur les normes, fait mention d'une étude de Westcot et Ayers à propos du sodium. Comme les effets du sodium varient en fonction de la concentration des ions calcium et magnésium, le coefficient d'absorption du sodium (SAR) tient compte de ces trois éléments. Dans ce calcul, les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en milliéquivalents par litre.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/2]}}$$

À partir du SAR, certaines normes ont été établies pour prévoir l'effet du sodium sur les plantes. En voici le résumé.

Effets du sodium sur les plantes en fonction du SAR

SAR de l'eau d'irrigation	Restriction d'utilisation
< 3	Aucune
3-9	Faible à modérée
> 9	Élevée

En utilisant les données des analyses d'eau disponibles à Oka, le SAR s'établirait à :

$$\begin{aligned}\text{SAR} &= \frac{120/23}{\sqrt{[(56/20 + 21/12)/2]}} \\ &= 3,459\end{aligned}$$

Le SAR ne nous démontre pas de problématique particulière. Toutefois, cet élément reste à surveiller particulièrement chez les espèces sensibles. Une intervention au niveau de la fertilisation permettrait de diminuer l'impact du sodium sur les cultures.

Uranium

Effets d'un excès d'uranium sur les plantes

L'information sur l'impact de l'uranium sur les cultures étant peu documentée, nous avons dû procéder à une importante revue de littérature que vous trouverez à l'annexe 3. Nous avons également réalisé une simulation de l'évolution de la concentration de l'uranium dans le sol et les produits végétaux cultivés sur la carbonatite que vous retrouverez à l'annexe 4.

Concentration observée

Le plus haut taux d'uranium observé dans les analyses d'eau disponibles est de 0,081 mg/l. La seule référence disponible provient du CCME et elle a été établie à 0,01 mg/l en 2002, pour l'eau d'irrigation. Si on considère, en plus des analyses de Niocan et du MAPAQ, celles que la Régie régionale de la santé et des services sociaux a effectuées en 1999, sur 53 analyses de puits profonds, on constate que 55 % des analyses sont en-deça de 0,01 mg/l. Donc, 45% des analyses dépassent la recommandation du CCME de 0,01 mg/l. On observe une grande variabilité du niveau d'uranium retrouvé dans l'eau souterraine. Il est donc difficile de prévoir à l'avance le niveau d'uranium que l'on retrouvera dans l'eau d'exhaure.

Niocan, quant à lui, anticipe un taux d'uranium de 0,04 mg/l dans l'eau d'exhaure. Ce niveau est donc au-dessus de la recommandation canadienne. Actuellement l'eau souterraine est très peu utilisée pour l'irrigation des cultures car c'est majoritairement l'eau de surface qui sert de source d'approvisionnement. L'utilisation de l'eau d'exhaure pour l'irrigation des cultures introduirait donc un apport nouveau d'uranium dans le milieu.

Évolution du contenu en uranium dans le sol

À l'annexe 4, on retrouve le détail de la méthode utilisée pour calculer l'évolution du contenu en uranium des sols de la zone de carbonatite. En bref, cette méthode tient compte des paramètres suivants :

- ◆ Concentration en uranium dans le sol, CUS
- ◆ Concentration en uranium dans l'eau d'irrigation, CUE
- ◆ Facteur de bioconcentration sol-plante, FBC
- ◆ Quantité d'eau souterraine servant à l'irrigation, QE

Trois scénarios ont été élaborés tenant compte de 3 niveaux d'intensification des paramètres retenus:

	Scénario 1 (le plus pessimiste)	Scénario 2	Scénario 3
Concentration d'uranium dans le sol, CUS	3,7	2,0	1,5
Concentration d'uranium dans l'eau, CUE	0,081	0,0165	0,005
Facteur de bioconcentration sol-plante, FBC	0,43	0,2265	0,023
Proportion de l'eau d'irrigation provenant de l'eau souterraine, QE	100%	45%	38%

Les graphiques 1 et 2 représentent l'évolution de l'uranium dans le sol selon les trois scénarios.

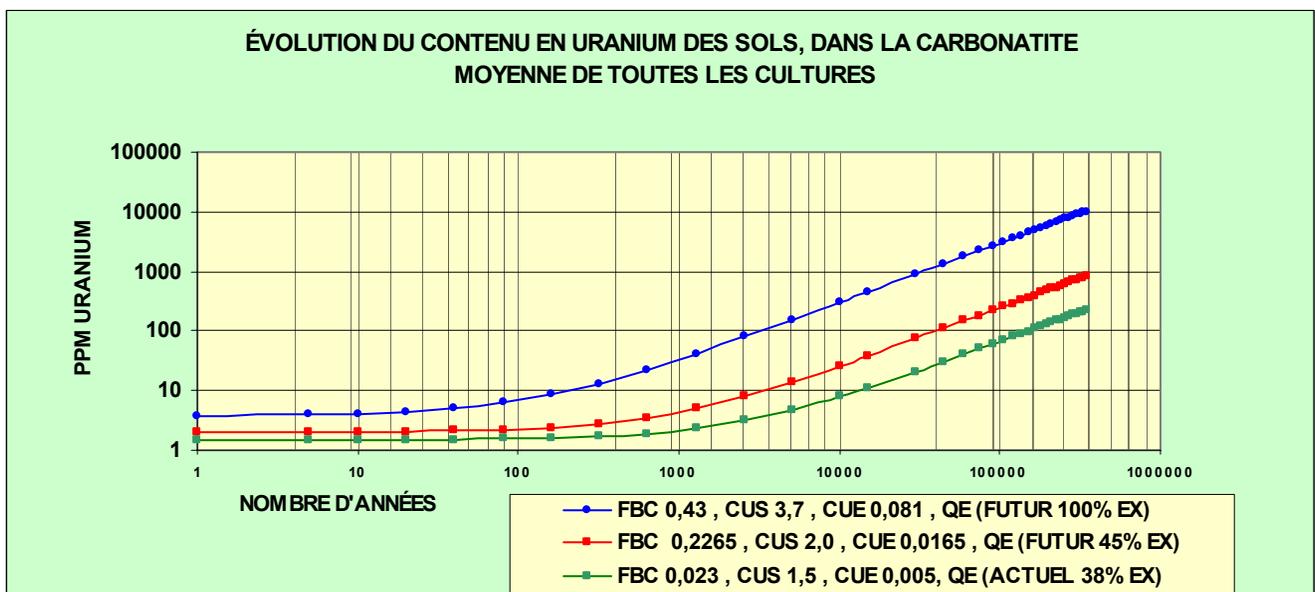
Tel que mentionné dans la revue de littérature, les terres en culture du bassin versant du ruisseau Rousse contiendraient actuellement un taux d'uranium entre 1,5 à 3,7 mg d'uranium/ kg de sol. Dans le document portant sur "*les Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : environnement et santé humaine, Uranium 2003*", on retrouve une recommandation de 10 mg d'uranium / kg de sol comme recommandation générale pour la qualité des sols agricoles. Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a retenu cette valeur en établissant une recommandation pour la **protection de la santé humaine** et une autre pour la **protection de l'environnement**. Comme la recommandation finale retenue est toujours la plus faible des deux valeurs, dans ce cas-ci, c'est la recommandation pour la protection de l'environnement qui a déterminé la recommandation générale pour les sols agricoles, soit **10 mg d'uranium/ kg de sol**. Cette recommandation était basée sur une étude faite avec des lapins qui ingéraient à la fois du sol et de la nourriture. La recommandation pour

la protection de la santé humaine s'élevait quant à elle à 350 mg/kg et reposait sur le critère d'ingestion de sol. Il est à noter qu'aucune recommandation n'a été calculée pour l'ingestion de nourriture chez l'humain. En établissant la recommandation générale à 10 mg/kg de sol, on introduit ainsi un facteur de sécurité.

Cette recommandation n'est donc **pas une recommandation agronomique**, puisque comme il est précisé dans la revue de littérature, l'uranium provoque des symptômes de phytotoxicité chez la majorité des plantes analysées à des concentrations beaucoup plus élevées que 10 mg/kg de sol. (Référence 5, page 11).

Le graphique 1, présente l'évolution du contenu en uranium des sols de la carbonatite *selon les besoins moyens de toutes les cultures irrigables du secteur*. Le scénario 1, qui est le scénario le plus alarmiste et qui est basé sur les données les plus extrêmes de chaque paramètre, montre qu'il prendrait près de 210 ans avant que le sol atteigne un contenu en uranium de 10 mg/kg. Avec le scénario intermédiaire, il faudrait 3 325 ans avant d'atteindre ce niveau. Quant au scénario 3, c'est 13 158 ans que cela prendrait.

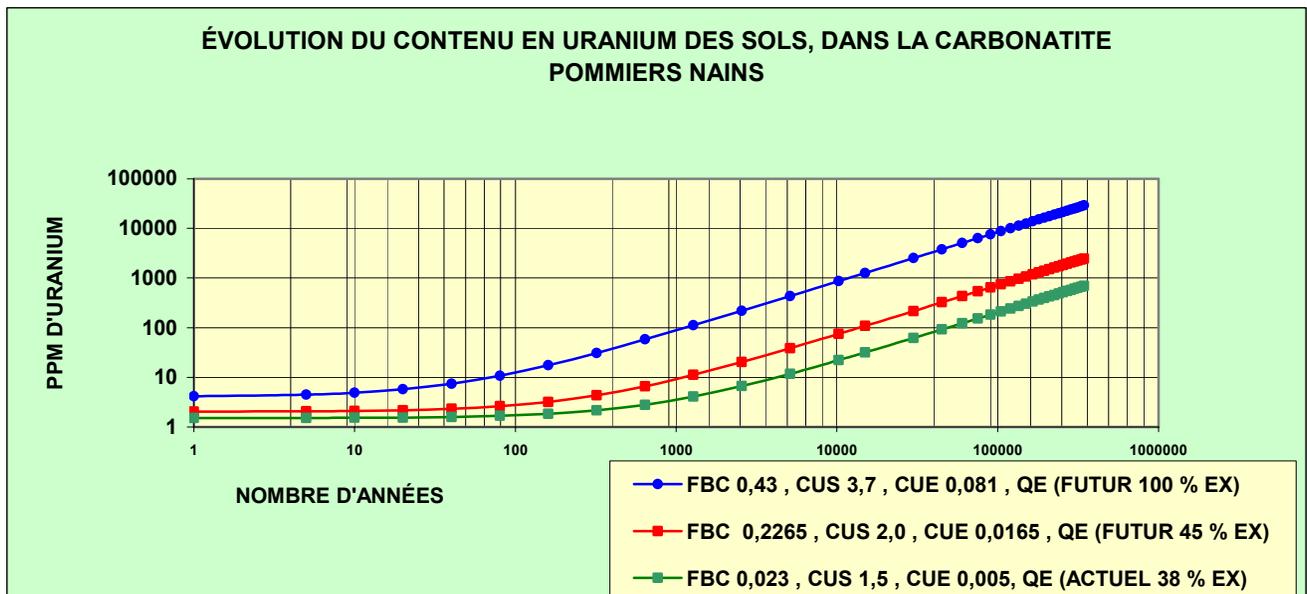
Graphique 1 : Évolution du contenu en uranium dans le sol et dans le temps selon les besoins moyens en irrigation de toutes les cultures



Le graphique 2, présente l'évolution du contenu en uranium des sols de la carbonatite *selon les besoins des pommiers nains*. Nous avons choisi les pommiers nains parce que cette culture est vivace et que ses besoins en irrigation sont élevés. Le seuil de 10 mg/kg pour les scénarios 1, 2 et 3 est atteint respectivement après 71 ans, 1 116 ans et 4 215 ans d'irrigation dans chacune des situations.

Encore une fois, il est bon de préciser que cette recommandation s'applique sur tous les usages agricoles et non pas sur la phytotoxicité que l'uranium peut provoquer sur la culture mais comme c'est la seule recommandation qui existe à notre connaissance, c'est celle que nous devons retenir.

Graphique 2 : Évolution du contenu en uranium dans le sol et dans le temps selon les besoins moyens en irrigation des pommiers nains



Évolution du contenu en uranium dans les récoltes

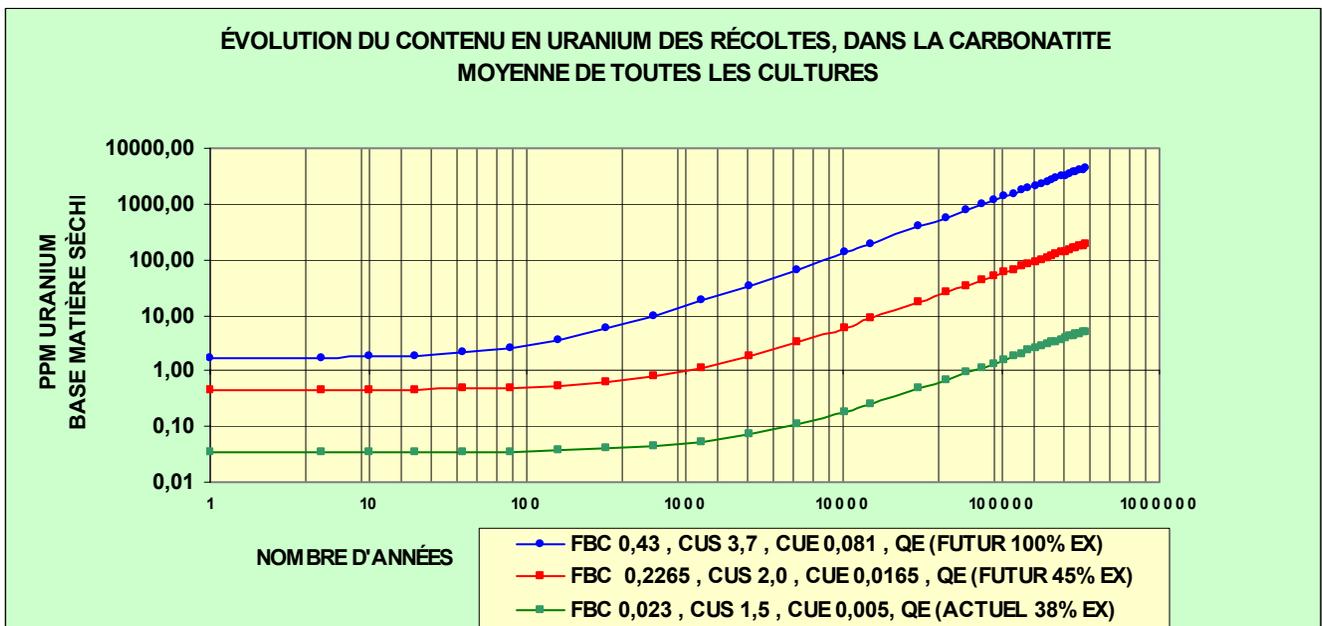
Comme il n'y a pas de recommandation concernant la phytotoxicité pour la plante, il est difficile d'interpréter la concentration d'uranium dans les plantes.

Dans les graphiques 3 et 4 nous présentons l'évolution du contenu en uranium des récoltes toujours selon les 3 scénarios décrits plus haut. Il est important de souligner que le taux d'uranium des récoltes est exprimé sur la base de la matière sèche.

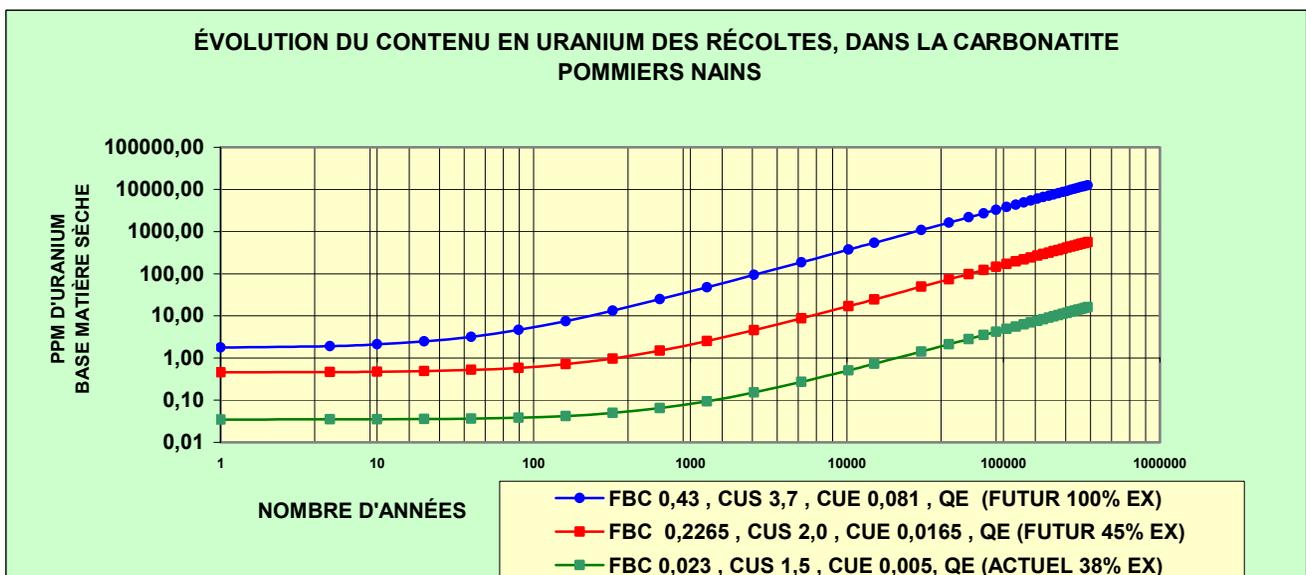
Comme il n'y a pas de norme agronomique reconnue en ce qui concerne l'uranium, et que le facteur de bioconcentration sol-plante n'est pas connu pour dans les conditions qui prévalent à Oka, la seule façon pour évaluer ce qui se passerait en réalité si l'eau d'exhaure était utilisée comme eau d'irrigation, c'est de réaliser des bio-essais et des analyses afin de mesurer selon des facteurs agronomiques le développement des cultures du secteur concerné et de comparer ces mêmes cultures en milieu fermé.

L'aspect de la santé humaine n'a pas été abordé dans ce rapport, mais puisque l'on prévoit qu'en irriguant avec de l'eau d'exhaure, il pourrait y avoir une concentration plus élevée d'uranium dans les cultures, seule une étude toxicologique permettrait d'en évaluer les impacts.

Graphique 3 : Évolution du contenu en uranium des récoltes dans le temps selon les besoins moyens en irrigation de toutes les cultures



Graphique 4 : Évolution du contenu en uranium des récoltes dans le temps selon les besoins moyens en irrigation des pommiers nains



Note : Les calculs ont été fait à partir d'une régression linéaire basée sur l'hypothèse que le facteur de bioconcentration est constant dans le temps.

EAUX D'IRRIGATION

Conclusion

Uranium

Comme il est difficile de prévoir la qualité réelle de l'eau d'exhaure au niveau de l'uranium et que cette qualité risque de fluctuer dans le temps, il va de soi que des analyses d'eau devront être faites sur une base régulière, en particulier durant la saison de croissance afin de vérifier le niveau d'uranium de l'eau d'exhaure.

Puisque les besoins en eau pour l'irrigation sont croissants, de plus en plus d'agriculteurs se tourneront à l'avenir vers l'eau souterraine pour irriguer. Actuellement 55% des puits des puits environnants le secteur de la carbonatite respectent la recommandation canadienne pour la qualité de l'environnement établie à 0,01 mg/l.

La qualité de l'eau d'exhaure que prévoit Niocan au niveau de l'uranium est de 0,04 mg/l. C'est donc plus de la moitié des agriculteurs qui seraient perdants en utilisant l'eau d'exhaure à des fins d'irrigation. De plus, l'eau des puits actuels risque d'être affectée au niveau de la qualité et de la quantité, ce qui viendrait compromettre plusieurs projets d'approvisionnement en eau souterraine à la ferme.

Dans un objectif d'harmoniser les besoins de Niocan avec ceux du secteur agricole, Niocan devrait s'engager à fournir une eau de qualité respectant les Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement relativement à l'uranium.

Autres éléments

Compte tenu que la concentration des autres éléments peut également varier dans le temps, il faudrait qu'un suivi similaire à celui de l'uranium soit réalisé pour l'ensemble des éléments qui font partie des recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement. Donc, il faudrait prévoir des analyses régulières des éléments chimiques et critères contenus dans ces recommandations. En cas de dépassement des critères établis, une recommandation agronomique devra être posée.

5. Analyse des résultats pour l'eau d'abreuvement du bétail

Dans les analyses d'eau disponibles, il y a deux éléments chimiques pour lesquels on retrouve des dépassements relativement aux recommandations. Ce sont le manganèse et le molybdène.

Manganèse

Problèmes associés à une teneur élevée de manganèse dans l'eau d'abreuvement du bétail

Des valeurs supérieures à 0,05 mg/l de manganèse ont été associées à un problème de goût de l'eau. Ainsi, la vache peut détecter des propriétés organoleptiques telles que l'odeur et la saveur. Si la source d'eau est malodorante ou a mauvais goût, les vaches pourraient ne pas boire suffisamment pour combler leurs besoins de production (Référence 15, page 75). Ceci est un aspect très important en production laitière car la quantité d'eau consommée par vache est directement reliée à la quantité de lait produit.

Le manganèse fait partie des éléments pouvant augmenter la dureté de l'eau tout comme le calcium, le magnésium, le fer, le strontium et l'aluminium. La dureté de l'eau peut avoir des effets néfastes sur les équipements utilisés dans les fermes laitières. Entre autre, l'eau dure vient interférer avec les agents de nettoyage, réduit leur efficacité et provoque la formation de résidus qui adhèrent aux parois des tuyaux d'eau et des tuyaux servant à la collecte du lait. De plus, le fer et le manganèse contenus dans l'eau sont les agents responsables des taches rouges, brunâtres et noirâtres que l'on retrouve sur les équipements régulièrement en contact avec l'eau. Le guide du National Research Council (NRC) est la source de référence en productions animales qui est basée sur les découvertes scientifiques faites jusqu'à présent dans le domaine de l'alimentation animale. Selon le guide du NRC, ces minéraux contenus dans l'eau de lavage peuvent même aller jusqu'à altérer la saveur du lait en lui procurant un goût d'oxydation (Référence 18, page 189). C'est donc un effet non négligeable qui est directement relié à la qualité du lait produit. Toujours selon le NRC, des niveaux de manganèse supérieurs à 0,05 mg/l dans les eaux de nettoyage peuvent causer tous ces problèmes.

Concentration observée et recommandation

Parmi les différentes analyses présentées à l'annexe 1, le plus haut taux de manganèse observé est de 0,2 mg/l ce qui correspond à la qualité que Niocan prévoit pour l'eau d'exhaure.

Selon le NRC, la toxicité du manganèse est relativement faible et le besoin de cet élément pour les bovins n'a toujours pas été clairement établi. De plus, on mentionne que la toxicité de cet élément pour les ruminants est très peu probable.

Pour le moment, il n'y a pas de recommandation relative à la présence de manganèse dans l'eau de boisson des animaux d'élevage dans les recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du CCME. Aux États-Unis, on a même jugé inutile de fixer une limite supérieure à la concentration de manganèse dans l'eau de boisson des animaux d'élevage (Référence 7, section 4.2.3.11, Manganèse). Par contre, des recommandations provenant du Pennsylvania State University (1996), citées lors du Symposium provincial sur les bovins laitiers de 2000, nous indiquent qu'une concentration supérieure à 0,05 mg/l est à éviter car elle peut provoquer des problèmes reliés au goût de l'eau. De plus, dans le guide NRC, il est mentionné qu'une concentration supérieure à 0,05 mg/l est également associée à d'autres problèmes discutés dans la section précédente.

Le molybdène

Toxicité et effets d'un niveau élevé de molybdène chez les bovins

Bien que le molybdène soit un élément essentiel dans l'alimentation animale, les besoins nutritionnels des bovins n'ont pas été établis (Référence 16, page 66). La concentration maximale tolérable de molybdène dans l'alimentation des bovins, incluant les apports provenant de l'eau et des aliments ingérés, a été estimée à 10 mg/kg d'aliments ingérés (Référence 16, page 67). Cependant, la toxicité de cet élément est liée de près à l'apport alimentaire de cuivre et de sulfates inorganiques. Il est bien connu que le molybdène et le cuivre agissent comme éléments antagonistes dans le corps des animaux (Référence 17, page 15). Un niveau élevé de molybdène alimentaire augmente le besoin des animaux pour le cuivre ainsi que la quantité de cuivre pouvant causer la toxicité. Parallèlement, une augmentation de la quantité de cuivre dans la ration peut réduire l'effet toxique du molybdène. Chez les bovins, il est important de toujours maintenir un rapport cuivre-molybdène de 2 pour 1 pour prévenir l'empoisonnement (Référence 7, section 4.2.3.13, Molybdène).

Augmenter le niveau de cuivre dans la ration des bovins peut empêcher l'empoisonnement par le molybdène. Cependant, une exposition prolongée à de fortes doses de molybdène alimentaire peut déranger le métabolisme du phosphore. Ce dérangement pourrait entraîner la faiblesse physique de l'animal ainsi que des anomalies au niveau des jointures et pourrait également engendrer l'ostéoporose.

La concentration de molybdène varie grandement dans les fourrages dépendamment du type de sol et de son pH. Les sols neutres ou alcalins, mal drainés et contenant beaucoup de matière organique augmentent l'assimilation du molybdène par les plantes. En général, les fourrages sont beaucoup plus variables en molybdène que les céréales et les suppléments protéiques (Référence 16, page 67). À des niveaux élevés de molybdène, les bovins sont moins tolérants que la majorité des autres animaux de ferme et l'empoisonnement de bovins au pâturage est un problème pratique important dans plusieurs pays du monde (Référence 17, page 15). Tel que mentionnée dans la section 4.1.4 de ce document, l'accumulation excessive de molybdène dans les fourrages due à l'irrigation est peu probable étant donné que cette pratique n'est pas utilisée dans les prairies des producteurs de bovins. Cependant, dans le cas où des producteurs maraîchers voudraient échanger des terres avec des producteurs laitiers dans le but d'améliorer les rotations de culture, cette situation serait possible et pourrait devenir problématique.

Concentration observée et recommandation

Le plus haut taux de molybdène observé dans les analyses d'eau disponibles est de 0,71 mg/l. Cette analyse, que l'on retrouve à l'annexe 1, est la seule qui dépasse la concentration maximale de 0,5 mg/l recommandée par le CCME pour l'eau de boisson des animaux d'élevage (Référence 7, section 4.2.3.13, Molybdène). Niocan prévoit un taux de molybdène de 0,2 mg/l dans les eaux d'exhaure.

Aux États-Unis, on n'a pas établi de recommandation sur la concentration de molybdène dans l'eau de boisson des animaux d'élevage. En Australie, la concentration maximale de molybdène recommandée pour l'eau d'irrigation est de 0,01 mg/l. Cette recommandation a aussi été adoptée comme maximum pour l'eau de boisson des animaux d'élevage (Référence 7, section 4.2.3.13, Molybdène).

EAU D'ABREUVEMENT

Conclusion

La quantité prévue de **manganèse** dans l'eau d'exhaure évaluée par Niocan est de quatre fois supérieure au niveau indiqué par le Symposium des bovins laitiers pour l'eau utilisée par les fermes laitières.

Relativement au molybdène, une analyse provenant d'un puits avoisinant le futur site de la mine démontre un niveau supérieur aux recommandations du CCME. Étant donné que les ruminants sont les animaux de ferme les plus sensibles à de hauts taux de **molybdène**, l'eau provenant de ce puits ne devrait pas être consommée par des bovins. Il serait d'autant plus important d'effectuer un suivi quant à cet élément dans l'eau d'exhaure dans le cas où elle serait utilisée comme eau d'abreuvement.

Ceci ne semble pas constituer un problème en soi pour le producteur laitier vivant à proximité du site de la mine, étant donné que Niocan prévoit fournir de l'eau d'aqueduc aux producteurs situés sur le rang Ste-Sophie au sud du rang de l'Annonciation et que ce producteur est dans ce secteur.

Cependant, pour d'éventuelles entreprises de productions animales qui seraient situées à l'extérieur de ce secteur, il serait primordial pour eux de faire analyser l'eau de leur puits pour en vérifier la qualité et apporter des correctifs si c'est possible.

En considérant la qualité prévue de l'eau d'exhaure évaluée par Niocan, nous concluons que celle-ci ne pourrait pas être utilisée telle quelle par les entreprises de production animale.

5 Analyse des exigences de rejet

Dernièrement le MENV nous a fourni de nouvelles données, lesquelles refléteraient des exigences de rejet de l'effluent final du bassin de sédimentation (voir tableau « exigences au point de déversement de l'effluent final »). Dans ce tableau nous y retrouvons la concentration moyenne acceptable et une concentration maximale acceptable que le ministère de l'environnement est à actuellement à négocier avec le promoteur minier. Nous y avons ajouté une colonne dans laquelle on retrouve les recommandations pour l'eau d'irrigation.

Tableau 1 : Exigences au point de déversement de l'effluent final*

PARAMÈTRES	COLONNE I CONCENTRATION MOYENNE ACCEPTABLE (MOYENNE ARITHMÉTIQUE MENSUELLE)	COLONNE II CONCENTRATION MAXIMALE ACCEPTABLE DANS UN ÉCHANTILLON INSTANTANÉ	RECOMMANDATIONS CANADIENNES POUR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT
Arsenic	0,04 mg/L	0,08 mg/L	0,1 mg/l
Baryum	0,24 mg/l	0,48 mg/l	Pas de norme
Chlorures	300 mg/l	600 mg/l	100 mg/l
Cuivre	0,012 mg/L	0,024 mg/L	0,2 mg/l
Fer	1,00 mg/L	2,00 mg/L	1 mg/l (serres), 5 mg/l (plein champ)
Nickel	0,07 mg/L	0,14 mg/L	0,2 mg/l
Fluorures	1,0 mg/l	2,0 mg/l	1 mg/l
Plomb	0,1 mg/l	0,2 mg/l	0,2 mg/l, à la limite
Manganèse total	1,00 mg/l	2,00 mg/l	0,2 mg/l
Zinc	0,16 mg/L	0,32 mg/L	1 à 5 mg/l
Hydrocarbures (C ₁₀ - C ₅₀)	Nil	2,00 mg/L	Pas de norme
Matières en suspension	15,00 mg/L	30,00 mg/L	Pas de norme
Azote ammoniacal	1,5 mg/l	3,0 mg/l	5 mg/l pour les serres
Uranium	0,14 mg/l	0,28 mg/l	0,01 mg/l

Eau d'irrigation :

À la lumière de ces nouvelles données, on constate que de nouveaux éléments viennent s'ajouter à la liste des paramètres qui dépassent les normes existantes pour l'eau d'irrigation. Il s'agit des fluorures, du plomb et du manganèse. La situation des chlorures et de l'uranium s'est quant à elle aggravée.

Fluorures

Effets d'un excès de fluorures sur les plantes

Si l'on dispose de beaucoup d'information sur les effets des fluorures à l'état gazeux ou à l'état de particules sur les plantes, il existe toutefois peu d'études au sujet de la réaction des plantes aux fluorures présents dans le sol (NAS 1971; Rose et Marier 1979). Les sols neutres et alcalins ont la capacité de désactiver les fluorures (NAS/NAE 1973), ce qui limite leur absorption par les racines (Bollard et Butler 1966). Les fluorures présents dans l'eau sont généralement absorbés par les racines des plantes. Certaines espèces sont plus sensibles à un excès de fluorures comme les fraises. La laitue, les oignons et les tomates sont moyennement sensibles, tandis que les crucifères et le concombre seraient plutôt résistants.

Concentration observée et recommandation

La concentration maximale de fluorures de l'effluent final est de 2 mg/l. Ce qui correspond au double de la concentration acceptable pour tout type de sol établie à 1 mg/l. Toutefois pour une utilisation d'une durée allant jusqu'à 20 ans, dans les sols neutres ou alcalins de texture fine, la concentration de fluorures acceptable est de 15,0 mg/l. Au niveau du sol comme il s'agit de sols alcalins ou neutres, les fluorures ne devraient pas causer trop de problèmes pour l'absorption racinaire. Un suivi est toutefois recommandé, en particulier pour les espèces sensibles.

Manganèse

Effets d'un excès de manganèse sur les plantes

Bien que le manganèse soit un élément essentiel, il peut être toxique pour les plantes cultivées dans des sols acides.

Concentration observée et recommandation

La concentration maximale de manganèse de l'effluent final est de 2 mg/l. La concentration de manganèse total dans l'eau d'irrigation ne devrait pas dépasser 0,2 mg/l dans le cas d'une utilisation continue, quel que soit le type de sol, et 10,0 mg/l pour une utilisation d'une durée allant jusqu'à 20 ans, dans les sols neutres ou alcalins de texture fine. Dépendamment de l'acidité du sol, l'impact peut être différent. De façon générale, dans le secteur de la carbonatite, la problématique ne devrait donc pas être très importante.

Plomb

Effets d'un excès de plomb sur les plantes

L'absorption du plomb est favorisée dans les sols peu organiques et dont le pH est faible (Jorgensen 1976). Toutefois, quelles que soient les conditions du sol, l'absorption du plomb par les racines des plantes ne se fait pas facilement, puisque cet élément est à l'évidence retenu dans le sol. Les concentrations de plomb ayant tendance à être plus élevées dans les racines que dans les parties aériennes des plantes, il semble que la translocation ne se fasse pas facilement (Motto et coll. 1970; Walsh et coll. 1976). En général, le plomb est considéré comme étant relativement peu toxique pour les plantes (NAS/NAE 1973).

Les plantes peuvent tout de même accumuler les résidus de plomb en concentrations potentiellement dangereuses pour les consommateurs, humains et animaux, comme dans le cas de la pomme de terre, de la laitue et du foin cultivés dans des régions polluées par des déchets industriels (Hernberg et Nordman 1972; Hemphill et coll. 1973). Ce n'est cependant pas l'effet phytotoxique qui est inquiétant mais l'impact que le plomb peut avoir sur la santé humaine.

Concentration observée et recommandation

La concentration maximale de plomb de l'effluent final est de 0,2 mg/l. La concentration maximale de plomb total dans l'eau d'irrigation ne devrait pas dépasser 0,2 mg/l dans le cas d'une utilisation continue, quel que soit le type de sol, et 2,0 mgAL⁻¹ pour une utilisation d'une durée allant jusqu'à 20 ans dans les sols neutres ou alcalins de texture fine. Dépendamment de l'acidité du sol, l'impact peut être différent. De façon générale, dans le secteur de la carbonatite, les sols sont neutres ou alcalins. L'impact est donc moins alarmant. Un suivi de cet élément demeure important en regard de l'impact qu'il peut avoir sur la santé humaine.

Chlorures et uranium

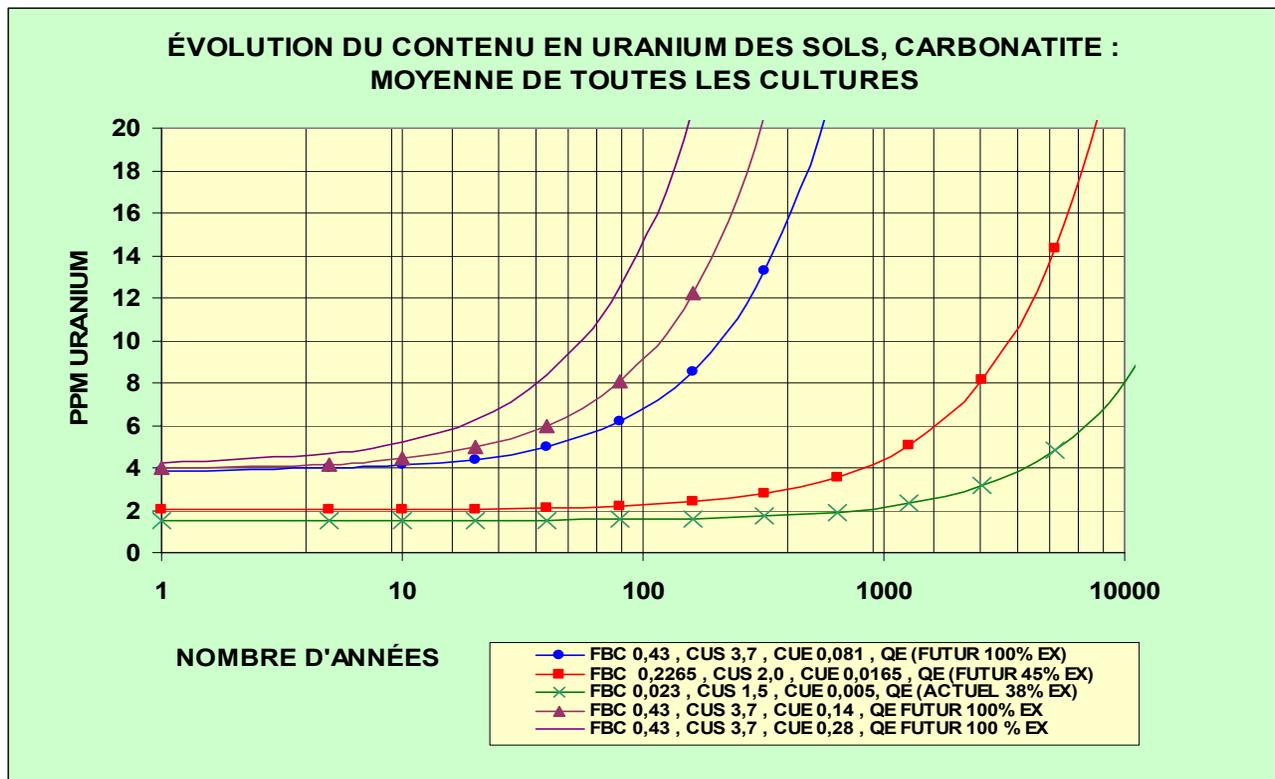
Déjà certains de ces éléments dont les chlorures, et l'uranium dépassaient déjà les normes en ce qui a trait à l'eau d'exhaure. Les effets d'un dépassement des normes de ces éléments sur les cultures ont été développés à la section 4. Les valeurs de rejet dans le cas des chlorures sont de 3 à 6 fois plus élevées que les normes. À ces concentrations, d'autres cultures pourraient être affectées comme les framboises, le poivron, les tomates le maïs et le concombre.

Les valeurs de rejet dans le cas de l'uranium sont de 14 à 28 fois plus élevées que les normes. De plus, lorsque l'on regarde les graphiques 5 et 6 et les tableaux 1 et 2, on peut voir que **les délais pour atteindre des concentrations d'uranium de 10 PPM dans le sol, sont de 55 ans pour la moyenne des cultures et de 17 ans pour les pommiers nains et ce, en utilisant les concentrations maximales d'uranium des exigences de rejet.**

Conclusion sur les exigences de rejet

Du point de vue agricole, les exigences de rejet sont nettement trop permissives pour les cultures. Selon les concentrations élevées d'éléments dans l'eau de rejet, il va de soi que cette eau ne pourrait être utilisée à des fins d'irrigation ou d'abreuvement sans craindre l'effet nocif pour les plantes et animaux tel que décrit précédemment.

Graphique 5 : Évolution du contenu en uranium dans le sol et dans le temps selon les besoins moyens en irrigation de toutes les cultures et les trois scénarios précédents et les nouvelles exigences de rejet



Graphique 6 : Évolution du contenu en uranium dans le sol et dans le temps selon les besoins en irrigation des pommiers nains et les trois scénarios précédents et les nouvelles exigences de rejet

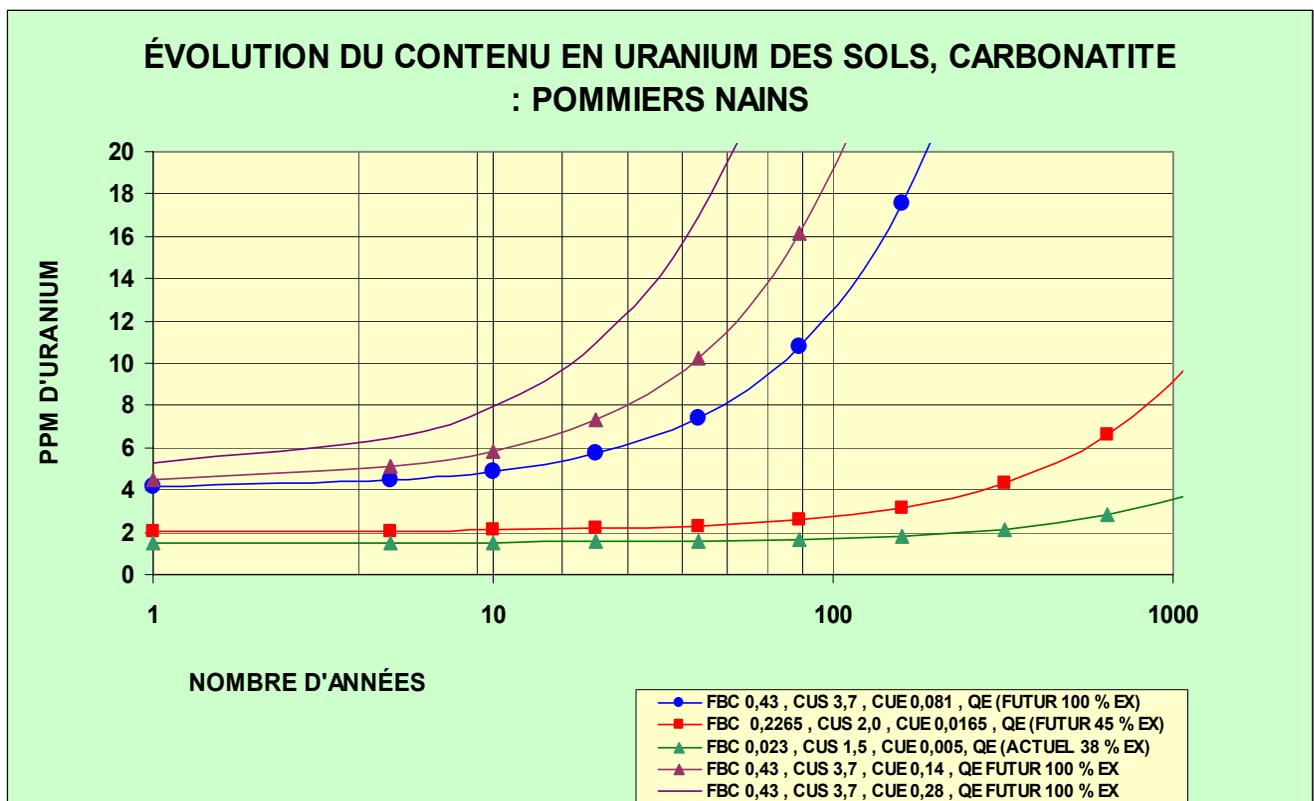


Tableau 1 : Nombre d'années nécessaire avant d'atteindre la norme de 10 mg d'uranium par kg de sol selon les besoins moyens de toutes les cultures et selon 5 scénarios.

	FBC 0,43 CUE 0,28	FBC 0,43 CUE 0,14	FBC 0,43 CUE 0,081	FBC 0,023	FBC 0,2265	FBC 0,43 CUE 0,28	FBC 0,43 CUE 0,14	FBC 0,43 CUE 0,081	FBC 0,023	FBC 0,2265
	COHC produit	COHC SOL								
ANNEE CALCUL	Cp: mg/kg TOUTES CULTURES	Cs: mg/kg TOUTES CULTURES								
15000										
1	1,82	1,71	1,66	0,035	0,46	4,24	3,97	3,85	2	2
5	2,01	1,80	1,71	0,035	0,46	4,66	4,17	4,0	2	2,0
10	2,23	1,91	1,77	0,035	0,46	5,19	4,44	4,1	2	2,0
15	2,46	2,02	1,83	0,035	0,46	5,72	4,70	4,3	2	2,0
55,6	4,30	2,93	2,35	0,035	0,49	10,0	6,81	5,5	2	2,1
116,8	7,07	4,30	3,12	0,036	0,52	16,45	10,0	7,3	2	2,3
209,6	11,27	6,38	4,30	0,038	0,57	26,21	14,83	10,0	2	2,5
3324,6	152,38	76,14	43,78	0,084	2,27	354,38	177,07	101,8	4	10,0
13157,8	597,82	296,35	168,41	0,230	7,62	1390,28	689,20	391,6	10,0	33,6
26316	1193,86	591,03	335,17	0,425	14,78	2776,43	1374,48	779,5	18	65,2
52631	2385,95	1180,37	668,70	0,816	29,10	5548,72	2745,04	1555,1	35	128,5

Tableau 2 : Nombre d'années nécessaire avant d'atteindre la norme de 10 mg d'uranium par kg de sol selon les besoins des pommiers nains et selon 5 scénarios

	FBC 0,43 CUE 0,28	FBC 0,43 CUE 0,14	FBC 0,43 CUE 0,081	FBC 0,023	FBC 0,2265	FBC 0,43 CUE 0,28	FBC 0,43 CUE 0,14	FBC 0,43 CUE 0,081	FBC 0,023	FBC 0,2265
	COHC produit	COHC SOL								
ANNÉES CALCUL	Cp: mg/kg POM NAINS	Cs: mg/kg POM NAINS								
15000										
1	2,28	1,93	1,79	0,035	0,46	5,30	4,49	4,15	2	2
5	2,79	2,18	1,93	0,035	0,47	6,50	5,08	4,5	2	2,1
10	3,43	2,50	2,11	0,035	0,48	7,98	5,82	4,9	2	2,1
15	4,07	2,82	2,29	0,035	0,48	9,47	6,56	5,3	2	2,1
16,8	4,30	2,93	2,36	0,035	0,49	10,0	6,82	5,5	2	2,2
38,3	7,06	4,30	3,13	0,036	0,52	16,41	10,0	7,3	2	2,3
70,6	11,18	6,35	4,30	0,038	0,57	26,00	14,76	10,0	2	2,5
1115,6	144,92	72,73	42,08	0,086	2,27	337,03	169,15	97,9	4	10,0
4215,0	541,57	269,61	154,13	0,230	7,28	1259,47	627,01	358,4	10,0	32,1
8430	1080,99	537,36	306,51	0,425	14,10	2513,93	1249,68	712,8	18	62,2

Au-dessus d'une norme agronomique
Aucune norme agronomique disponible
Analyse d'eau non disponible et aucune norme agronomique disponible
Analyse d'eau non disponible
Conforme aux normes agronomiques

(Signifie qu'il existe une norme pour l'eau potable)

Source d'information	Unités	Analyses d'eau								Qualité prévue		Type de norme dépassée
		Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	MAPAQ	MAPAQ	Niocan	Niocan	
		Puits privé no 1 (50,6 m.) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 2002	Puits privé no 2 (112 m) 2002 Initial dégazé et après 30 jours	Puits privé no 3 (116 m) 1999	Essai de pompage no 4 (17 m) 2001	Puits no:1 Septembre 2003	Puits no:2 (même puits que le puits privé no 2, Niocan) Septembre 2003	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2001	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2002	
Actinium-228 Bq/l				< 2	< 2							
Alcalinité mg/l				190			190	190	180	200	200	Ohio State University, IQDHO
Aluminium mg/l				0,1			< ,1	<0,007	<0,007	<,1	<,1	
Ammoniaque												
Antimony mg/l												
Argent mg/l												
Arsenic mg/l		< ,001	< ,001	0,001		< ,001	< ,001	0,001	<0,001	< ,001	< ,001	
Azote ammoniacal (NH4) mg/l				< ,05			< ,05			<,05	<,05	
Bactéries nb/ml												
Bactéries coliformes fécaux (nbr/dl) nb/cl												
Bactéries entérocoques (nbr/dl) nb/cl												
Baryum mg/l		0,17	0,08	0,1		0,01				0,1	0,1	
Béryllium mg/l								<0,0002	<0,0002			
Bismuth-212 Bq/l				< 7	< 7							
Bismuth-214 Bq/l		130	1590	190	< 0,4	720						
Bore mg/l		< ,1	< ,1	< 0,1		< ,1		0,01	0,04	< ,1	< ,1	
Bromates mg/l												
Cadmium mg/l		< ,0005	< ,0005	< 0,005		< ,0005	< ,0005	0,0016	0,0013	< ,0005	< ,0005	
Calcium mg/l				23			33	56	20	35	35	
Carbone inorganique dissous mg/l				44			51			50	50	
Carbone organique dissous mg/l				< ,05			1,3			1,5	1,5	
Chloramines mg/l												
Chlore mg/l												
Chlorures mg/l				29			110	16	26	100	100	Irrigation: University of California Division of Agriculture Science, IQDHO
Chrome mg/l		< ,001	< ,001	< 0,02		< ,001	0,002	<0,0009	<0,0009	< ,001	< ,001	
Chrome hexavalent mg/l												
Chrome trivalent mg/l												
Cobalt mg/l								0,006	0,004			
Coliformes nb/ml												
Conductivité mmhos/cm				0,52			0,99	0,59	0,52	1,0	1,0	Irrigation: Water, Media and nutrition for greenhouse crops
Cuivre mg/l				< 0,01			< ,001	0,002	0,002	<,001	<,001	
Cyanure mg/l												
DBO5 mg/l										<,2	<,2	
DCO mg/l										10	10	
Dureté totale mg/l				120			240			250	250	
Fer mg/l				< 0,02			< ,02	0,002	0,009	<,02	<,02	
Fluore mg/l												
Fluorures totaux mg/l		< ,02	0,45	0,57		0,62		0,23	0,63	1	0,6	

Annexe 1 : Résultats d'analyses d'eau

Source d'information	Unités	Analyses d'eau								Qualité prévue		Type de norme dépassée
		Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	MAPAQ	MAPAQ	Niocan	Niocan	
		Puits privé no 1 (50,6 m.) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 2002	Puits privé no 2 (112 m) 2002 Initial dégazé et après 30 jours	Puits privé no 3 (116 m) 1999	Essai de pompage no 4 (17 m) 2001	MAPAQ Puits no:1 Septembre 2003	MAPAQ Puits no:2 (même puits que le puits privé no 2, Niocan) Septembre 2003	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2001	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2002	
Huiles et graisses minérales	mg/l									< 0,3	< 0,3	
Lithium	mg/l						0,002	0,004				
Magnésium	mg/l			9,9			21	19,2	8,1	20	20	
Manganèse	mg/l	<,01	0,08	0,1		0,2	<,01	0,008	0,027	0,05	0,2	Eau d'abreuvement du bétail RQE
Mercure total	mg/l	<,0001	<,0001	< 0,0001		<,0001	<,0002	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	
Molybdène	mg/l	0,01	0,021	< 0,05		0,045		0,71	0,02	0,02	0,02	Irrigation: Lab expertise sols acides et alcalins, Universitu of California, ESB sols acides et alcalins 1973, Ohio State University, IQDHO
Molybdène-99	Bq/l											
Nickel	mg/l	<,005	<,005	0,01		0,022	<,005	0,0009	<0,0008	< 0,005	0,01	
Niobium-95	Bq/l											
Nitrate (N)	mg/l			< ,01			< ,01		<,01	<,01	<,01	
Nitrite (N)	mg/l			0,001			< ,001	0,1	<0,01	<,001	<,001	
Nitrite-Nitrate (N)	mg/l	3,1	<,01			<,01		4,6	0,35	<,01	<,01	
pH				8,1			7,8	8	8,1	7,5 - 8,0	7,5 - 8,0	Irrigation: LAB expertise sols acides et alcalins, ESB sols acides et alcalins 1973, IQDHO
Phénols	mg/l											
Phosphore total	mg/l									<,02		
Plomb	mg/l	0,053	0,016	< 0,005		0,019	< ,005	<0,004	<0,004	0,02	0,04	
Plomb-210	Bq/l											
Plomb-212	Bq/l			< 1	< 1							
Plomb-214	Bq/l	130	1590	190	< 0,3	720						
Polonium-214	Bq/l			190*								
Polonium-218	Bq/l			190*								
Potassium	mg/l			7,8			8,1	7,5	6,9	10	10	
Potassium-40	Bq/l			< 6	< 6							
Protactinium-234	Bq/l			< 100	< 100							
Radium-224	Bq/l											
Radium-226	Bq/l	< seuil de détection	< seuil de détection	< 5	< 5	< seuil de détection						Analyse non-significative
Radium-228	Bq/l											
Radon-222	Bq/l	130*	1590*	190*	< seuil de détection	720*						
Ruthénium-103	Bq/l											
Ruthénium-106	Bq/l											
Salinité												
Sélénium	mg/l	<,001	<,001	< 0,001		<,001		0,01	<0,001	<,001	<,001	
Silica dioxyde	mg/l											
Silicium								5,1	7,6			
Sels dissous	millimhos											
Sodium	mg/l			68			120	26	74	120	120	Irrigation: University of California Division of Agriculture Science, ESB 1972, Ohio State University, Water, Media and nutrition for greenhouse crops, IQDHO
Solides dissous totaux	mg/l			290			550	370	300	500	500	
Solides en suspension	mg/l			< 4			110			<10	<10	Peut porter une charge radioactive
Strontium-90	Bq/l											

Source d'information	Unités	Analyses d'eau								Qualité prévue		Type de norme dépassée
		Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	Niocan	MAPAQ	MAPAQ	Niocan	Niocan	
		Puits privé no 1 (50,6 m.) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 1999	Puits privé no 2 (112 m) 2002	Puits privé no 2 (112 m) 2002 Initial dégazé et après 30 jours	Puits privé no 3 (116 m) 1999	Essai de pompage no 4 (17 m) 2001	Puits no:1 Septembre 2003	Puits no:2 (même puits que le puits privé no 2, Niocan) Septembre 2003	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2001	Qualité prévue de l'eau d'exhaure 2002	
Taux d'absorption du sodium												
Sulfates	mg/l	79,4	41,7	42		76,8	110	65	38	75	75	
Sulfures	m											
Thallium-208	Bq/l			< 1	< 1							
Thorium-228	Bq/l											
Thorium-230	Bq/l											
Thorium-232	Bq/l											
Thorium-234	Bq/l											
Toluène	mg/l											
Tritium	Bq/l											
Turbidité	UTN			< 0,1							< 0,1	
Uranium	mg/l	0,01	0,051	0,052		0,024		0,081	0,058	0,03	0,04	irrigation: RQE
Uranium-234	Bq/l											
Uranium-235	Bq/l			< 0,5	< 0,5							
Uranium-238	Bq/l											
Vanadium	mg/l							0,02	<0,0003			
Zinc	mg/l			< 0,01				<,001	0,042	<0,005	<,001	<,001
Zinc-65	Bq/l											
Zirconium-95	Bq/l											
α Rayonnement total (Bq/l)	Bq/l											
β Rayonnement total (Bq/l)	Bq/l											
α Activité Brute	Bq/l			< 0,6	< 0,6							Idem α Rayonnement total?
β Activité brute	Bq/l			< 5	< 5							Idem β Activité brute?

Au-dessus d'une norme

Source d'information	Unités	Normes eau d'irrigation								Eau d'abreuvement		
		Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise-à-jour 2002	University of California Division of Agriculture Science Leaflet 2995 (1977)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Harry Tayama, Ohio State University	A grower's guide to Water, Media and nutrition for greenhouse crops, Illinois, 1996	Guide de production des annuelles en caissettes, CRAAQ, 2002	Techniques de cultures en multicellules, IQDHO 1999	Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ 2000, (réf.: Pennsylvania State University, 1986)	Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise à-jour 2002
		Eau d'irrigation	Maximum concentration	1972	Sols alcalins 1973	Sols acides 1973				Multi-cellules	Eau d'abreuvement des bovins laitiers Concentrations potentiellement dangereuses	Bétail
Actinium-228	Bq/l											
Alcalinité	mg/l						100,00		80-120	40 - 80		
Aluminium	mg/l	5	5	20,00	20,00	5,00	5,00		5,00	2,00		5
Ammoniaque	mg/l											
Antimony	mg/l											
Argent	mg/l											
Arsenic	mg/l	0,1	0,1	2,00	2,00	0,10					0,20	0,025
Azote ammoniacal (NH4)	mg/l								5,00			
Bactéries	nb/ml										1 million	
Bactéries coliformes fécaux (nbr/dl)	nb/cl											
Bactéries entérocoques (nbr/dl)	nb/cl											
Baryum	mg/l										10,00	
Béryllium	mg/l	0,1	0,1	0,50	0,50	0,10						0,1
Bismuth-212	Bq/l											
Bismuth-214	Bq/l											
Bore	mg/l	0,5 à 6	0,75	2,00			0,80	0,30	0,50			5
Bromates	mg/l											
Cadmium	mg/l	0,0051	0,01	0,05	0,05	0,01					0,05	0,08
Calcium	mg/l						120,00		120,00	120,00	500,00	1000
Carbone inorganique dissous	mg/l											
Carbone organique dissous	mg/l											
Chloramines	mg/l											
Chlore	mg/l			100,00								
Chlorures	mg/l	100-700	70				140,00	108,00	100,00	80,00		
Chrome	mg/l		0,1	1,00	1,00	0,10						
Chrome hexavalent	mg/l		0,008									0,05
Chrome trivalent	mg/l		0,0049									0,05
Cobalt	mg/l		0,05	5,00	5,00	0,05						1
Coliformes	nb/ml		fécaux: 100/ 100 ml totaux: 1000/ 100 ml								veaux: 1,0 vaches: 15,0	
Conductivité	mmhos/cm		0,75				1,50	0,7 à 2,0		1,00		
Cuivre	mg/l	,2 à 1	0,2	5,00	5,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,60	moutons: 0,5 bovins: 1,0 porcs et volailles: 5,0
Cyanure	mg/l											
DBO5	mg/l											
DCO	mg/l											
Dureté totale	mg/l											

Annexe 2 : Recommandations

Au-dessus d'une norme

Source d'information	Unités	Normes eau d'irrigation								Eau d'abreuvement		
		Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise-à-jour 2002	University of California Division of Agriculture Science Leaflet 2995 (1977)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Harry Tayama, Ohio State University	A grower's guide to Water, Media and nutrition for greenhouse crops, Illinois, 1996	Guide de production des annuelles en caissettes, CRAAQ, 2002	Techniques de cultures en multicellules, IQDHO 1999	Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ 2000, (réf.: Pennsylvania State University, 1986)	Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise à-jour 2002
		Eau d'irrigation	Maximum concentration	1972	Sols alcalins 1973	Sols acides 1973				Multi-cellules	Eau d'abreuvement des bovins laitiers Concentrations potentiellement dangereuses	Bétail
Fer	mg/l	5	5	20,00	20,00	5,00	5,00	1,00	4,00	4,00	0,30	
Fluore	mg/l			15,00							2,40	
Fluorures totaux	mg/l	1,00	1,00		15,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1 à 2
Huiles et graisses minérales	mg/l											
Lithium	mg/l	2,5	2,5	2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		
Magnésium	mg/l						24,00		25,00	25,00	125,00	
Manganèse	mg/l	0,2	0,2	10,00	10,00	0,20	2,00	1,00	2,00	2,00	0,05	
Mercure total	mg/l		5								0,01	0,003
		0,01 pour une utilisation continue pour tous les types de sol et 0,05 pour une utilisation à court terme dans les sols acides										
Molybdène	mg/l		0,01	0,05	0,01	0,01	0,02		0,20	0,02		0,5
Molybdène-99	Bq/l											
Nickel	mg/l	0,2	0,2	2,00	2,00	0,20						1
Niobium-95	Bq/l											
Nitrate (N)	mg/l						5,00					
Nitrite (N)	mg/l											10
Nitrite-Nitrate (N)	mg/l											100
pH					4,50	4,50			aucune norme	5,5-6,5	5,5 ou 8,5	
Phénols	mg/l											0,002
Phosphore total	mg/l						5,00			5,00		
Plomb	mg/l	0,2		10,00	10,00	5,00					0,10	0,1
Plomb-210	Bq/l											
Plomb-212	Bq/l											
Plomb-214	Bq/l											
Polonium-214	Bq/l											
Polonium-218	Bq/l											
Potassium	mg/l						10,00			10,00		
Potassium-40	Bq/l											
Protactinium-234	Bq/l											
Radium-224	Bq/l											
Radium-226	Bq/l											
Radium-228	Bq/l											
Radon-222	Bq/l											
Ruthénium-103	Bq/l											
Ruthénium-106	Bq/l											

Au-dessus d'une norme

Source d'information	Unités	Normes eau d'irrigation								Eau d'abreuvement		
		Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise-à-jour 2002	University of California Division of Agriculture Science Leaflet 2995 (1977)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Environnement Studies Board (ESB)	Harry Tayama, Ohio State University	A grower's guide to Water, Media and nutrition for greenhouse crops, Illinois, 1996	Guide de production des annuelles en caissettes, CRAAQ, 2002	Techniques de cultures en multicellules, IQDHO 1999	Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ 2000, (réf.: Pennsylvania State University, 1986)	Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (RQE) mise-à-jour 2002
		Eau d'irrigation	Maximum concentration	1972	Sols alcalins 1973	Sols acides 1973				Multi-cellules	Eau d'abreuvement des bovins laitiers Concentrations potentiellement dangereuses	Bétail
Salinité	mmho/cm											
Sélénium	mg/l	0,02 à 0,05	0,02	0,02	0,02	0,02						0,05
Silica dioxyde	mg/l											
Sels dissous	millimhos						1,50					
Sodium	mg/l			70,00			50,00	69,00	60,00	40,00		
Solides dissous totaux	mg/l	500 à 3500									3000,00	3000
Solides en suspension	mg/l											
Strontium-90	Bq/l											
Taux d'absorption du sodium							4,00	3,00				
Sulfates	mg/l						240,00		240,00	240,00	2000,00	1000
Sulfures	mg/l											
Thallium-208	Bq/l											
Thorium-228	Bq/l											
Thorium-230	Bq/l											
Thorium-232	Bq/l											
Thorium-234	Bq/l											
Toluène	mg/l											0,024
Tritium	Bq/l											
Turbidité	UTN		1									
Uranium	mg/l	0,01										0,2
Uranium-234	Bq/l											
Uranium-235	Bq/l											
Uranium-238	Bq/l											
Vanadium	mg/l	0,1	0,1	1,00	1,00	0,10						0,1
Zinc	mg/l	1 à 5	2	10,00	10,00	2,00	5,00	2,00	2,00	2,00	25,00	50
Zinc-65	Bq/l											
Zirconium-95	Bq/l											
α Rayonnement total (Bq/l)	Bq/l				0,02	0,02						
β Rayonnement total (Bq/l)	Bq/l				0,19	0,19						
α Activité Brute	Bq/l											
β Activité brute	Bq/l											

REVUE DE LITTÉRATURE SUR L'URANIUM

Cette section rassemble des informations recueillies dans la littérature sur l'uranium. Les informations recueillies sont fournies à titre indicatif et ne constituent pas une opinion de la part du ministère.

1. Comportement de l'uranium dans le sol

Les terres en culture du bassin versant du ruisseau Rousse contiendraient entre 1,5 à 3,7 mg d'uranium/kg de sol, pour une moyenne de 2 mg d'uranium /kg de sol (2 PPM) (Référence 1, page 49).

La concentration moyenne d'uranium dans la croûte terrestre varie de 3 à 4 mg/kg de sol. Dans la région de l'Okanagan en Colombie-Britannique, les sols contiennent entre 3 et 572 mg /kg d'uranium (Référence 2, page 2).

La mobilité de l'uranium dans le sol dépend du pH, du potentiel d'oxydation-réduction, de la concentration des anions complexants et des propriétés de sorption. L'uranium ne migre pas beaucoup dans les sols limoneux mais migre dans les sols sablonneux. Il migre principalement vers le haut lorsqu'il se trouve près de la surface mais une partie se perd dans la nappe phréatique s'il se trouve dans des sols plus profonds (Référence 2, page 3).

L'uranium diminue le pH du sol par hydrolyse des ions uranyles. La sorption de l'uranium devrait augmenter avec l'augmentation du pH en raison d'une charge négative accrue sur les surfaces kaolinites et organiques (Référence 2, page 2). L'uranium est alors moins présent dans la solution du sol. (Référence 3, pages 29-30). Il faut souligner que le secteur de la carbonatite montre un pH naturel neutre ou alcalin.

2. Eau des puits

La Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides a réalisé une étude sur l'eau des puits domestiques à Oka. Voici l'information que l'on retrouve dans son rapport intitulé "*L'uranium dans l'eau des puits domestiques à Oka, 1999*" :

- ◆ 57 puits ont été analysés (9 puits de surface, 48 puits profonds)
 - 37 puits dont l'eau n'était pas traitée
 - 20 puits dont l'eau était traitée

Norme, seuil et ligne directrice :

Source	Uranium dans l'eau
Ligne directrice de Santé Canada	Moins de 0,1 mg/l (*1)
Norme pour le réseau de distribution d'eau potable au Québec	Moins de 0,02 mg/l
Valeur envisagée par l'OMS et Santé Canada	Moins de 0,01 mg/l

*1 En 1999, la recommandation de Santé Canada est passée de 0,1 mg/l à 0,02 mg/l

Résultats obtenus :

33 puits (57,8 % des puits)	Moins de 0,01 mg/l
12 puits (21,1 % des puits)	entre 0,01 mg/l et 0,02 mg/l
12 puits (21,1 % des puits)	Entre 0,02 et 0,1 mg/l
0 puit (0% des puits)	Plus de 0,1 mg/l

Le plus haut taux d'uranium obtenu dans l'eau de puits dans l'étude de la Régie régionale de la santé et des services sociaux s'élevait à 0,066 mg/l.

En conséquence, la Régie régionale de la Santé et des services sociaux a conclu que:

- ◆ Tous les puits analysés à ce moment respectaient la ligne directrice fédérale fixée à 0,1 mg/l
- ◆ 12 puits excédaient le seuil de 0,02 mg/l, qui représentait la norme québécoise pour les réseaux de distribution d'eau potable
- ◆ 24 puits excédaient le seuil de 0,01 mg/l, qui représentait la valeur envisagée par divers organismes

Analyse des résultats selon la Régie régionale de la Santé et des services sociaux :

- ♦ *il n'y a pas de corrélation entre la concentration d'uranium et la profondeur des puits*
- ♦ *il n'y a pas de corrélation entre la concentration d'uranium et la concentration de radon dans les maisons*
- ♦ *il n'y a pas de corrélation entre la concentration d'uranium et la radiométrie aérienne*
- ♦ *il y aurait une association entre des niveaux plus élevés d'uranium dans l'eau potable des puits situés sur la carbonatite.*

Les études disponibles à ce moment avançaient que les techniques de traitement de l'eau qui utilisent les échangeurs anioniques et l'osmose inversée étaient efficaces pour réduire les concentrations d'uranium dans l'eau (Référence 4, page 24).

« Les concentrations d'uranium dans l'eau potable excédant 0,02 mg/l peuvent occasionner des altérations physiologiques au niveau des reins sans pour autant provoquer de maladie décelable. Ces altérations peuvent provoquer une présence anormale de certaines protéines dans l'urine. Ces effets physiologiques sont réversibles et s'estompent avec l'arrêt de la consommation d'eau riche en uranium » (Référence 4, page 27).

Autres sources d'information sur l'eau potable :

Les concentrations moyennes d'uranium dans les eaux de surface au Canada varient entre 0,097 à 2,14 µg/l (0,000097 à 0,00214 mg/l). En général, les concentrations d'uranium dans les réserves d'eau potable sont inférieures à 0,001 mg/l (Référence 2, page 2).

Des concentrations allant jusqu'à 0,080 mg/l ont été mesurées dans le sud-est de l'Ontario et de 0,039 mg/l dans le sud-ouest de la Saskatchewan. Dans une autre étude, on mentionne des concentrations allant jusqu'à 0,70 mg/l au Canada (Référence 5, page 5).

3. Le Ruisseau Rousse

La campagne de caractérisation du milieu effectuée par la firme Roche en novembre 2002 a permis de déceler moins de 0,005 mg/l d'uranium dans l'eau du ruisseau Rousse (correspondant au seuil de détection) sur cinq sites d'échantillonnage et moins de 5 mg/kg d'uranium dans les sédiments du ruisseau sur les mêmes sites. Les analyses avaient été faites par Bodycote à Québec.

4. Les plantes

Du point de vue agronomique, l'uranium ne présente pas de problématique importante. Rappelons d'abord que le taux d'uranium des terres en culture du bassin versant du ruisseau Rousse oscille entre 1,5 à 3,7 mg/ kg de sol (Référence 1, page 49).

Les différentes études de phytotoxicité évaluent soit la concentration la plus élevée où on obtient moins de 15% d'effet observé par rapport à un groupe témoin (NOEC ou No Observed Effect Concentration), ou soit la concentration la plus basse où on obtient plus de 15% d'effet avec un groupe témoin (LOEC ou Lowest Observed Effect Concentration). (Référence 5, pages 54 à 57, tableau 4).

Pour la tomate, le NOEC est atteint à 300 mg d'uranium/kg de sol pour affecter la germination et le LOEC est atteint à 1 000 mg d'uranium/kg de sol à pH 6,2. Le NOEC passe à plus de 1 000 mg d'uranium/kg de sol à pH de 7,5. Pour le chou, on obtient les mêmes résultats à pH 6,2 mais à pH de 7,5, le NOEC passe à plus de 10 000 mg d'uranium/kg de sol. Les différents tests réalisés sur différentes cultures font souvent référence à des concentrations de ce niveau pour avoir des effets agronomiques. Ce qui est nettement supérieur aux 3,7 mg d'uranium/kg de sol observés sur les terres en culture du secteur. De plus les sols de la carbonatite présentent des pH généralement neutres ou alcalins, donc encore moins propices à l'apparition de phytotoxicité.

Dans le document « *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols, Uranium 2003* », on mentionne que les effets toxiques de l'uranium sur les plantes sont attribuables à la toxicité chimique plutôt qu'à la toxicité associée aux radiations. L'uranium ne semble pas s'accumuler à un niveau significatif dans la végétation.

Voici les taux d'uranium retrouvés dans l'alimentation humaine de différentes villes et/ou pays (Référence 5, page 52, tableau 2). Dans ce tableau, on retrouve les concentrations d'uranium de plusieurs autres produits destinés à la consommation humaine. Ces concentrations sont considérées comme équivalentes à celles que l'on devrait retrouver dans les aliments consommés au Canada.

	Concentration en uranium sur une base humide ($\mu\text{g}/\text{kg}$ **)	
	Royaume Uni	New York city, Chicago, San Francisco
Légumes racines	1 à 2	0,94 à 1,2
Autres légumes	0,8 à 5	0,09 à 3,67
Fruits	0,3 à 5	0,04 à 1,29

**les unités de ce tableau ont été corrigées ($\mu\text{g}/\text{kg}$ plutôt que mg/kg) suite à une correspondance avec Mme Kelly Potter du Bureau national des recommandations et des normes d'Environnement Canada, décembre 2003

Différents chercheurs se sont penchés sur la bioconcentration de l'uranium du sol vers la plante et différents résultats ont été obtenus. Les facteurs de bioconcentration sol-plante reconnus dans les recommandations du Conseil Canadien des ministres de l'environnement varient de 0,023-0,43 pour l'uranium, c'est d'ailleurs à partir de ces facteurs que nous bâtissons des simulations à l'annexe 4. D'autres chercheurs ont plutôt établi le ratio de bioconcentration entre 0,05 à 0,08. Des ratios de 0,035 à 0,066 pour les fèves, de 0,013 à 0,237 pour le radis ont aussi été calculés pour différents types de sol. Les facteurs de bioconcentration les plus élevés ont été observés dans les sols légers. D'autres recherches rapportent un facteur de bioconcentration de l'uranium sol-légume de 0,001 (Référence 5, pages 13-14).

5. Santé Humaine

L'absorption de l'uranium par ingestion varie en fonction de la solubilité du composé d'uranium et de l'espèce animale. Certains chercheurs rapportent que le plus haut taux d'absorption tend à être associé avec les plus faibles taux d'uranium ingéré. Certains chercheurs ont évalué de 0,1 à 1,6 % le taux d'absorption de l'uranium par ingestion d'une dose unique de 100 μg alors que d'autres chercheurs évaluent de 12 à 32% le taux d'absorption de 1 μg .

Dose journalière estimée dans la littérature (DJE)

	La dose journalière estimée DJE pour un enfant de 13 kg ($\mu\text{g}/\text{jour}$)	La dose journalière estimée DJE pour un adulte de 70 kg ($\mu\text{g}/\text{jour}$)
Ingestion de nourriture	3	3
Ingestion d'eau potable	0,16	0,3
Inhalation	0,0005	0,0023
Sol et poussières	0,16	0,04
DJE totales (nourriture-eau-air-sol/poussières)	3,325	3,3423

En supposant un poids corporel de 13 kg pour un enfant et de 70 kg pour un adulte, les DJE sont de 0,2554 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel /jour et de 0,0477 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel /jour (Référence 2, pages 4-5).

Dose journalière admissible (DJA)

Santé Canada a calculé une dose journalière admissible (DJA) d'uranium de 0,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel/jour, correspondant à **7,8 $\mu\text{g}/\text{jour}$ pour un enfant de 13 kg** et à **42 $\mu\text{g}/\text{jour}$ pour un adulte de 70 kg** (Référence 2, p.6). Cette dose a été établie à partir d'une étude réalisée à partir de rats qui a permis de déterminer une dose de 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel/jour pour observer de lésions dégénératives aux reins. À cette dose, un facteur de 100 a été appliqué pour tenir compte de l'extrapolation animal-humain et de la sensibilité des individus sensibles. D'autres organismes comme *Environmental Protection Agency* aux États-Unis propose plutôt une dose de 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel/jour (correspondant à **39 $\mu\text{g}/\text{jour}$ pour un enfant de 13 kg** et à **210 $\mu\text{g}/\text{jour}$ pour un adulte de 70 kg**) basé sur le facteur de perte de poids et de toxicité rénale sur des rats. Certains chercheurs ont proposé une dose de 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel/jour basé sur une étude faite avec des chiens en fonction des impacts rénaux (Référence 5, page 25).

« Les concentrations d'uranium dans l'eau potable excédant 0,02 mg/l peuvent occasionner des altérations physiologiques au niveau des reins sans pour autant provoquer de maladie décelable. Ces altérations peuvent provoquer une présence anormale de certaines protéines dans l'urine. Ces effets physiologiques sont réversibles et s'estompent avec l'arrêt de la consommation d'eau riche en uranium » (Référence 4, page 27). En Nouvelle-Écosse, des résidents ayant consommé de l'eau de puits privés contenant jusqu'à 70 mg/l d'uranium n'ont présenté aucune maladie rénale apparente attribuée à l'exposition (Référence 2, page 5).

6. Radioactivité

Le sujet de la radioactivité a fait l'objet d'un rapport d'enquête par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, publié en août 2002. On y traite des effets potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité résultant de l'exploitation éventuelle d'une mine et d'une usine de niobium par Niocan.

- Radioactivité de surface (Référence 1 page 49) :

Secteur	Équivalent uranium-238 (PPM)*
Extérieur de la carbonatite	0-2 ppm
Pourtour de la carbonatite	2-4 ppm
Sur la carbonatite	0-30 ppm (moyenne de 5,3, 23 ppm sur le site SLC et 65 ppm sur le site de Niocan)

*Équivalent U : mesure de la radioactivité de surface (par radiométrie aérienne) correspondant au rayonnement gamma émis par les premiers 50-60 cm de dépôts meubles ou par les premiers 20-25 cm de roc. Les rayons gamma ont un pouvoir très pénétrant.

- Radioactivité exprimée en mbecquerel U-238/kg de sol (Référence 6, page 106) :

Secteur	mBq U-238/ kg de sol
Carbonatite	65,000
En Amérique du Nord	4,000-140,000

On retrouve dans le document expliquant la décision du *Tribunal administratif du Québec*, à la page 106, des teneurs de différents radioéléments dans les sols, l'air, l'eau et les produits agricoles en Amérique du Nord. Voici les données en ce qui concerne les légumes et l'Uranium-238 :

	Radioactivité (mBq U-238/kg)
Légumes feuilles	24
Légumes racines	0,9-7,7

Toutes les plantes émettent de la radioactivité proportionnellement au niveau de radioactivité du sol.

On y mentionne que le Radon est un gaz inerte qui est absorbé par les plantes, transporté et qui est expulsé par évapotranspiration. Il n'est donc pas emmagasiné dans les tissus végétaux.

ÉVALUATION DE L'ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE L'URANIUM DANS LE SOL ET LES PRODUITS VÉGÉTAUX CULTIVÉS SUR LA CARBONATITE D'OKA ET IRRIGUÉS AVEC DE L'EAU SOUTERRAINE

Voici une *estimation* de l'évolution de la concentration de l'uranium dans le sol et les plantes cultivées de la carbonatite à Oka. Cette simulation est basée sur des informations recueillies dans la littérature. (Annexe 3). Le secteur convoité par le promoteur minier Niocan, est au cœur même de la zone de carbonatite et d'un secteur horticole important. Les cultures qu'on y retrouve sont des produits horticoles destinés principalement à l'alimentation humaine (légumes variés, pommes, fraises et framboises). Les besoins en eau pour l'irrigation sont donc réels. Actuellement ces cultures sont irriguées presque exclusivement par de l'eau de surface à partir des étangs et des cours d'eau situés à proximité des champs cultivés. Niocan propose d'utiliser les eaux d'exhaure qui sont en fait les eaux pompées à la suite du forage de la mine pouvant aller jusqu'à une profondeur de 500 mètres. Comme cette eau aura séjourné depuis de nombreuses années dans la carbonatite et que cette formation rocheuse contient de l'uranium, l'eau souterraine de ce secteur en contiendra elle aussi. Le taux d'uranium dans l'eau est toutefois appelé à varier dans le temps et selon la concentration retrouvée dans le sol.

Il est à noter que les analyses effectuées dans le ruisseau Rousse, qui est l'un des principaux cours d'eau utilisé pour l'irrigation des terres agricoles du secteur, présentent des niveaux d'uranium de moins de 0,005 mg/l, soit la limite de détection. Ceci est dix fois moins élevé que les résultats provenant d'analyses des puits présentant les plus fortes concentrations d'uranium. Pour les étangs d'irrigation, on peut s'attendre à la même tendance. En utilisant comme eau d'irrigation de l'eau d'exhaure ou même de l'eau souterraine, on peut se demander si cela entraînera une augmentation du niveau d'uranium dans les sols irrigués et éventuellement de celui des plantes cultivées. Notre revue de littérature nous a permis de dégager les éléments essentiels à la construction d'une simulation qui prédit le devenir de l'uranium dans le milieu agricole visé.

Le modèle développé pour évaluer le niveau d'uranium dans les plantes et l'accumulation potentielle dans le sol tient compte de plusieurs facteurs :

- Concentration en uranium dans le sol, **CUS**
- Concentration en uranium dans l'eau d'irrigation, **CUE**
- Facteur de bioconcentration sol-plante, **FBC**
- Quantité d'eau souterraine servant à l'irrigation, **QE**

Il est à noter que nous avons tout au long de cette simulation utilisé trois niveaux de données pour représenter les facteurs en cause : un niveau faible, moyen et élevé.

D'autres facteurs auraient pu être pris en compte dans ce calcul. Par exemple, l'eau d'irrigation et de pluie peut entraîner l'uranium profondément dans le profil de sol et au-delà. Ceci réduirait l'accumulation d'uranium dans la zone des racines. Dans notre calcul, nous avons plutôt considéré que toute l'eau d'irrigation se retrouvait et demeurait dans les 15 premiers centimètres de sol. Le ruissellement par la pluie, l'érosion éolienne et hydrique et le lessivage sont d'autres facteurs qui n'ont pas été retenus dans notre simulation. Tous ces facteurs auraient contribué à diminuer l'accumulation d'uranium dans le milieu. Le fait d'avoir choisi de ne pas en tenir compte nous amène à introduire une marge de sécurité dans nos calculs.

Selon le *Rapport 167 du BAPE*, le taux d'uranium des terres en culture du bassin versant du ruisseau Rousse contiendrait de 1,5 à 3,7 mg d'uranium/ kg de sol. Nous avons retenu pour nos simulations les niveaux maximum, moyen et minimum qui sont respectivement :

- 3,7 mg U/kg de sol,
- 2,0 mg U/kg de sol
- 1,5 mg U/ kg de sol.

Pour ce qui est de la concentration en uranium dans l'eau souterraine, nous avons considéré les données recueillies dans l'étude de la *Régie régionale de la santé et des services sociaux* concernant quarante-huit puits souterrains les données fournies par Niocan sur quatre puits du secteur de la carbonatite et les deux analyses faites par le MAPAQ. Nous avons retenu pour l'exercice, le taux le plus élevé de ces analyses, le taux moyen et le taux le plus faible soit :

- 0,081 mg/l,
- 0,0165 mg/l
- 0,005 mg/l.

La proportion d'eau souterraine utilisée pour l'irrigation a un impact sur les résultats de notre calcul. Les besoins en eau d'irrigation utilisés dans notre modélisation de même que les proportions provenant de l'eau souterraine sont basés sur l'avis que nous avons déposé au Ministère de l'Environnement en juin 2003. Dans le scénario le plus pessimiste, nous avons considéré que tous les besoins en irrigation seraient comblés par l'eau souterraine selon une projection de l'intensification des besoins d'irrigation dans le futur. Dans le scénario intermédiaire, nous avons considéré qu'une partie de l'eau d'irrigation proviendrait de l'eau souterraine (45%) et des étangs et cours d'eau (55%) toujours selon une projection de l'intensification des besoins d'irrigation dans le futur. Puis dans le scénario le moins contraignant, nous avons considéré que l'eau d'irrigation proviendrait de l'eau souterraine (38%) et des étangs et des cours d'eau (62%) selon les besoins actuels en irrigation.

Pour ce qui est du facteur de bioconcentration, on retrouve dans "*Les Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : environnement et santé humaine, Uranium 2003*" des facteurs de bioconcentration de 0,43 à 0,023. Pour nos calculs, nous avons retenu des valeurs maximale, moyenne et minimale, soit respectivement :

- 0,43,
- 0,2265
- 0,023

CALCUL DE LA CONCENTRATION D'URANIUM DANS LE SOL

$$C_{usac} \cong ((Q_e \times C_{ue}) + (Q_s \times C_{usap}) - (Q_p \times C_{upap}))/Q_s$$

- *C_{usac}* : concentration d'uranium (mg/kg) dans le sol durant l'année courante.
- *Q_e* : Quantité d'eau à l'hectare (l/ha) appliquée moins les pertes par évaporation et ruissellement pendant l'irrigation
- *C_{ue}* : concentration d'uranium dans l'eau d'irrigation (mg/l)
- *Q_s* : Quantité de sol à l'hectare : 2 240 000 kg/ha pour l'épaisseur du labour
- *C_{usap}* : concentration d'uranium dans le sol l'année précédente (mg/kg)
- *Q_p* : rendement en matière sèche à l'hectare (kg/ha)
- *C_{upap}* : concentration d'uranium dans les plantes cultivées l'année précédente (mg/kg).

Exemple de calcul

C_{usac}, an 0, i.e. sans culture l'année précédente, donc 0 exportation l'année précédente

$$C_{usac} \approx \{ [(4098 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 0,081 \text{ mg/l} / 1\ 000\ 000 \text{ mg/kg}) + (3,7 \text{ mg/kg} \times 2\ 240\ 000 \text{ kg/ha} / 1\ 000\ 000 \text{ mg/kg}) - ((0 \text{ kg M.H./ha} \times 5\% \text{ MS}) \times 0 \text{ mg/kg}) / 2\ 240\ 000 \text{ kg/ha}] \times 1\ 000\ 000 \text{ mg/kg} \}$$

$$C_{usac} \approx \{ [(0,332 \text{ kg/ha}) + (8,288 \text{ kg/ha}) - (0 \text{ mg/kg}) / 2\ 240\ 000 \text{ kg/ha}] \times 1\ 000\ 000 \text{ mg/kg} \}$$

$$C_{usac} \approx 3,8 \text{ mg/kg}$$

CALCUL DE LA CONCENTRATION D'URANIUM DANS LES PLANTES CULTIVEES

$$\text{Cupac} \cong \text{Cusac} \times \text{Fbc}$$

- *Cupac* : concentration d'uranium dans les plantes cultivées l'année courante (mg/kg)
- *Cusac* : concentration d'uranium dans le sol durant l'année courante (mg/kg)
- *Fbc* : facteur de bio-concentration de l'uranium dans les plantes

Exemple de calcul de la concentration d'uranium dans les plantes cultivées pour l'an 0

$$\text{Cupac} \cong \text{Cusac} \times \text{Fbc}$$

$$\text{Cupac} \cong 3.8 \text{ mg/kg} \times 0,43$$

$$\text{Cupac} \cong 1,6 \text{ mg/kg}$$

1. *BAPE, Rapport 167, Projet d'exploitation d'une mine et d'une usine de Niobium à Oka.*
2. *Conseil Canadien de ministres de l'environnement, Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : environnement et santé humaine, Uranium 2003*
3. *Amarillo National Resource Center for Plutonium, 1998, Litterature Review: Phytoaccumulation of chromium, uranium and plutonium in plant systems*
4. *Régie régionale de la Santé des services sociaux des Laurentides, L'Uranium dans l'eau des puits domestiques à Oka, 1999*
5. *Document scientifique de support aux Recommandations canadiennes pour la qualité des sols, Canadian soil quality guidelines for Uranium : environmental and human health, décembre 2002*
6. *Tribunal administratif du Québec, Section du territoire et de l'environnement, dossier STE-Q-077873-0107*
7. *Conseil Canadien de ministres de l'environnement, Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux au Canada, 1987, chapitre 4, Applications agricoles*
8. *Conseil Canadien de ministres de l'environnement, 1999 Protocoles d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles (irrigation et abreuvement du bétail)*
9. *Environment Studies Board, U.S. Environmental Protection Agency, 1972-1973*
10. *Ohio State University, Harry Tayama, Department of horticulture, 2001*
11. *University of California, Division of Agriculture, Science leaflet 2995, 1977*
12. *A grower's guide to water, media and nutrition for greenhouse crops, Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA, 1996*
13. *Techniques de cultures en muti-cellules, IQDHO, Les presses de l'Université Laval, 1999*
14. *Guide de production des annuelles en caissettes, CRAAQ, 2002*
15. *24^e Symposium sur les bovins laitiers, « De fibres et d'eau fraîche... », CRAAQ 2000*
16. *National Research Council, National Academy Press Washington DC, "Nutrient Requirements of Beef Cattle", 1996*
17. *National Research Council, 5th revised edition, National Academy of Sciences Washington DC, "Nutrient Requirements of Dairy Cattle", 1978*
18. *Water treatment option for dairy operation, K.M. Manel, Agricultural engineering Ohio State University*