



Ressources naturelles Canada
Secteur des sciences de la Terre
Commission géologique du Canada
CGC-Québec

Natural Resources Canada
Earth Sciences Sector
Geological Survey of Canada
GSC-Quebec



Québec, le 20 juin, 2002

Monsieur Joseph Zayed
Président,
Commission d'enquête du BAPE

Objet : Projet d'exploitation éventuelle d'une mine et d'une usine de niobium à Oka.
Mandat d'enquête du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE).
Réponses aux questions.

M. Zayed,

Tel que convenu lors de la réunion du BAPE au sujet de la construction de l'usine de niobium à Oka du 18 juin 2002 à Montréal, je vous envoie mes réponses aux questions soulevées pendant la discussion.

Si vous avez des questions supplémentaires ou commentaires concernant le contenu de cette lettre, n'hésitez pas m'en faire part.

Recevez, Monsieur Zayed, mes plus cordiales salutations.

Miroslav Nastev, ing., Ph.D.,
hydrogéologue
Commission géologique du Canada
880 Chemin Ste-Foy, bureau 840
Quebec, G1V 4C7, Canada
tél. (418) 654 2682
fax. (418) 654 2615
mnastev@nrcan.gc.ca

1. Migration des gaz : Le radon est un gaz pouvant être libéré des matériaux géologiques. Il s'agit d'un gaz inerte qui n'entre pas dans les réactions chimiques avec les minéraux et les composées chimiques. Ainsi, le radon migre librement dans l'espace poreux du sol et des roches occupé par la phase gazeuse. L'eau interstitielle compose la majeure partie de l'espace poreux occupé par la phase liquide. Il y a deux mécanismes de migration des gaz :

- Diffusion : Ce mécanisme est un moyen de transport de masse très lent. La migration des gaz se fait dans toutes les directions et surtout dans la direction du gradient de concentration des gaz dû au mouvement aléatoire des atomes et des molécules de gaz.
- Advection : Ce mécanisme résulte du gradient de pression de la phase gazeuse. L'écoulement se fait des zones avec une pression élevée vers les zones de pression basse. L'advection est le mécanisme principal de la migration des gaz.

La capacité du radon de migrer est fonction des propriétés physiques du sol telles : la perméabilité (capacité de laisser les fluides s'écouler) et la saturation en eau (les pores saturés en eau représentent une barrière naturelle à la migration de la phase gazeuse). Les roches fracturées et les dépôts meubles constitués de matériaux grossiers (sable, gravier) bien drainés représentent des milieux favorables à la migration des gaz. D'un autre côté, les roches compactes et les sols formés de particules fines (silt, argile) sont des milieux peu favorables à la migration des gaz. Un simple calcul de vitesse d'écoulement horizontal et unidirectionnel par advection selon la Loi de Darcy est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 1: Vitesse d'écoulement des gaz par advection.

viscosité eau μ_w (Pa s)	1,01E-03	perméabilité relative $k_{rel} =$	0,30				
densité eau ρ_w (kg/m ³)	998,2	Différence de pression ΔP (Pa)					
gravité g (m ² /s)	9,81	$\Delta P =$	1000	1000	2000	4000	
viscosité gaz μ_g (Pa s)	1,00E-05	Distance ΔL (m)					
saturation S_w	60%	$\Delta L =$	10	40	10	15	
Conductivité hydraulique (m/s) (Nastev, 2002)		Perméabilité (m ²)		Vitesse Darcy (m/jour) $V = k_{gaz} * \Delta P / (\Delta L * \mu_g)$			
K_{till} min	3,0E-08	$k_{till} =$	9,2E-16	0,001	0,0002	0,002	0,002
max	6,0E-06	$K_{till} * k_{rel} * \mu_w$	1,8E-13	0,048	0,012	0,096	0,128
moyenne	4,0E-07	$/(\rho_w * g)$	1,2E-14	0,003	0,001	0,006	0,009
K_{roche} min	3,0E-09	$k_{roc} =$	9,2E-17	,00002	,00001	,00005	,00006
max	1,0E-03	$K_{roche} * k_{rel} * \mu_w$	2,5E-10	8.0	2.0	16.6	21,3
moyenne	6,0E-06	$/(\rho_w * g)$	1,8E-13	0,048	0,012	0,096	0,128

La vitesse des gaz est présentée dans les cases ombrées. Le calcul a été fait pour une saturation uniforme du milieu de 60%, ce qui produirait une perméabilité relative des gaz de 0.3. Plusieurs valeurs de conductivité hydraulique du till et des roches fracturées ont été considérées pour présenter l'influence de ce paramètre sur la migration des gaz.

Pour les gradients estimés de pression, les vitesses d'écoulement des gaz sont minimales dans le till et dans les roches dont la conductivité hydraulique est moyenne à faible. Cependant, pour une conductivité hydraulique maximale de $1E-3$ m/s (valeur représentative pour les roches fracturées et les sables et graviers) les vitesses des gaz peuvent atteindre plus de 20 m/jour. Il est à noter que les gaz migrent dans le sol avec ces vitesses tant que le gradient de pression est maintenu. Ces résultats nous montrent que les vitesses de migration des gaz dans le sol peuvent être assez élevées si les conditions propices sont rencontrées.

2. Migration du radon dissout dans l'eau : Généralement, une partie du radon produit par les matériaux géologiques peut se dissoudre et migrer avec l'eau souterraine. Le coefficient de solubilité d'un gaz est le ratio entre sa concentration dans l'eau et sa pression partielle dans la phase gazeuse (Loi d'Henry). Pour des conditions de pression atmosphérique de 101,3 Pa (1 atm.) et d'une température de 298.15 °K, le coefficient de solubilité du radon est de $101.325 \times 9.3 \times 10^{-3}$ (mol Pa/m³) (Sander, 1999). Le ratio de la masse du radon dans la phase gazeuse et dans la phase liquide est toujours dans un équilibre dynamique. Ce ratio est environ 5, ce qui signifie que pour chaque gramme de radon dans un volume de 1 m³ d'eau, il y a 5 grammes de radon dans 1 m³ d'air. Si la pression partielle du radon dans la phase gazeuse diminue, une partie proportionnelle de radon sera libérée de l'eau souterraine (dégazage). Ainsi, dans les zones où les puits sont installés dans des roches riches en uranium, comme c'est le cas avec la carbonatite à Oka, l'eau pompée pourrait contenir des quantités substantielles de radon dissout. L'utilisation de cette eau immédiatement après son pompage pourrait augmenter la concentration de radon dans la maison.

3. Radon dans les maisons : Il est reconnu que le radon entre dans les maisons par les fissures et les ouvertures dans le plancher et les murs du sous-sol en contact avec le sol. Dans ce contexte, l'advection joue un rôle prépondérant. Si la pression d'air dans la maison est plus basse que celle dans le sol, le radon pourra migrer vers l'intérieur. Généralement, l'air chaud qui est produit par les systèmes de chauffage remonte vers le haut et est évacué de la maison. Ce mouvement d'air du bas vers le haut crée un appel d'air qui peut favoriser l'infiltration de l'air extérieur vers l'intérieur du sous-sol. L'explication que c'est la densité élevée du radon (~10 kg/m³, comparer à la densité d'air de seulement ~1.2 kg/m³) qui est responsable de l'infiltration du radon dans les maisons est peu probable car les gaz migrent plutôt comme un mélange et non pas comme des phases gazeuses séparées.

Il serait peu probable que les éventuels travaux de la mine Niocan génèrent une augmentation perceptible des concentrations de radon dans les maisons. Cependant, en guise de précaution un programme de suivi des concentrations en radon dans les maisons les plus susceptibles d'être touchées est suggéré.

4. Contexte hydrogéologique : Dans la région du rang Sainte-Sophie l'aquifère principal se trouve dans les formations rocheuses. Sus-jacent à ces formations rocheuses, reposent des dépôts meubles constitués de dépôts glaciaires, de sédiments grossiers fluvio-glaciaires, et de sédiments fins provenant de la Mer Champlain (Savard et *al.*, 2002). Ces dépôts sont très hétérogènes et peuvent contenir une ou plusieurs couches perméables agissant comme des aquifères locaux limités latéralement et verticalement. La présence de dépôts moins perméables (tills silteux à argileux) interposées entre les formations rocheuses et les dépôts plus perméables suggère que le contact hydraulique entre l'aquifère principal et les aquifères locaux est faible (Nastev et *al.*, 2002; ROCHE, 2000). Ainsi, un pompage dans la carbonatite, ne devrait pas nécessairement assécher les dépôts meubles. Le drainage de ce matériel va se faire graduellement selon les propriétés physiques rencontrées et selon l'infiltration de la précipitation qui contribuera de garder la saturation élevée des dépôts meubles (Tableau 2).

Tableau 2. Porosité et saturation des matériaux typiques pour les dépôts glaciaires (Fetter, 1980).

	Porosité (%)	Porosité de drainage (%)	Saturation résiduelle ou capacité de rétention (%)
Argile	33~60	0~5	92~100
Silt	35~50	3~19	62~91
Sable moyen	20~35	15~32	9~25
Sable et gravier	20~35	20~35	0~0

Les données du Tableau 2 montrent que les argiles et les silts gardent leur saturation, tandis que les sables et graviers se drainent plus facilement. Ainsi, si la matrice du till est silteuse et/ou argileuse, il restera imperméable à l'écoulement des gaz même si la nappe dans les carbonates est rabattue de plusieurs centaines de mètres. Les sables et les graviers vont s'assécher facilement et représenteront un chemin pour l'écoulement des gaz.

L'amplitude et la distribution des rabattements provoqués dans l'aquifère rocheux sont difficiles à estimer. Toutefois, certaines conclusions peuvent être anticipées sachant que la carbonatite est une roche plus perméable que la roche précambrienne (gneiss) qui l'entoure. Le pompage de l'éventuelle mine créera un cône de dépression d'une forme ellipsoïdale similaire à celle des carbonatites. Les fractures les plus transmissives à l'intérieur de ce cône de dépression se trouveront dans des conditions non-saturées. Ainsi, elles représenteront un chemin pour la migration des gaz vers la surface du sol ou de la surface du sol vers les galeries d'où le système de l'évacuation d'air de la mine va les acheminer dans l'atmosphère. Du à la perméabilité faible de la roche précambrienne, les rabattements dans les puits à l'extérieur de la zone carbonatée seront moins importants. C'est aussi du au fait que la durée du pompage ne sera peut-être pas

suffisamment longue pour que la nappe dans la roche précambrienne, qui est également plus éloignée du puits de pompage, commence à décroître avec des rabattements plus importants. La comparaison avec les rabattements historiques provoqués par le pompage de l'ancienne mine de SLC représente une meilleure approche pour estimer les effets du pompage de l'éventuelle mine de Niocan.

Il est donc suggéré d'installer des piézomètres et des puits d'observation (nouveaux ou dans des puits déjà existants) à différentes profondeurs et distances de la mine. Les niveaux et la qualité de l'eau souterraine dans ces puits feront l'objet d'un suivi périodique. Il faudra aussi ajouter le suivi de la quantité et de la qualité d'eau pompée par la mine rejetée dans le ruisseau Rousse. L'eau de procédé sera rejetée d'abord dans le parc des résidus et par les voies de drainage se retrouvera dans les deux fossés de l'ancienne mine de SLC et éventuellement dans l'aquifère rocheux. Des puits d'observation de la qualité d'eau souterraine près du parc à résidus devront aussi être installés.

5. Remontée de la nappe suite à l'arrêt du pompage : Une fois les travaux de l'éventuelle mine complétés et le pompage arrêté, la nappe souterraine commencera à remonter vers son niveau initial. Cette remontée va s'étaler sur plusieurs années. En se référant aux données de remontée de la nappe de l'ancienne mine de SLC, il faudra environ 10 ans pour que le niveau d'eau se stabilise. Le taux de remontée est toujours plus élevé suite à l'arrêt du pompage lorsque le niveau est à son plus bas, et celui-ci ralentira graduellement avec le temps. La nappe d'eau agit comme une barrière imperméable à la migration des gaz et sa remontée va nécessairement pousser l'air dans le sol vers la surface. Cette poussée va augmenter la pression de la phase gazeuse au contact avec la nappe et créera des gradients de pression avec l'air atmosphérique et l'air dans la galerie verticale (shaft) de l'éventuelle mine. Ces gradients ainsi que la présence de fractures interconnectées vont régir la direction de migration de l'air de la phase gazeuse du sol. Il est difficile d'estimer le ratio entre la migration verticale vers la surface du sol et la migration vers la galerie verticale de la mine. Cependant, nous pouvons conclure que lorsque le niveau d'eau sera plus bas, les gradients de pression en direction de la galerie verticale seront plus élevés dû aux distances horizontales plus courtes. Lorsque le niveau d'eau sera plus près de son niveau initial, les gaz poussés par la remontée de la nappe vont migrer plutôt vers la surface du sol. Toutefois, dans le deuxième cas, l'augmentation de la concentration de radon dans le sol sera faible parce que le taux de remontée de la nappe sera minimale vers la fin de la remontée. La galerie verticale agirait pendant tout ce temps comme une cheminée qui évacuera la majeure partie de l'air poussé par la remontée de la nappe souterraine.

6. Tassement provoqué par le pompage : Il est probable qu'un tassement dans les dépôts granulaires soit créé suite au rabattement de la nappe. Un tassement se produit quand la partie du poids des dépôts sus-jacents porté initialement par l'eau interstitielle écrase l'espace poreux partiellement asséché par le pompage. Le tassement est donc lié

aux dépôts granulaires et est irréversible. Le problème arrive lorsque le tassement n'est pas uniforme. La magnitude d'un tel tassement, sa distribution et l'apparition d'un tassement différentiel sont difficile à prédire. Il est donc suggéré d'installer plusieurs plaques de tassement (construites par exemple d'une plaque rigide en bois traité ou en acier et une tige de plomberie) à la surface du terrain aux endroits stratégiques qui feront l'objet de relevés topographiques périodiques. Ainsi, il sera alors possible de juger plus précisément de l'amplitude, de la distribution spatiale et des conséquences d'un éventuel tassement provoqué par le pompage de la mine.

7. Explosions dans l'éventuelle mine : Lors des travaux de l'éventuelle mine des explosifs seront utilisés pour l'excavation des galeries. Ces explosions, surtout s'ils sont activés près de la surface, sont susceptibles de créer des fissures ou d'ouvrir des fractures déjà existantes. La magnitude et la direction de cette fracturation sont fonctions de l'intensité des explosions et des propriétés physiques de la roche en place. Avec la connaissance actuelle, il est difficile d'estimer l'impact éventuel des explosions sur la création de fractures. La migration supplémentaire des gaz provoquée par les explosions pourrait éventuellement être observable aux affleurements rocheux à cause de l'absence de dépôts meubles qui agissent comme couche d'atténuation pour les vibrations et pour la migration du radon.

8. Dispersion atmosphérique du radon et de la poussière : Une simulation de la dispersion atmosphérique des gaz de l'éventuelle usine Niocan est présentée par SENES (2002). Pour ces fins le logiciel ISC3 et les données météorologiques de l'Aéroport Dorval ont été utilisés. Pour que les résultats des simulations aient plus de crédibilité dans un terrain accidenté comme celui du rang Sainte-Sophie l'utilisation du logiciel ISCT3 est suggérée (Leduc, 1998). Aussi, pour éviter une erreur possible entraînée par la représentativité de données météorologiques de l'Aéroport Dorval à un contexte topographique complètement différent, les données météorologiques synthétiques générées pour le bassin du fleuve Saint-Laurent pourraient être utilisées (Leduc, 1998). Il est également suggéré que les résultats de ces simulations soient accompagnés par des données d'entrée, par une carte de la topographie utilisée, et une carte de la distribution spatiale des concentrations horaires de radon et des particules transportées par les vents du parc des résidus.

9. Références :

Fetter, C.W. (1980). Applied hydrogeology. Charles E. Merrill Publishing Company, États Unis.

Leduc, R. (1998). Guide - Modélisation de la dispersion atmosphérique. Direction du milieu atmosphérique, Ministère de l'environnement et de la faune, Québec.

Nastev, M, Savard, MM, Paradis, D, Lefebvre, R., Ross, M., et Rivera, A. (2002). Caractérisation hydrogéologique régionale du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec. Partie II - Étude quantitative des ressources en eau souterraine du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec. Ministère de Ressources Naturelles du Canada, Commission Géologique du Canada, Québec.

ROCHE (2000). Projet minier Niocan – Étude environnementale. Niocan Inc. Montréal.

Sander R. (1999). Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry (Version 3), <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html>.

Savard, MM., Nastev, M., Paradis, D., Cloutier, V., Lauzière, K., Bourque, É., Hamel, A., Murat, V., Lefebvre, R., Martel, R., Ross, M., Therrien, R., Boisvert, É., et Gélinas, P., (2002). Caractérisation hydrogéologique régionale du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec. Partie I - Hydrogéologie régionale du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec. Ministère de Ressources Naturelles du Canada, Commission Géologique du Canada, Québec.

SENES Consultants Limited (2002). Expert advice concerning radiological aspects of proposed Niocan project at Oka, Quebec. Niocan Inc. Montréal.