
RAPPORT D'ENQUÊTE

167 **Projet d'exploitation d'une mine et
d'une usine de niobium à Oka**

La notion d'environnement

Les commissions du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement examinent dans une perspective de développement durable les projets qui leur sont soumis en appliquant la notion d'environnement retenue par les tribunaux supérieurs, laquelle englobe les aspects biophysique, social, économique et culturel.

Remerciements

La commission remercie les personnes et les organismes qui ont collaboré à ses travaux ainsi que le personnel du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement qui a assuré le soutien nécessaire à la production de ce rapport.

Édition et diffusion

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement

Édifice Lomer-Gouin
575, rue Saint-Amable, bureau 2.10
Québec (Québec) G1R 6A6

Tél. : (418) 643-7447
1 800 463-4732 (sans frais)

Internet : www.bape.gouv.qc.ca
Courriel : communication@bape.gouv.qc.ca

Tous les documents déposés durant le mandat sont disponibles pour consultation au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.



Québec, le 30 août 2002

Monsieur André Boisclair
Ministre d'État aux Affaires municipales et
à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau
et leader du gouvernement
Édifice Marie-Guyart, 30^e étage
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7

Monsieur le Ministre,

J'ai le plaisir de vous transmettre le rapport du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement concernant les 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 inc. à Oka.

Le mandat d'enquête était sous la responsabilité de M. Joseph Zayed, secondé par M. Pierre Béland. Il a débuté le 29 avril 2002.

Compte tenu que les quantités de radioéléments libérés par le projet seraient faibles relativement au niveau de la radioactivité naturelle locale, la commission conclut que les impacts environnementaux associés à la réalisation du projet devraient être négligeables et qu'aucun effet sur la santé publique ne devrait être observé.

Par ailleurs, considérant la préoccupation sociale en regard de la radioactivité, le promoteur devrait, de concert avec les citoyens, former éventuellement un comité de vigilance pour assurer un suivi et une information adéquate aux citoyens.

Veillez agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le président,

André Harvey

Québec, le 24 août 2002

Monsieur André Harvey
Président
Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
Édifice Lomer-Gouin
575, rue Saint-Amable, bureau 2.10
Québec (Québec) G1R 6A6

Monsieur le Président,

Il me fait plaisir de vous transmettre le rapport d'enquête de la commission chargée de l'examen du projet d'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium par Niocan inc. à Oka. Ce rapport présente l'analyse de la commission et ses conclusions quant aux effets potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité résultant de la réalisation éventuelle du projet.

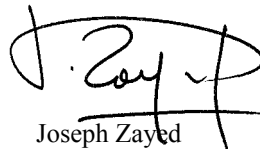
La commission reconnaît que l'activité minière contribuerait au largage dans l'environnement aquatique d'une certaine quantité de radioéléments et à l'émission de particules radioactives dans l'atmosphère. Néanmoins, cette contribution devrait être négligeable tant sur la qualité radioactive des eaux souterraines que sur la qualité de l'air et du sol. En fait, cette contribution devrait se confondre avec le niveau naturel ambiant de radioactivité. Pour les eaux de surface, la radioactivité du ruisseau recevant l'effluent de la mine projetée augmenterait, tout en respectant les objectifs fixés par le ministère de l'Environnement. Quant à la présence de radon dans l'air des résidences, la commission conclut qu'il est improbable que son niveau soit modifié par le projet de façon mesurable et qu'il puisse accroître le risque pour la santé publique.

S'il devait être autorisé, le projet serait réalisé dans une région géographique caractérisée par la présence naturelle d'éléments radioactifs, essentiellement l'uranium et le thorium. En fait, depuis quelques années, plusieurs citoyens d'Oka sont confrontés à la présence de radon dans l'air de leur résidence à des niveaux relativement élevés. La commission a d'ailleurs constaté les inquiétudes des citoyens face à la radioactivité. Aussi estime-t-elle que le promoteur devrait, de concert avec les citoyens, former un comité de vigilance qui verrait à assurer que toute l'information sur les contrôles, les suivis et les mesures de précaution soit disponible et que les lieux soient remis en état après la fin des opérations.

Enfin, permettez-moi de souligner l'excellent travail de tous les membres de la commission d'enquête.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le président de la commission,



Joseph Zayed

Table des matières

<i>Lexique</i>	xv
Introduction	1
Chapitre 1 Le projet de Niocan	5
Les objectifs et la localisation du projet	5
Le contexte géologique et hydrogéologique	6
L'exploitation de la mine	9
Les zones minéralisées et les réserves	9
L'exploitation.....	9
Chapitre 2 La radioactivité	13
Un phénomène physique naturel.....	13
La transformation des atomes	13
La demi-vie	14
Les séquences radioactives	14
Les radiations	15
La nature des radiations	15
L'activité	16
La mesure de la radioactivité	20
L'exposition des humains à la radioactivité.....	23
Les sources naturelles	23
Les sources artificielles.....	23
Le bruit de fond.....	24
La dose de radiations et les effets sur les êtres vivants	24
La dose absorbée, mesure de l'exposition	24
La dose efficace, mesure de l'exposition effective	25
Les effets des radiations.....	25
Le radon	26
Le radon, produit naturel de la désintégration de l'uranium.....	26
Les effets du radon sont dus aux particules alpha.....	27
La mesure du radon dans les résidences	28
Le radon et le risque pour la santé	28

Chapitre 3	La radioactivité des matières solides	29
	La provenance des substances radioactives	29
	La présence de substances radioactives dans la carbonatite d'Oka.....	29
	La présence de substances radioactives dans les dépôts meubles.....	30
	La radioactivité à la surface du terrain	30
	L'extraction de matières solides contenant des substances radioactives	31
	La gestion des dépôts meubles excavés	32
	La gestion des stériles miniers	33
	La gestion du minerai.....	36
	L'enfouissement des scories de la mine SLC.....	41
	En bref.....	41
Chapitre 4	La radioactivité des eaux de surface et souterraines	43
	Les eaux d'exhaure	43
	Le bassin de sédimentation	47
	Le milieu récepteur	48
	Les usages des eaux de l'effluent minier	50
	Les rejets dans l'environnement d'eaux en provenance du parc à résidus.....	52
	En bref.....	54
Chapitre 5	La radioactivité des émissions atmosphériques	55
	La ventilation de la mine.....	55
	Le radon	57
	Les poussières émises par la ventilation de la mine.....	59
	Les cheminées de l'usine	59
	Les émissions de radon émanant des cheminées de l'usine	59
	Les émissions de poussières émanant des cheminées de l'usine	61
	Le parc à résidus.....	62
	Les émissions de radon du parc à résidus	62
	Les émissions de poussières du parc à résidus.....	63

Les autres sources d'émissions atmosphériques de radioéléments	64
Les émissions diffuses	64
La gestion des scories de Niocan	64
Le transfert des scories et sables du site SLC au site Niocan	65
Les stériles de Niocan	65
Bilan des impacts des émissions prévues dans l'atmosphère	66
Le radon	66
La progéniture du radon.....	67
Les poussières	68
L'exposition des résidents aux émissions radioactives du projet	68
En bref.....	70
Chapitre 6 Le radon dans les résidences.....	71
Niveau actuel d'exposition	71
Toxicité du radon	73
L'impact potentiel de la mine projetée sur le radon dans les résidences	74
L'augmentation des concentrations de radon dans les résidences en raison du dynamitage.....	76
L'impact des travaux souterrains sur la modification éventuelle de la teneur en radon de la nappe d'eau souterraine	77
L'impact du pompage de l'eau d'exhaure sur l'assèchement et la compaction des sols.....	78
L'impact du rétablissement de la nappe d'eau à l'arrêt des opérations minières	80
En bref.....	83
Conclusion	85
Annexe 1 Les renseignements relatifs au mandat.....	87
Annexe 2 La documentation	93

Les figures

Figure 1	Localisation de la carbonatite dans la région d'Oka.....	7
Figure 2	Localisation des gisements et des sites Niocan et SLC	11
Figure 3	Radioactivité de surface due à l'uranium dans la région d'Oka	21
Figure 4	Schéma de la gestion des matériaux excavés et répartition de la charge radioactive	32
Figure 5	Schéma de la gestion du minerai et répartition de la charge radioactive excavée	36
Figure 6	Schéma de la circulation des eaux potentiellement contaminées par des radioéléments	45
Figure 7	Bilan des eaux sur une base annuelle en m ³ /h	46
Figure 8	Schéma des sources potentielles d'émissions de radioéléments dans l'atmosphère	56
Figure 9	Concentration maximale dans l'atmosphère, après dispersion, du radon émis par la ventilation de la mine Niocan	60
Figure 10	Subdivisions territoriales pour la détermination de la concentration de radon dans l'air des résidences d'Oka	72
Figure 11	Schéma des activités pouvant avoir une incidence sur le radon dans les résidences à proximité de la mine projetée	75

Les tableaux

Tableau 1	Isotopes dans les séquences de désintégration spontanée de l'uranium-238 et du thorium-232.....	15
Tableau 2	Calcul de l'activité de l'uranium-238	17
Tableau 3	Comparaison des sources de radioactivité dans certains échantillons de résidus miniers prélevés sur le site SLC à Oka, Québec.....	18
Tableau 4	Contributions des diverses sources au bruit de fond des radiations auxquelles un Canadien moyen est exposé.....	24
Tableau 5	Caractérisation de diverses doses de radiations reçues sur des périodes plus ou moins longues	26
Tableau 6	Contenus en oxydes de thorium et d'uranium dans le pyrochlore des carbonatites d'Oka et de Saint-Honoré	30
Tableau 7	Caractéristiques et teneurs en uranium des eaux souterraines au voisinage du site Niocan	44
Tableau 8	Estimation des émissions de radon dans l'atmosphère par la ventilation de la mine projetée par Niocan	57
Tableau 9	Estimation des émissions de particules radioactives dans l'atmosphère par les cheminées du projet de Niocan à Oka.....	61
Tableau 10	Estimation de la déposition sur le sol de radioéléments émis par les cheminées de l'usine projetée par Niocan	62
Tableau 11	Estimation des émissions de radioéléments sous forme particulaire lors du transfert de résidus entreposés sur le site SLC	65
Tableau 12	Sommaire des émissions de radon du projet de Niocan	66
Tableau 13	Estimation de la quantité de radon émis actuellement dans l'atmosphère au-dessus de la carbonatite d'Oka	67

Tableau 14	Sommaire des estimations des émissions atmosphériques de radioéléments sous forme de particules par le projet de Niocan à Oka.....	68
Tableau 15	Évaluation de la dose maximale de radiations d'origine locale pour des humains vivant sur la carbonatite d'Oka, avec ou sans le projet de Niocan.....	69
Tableau 16	Concentration du radon dans les résidences de la région à l'étude.....	73
Tableau 17	Évaluation des émissions maximales de radon attribuables à la recharge du cône de rabattement au terme de l'exploitation de la mine Niocan	81

Lexique

<i>Actinides</i>	Famille de quinze éléments chimiques radioactifs dont les numéros atomiques vont de 89 à 103. Seuls les quatre premiers (dont le thorium et l'uranium) existent à l'état naturel.
<i>Activité (A)</i>	Taux auquel des transformations naturelles se produisent dans les noyaux d'un groupe d'atomes. L'activité d'un élément radioactif est en relation avec sa demi-vie et est proportionnelle au nombre d'atomes présents : $A = (\ln 2 / T_{1/2}) N$. L'unité de mesure est le becquerel (Bq) ; 1 Bq est égal à une désintégration par seconde (le becquerel a remplacé le curie (Ci) ; 1 Ci égale $3,7 \times 10^{10}$ Bq).
<i>Adsorption</i>	Rétention à la surface d'un solide des molécules d'un gaz ou d'une substance en solution ou en suspension.
<i>Alpha (α)</i>	Voir <i>Particule alpha</i> .
<i>Atome</i>	Particule de matière indivisible par des réactions chimiques. Unité fondamentale de tous les éléments chimiques, il se compose d'un noyau entouré d'électrons.
<i>Becquerel (Bq)</i>	Voir <i>Activité</i> .
<i>Bêta (β)</i>	Voir <i>Particule bêta</i> .
<i>Bioaccumulation</i>	Chez un organisme vivant, action de concentrer dans ses tissus une substance présente dans son environnement.
<i>Bioamplification</i>	Tendance manifestée par certaines substances chimiques à devenir plus concentrée à chacun des maillons d'une chaîne alimentaire.
<i>Bismuth (Bi)</i>	Élément naturel rougeâtre de numéro atomique 83, dont l'isotope le plus commun, non radioactif, est de poids atomique 209. Les isotopes de bismuth-214 et bismuth-210 font partie de la séquence radioactive de l'uranium-238.

<i>Bruit de fond</i>	En radioactivité, désigne le rayonnement des sources naturelles non modifiées, soit les rayons cosmiques, le rayonnement provenant du sol et des matériaux environnants, les sources internes liées à l'alimentation, ainsi que les sources d'origine humaine normalement présentes. On estime que ce bruit de fond expose les humains en moyenne à une dose efficace annuelle de 2 à 3 millisievert (mSv).
<i>Carbonatite</i>	Formation issue de roches en fusion du manteau de la planète, de structure souvent annulaire et constituée à 80 % de roches carbonatées (telles la calcite et la dolomite). On y trouve des minéraux associés en abondance (feldspath, mica, apatite) ou rares (niobium, thallium, titane, uranium).
<i>Coefficient d'activité</i>	Nombre qui permet de déterminer si une matière est radioactive au sens de la réglementation du Québec. Ce nombre est obtenu en additionnant pour chacun des radioéléments présents le rapport de son activité mesurée ou prédite sur son activité maximale telle que définie dans l'annexe 1 du <i>Règlement sur les matières dangereuses</i> [Q-2, r. 15.2]. La matière est considérée radioactive si le résultat du calcul est supérieur à 1. Un résidu minier est considéré comme présentant un risque élevé si son lixiviat donne un résultat supérieur à 0,05.
<i>Conductivité hydraulique</i>	Capacité d'un matériau à transmettre l'eau. Synonyme de perméabilité.
<i>Curie (Ci)</i>	Voir <i>Activité</i> .
<i>Demi-vie ($T_{1/2}$)</i>	Laps de temps pendant lequel la moitié des atomes d'une substance radioactive se désintègrent. Selon les éléments, la demi-vie varie d'un millionième de seconde à des milliards d'années.
<i>Demi-vie effective</i>	Temps requis pour un radio-isotope présent dans un organisme pour que son activité soit réduite de moitié, en raison de l'effet combiné de sa désintégration et de son excrétion par l'organisme.
<i>Désintégration</i>	Transformation spontanée d'un noyau atomique par perte de masse, qui se manifeste par l'émission de radiations.
<i>Dose absorbée</i>	En radioactivité, énergie déposée par unité de masse par une radiation ionisante passant à travers la matière. Elle se mesure en grays (Gy), qui est équivalent à un joule/kg (le gray a remplacé le rad).
<i>Dose efficace</i>	En radioactivité, dose obtenue en multipliant la dose absorbée par des facteurs proportionnels dus aux effets biologiques des différentes

radiations, à la distribution des doses dans l'organisme, ainsi que par toute autre correction nécessaire. L'unité de dose efficace est le sievert (Sv) qui a remplacé le rem (1Sv = 100 rem) dans le système international.

<i>Eaux d'exhaure</i>	Eaux pompées d'une excavation minière afin de maintenir à sec les ouvrages d'exploitation. On dit aussi eaux de mine.
<i>Électron</i>	Particule fondamentale de masse très faible, chargée négativement. Élément constitutif de l'atome.
<i>Électron-volt (eV)</i>	Unité d'énergie équivalant à celle acquise par un électron passant à travers une différence de potentiel d'un volt. Cette unité (eV) est utilisée pour quantifier l'énergie des radiations. L'énergie des radiations émises par les noyaux d'atomes lors des processus naturels de transformations est de l'ordre du millier (keV) ou du million (MeV) d'électrons-volts.
<i>Élément</i>	Substance simple, considérée comme indécomposable, dont les autres substances sont formées. L'hydrogène et l'uranium sont des éléments. Voir <i>Atome</i> .
<i>Équilibre radioactif</i>	Pour une séquence radioactive donnée, la radioactivité totale d'un matériau atteint avec le temps un état de quasi-constance, et elle est répartie également entre les divers radionucléides de la séquence. Par exemple, si du radon est introduit dans un vase fermé, la radioactivité augmente jusqu'à ce que les radionucléides dont la demi-vie est plus courte que celle du radon soient en équilibre avec ce dernier (le temps requis est d'environ trois heures et demie et la radioactivité est alors cinq fois le niveau initial ; la radioactivité diminue ensuite à mesure que la quantité de radon s'épuise).
<i>Équivalents uranium (eU)</i>	Voir <i>Spectrométrie-gamma</i> .
<i>Exhaure</i>	Voir <i>Eaux d'exhaure</i> .
<i>Ferroniobium</i>	Alliage de fer et de niobium.
<i>Foisonner</i>	Augmenter de volume.
<i>Gamma (γ)</i>	Voir <i>Rayonnement gamma</i> .

<i>Gaz rares</i>	Éléments gazeux naturels qui ne provoquent aucune réaction des corps avec lesquels ils sont en contact. Existant en très petites quantités à l'état naturel, ces éléments sont l'hélium, le néon, l'argon, le krypton, le xénon et le radon. Les réactions nucléaires produisent plusieurs radio-isotopes de certains de ces gaz.
<i>Gray (Gy)</i>	Voir <i>Dose absorbée</i> .
<i>Ion</i>	Atome ou molécule ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons, ce qui leur confère une charge électrique. Par exemple, la particule alpha (atome d'hélium ayant perdu ses deux électrons) et le proton (atome d'hydrogène moins son électron) sont des ions.
<i>Ionisation</i>	Processus produisant un ion. Des températures élevées, des décharges électriques et les radiations nucléaires causent de l'ionisation.
<i>Isotope</i>	L'une des différentes formes que peut prendre un élément chimique donné. Toutes ces formes possèdent le même nombre de protons et d'électrons et ont donc essentiellement le même comportement chimique. Mais chacune diffère quant au nombre de neutrons présents dans le noyau, et aura ainsi des propriétés physiques particulières (telles la masse, la stabilité, la radioactivité).
<i>Lixiviation</i>	Extraction d'un composé soluble à partir d'un produit pulvérisé, par des opérations de lavage et de percolation.
<i>Lixiviat</i>	Liquide résultant d'une lixiviation.
<i>Minerai</i>	Substance minérale naturelle présente en quantité, situation et composition telles qu'on puisse raisonnablement espérer en retirer un ou des produits qu'on pourra vendre avec profit.
<i>Neutron</i>	Particule primaire du noyau, sans charge électrique, dont la masse est sensiblement supérieure à celle du proton. Quand il est émis d'un noyau, un neutron peut causer une ionisation. Un neutron libre est instable et a une demi-vie d'environ 13 minutes.
<i>Niobium (Nb)</i>	Élément naturel de numéro atomique 41 et de poids atomique 93. Métal réfractaire (très stable et résistant à la corrosion) utilisé dans les alliages d'acier inoxydable, dans l'industrie aérospatiale et la médecine. Deux isotopes rarement observés existent, soit Nb-94 et Nb-95 (demi-vies de 20 000 ans et 35 jours respectivement). L'ancien nom du niobium était columbium.

<i>Noyau</i>	La partie centrale, de charge positive, d'un atome. Il ne représente qu'environ un dix millième du diamètre de l'atome, mais presque toute sa masse. Les noyaux sont composés de neutrons et de protons, sauf celui de l'hydrogène qui ne contient qu'un seul proton.
<i>Numéro atomique</i>	Nombre de protons (ou d'électrons) d'un atome, correspondant à son numéro dans la classification périodique des éléments.
<i>Objectif environnemental de rejet</i>	Concentration et charge maximale d'un contaminant pouvant être rejetées dans un milieu récepteur, tout en assurant le maintien des usages et, s'il y a lieu, leur récupération.
<i>Particule alpha (α)</i>	Aussi appelée rayon ou rayonnement alpha, elle est formée de quatre particules primaires du noyau, soit deux protons et deux neutrons (identique à un noyau d'hélium). Son expulsion d'un noyau est l'une des transformations naturelles appelées désintégration. C'est la moins pénétrante des trois types de radiation communément émises par les éléments radioactifs ; elle ne parcourt que quelques centimètres dans l'air et est arrêtée par une simple feuille de papier. Elle est néanmoins parmi les plus dommageables pour des raisons qui sont mal comprises, mais probablement liées à la quantité d'énergie qu'elles livrent sur une courte distance.
<i>Particule bêta (β)</i>	Aussi appelée rayon ou rayonnement bêta. Particule expulsée d'un noyau lors d'une des transformations naturelles appelées désintégration. Physiquement identique à un électron, elle peut avoir une charge positive ou négative. Elle est plus pénétrante que la particule alpha (il faut l'équivalent d'une feuille de contreplaqué pour l'arrêter), mais ne représente qu'un risque mineur pour les organismes vivants si elle provient d'une source externe.
<i>Plomb (Pb)</i>	Élément naturel de numéro atomique 82, et de poids atomique moyen 207. Métal très dense, il existe sous forme de 29 isotopes, dont 3 (plomb-206 à plomb-208) constituent le produit terminal stable de plusieurs séquences radioactives. L'isotope 210 est un émetteur bêta et a une demi-vie de 22 ans.
<i>Polonium (Po)</i>	Élément naturel de numéro atomique 84, et de poids atomique moyen 209. Produit de la désintégration du radium, il existe sous forme de 27 isotopes (polonium-192 à polonium-218), tous radioactifs. Les isotopes 210, 214, 218 sont des émetteurs alpha avec de courtes demi-vies et font partie de la séquence radioactive de l'uranium-238.

Potassium (K)	Élément naturel de numéro atomique 19, et de poids atomique moyen 39. Métal blanc d'argent, mou, très réactif et oxydable. L'isotope radioactif potassium-40 d'origine naturelle a une demi-vie de 1,26 milliard d'années.
Proactinium (Pa)	Élément naturel de numéro atomique 91, et de poids atomique moyen 231. Le proactinium-234 est un produit radioactif de la désintégration du thorium-234 ; c'est un émetteur bêta et sa demi-vie est d'un peu plus d'une minute.
Progéniture	Nom donné à l'ensemble des produits intermédiaires d'une séquence de désintégration. Le radon fait partie de la progéniture de l'uranium-238.
Proton	Particule élémentaire, de charge positive, dont la masse est environ 1 837 fois celle d'un électron. Le numéro atomique d'un élément naturel est donné par le nombre de protons que comporte son noyau.
Pyrochlore	Minéral complexe de composition variable, qui contient notamment du niobium, de l'uranium et du thorium.
Radiation	L'émission et la propagation d'énergie à travers l'espace ou la matière par l'entremise de perturbations électromagnétiques qui se comportent à la fois comme des ondes et des particules (appelées photons dans ce contexte). Le terme radiation est également appliqué à l'énergie ainsi véhiculée, et à des faisceaux de particules rapides.
Radiation électromagnétique	Radiation consistant en une association d'ondes électriques et d'ondes magnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. La lumière, les ondes radio, les rayons gamma et les rayons X en sont des exemples.
Radiation nucléaire	Radiation émise par les noyaux atomiques lors de diverses réactions nucléaires. Elle inclut les radiations alpha, bêta et gamma ainsi que les neutrons.
Radioactif	Doué de radioactivité.
Radioactivité	Propriété que possèdent certains éléments de se transformer spontanément par désintégration en un autre élément par suite d'une modification du noyau de l'atome qui se manifeste par l'émission de radiations.
Radio-isotope	Isotope radioactif d'un élément chimique.

<i>Radioélément</i>	Élément atomique dont le noyau est radioactif.
<i>Radium (Ra)</i>	Élément radioactif naturel de numéro atomique 88, dont l'isotope le plus commun est de poids atomique 226. C'est un émetteur alpha et sa demi-vie est de 1 600 ans. Métal blanc associé à l'uranium et autres minéraux, il se présente dans la nature en quantité minime. Sa désintégration fournit le radon.
<i>Radon (Rn)</i>	Élément radioactif naturel de numéro atomique 86, dont l'isotope le plus commun est de poids atomique 222. Ce dernier est un émetteur alpha dont la demi-vie est de 3,8 jours. Le radon est un gaz rare, incolore et inodore, généré par la désintégration des isotopes du radium. Les produits de la désintégration du radon-222 sont des isotopes radioactifs de plomb, de bismuth et de polonium, dont la séquence se termine en isotope de plomb-208 stable. Le radon est mesuré dans l'air grâce à une méthode radiométrique, en becquerel par mètre cube (Bq/m ³).
<i>Rayonnement gamma (γ)</i>	Photons de radiations électromagnétiques émis lors de transformations naturelles des noyaux d'atomes radioactifs. Semblables aux rayons X, mais d'énergie habituellement plus élevée, les rayons gamma ont un pouvoir très pénétrant et ne sont arrêtés que par des écrans denses, comme le plomb ou un mur de béton d'un mètre d'épaisseur.
<i>Rayonnement ionisant</i>	Ensemble de radiations qui produisent des ions. Les rayons alpha, bêta, gamma et cosmiques sont ionisants.
<i>Rayons cosmiques</i>	Radiations de divers types, mais surtout de noyaux atomiques de forte énergie provenant d'au-delà de l'atmosphère terrestre. Le rayonnement cosmique fait partie du bruit de fond des radiations naturelles. Certains rayons cosmiques sont plus puissants que toute forme de radiation de source humaine.
<i>Résidus miniers</i>	Toutes substances solides ou liquides, à l'exception de l'effluent final, rejetées par l'extraction, la préparation, l'enrichissement et la séparation d'un minerai. Ils incluent les scories de procédés métallurgiques ainsi que les boues d'épuration et les poussières résultant du traitement ou de l'épuration des eaux usées et des émissions atmosphériques. Ici, le terme fait référence aux résidus du procédé de concentration du pyrochlore.
<i>Scories</i>	Sous-produits miniers résultant d'une opération métallurgique. Les scories sont à base de silicates, ont habituellement un aspect vitreux et peuvent présenter des vacuoles.

<i>Séquence radioactive</i>	Succession de radioéléments, dont chacun se transforme spontanément par désintégration en son suivant jusqu'à une forme stable. Le premier membre de la série est appelé parent ; les membres intermédiaires sont la progéniture ; le dernier membre, qui est stable, se nomme produit terminal.
<i>Sievert (Sv)</i>	Voir <i>Dose efficace</i> .
<i>Silt</i>	Particules plus grossières que l'argile et plus fines que le sable. Synonyme de limon.
<i>Spectrométrie-gamma</i>	Technique permettant de mesurer la variation dans la phase ou l'intensité d'un rayonnement gamma, et de déterminer les éléments chimiques radioactifs qui l'ont émis (par opposition au scintillomètre ou compteur Geiger qui mesure la radioactivité totale provenant de diverses sources). La spectrométrie est basée sur le fait que chaque élément émet des rayons gamma dans une plage de valeurs énergétiques qui lui est propre, soit entre 1 360 et 1 560 milliers d'électrons-volts (keV) pour le potassium-40, entre 1 660 et 1 860 keV pour l'uranium-238 (qui est en réalité la plage du bismuth-214 dans sa séquence radioactive), et entre 2 410 et 2 810 keV pour le thorium-232 (qui est la plage du thallium-208 dans sa séquence radioactive). Les résultats de la spectrométrie aux rayons gamma sont donnés en concentration d'équivalents uranium (ppm eU) ou thorium (ppm eTh), ou en pourcentage de potassium (% K).
<i>Stérile</i>	Dans une exploitation minière, roche en place ou extraite qui ne contient pas de minéraux recherchés en quantité suffisante pour une exploitation rentable (de teneur insuffisante pour la classer comme minerai).
<i>Thallium (Tl)</i>	Élément naturel de numéro atomique 81 et de poids atomique d'environ 204 ; métal bleuâtre, très malléable et de toxicité voisine de celle du plomb. L'isotope thallium-208 est un produit de désintégration dans la séquence radioactive du thorium.
<i>Thorium (Th)</i>	Métal gris dans la série des actinides, le thorium est un élément naturel radioactif de numéro atomique 90 et de poids atomique d'environ 232. L'isotope thorium-232 (demi-vie de $1,4 \times 10^{10}$ années) est le parent d'une séquence radioactive comprenant neuf isotopes radioactifs, dont le radon-220 (aussi appelé thoron). Les isotopes de thorium-234 (demi-vie de 24 jours et émetteur bêta) et thorium-230 (demi-vie de 77 000 ans et émetteur alpha et gamma) font partie de la séquence radioactive de l'uranium-238.

- Thoron*** Nom parfois donné au radon-220, un des isotopes radioactifs de l'élément naturel radon. On le nomme thoron en référence à la séquence du thorium-232 dont il fait partie, et pour le distinguer de l'isotope le plus commun, le radon-222 (qui est dans la séquence de l'uranium-238). Le thoron est un émetteur alpha et a une demi-vie de 55,6 secondes.
- Till*** Dépôt hétérogène mis en place par les glaciers et composé de fragments de diverses tailles, allant de l'argile au bloc rocheux.
- Turbidité*** État d'un liquide trouble dû à la présence de matières fines en suspension, tels le limon, l'argile, les micro-organismes.
- Uranium (U)*** Métal gris dans la série des actinides, l'uranium est un élément naturel radioactif de numéro atomique 92 et de poids atomique moyen d'environ 238. Le principal isotope est l'uranium-238, d'une demi-vie de $4,5 \times 10^9$ années, qui représente 99,28 % de l'uranium naturel. Il est le parent d'une séquence radioactive comprenant treize isotopes radioactifs, dont le radium-226 et le radon-222. L'uranium-235, dont la demi-vie est de $7,1 \times 10^8$ années, ne représente que 0,7 % de l'uranium naturel.

Introduction

Le projet d'ouverture et d'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium par Niocan inc. à Oka n'est pas assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement prévue aux articles 31.1 et suivants de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., c. Q-2) parce que la production de la mine serait inférieure à 7 000 tonnes par jour. Néanmoins, en vertu de l'article 22 de la Loi, le promoteur doit obtenir un certificat d'autorisation du ministre de l'Environnement avant de procéder aux travaux sur le site de la mine. La demande de certificat d'autorisation était accompagnée d'une étude environnementale qui a été déposée en octobre 2000.

Le mandat

Le 8 avril 2002, le ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau a mandaté le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) pour tenir une enquête en vertu de l'article 6.3 de la *Loi sur la qualité de l'environnement*. Le mandat touche aux effets potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité résultant de l'exploitation éventuelle de la mine et de l'usine de niobium. De façon plus spécifique, le ministre a soumis à l'examen du BAPE les cinq aspects suivants :

- l'effet potentiel des rejets d'eaux contenant des substances radioactives (eaux de procédé, eaux d'exhaure) sur la qualité des eaux de surface et souterraines ;
- l'effet potentiel de l'enfouissement dans les galeries de la mine de substances radioactives (scories et résidus) sur la qualité des eaux souterraines ;
- l'effet potentiel de l'entreposage de résidus miniers dans un parc à résidus sur la qualité des eaux souterraines, des eaux de surface et de l'air ;
- l'effet potentiel de l'émission de poussières radioactives sur la qualité de l'air ;
- l'augmentation possible de l'infiltration du radon à l'intérieur des habitations situées dans le voisinage en raison des dynamitages et des divers travaux de la mine.

Le président du BAPE a constitué une commission d'enquête présidée par M. Joseph Zayed, qui a été secondé par M. Pierre Béland. La commission a tenu deux séries de rencontres d'une durée totale de douze jours avec différents ministères, organismes, experts et les représentants des citoyens qui en ont fait la demande.

Les rencontres

La première série de rencontres s'est tenue du 7 au 16 mai 2002 et visait principalement à examiner la portée du projet de Niocan et à cerner la problématique de la radioactivité dans son ensemble. La commission a rencontré la Direction régionale des Laurentides du ministère de l'Environnement, la Fédération de l'UPA de l'Outaouais-Laurentides, la municipalité d'Oka, le Conseil Mokawk de Kanesatake, le Comité de citoyens d'Oka, le Comité local de développement minier, la Direction régionale de santé publique des Laurentides et le promoteur, Niocan.

Le 21 mai 2002 la commission rencontrait un expert en radioactivité avant de poursuivre son enquête le 5 juin 2002 par une visite à la seule mine de niobium en exploitation au Canada, celle de Niobec à Saint-Honoré, au Saguenay. Elle y a rencontré principalement quatre représentants en matière d'environnement, de santé et de sécurité, ainsi qu'un membre de la Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean du ministère de l'Environnement. La commission a ensuite amorcé une seconde série de rencontres du 11 au 21 juin 2002 afin d'analyser plus en détail la problématique de la radioactivité liée aux écosystèmes et à la santé. Des journées de consultations ont été consacrées à onze experts invités par la commission, au Conseil Mohawk de Kanesatake et au promoteur.

Les préoccupations des citoyens

Lors des rencontres, la commission a pu constater que le projet avait suscité chez les citoyens des interrogations et de l'inquiétude. La radioactivité préoccupe à juste titre les résidants de la région d'Oka. Plusieurs ont en mémoire l'époque de l'exploitation d'une mine de niobium qui leur a laissé en héritage un site orphelin jonché de résidus miniers radioactifs. La plupart sont conscients que les particularités géologiques de la région favorisent la production naturelle du radon, un gaz radioactif qui peut s'infiltrer dans les résidences et atteindre des concentrations alarmantes. En outre, étant située à proximité de l'agglomération montréalaise, la région d'Oka jouit d'une position enviable pour ses produits agricoles de haute valeur et comme attrait pour le tourisme vert. En conséquence, même ceux qui voyaient le projet d'un œil favorable estimaient qu'il ne devait pas contribuer au contentieux actuel par une atteinte quelconque à la santé et à la qualité de l'air, de l'eau ou des sols.

Au moment de l'enquête, des audiences avaient lieu au Tribunal administratif du Québec pour contester une décision de la Commission de protection du territoire agricole concernant le projet. Ces audiences ont permis aux citoyens de poursuivre leur réflexion. Leurs préoccupations visent les principaux thèmes suivants : la qualité et le devenir des eaux pompées de la mine vers la surface ; la caractérisation, le mode de gestion et le devenir des divers résidus miniers ; la longévité et la permanence de l'enfouissement de certains résidus miniers dans les galeries de la mine ; les impacts potentiels du projet sur la quantité et la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine, sur la qualité de

l'atmosphère et sur les produits agricoles ; la gestion du parc à résidus ; l'impact possible des opérations de la mine sur l'infiltration du radon dans les résidences et le destin des divers éléments du projet en cas de fermeture prématurée de la mine.

Le rapport

Dans son rapport, la commission a retenu toutes les questions et préoccupations des citoyens qui touchaient aux aspects liés à la radioactivité. Certaines portaient sur des points précis, d'autres étaient d'ordre plus général et témoignaient de l'inquiétude légitime que génère une réalité aussi peu familière que la radioactivité et ses effets. Dans tous les cas, il était toutefois impossible d'y répondre sans explorer le sujet à travers tous ses aspects techniques et scientifiques. La commission a donc dû consulter des experts et faire référence à des concepts qui ne font pas normalement partie de la vie quotidienne. Elle a d'ailleurs constaté que des citoyens s'étaient eux-mêmes adjoint des experts pour les aider à voir plus clair dans le dossier. Ces experts ont à leur tour soulevé bon nombre de questions d'ordre technique auxquelles la commission a dû apporter des réponses. Cette particularité d'un mandat qui porte sur un sujet hautement spécialisé a donné le ton au rapport.

Ainsi, après avoir décrit succinctement le projet de Niocan, la commission traite des notions sur la radioactivité qu'elle juge nécessaires à la compréhension des différents aspects techniques du projet, puis elle examine les impacts potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité liée à l'exploitation éventuelle d'une mine et d'une usine de niobium à Oka.

Chapitre 1 Le projet de Niocan

La commission résume ici les principaux volets du projet d'ouverture et d'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium à Oka. En raison du mandat d'enquête, ils englobent exclusivement les points essentiels à l'examen des effets potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité pouvant résulter de la réalisation du projet. L'information colligée est issue tant de l'étude environnementale que de l'ensemble des documents déposés par le promoteur. Elle porte sur les objectifs et le contexte du projet, sur la localisation du site et la description du milieu d'accueil, sur le contexte hydrogéologique, sur l'identification des secteurs minéralisés et sur l'exploitation de la mine et de l'usine. Afin de faciliter la compréhension du rapport et d'éviter la redondance, plusieurs points descriptifs du projet ont été intégrés aux chapitres qui font l'objet d'une analyse de chacun des aspects définis dans le mandat de la commission.

Les objectifs et la localisation du projet

Niocan projette l'exploitation d'un gisement de niobium qui devrait se poursuivre sur une période de dix-sept ans. Utilisé surtout comme alliage dans l'acier, le niobium accroît son élasticité et sa résistance à la corrosion. Quelque 89 % de la consommation mondiale de niobium est destinée à cette fin.

La mine souterraine serait située sur le site Niocan à Oka, du côté ouest du rang Sainte-Sophie, à proximité de la route 344. La plupart des infrastructures du projet s'y trouveraient, notamment le puits de mine, l'usine de traitement du minerai, l'usine de ferroniobium, les bureaux administratifs et de services, le bassin des eaux d'exhaure et une aire d'entreposage.

Le projet comprendrait également certaines portions du site minier abandonné de la St. Lawrence Columbium (SLC). Ce site serait utilisé pour l'entreposage d'une portion des résidus miniers et pour la gestion des eaux du procédé de traitement du minerai. Le site SLC couvre une superficie de 85 ha et est également situé le long du rang Sainte-Sophie, à environ 1,2 km au sud-est du site Niocan (figure 1). Résultat des activités minières qui se sont déroulées sur ce site de 1961 à 1976, deux fosses d'extraction à ciel ouvert y sont aujourd'hui presque entièrement remplies d'eau. On y trouve également diverses accumulations de stériles et un parc de 20 ha où sont accumulés des résidus de traitement, des scories et autres résidus miniers. Ces matières sont radioactives à divers degrés en vertu de la présence d'uranium, de thorium et de leur progéniture.

Le site Niocan et une partie du site SLC se trouvent dans le bassin versant du ruisseau Rousse. Le ruisseau Rousse se déverse dans la Grande Baie, un vaste marais qui

communiqué avec le lac des Deux-Montagnes. La section sud-est du site SLC est drainée par un ruisseau localisé à l'est du secteur résidentiel Mont-Saint-Pierre. Ce cours d'eau tire son origine des eaux récoltées à la surface du parc à résidus, qui passent d'abord par une tour de décantation et des conduites. Ce ruisseau se déverse également dans la Grande Baie.

Le contexte géologique et hydrogéologique

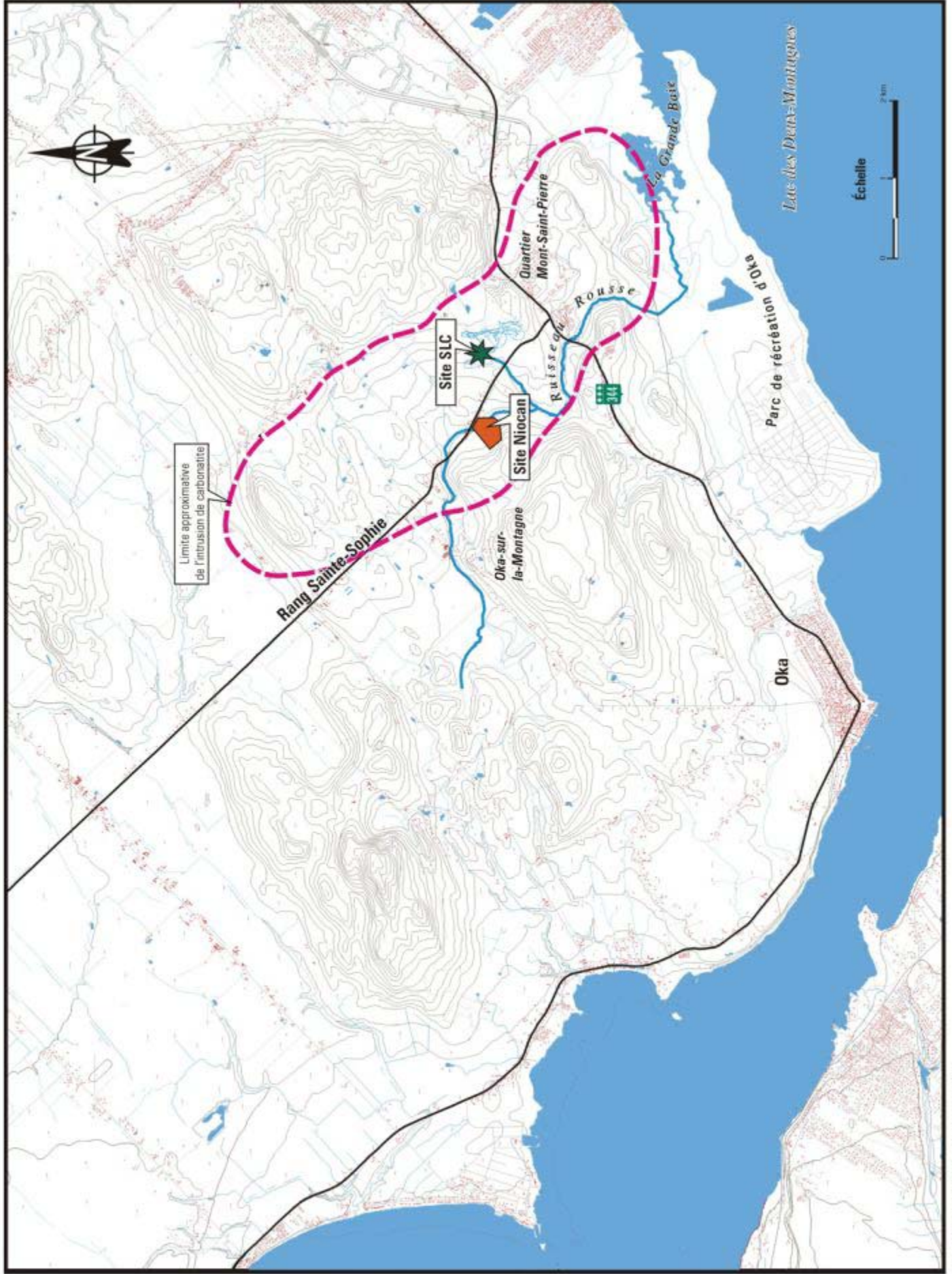
Le gisement que Niocan veut exploiter est situé dans la carbonatite d'Oka. Cette formation est en surface de forme ovale couvrant 7,2 km sur 2,4 km (environ 14 km²) avec un resserrement en son centre (figure 1). Elle fait partie du complexe intrusif d'Oka, la plus occidentale des intrusions montréalaises formées à la période du Crétacé il y a quelque 114 millions d'années. Le niveau moyen de radioactivité y est de quatre à cinq fois supérieur à celui observé dans les formations géologiques environnantes.

La carbonatite occupe une dépression dans l'enclave de gneiss précambrien des collines d'Oka. Les valeurs typiques de conductivité hydraulique dans le gneiss sont égales ou inférieures à 10⁻¹⁰ m/s lorsque le roc est peu fracturé. Elles peuvent cependant être sensiblement supérieures dans les zones fracturées, et les valeurs obtenues par endroits atteignent 10⁻⁶ m/s à 10⁻⁷ m/s.

La conductivité hydraulique moyenne de la carbonatite varie probablement de l'ordre de 10⁻⁶ m/s à 10⁻⁷ m/s. Les résultats obtenus par le promoteur lors d'un essai de pompage donnent des valeurs de cet ordre de grandeur. Toutefois, la zone échantillonnée par des forages d'exploration montre que la carbonatite aurait subi une altération et du lessivage. Ainsi, la porosité secondaire de la carbonatite pourrait être localement très élevée. Des cavités souterraines de plusieurs mètres de longueur dans la roche ont été rapportées lors de l'exploitation de l'ancienne mine sur le site SLC. De même, la présence de zones de carbonatite lessivées et désagrégées a été localement reconnue par forage. Cette porosité secondaire a pour effet d'augmenter localement de façon substantielle la conductivité hydraulique et l'emmagasinement (la porosité de drainage).

Les dépôts meubles en surface sont principalement constitués de dépôts glaciaires représentés par du till d'épaisseur variable. Ces dépôts sont recouverts localement de sédiments de la mer de Champlain représentés surtout par des dépôts argileux et parfois par des sables et graviers littoraux. L'épaisseur des dépôts meubles au droit du site Niocan est très variable, pouvant être inférieure à 10 m (dans la partie ouest, la plus élevée) ou supérieure à 60 m (à proximité de rang Sainte-Sophie). La conductivité hydraulique des dépôts meubles n'a pas été mesurée par le promoteur, mais ce dernier considère qu'elle devrait être de l'ordre de 10⁻⁷ m/s ou 10⁻⁸ m/s pour le till et de 10⁻¹⁰ m/s pour l'argile marine.

Figure 1 Localisation de la carbonatite dans la région d'Oka



L'exploitation de la mine

Les zones minéralisées et les réserves

Deux zones minéralisées, S-60 et HWM-2, constituent les gisements que Niocan projette d'exploiter (figure 2). Les limites du minerai à des fins de rentabilité ont été fixées à un contenu minimal de 0,4 % en Nb₂O₅. Pour cette raison, seules les portions centrales des deux premières zones ont été utilisées pour l'estimation des réserves géologiques du projet.

Le gisement S-60 présente une section minéralisée centrale relativement cylindrique d'un diamètre de 100 m à proximité de laquelle on trouve deux ou trois extensions lenticulaires. D'une hauteur moyenne connue supérieure à 400 m, ce gisement demeure ouvert en profondeur, alors que ses prolongements n'ont pas encore été déterminés. La teneur moyenne pondérée de niobium dans les échantillons est de 0,691 %. Le gisement HWM-2, pour sa part, s'étend sur plus de 600 m de longueur et sa largeur varie de 10 m à 40 m. Il a une hauteur moyenne connue supérieure à 350 m et, tout comme le gisement S-60, il demeure ouvert en profondeur. La teneur moyenne pondérée de niobium dans les échantillons est de 0,580 %.

Les réserves prouvées et probables s'élèvent respectivement à 12,53 Mt et 2 Mt pour les gisements S-60 et HWM-2. La durée de vie du gisement S-60 est estimée à 14,3 années alors que celle du gisement HWM-2 serait d'environ 3 années.

L'exploitation

La préproduction

Les travaux préparatoires à la phase de production de la mine souterraine s'étaleraient sur une période de quatorze mois. Ils comprendraient le creusage du puits d'extraction, de la rampe d'accès et de la montée à minerai. Le sol arable serait entreposé sur une aire aménagée au nord-ouest du site Niocan et pourrait être utilisé pour redonner au site sa vocation agricole à la fin des activités minières. Les dépôts meubles excavés, estimés à 50 000 m³, seraient utilisés à des fins de construction au site Niocan. Un total de 100 000 t de stériles seraient retirés et employés pour l'aménagement des fondations des divers bâtiments et infrastructures, pour les principales voies d'accès au site, ainsi que comme épaulement des digues du parc à résidus. Par la suite, à partir de la deuxième année, tous les stériles produits seraient utilisés immédiatement comme remblai souterrain.

Le minage

Le gisement S-60 serait exploité avant le gisement HWM-2. Deux phases distinctes caractériseraient l'exploitation du gisement S-60 lors des quinze premières années

d'activité minière. Pendant les sept premières années de production, la partie supérieure serait minée en priorité. Le puits et la rampe d'accès seraient creusés jusqu'à une profondeur de -220 m. L'exploitation se ferait entre les niveaux 00 m, -40 m, -80 m et -155 m. De la 8^e à la 15^e année, le puits serait approfondi jusqu'au niveau -465 m, alors que la rampe rejoindrait le niveau -380 m. L'exploitation se ferait alors à trois niveaux, soit -230 m, -305 m et -380 m. Pendant la période initiale d'établissement de la mine souterraine (an 0), 54 000 t de minerai seraient extraites et entreposées temporairement en attendant leur traitement à l'an 1. Dès l'an 3, le minerai serait extrait au rythme de 892 000 t/an.

Le puits d'extraction servirait au transport du minerai, du stérile, du personnel, du matériel et des fournitures. Le puits serait également utilisé pour la ventilation de la mine. Le gisement HWM-2 serait exploité à partir du gisement S-60 et bénéficierait du même puits d'extraction. D'une longueur de 2 954 m, la rampe d'accès aurait une dimension de 4 m sur 4 m, avec une inclinaison de 17 %.

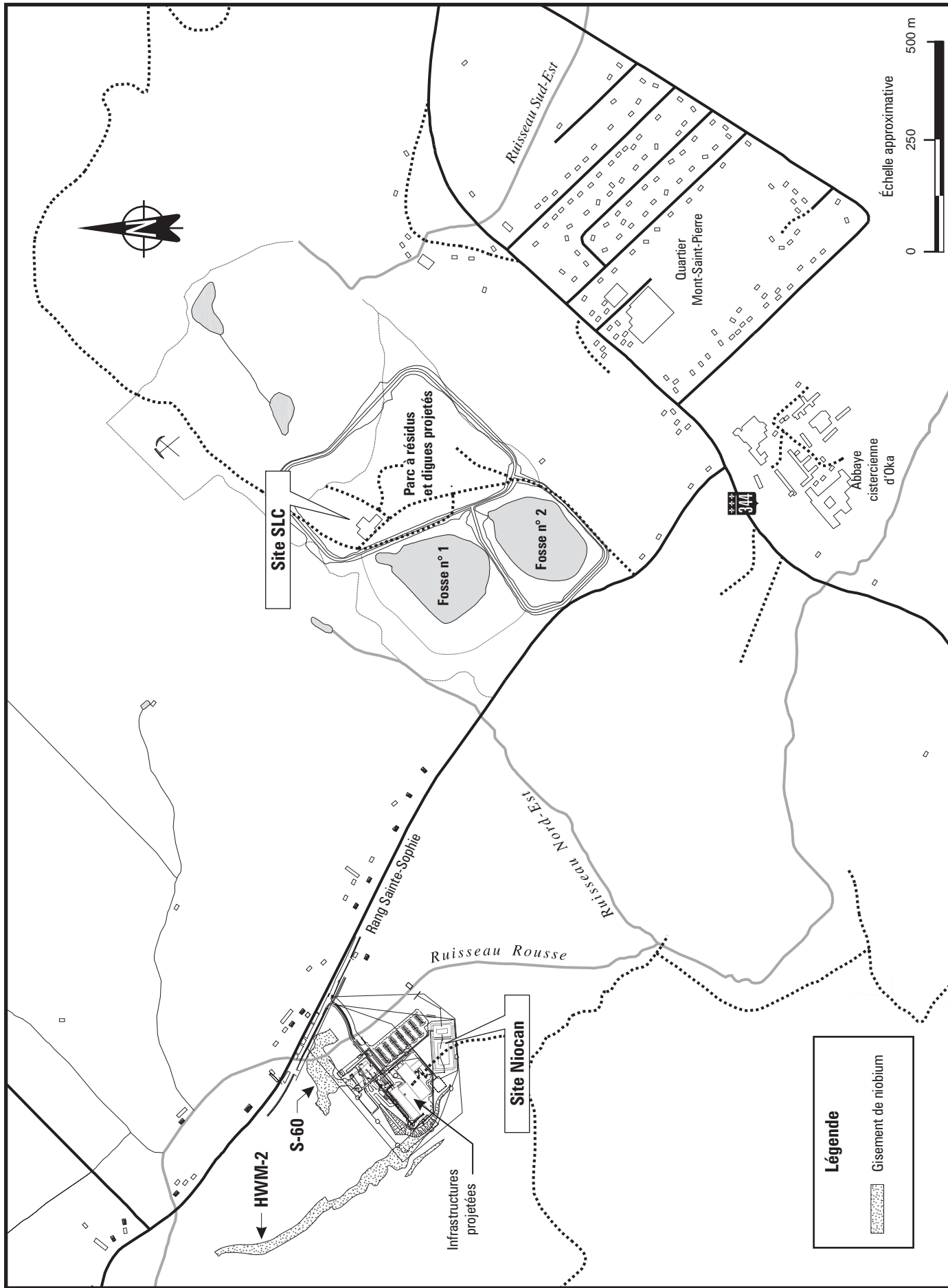
L'utilisation de remblai en pâte fait partie intégrante de la séquence de minage et permet de maximiser l'exploitation du gisement. Une usine de remblai serait localisée près du puits d'accès pour former une pâte avec des résidus de traitement, de l'eau et une proportion de ciment variant de 1 % à 5 % en poids. Ce remblai serait acheminé sous terre pour remplir les chantiers au fur et à mesure que leur exploitation serait terminée. Cette technique permettrait de retourner environ 55 % des résidus de traitement sous terre.

L'extraction et le traitement

Un concasseur primaire serait installé sous terre pour réduire la grosseur du minerai jusqu'à un diamètre nominal inférieur à 15 cm. Le minerai serait ensuite acheminé vers l'usine de traitement en surface. Après un second broyage, la majeure partie des cristaux de pyrochlore contenant le niobium seraient séparés mécaniquement du reste du minerai puis concentrés. Les résidus de ce traitement seraient acheminés directement vers l'usine de remblai, ou sous forme de boues par un pipeline jusqu'aux fosses puis au parc à résidus aménagé sur le site SLC.

Le concentré de pyrochlore serait dirigé vers le convertisseur où un procédé métallurgique à haute température permet de fusionner le niobium avec du fer pour former le ferroniobium. Au terme de ce processus, le ferroniobium est séparé des impuretés. Celles-ci forment des blocs vitrifiés inertes appelés scories, qui seraient retournées sous terre et intégrées dans le remblai en pâte. Elles contiendraient la quasi-totalité des éléments radioactifs présents dans le concentré. Au fond du creuset de fonte, le ferroniobium se trouve sous la forme d'un « biscuit » qui, une fois séparé de sa scorie, serait broyé puis expédié sur le marché mondial.

Figure 2 Localisation des gisements et des sites Niocan et SLC



Chapitre 2 La radioactivité

Le présente chapitre regroupe des notions qui sont utiles à une compréhension des principes relatifs à la radioactivité. On y synthétise les concepts de nature scientifique qui sous-tendent l'analyse que fait la commission des impacts potentiels du projet. Toutes les informations présentées ici ont été colligées à partir de l'ensemble de la documentation déposée au cours de l'enquête.

Un phénomène physique naturel

La transformation des atomes

La matière dans l'univers se présente sous forme de 92 éléments chimiques naturels, de l'hydrogène à l'uranium. Chacun est constitué d'atomes. L'atome, unité fondamentale de la matière, comprend un noyau de charge positive autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons de charge négative. Le noyau est composé de deux types de particules, les neutrons (sans charge) et les protons (qui ont une charge positive). Le nombre de protons détermine le numéro atomique, ou l'identité de l'élément. Presque toute la masse de l'atome se trouve dans ce noyau. Les électrons, normalement en nombre égal aux protons, possèdent une masse infime.

La plupart des éléments dans leur état naturel sont composés d'atomes stables. Cependant, chez un certain nombre d'éléments, le noyau des atomes subit spontanément des modifications appelées désintégrations. On les nomme radioéléments et l'on dit qu'ils sont radioactifs. Cette transformation correspond à une perte de masse et se manifeste par l'émission de radiations. Les principales sont appelées radiations alpha (α), bêta (β) et gamma (γ). Cette perte peut déstabiliser le noyau de l'atome, qui cherchera alors à atteindre une forme stable en subissant une ou plusieurs nouvelles désintégrations.

Tous les éléments existent en plusieurs formes différentes, appelées isotopes, qui se distinguent par un nombre différent de neutrons dans le noyau. Il est convenu d'identifier chaque isotope par le nom de l'élément suivi de la masse de son noyau (nombre de protons plus nombre de neutrons). Par exemple, tous les atomes de radium ont le même numéro atomique (même nombre de protons), mais le radium-226 et le radium-224 sont de masses différentes. Une désintégration qui modifie le nombre de protons du noyau transforme un élément en un autre. Par exemple, la désintégration du radium-226 donne le radon-222. On peut spécifier par l'appellation radio-isotopes les diverses formes d'un élément qui sont radioactives.

La demi-vie

Le taux de transformation des atomes par désintégration varie selon l'élément considéré. Ce taux dépend de la demi-vie qui est une propriété caractéristique de chaque isotope. La demi-vie est définie comme le temps requis pour que la moitié de la quantité initiale de l'isotope se soit désintégrée par elle-même. Selon les isotopes, la demi-vie varie de l'ordre du millionième de seconde à plusieurs milliards d'années. Par exemple, la demi-vie de l'uranium-238 est de 4,5 milliards ($4,5 \times 10^9$) d'années et celle du radon-222, de 3,8 jours.

Après chaque demi-vie, la quantité initiale d'une substance radioactive est réduite successivement de la moitié, puis du quart, puis du huitième, et ainsi de suite. La désintégration totale et entière de cette substance se produit seulement après la désintégration du dernier atome, ce qui peut prendre un temps considérable par rapport à la demi-vie. Cependant, on estime parfois qu'après une durée de dix demi-vies, la quantité initiale d'une substance radioactive a disparu à toutes fins utiles puisqu'elle est alors réduite par un facteur de 2^{10} (ou 1/1 024), soit une réduction de 99,9 %. Par exemple, on estime que la quantité initiale de radon-222 confiné dans un endroit donné aura disparu après 38 jours.

Les séquences radioactives

Certains isotopes radioactifs subissent plusieurs désintégrations successives avant d'atteindre une forme stable. On nomme séquence radioactive une telle succession de désintégrations par lesquelles un isotope se transforme spontanément en un autre isotope. L'isotope initial est appelé géniteur ou parent, les intermédiaires sont appelés progéniture, et le dernier se nomme produit terminal. À Oka, les séquences radioactives du thorium et de l'uranium sont d'un intérêt particulier puisque ces deux éléments radioactifs sont présents dans les sols et la formation rocheuse de la carbonatite.

L'uranium naturel existe sous plusieurs isotopes, mais l'uranium-238 représente 99,28 % de tout l'uranium présent dans les roches. La désintégration naturelle et spontanée d'un atome d'uranium-238 (numéro atomique 92 et masse de 238) produit en succession treize isotopes de divers éléments, tous radioactifs, avant que la forme stable terminale, le plomb-206 (numéro atomique 82), ne soit atteinte. L'uranium-235, qui ne représente que 0,72 % de l'uranium en nature, est le parent d'une autre séquence de dix isotopes radioactifs se terminant par le plomb-207 stable. La désintégration naturelle et spontanée du thorium-232 produit en succession dix isotopes de divers éléments, tous radioactifs, avant que la forme stable terminale, le plomb-208, ne soit atteinte (tableau 1).

Tableau 1 Isotopes dans les séquences de désintégration spontanée de l'uranium-238 et du thorium-232

Séquence de l'uranium-238			Séquence du thorium-232		
Isotope	Demi-vie	Radiations principales	Isotope	Demi-vie	Radiations principales
Uranium-238	4,5 milliards d'années	α	Thorium-232	14 milliards d'années	α
Thorium-234	24 jours	β, γ	Radium-228	5,7 ans	β
Proactinium-234	1,2 minute	β, γ	Actinium-228	6,1 heures	β, γ
Uranium-234	250 000 ans	α, γ	Thorium-228	1,9 an	α, γ
Thorium-230	77 000 ans	α, γ	Radium-224	3,7 jours	α, γ
Radium-226	1 600 ans	α, γ	Radon-220	55,6 secondes	α
Radon-222	3,8 jours	α	Polonium-216	0,15 seconde	α
Polonium-218	3,1 minutes	α	Plomb-212	10,6 heures	β, γ
Plomb-214	27 minutes	β, γ	Bismuth-212	61 minutes	α ou β, γ
Bismuth-214	20 minutes	β, γ	Polonium-212*	30 microsecondes	α
Polonium-214	0,16 millième de seconde	α, γ	Thallium-208*	3,1 minutes	β, γ
Plomb-210	22,3 ans	β, γ	Plomb 208	stable	aucune
Bismuth-210	5,01 jours	β			
Polonium-210	138 jours	α			
Plomb-206	Stable	aucune			

* L'un ou l'autre est produit selon que le bismuth-212 émet une particule alpha ou bêta.

Source : adapté du document déposé DB28.

Les radiations

La nature des radiations

Les principales radiations émises par les atomes radioactifs sont les radiations alpha (α), bêta (β) et gamma (γ). La particule alpha est composée de deux protons et de deux neutrons ; à ce titre, elle est identique au noyau d'un atome d'hélium. La particule alpha est donc relativement grosse, de masse élevée et très énergétique. Néanmoins, en raison de sa taille, elle a un faible pouvoir pénétrant : elle est arrêtée par une simple feuille de papier et ne peut pénétrer l'épiderme. Cependant, si la particule alpha est émise par un atome à l'intérieur d'un organisme vivant, elle peut être dommageable en raison du fait qu'elle transférera aux cellules adjacentes toute son énergie sur une très courte distance. Dans ces conditions, la particule alpha est considérée comme la plus nocive pour les êtres humains.

La particule bêta expulsée du noyau est physiquement identique à un électron. Comme lui, sa masse est 1 837 fois plus petite que celle d'un proton ou d'un neutron, quoique sa charge puisse être positive ou négative. La particule bêta est plus pénétrante que la particule alpha, et il faut au moins une feuille de contreplaqué pour l'arrêter. Elle représente un risque mineur pour les êtres vivants, sauf si elle est produite à l'intérieur de l'organisme.

Les rayons gamma ont un pouvoir très pénétrant et ne sont arrêtés que par un écran très dense, tel le plomb ou un mur de béton d'un mètre d'épaisseur. Les gamma ne sont pas des particules, mais des photons de rayonnement électromagnétique de même nature que la lumière ou les rayons X. Les rayons gamma passent facilement à travers l'organisme.

Le type et l'énergie des radiations émises lors des désintégrations nucléaires varient selon les isotopes. Par exemple, dans la séquence radioactive de l'uranium-238, le radon-222 et le polonium-210 sont des émetteurs alpha, alors que le bismuth-214 et le plomb-210 émettent des particules bêta et des rayons gamma lors de leur désintégration (tableau 1). La quantité d'énergie émise est en relation avec la structure du noyau de l'atome considéré.

L'activité

L'activité d'une substance radioactive est le taux de désintégration des noyaux des atomes, et l'unité de mesure est le becquerel (Bq) qui correspond à une transformation nucléaire par seconde (l'ancienne unité de mesure était le curie).

L'activité d'un élément seul

L'activité d'un élément lui est propre et dépend de sa demi-vie. L'activité d'une substance pure est proportionnelle au nombre d'atomes radioactifs qui la composent. Elle est donnée par l'équation $A = (\ln 2 / T_{1/2}) N$, c'est-à-dire le produit du logarithme naturel de 2 ($\ln 2 = 0,693$) multiplié par le nombre d'atomes (N) et divisé par la demi-vie de l'élément considéré ($T_{1/2}$). À titre d'exemple, le tableau 2 présente les paramètres requis pour le calcul de l'activité de l'uranium-238 pur de même que l'activité due à l'uranium-238 dans un minerai qui, comme celui qui serait exploité par Niocan, contiendrait 19 parties par million (ppm) ou 0,0019 % d'uranium. Ce dernier calcul tient compte du fait que l'uranium dans les roches est composé à 99,28 % d'uranium-238.

Tableau 2 Calcul de l'activité de l'uranium-238

	Paramètre	Valeur
Uranium-238 pur :		
a	Logarithme naturel de 2	0,693
	Demi-vie de l'uranium-238 (en années)	$4,51 \times 10^9$
b	Demi-vie de l'uranium-238 (en secondes)	$1,42 \times 10^{17}$
	Nombre d'atomes dans 238 g d'uranium-238	$6,023 \times 10^{23}$
c	Nombre d'atomes dans 1 g d'uranium-238	$2,531 \times 10^{21}$
d = a c / b	Activité par gramme d'uranium-238	12 300 Bq
Minerai contenant 19 ppm d'uranium :		
e	Proportion d'uranium-238	99,28 %
f	Concentration de l'uranium dans le minerai	19×10^{-6}
g = d e f	Activité de l'uranium par gramme de minerai	0,23 Bq

Source : adapté du document déposé DD3.

L'activité d'un échantillon contenant plusieurs éléments radioactifs

L'activité d'un échantillon de sol ou de roc dépend de la quantité de tous les isotopes radioactifs des divers éléments chimiques qui s'y trouvent. On obtient l'activité totale de cet échantillon en additionnant l'activité de chacun des isotopes radioactifs présents. Un minerai non perturbé qui contient de l'uranium-238 et du thorium-232 comprendra également les treize et les dix radio-isotopes de leurs séquences respectives (tableau 1), et la mesure de son activité totale doit en tenir compte. Ceci est dû au fait que, lorsqu'un atome parent d'une séquence se désintègre spontanément, les isotopes suivants apparaissent en succession plus ou moins rapide en raison des différences dans les demi-vies des divers isotopes.

L'équilibre radioactif

En dépit des variations dans les demi-vies des divers isotopes d'une séquence radioactive, la radioactivité totale d'un matériau contenant le parent d'une séquence atteint avec le temps une quasi-constance, en autant que la demi-vie du parent est plus longue que celle de tous les autres membres de la séquence. À ce moment, la radioactivité totale de ce matériau est répartie également entre les divers radioéléments de la séquence. En vertu de ce principe, il peut suffire de mesurer l'activité d'un seul membre de la séquence pour obtenir une estimation de l'activité totale. Par exemple, l'activité qui est due à la séquence de l'uranium-238 dans un minerai contenant 19 ppm d'uranium sera de quatorze fois (le parent plus les treize membres radioactifs de la progéniture) celle de l'isotope d'uranium-238 (qui est de 0,23 Bq/g, tableau 2), soit 3,22 Bq/g. Pour obtenir l'activité totale de ce minerai, il faut ajouter l'activité de la séquence du thorium-232 et celle de tout autre élément radioactif présent.

Dans un roc solide à l'état naturel qui contient de l'uranium et dont l'âge est considérable, l'équilibre est atteint. En revanche, si un isotope de la séquence était retiré, la chaîne serait brisée et l'équilibre, détruit. Ainsi, lorsque le roc est concassé ou pulvérisé, beaucoup de grains sont exposés à l'eau ou à l'air. Le radon-222, qui est un gaz, peut s'en échapper. L'équilibre pourra se rétablir dans les grains à mesure que des atomes de radium-226 encore présents se désintègreront. En ce qui concerne le radon-222 échappé, il poursuivra sa désintégration dans le milieu où il se trouvera, donnant naissance à la progéniture qui le suit dans la séquence.

L'activité due à l'uranium et au thorium dans les résidus miniers

À titre d'illustration, le tableau 3 regroupe les résultats de l'analyse de l'activité de certains échantillons de résidus miniers provenant des activités de l'ancienne mine de la St. Lawrence Columbium à Oka. L'activité totale des échantillons (dernière colonne) découle de la somme de l'activité des séquences du thorium-232 et de l'uranium-238, à laquelle on a ajouté l'activité du potassium-40 et celle de la séquence de l'uranium-235. Tous ces éléments étaient présents dans le roc de la carbonatite. Ils ont été ramenés à la surface, où ils ont été plus ou moins concentrés par les activités de la St. Lawrence Columbium.

Tableau 3 Comparaison des sources de radioactivité dans certains échantillons de résidus miniers prélevés sur le site SLC à Oka, Québec

	Séquence du thorium-232			Séquence de l'uranium-238			Uranium -235	Potassium -40	Activité Totale
	Quantité de thorium équivalent	Activité de la séquence	Activité par équivalent thorium	Quantité d'uranium équivalent	Activité de la séquence	Activité par équivalent uranium	Activité de la séquence	Activité	
	mg/kg	Bq/kg	Bq par mg/kg	mg/kg	Bq/kg	Bq par mg/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Stérile	28	1 159	41	32	5 398	169	217	640	7 414
Résidu	53	2 196	41	26	4 061	156	165	150	6 572
Scorie	1 829	75 440	41	814	134 760	166	5 104	615	215 919

Sources : adapté des documents déposés DA21 et DB73.

On constate dans le tableau 3 que, quel que soit le type de rejet, la majeure partie (88 % à 97 %) de l'activité totale de l'échantillon analysé est due aux séries du thorium-232 et de l'uranium-238. Le tableau donne aussi la teneur des échantillons exprimée en équivalents thorium-232 et en équivalents uranium-238 (colonnes 1 et 4). En faisant le rapport de l'activité due à la séquence (colonne 2 ou 5) sur la quantité du parent de la séquence (colonnes 1 et 4), on obtient l'activité relative à chaque unité de thorium-232 ou d'uranium-238 (colonnes 3 et 6). Ce rapport montre que l'activité due à l'uranium-238 est environ quatre fois celle qui revient au thorium-232. Ceci s'explique à la fois par la longueur de chacune des séquences et par les demi-vies des parents des séquences (la

demi-vie du thorium-232 est beaucoup plus longue que celle de l'uranium-238). En comparaison, l'activité due à la séquence de l'uranium-235 ou au potassium-40 dans les échantillons de rejets miniers est négligeable (moins de 3 % de l'activité totale).

La dangerosité de la séquence de l'uranium-238 est attribuable en partie au fait qu'elle comprend le radon-222, un gaz qui peut s'échapper. Ce gaz, dont la demi-vie est de 3,8 jours, est lui-même constamment régénéré par la dégradation du radium-226, qui a une demi-vie de 1 600 ans. Enfin, dans la progéniture du radon-222 se trouve le plomb-210 qui a une demi-vie de 22,3 ans. Par conséquent, un résidu minier qui contient de l'uranium peut générer du radon-222 et sa progéniture pendant très longtemps. La séquence du thorium-232 a une dynamique différente. Aucun des membres de sa progéniture n'a une demi-vie qui excède 5,7 ans. Bien qu'on y trouve également un gaz, le radon-220 (parfois appelé thoron), celui-ci a une demi-vie de 55,6 secondes seulement, et les produits résultant de sa dégradation spontanée ont des demi-vies qui sont de l'ordre de la seconde, de la minute ou de l'heure. Ainsi, l'émission de radon-220 à la suite de la désintégration spontanée d'un atome de thorium-232 dans un résidu minier ne donne naissance qu'à un phénomène relativement transitoire. En outre, l'uranium est pris en charge par l'eau plus facilement que le thorium et s'avère plus susceptible de se retrouver dans la chaîne alimentaire.

Ces considérations sont importantes pour une analyse du risque représenté par un échantillon de résidu minier donné. La différence dans la dangerosité relative des séquences du thorium-232 et de l'uranium-238 explique pourquoi l'analyse fait ici une plus large part à l'uranium-238 et aux membres de sa séquence, dont en particulier le radium et le radon.

Le coefficient d'activité

Le coefficient d'activité est le résultat d'un calcul qui permet de définir si une matière est radioactive au sens du *Règlement sur les matières dangereuses* [Q-2, r. 15.2]. Est considérée comme radioactive toute matière qui émet spontanément des rayonnements ionisants et pour laquelle le résultat de l'équation suivante, ou coefficient d'activité, est supérieur à 1 :

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \dots + \frac{C_n}{A_n}$$

Les symboles C_1, C_2, C_3 à C_n représentent l'activité (en kBq/kg) mesurée ou déduite pour chacun des radioéléments que la matière contient. Les symboles A_1, A_2, A_3 à A_n désignent l'activité maximale de ce radioélément ; ils ont été définis dans le règlement de façon à tenir compte de la dangerosité relative de chaque radioélément. Ainsi, le radium a une valeur maximale $A = 4$ kBq/kg et le radon, une valeur maximale $A = 40$ kBq/kg. On constate que, si l'activité d'un seul radioélément dans une matière excède le maximum pour cet élément, la matière sera automatiquement considérée comme radioactive.

Dans le *Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai*¹, on précise que, lorsqu'un résidu minier est radioactif, le coefficient d'activité de son lixiviat doit être calculé également. Si le résultat est supérieur à 0,05, le résidu sera considéré comme présentant un risque élevé.

Il est à noter que, selon cette caractérisation, diverses matières naturelles seraient considérées radioactives. Ainsi, le coefficient d'activité d'un roc contenant plus de 37 ppm d'uranium est supérieur à 1. Il en est de même pour certains engrais au phosphate utilisés couramment en agriculture. Un contact continu avec ces matières ne procure pas nécessairement une dose qui excède les limites d'exposition fixées pour préserver la santé humaine.

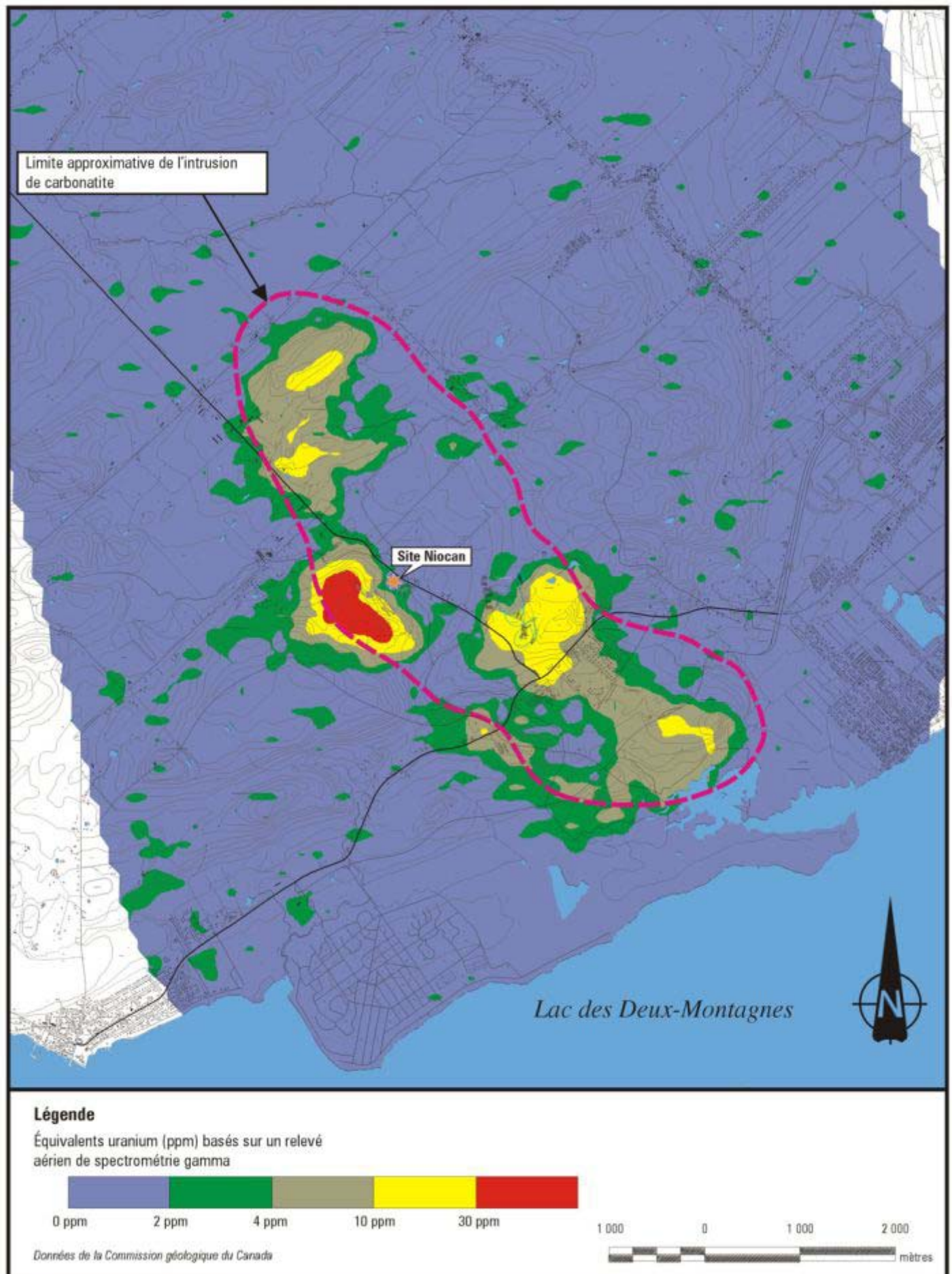
La mesure de la radioactivité

Les sens des humains ne permettent pas de détecter les radiations, mais certains instruments en sont capables sur la base du principe voulant que les radiations peuvent transmettre leur énergie aux corps qu'elles traversent. Ainsi, le scintillomètre, ou compteur à scintillations, est doté d'une cible faite d'une matière liquide ou solide qui produit des émissions très courtes de lumière lorsqu'elle est frappée par une particule énergétique. Un autre type d'appareil mesure le courant électrique causé par l'ionisation des atomes d'un gaz lorsqu'ils sont frappés par des radiations électromagnétiques de haute énergie.

La spectrométrie gamma permet de mesurer l'énergie et l'intensité du rayonnement gamma et de déterminer le ou les éléments dont la désintégration a généré cette radiation. Elle est basée sur le fait que les rayons gamma émis lors d'une désintégration ont des énergies qui sont propres à chaque élément radioactif. Par exemple, les gamma émis par le potassium-40 ont 1 461 milliers d'électrons-volts (keV) ; ils ont 1 764 keV pour l'uranium-238 (qui est en réalité l'énergie du produit de filiation bismuth-214 de la séquence radioactive) et 2 614 keV pour le thorium-232 (qui est l'énergie du produit de filiation thallium-208 de la séquence radioactive). Les résultats de la spectrométrie aux rayons gamma sont donnés en concentration d'équivalents uranium (ppm eU) ou thorium (ppm eTh) ou en pourcentage de potassium (% K). Cette technique permet des relevés aéroportés sur de grandes étendues de terrain. La figure 3 illustre les résultats du relevé pour la région qui inclut la carbonatite d'Oka.

1. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC. Direction des politiques du secteur industriel, *Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai*, document de consultation, (mars 2002), 19 pages et annexes.

Figure 3 Radioactivité de surface due à l'uranium dans la région d'Oka



Source : Niocan, document déposé DA11.

L'exposition des humains à la radioactivité

Les sources naturelles

Les humains sont exposés à plusieurs sources de radioactivité naturelle. Celles-ci sont de trois types : les rayons cosmiques, le rayonnement des matériaux et du sol (incluant le radon qui en provient), et les sources internes liées à l'alimentation.

Les rayons cosmiques viennent du cosmos, au-delà de l'atmosphère terrestre. Ce sont surtout des noyaux atomiques de forte énergie, plus puissants que toute forme de radiation d'origine terrestre naturelle ou de source humaine. Ils sont plus intenses en altitude qu'au niveau de la mer.

La majeure partie de la radioactivité naturelle à la surface de la planète est issue des éléments radioactifs présents dans la croûte terrestre. Les plus abondants sont l'uranium-238, le thorium-232 et le potassium-40. Ces éléments ont des demi-vies de l'ordre du milliard d'années et ont été intégrés à la croûte terrestre dès l'origine de la Terre.

L'alimentation constitue également une source d'exposition naturelle aux produits radioactifs. Les plantes absorbent diverses substances radioactives naturelles contenues dans l'air, l'eau et le sol où elles vivent. De même, les animaux qui se nourrissent de plantes et tous les éléments des écosystèmes naturels contiennent des produits radioactifs. Par conséquent, l'homme ingère aussi des isotopes radioactifs dans l'eau et les produits végétaux et animaux qu'il consomme.

Les sources artificielles

L'homme a su comprendre et utiliser les radiations et la radioactivité. L'application la plus connue qui expose le plus grand nombre de gens sur une base annuelle concerne les rayons X utilisés en médecine. Les autres sources de radioactivité générées par l'homme sont les centrales nucléaires, les retombées atmosphériques radioactives qui résultent d'essais d'armes nucléaires et certains produits industriels. L'homme peut en outre augmenter son exposition à des sources naturelles par le travail dans des mines souterraines où se trouvent des éléments radioactifs enfouis dans la croûte terrestre. Citons, par exemple, l'exploitation de dépôts de phosphate utilisés comme engrais, ou l'extraction d'uranium et de minéraux comme le niobium auxquels des quantités non exploitables d'uranium ou de thorium sont associées. Ces activités donnent lieu à des épandages ou à des accumulations en surface de résidus plus ou moins radioactifs qui deviennent ainsi plus disponibles que si le roc dont ils proviennent était resté enfoui sous terre.

Le bruit de fond

La majeure partie du rayonnement auquel les humains sont exposés quotidiennement, soit 88 %, est d'origine naturelle (tableau 4). Les sources artificielles ne représentent que 12 % de l'exposition normale et la majeure partie est d'origine médicale (11 %). Ces sources sont appelées collectivement « bruit de fond » et elles représentent l'exposition due au milieu ambiant.

Tableau 4 Contributions des diverses sources au bruit de fond des radiations auxquelles un Canadien moyen est exposé

Source		Contribution (%)
Naturelles (88 %) :	Radon (radon-222)	48
	Rayonnement gamma	14
	Alimentation (sources internes)	12
	Rayons cosmiques	10
	Thoron (radon-220)	4
Artificielles (12 %) :	Applications médicales	11
	Autres sources	1

Source : adapté du document déposé DA7.

Cependant, ce bruit de fond peut varier considérablement. Par exemple, les gens qui habitent au-dessus de certaines formations géologiques riches en uranium reçoivent davantage de radiation en provenance du sol, surtout sous forme de radon qui peut s'accumuler à l'intérieur des résidences. Par ailleurs, les gens qui habitent en haute altitude s'exposent à un rayonnement cosmique plus intense.

La dose de radiations et les effets sur les êtres vivants

La dose absorbée, mesure de l'exposition

L'action des radiations sur les êtres vivants se produit à l'échelle des cellules. L'énergie des radiations est transférée aux molécules dans les cellules qu'elles traversent dans leur course. L'unité de mesure est le gray (qui a remplacé le rad) et il correspond à un joule par kilogramme. La quantité d'énergie ainsi déposée par unité de masse est appelée dose absorbée.

La dose efficace, mesure de l'exposition effective

La dose absorbée peut avoir des effets plus ou moins considérables selon la nature des radiations. Ceci vient du fait qu'une exposition égale à des radiations de diverses natures ne produit pas nécessairement le même effet sur un être vivant. Un gray de radiation alpha, par exemple, aura un effet beaucoup plus considérable qu'un gray de radiation bêta. Il est donc convenu de qualifier la dose à l'aide du concept de dose efficace. Cette dernière est obtenue en multipliant la dose reçue par divers facteurs qui tiennent compte des effets biologiques particuliers à chaque type de radiation, ainsi que de la distribution des doses dans l'organisme et de tout autre paramètre jugé pertinent. Ainsi, on estime qu'une particule alpha émise par un atome qui se trouve à l'intérieur d'un organisme aura un effet 100 fois plus considérable que celui d'une particule bêta dans les mêmes conditions. L'unité de dose efficace est le sievert (Sv).

Quand une cellule vivante est exposée aux radiations, ses molécules sont excitées par l'énergie reçue et perdent ou gagnent un ou plusieurs électrons. Les molécules deviennent ainsi des ions positifs ou négatifs. Ce sont ces ions qui interfèrent ensuite avec les processus physiologiques normaux. Les êtres vivants ont évolué sur Terre en présence de la radioactivité naturelle et y sont adaptés à divers degrés. La peau est ainsi une protection adéquate aux particules alpha émises dans l'atmosphère. Dans les tissus internes, les cellules possèdent des mécanismes de contrôle et de réparation des dommages causés par l'ionisation. Mais lorsque l'ionisation est trop intense, ces mécanismes sont inefficaces et mènent à des dérèglements. Le plus fréquent est la prolifération cellulaire désordonnée qui peut résulter en un cancer.

Les effets des radiations

Le tableau 5 donne un aperçu des effets et des implications d'un éventail de doses efficaces reçues par le corps entier. La dose doit tenir compte de toutes les sources de radioactivité auxquelles une personne est exposée, qu'elles soient d'origine naturelle ou artificielle, incluant les applications médicales. Bien que les doses massives, telles que recevrait un humain à proximité d'une explosion nucléaire, aient des effets visibles et immédiats, les doses les plus faibles ont des effets si peu considérables qu'ils sont en fait indétectables. Néanmoins, les normes de protection contre les radiations sont basées sur une présomption que l'effet est directement proportionnel à la dose, même à de faibles niveaux. Selon cette théorie linéaire de l'effet des radiations, il n'y a théoriquement pas de dose absolument sans effet et l'on assume que, si la dose est réduite de moitié, l'effet, ou le risque d'un effet, est également réduit de moitié.

Tableau 5 Caractérisation de diverses doses de radiations reçues sur des périodes plus ou moins longues

Dose (millisievert)	Période d'exposition	Observations
10 000	Courte	Effets immédiats sur la santé, mort à court terme
2 000 - 10 000	Courte	Effets immédiats importants sur la santé
1 000	Longue	5 % d'incidence supplémentaire de cancer terminal
1 000	Courte	Nausée, diminution des globules blancs
50	Par an	Dose la plus faible pouvant causer un cancer
20	Moyenne par an sur 5 ans	Limite supérieure tolérée pour les travailleurs de l'industrie nucléaire et les mines d'uranium
3 - 5	Par an	Moyenne pour les mineurs d'uranium au Canada
2 - 3	Par an	Bruit de fond moyen en Amérique du Nord
2	Par an	Causée par le radon dans l'air en Amérique du Nord (inclus dans le bruit de fond ci-dessus)
1 - 10	Par an	Bruit de fond naturel dans le monde entier
1	Par an	Dose reçue par une personne passant 90 % de son temps dans une maison où il y a 50 Bq/m ³ de radon
0,3 - 0,6	Par an	Sources artificielles, surtout dans les applications médicales
0,2	Par an	Dose moyenne due au radon extérieur
0,05	Par an	Limite visée au périmètre des centrales nucléaires
0,001 - 0,100	Par an	Sources industrielles et minières

Sources : adapté des documents déposés DA7, DA30 et DB82.

Le radon

Le radon, produit naturel de la désintégration de l'uranium

Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore qui émane naturellement du sol. Le radon qui s'accumule dans les résidences est le radon-222. Cet isotope a une demi-vie de 3,8 jours et émet une particule alpha lorsqu'il se désintègre spontanément. Il provient de la séquence des éléments radioactifs générés par la désintégration spontanée de l'uranium. Puisque l'uranium est un élément abondant dans la croûte terrestre, le radon est présent presque partout sur la planète. Il est davantage disponible au-dessus de formations rocheuses qui contiennent de l'uranium ou de sols qui sont formés en partie par l'érosion de cette roche.

Dans le territoire visé par le projet, l'uranium est présent dans les gneiss et, surtout, il est largement disponible dans la carbonatite. C'est dans cette formation qu'on trouve le pyrochlore, le minéral qui contient le niobium ainsi que divers éléments associés, dont l'uranium. C'est pourquoi l'exploitation du gisement de niobium soulève directement la problématique du radon.

Le radon étant un gaz, il ne peut s'échapper d'un roc solide où il s'est formé à partir de l'uranium. Mais si le roc est fissuré, ou si l'uranium est sous forme de particules dans le sol, le radon peut se dissoudre dans l'eau souterraine, ou migrer directement vers la surface. Il devient ainsi disponible pour s'échapper éventuellement dans l'atmosphère, ou s'introduire dans le sous-sol des maisons dont les fondations présentent des fissures, si petites soient-elles. Le radon a tendance à s'accumuler dans les parties les plus basses de la maison, qui sont plus près de la source et où l'échange d'air est moins important. En Amérique du Nord, plus de la moitié de l'exposition naturelle des humains aux radiations provient du radon à l'intérieur des résidences (tableau 4). Le radon présent à l'extérieur des résidences est dilué au point de ne pas représenter une source d'exposition mesurable.

Puisque le radon a une demi-vie de 3,8 jours, 99,9 % d'une quantité générée à un moment donné aura disparu après 38 jours, soit dix demi-vies. Ce radon aura entre-temps donné naissance aux isotopes qui le suivent dans la séquence de l'uranium. Par contre, si la source d'uranium est encore disponible, sa désintégration produira du radium-226 qui est le précurseur immédiat du radon. L'uranium (parent du radium) constitue donc une source constante de radon, et il existe une relation directe entre la radiométrie aérienne mesurée en équivalents uranium et l'exposition au radon.

Les effets du radon sont dus aux particules alpha

Ni le radon ni la particule alpha qu'il émet ne peuvent pénétrer directement le corps humain. C'est par la respiration d'air contenant du radon que le gaz radioactif pénètre dans le corps. La plupart des atomes de radon inhalés seront rejetés lors de l'exhalation. La probabilité qu'un atome de radon subisse une désintégration pendant son court séjour dans les poumons, et produise ainsi une particule alpha, est très faible puisque le séjour ne dure que quelques secondes. Mais lorsque la concentration du radon dans l'air est suffisamment élevée, une quantité appréciable de radon peut se désintégrer dans le poumon.

La désintégration du radon donne en succession sept éléments radioactifs (tableau 1). Ces éléments ne sont pas des gaz, mais des solides. Ils peuvent donc se loger dans les alvéoles du poumon et devenir des sources internes d'émissions alpha, bêta ou gamma. On estime que ce sont eux, et non le radon lui-même, qui sont responsables des effets sur la santé. Lorsque la concentration du radon dans l'air est suffisamment élevée, la déposition de sa progéniture solide et la production subséquente de particules alpha dans le poumon peuvent devenir assez fréquentes. L'ionisation résultant du passage des particules alpha

dans les cellules peut causer des dommages qui excèdent la capacité des mécanismes naturels de réparation.

La mesure du radon dans les résidences

On exprime généralement la quantité d'un gaz dans l'air à partir de sa concentration (par exemple, partie par million) ou de sa pression. Dans le cas du radon, à cause de sa nature radioactive, on exprime sa concentration en fonction de son activité mesurée dans un volume d'air défini. L'unité de mesure est le becquerel par mètre cube, ou Bq/m³, le becquerel étant défini comme une désintégration par seconde. Une concentration de 1 Bq/m³ signifie donc une désintégration par seconde dans un mètre cube d'air. L'air extérieur contient naturellement des concentrations de radon d'environ 1 à 10 Bq/m³. Ces concentrations peuvent être plus élevées et atteignent quelques dizaines de Bq/m³ lorsque des minéraux riches en uranium se trouvent près de la surface du sol. Elles ne constituent cependant pas un risque pour la santé du fait du grand pouvoir de dilution de l'air extérieur.

Le radon et le risque pour la santé

Le seul effet reconnu de l'exposition au radon est le cancer du poumon. Il a d'abord été identifié chez les mineurs qui travaillaient sous terre à proximité de roc contenant de l'uranium et ses produits de désintégration. Des études ont permis d'établir une relation entre le temps d'exposition à une concentration élevée de radon et la probabilité de l'incidence du cancer du poumon chez ces travailleurs. La relation étant linéaire, on a estimé que le risque de cancer du poumon devait exister même aux concentrations beaucoup plus faibles mesurées dans les résidences. Bien que les premières études sur le lien présumé entre l'exposition au radon dans les résidences et le cancer du poumon aient donné des résultats équivoques, les études récentes suggèrent que cette association existe. Aux États-Unis, on estime que, sur 100 cas de cancer du poumon dans la population, 10 à 15 sont attribuables au radon domestique.

Chapitre 3 **La radioactivité des matières solides**

Le présent chapitre traite des impacts sur l'environnement de la radioactivité des matières solides qui seraient produites par les opérations de la mine Niocan. Dans son analyse, la commission examine d'abord la radioactivité naturelle présente dans la région à l'étude de même que la radioactivité laissée par l'ancienne mine St. Lawrence Columbian. Elle dresse ensuite un bilan des quantités de matières solides qui seraient extraites de la mine Niocan et de différents sous-produits découlant du traitement du minerai.

La provenance des substances radioactives

La présence de substances radioactives dans la carbonatite d'Oka

Le niveau moyen de radioactivité de la carbonatite d'Oka est de quatre à cinq fois supérieur à celui observé dans les gneiss de la région (document déposé DB13, p. 1). La radioactivité est due principalement à la présence de thorium et d'uranium qui sont concentrés surtout dans des cristaux de pyrochlore, mais qui sont également présents dans une moindre mesure dans certains autres minéraux comme la monazite et la britholite (document déposé PR3, p. 3.26). Ce sont les cristaux de pyrochlore qui contiennent le niobium, sous forme d'oxyde de niobium (Nb_2O_5). Sa teneur moyenne dans la carbonatite est de l'ordre de 0,25 % et il est plus concentré dans plusieurs zones de minéralisation (documents déposés DB13, p. 1 et DD1, p. 1).

Les teneurs en uranium (U) et en thorium (Th) dans le pyrochlore sont toujours relativement élevées (tableau 6). Ainsi, avec de 1 % à 1,5 % de pyrochlore, le gisement S-60 contient en moyenne 19 ppm d'uranium et 160 ppm de thorium (documents déposés DB13, p. 5 et PR3, p. 5.1). Dans ce gisement, 95 % de la charge en uranium et en thorium proviendrait du pyrochlore (M. Serge Lavoie, rencontre du 21 juin 2002). Mais puisque l'uranium, le thorium et le niobium se remplacent mutuellement dans les cristaux de pyrochlore, leurs concentrations relatives à travers la carbonatite et dans le pyrochlore sont fort variables (document déposé DD1, planches 15, 16 et 19).

Tableau 6 **Contenus en oxydes de thorium et d'uranium dans le pyrochlore des carbonatites d'Oka et de Saint-Honoré**

Source	Contenu en UO₂ % (ppm)	Contenu en ThO₂ % (ppm)
Site Niocan, Oka		
Moyennes de plusieurs analyses	0,07 à 0,37 (700 à 3 700)	0,82 à 1,56 (8 200 à 15 600)
Site SLC, Oka		
Moyennes de quatre types de pyrochlore	0,10 à 0,45 (1 000 à 4 500)	0,23 à 0,63 (2 300 à 6 300)
Mine Niobec, Saint-Honoré		
Pyrochlore et concentré de pyrochlore	0,01 à 0,04 (100 à 400)	0,23 à 0,85 (2 300 à 8 500)

Sources : www.cambior.com et documents déposés DB13 et DD1.

La présence de substances radioactives dans les dépôts meubles

La teneur en substances radioactives des dépôts meubles qui se trouvent directement à l'aplomb ou au voisinage de la carbonatite d'Oka dépend principalement de leur contenu en fragments de carbonatite et de la teneur en pyrochlore de ces fragments. Bien qu'il n'ait pas été documenté localement, le contenu en éléments de provenance locale est présumé très élevé dans les couches inférieures du till et plus faible aux niveaux supérieurs, surtout là où son épaisseur excède 10 m (document déposé PR3, p. 3.28 et 3.29). C'est donc dans les couches de till de fond que se trouveraient les teneurs en uranium et en thorium s'approchant le plus de celles de la carbonatite sous-jacente. Dans les dépôts marins littoraux formés de sables et de graviers, ces teneurs sont présumées inférieures à celle du till dont elles sont dérivées (*ibid.*). C'est dans les dépôts marins d'eau profonde formés d'argiles et de limons que l'on mesurerait les plus faibles teneurs en radioéléments avec des concentrations qui se rapprochent du bruit de fond régional.

La radioactivité à la surface du terrain

Dans le secteur de la carbonatite d'Oka, la radioactivité à la surface du terrain varie surtout en fonction de la nature et de l'épaisseur des dépôts meubles. Elle est plus élevée là où les dépôts meubles sont minces ou absents. À ces endroits, elle découle largement de la minéralogie locale du roc. Les relevés par radiométrie aérienne et terrestre effectués par la Commission géologique du Canada fournissent une mesure de la radioactivité de surface exprimée en équivalents uranium-238 (eU) (figure 3). Cette mesure correspond au rayonnement gamma émis par les premiers 50 à 60 cm de dépôts meubles ou par les premiers 20 à 25 cm de roc (documents déposés DB13, p. 4 et 8, DB17, p. 56-80 et 113-117).

Ces relevés indiquent qu'à l'extérieur de la carbonatite le niveau régional se maintient généralement entre 0 et 2 ppm eU, atteignant parfois de 2 à 4 ppm. Les valeurs entre 2 et 4 ppm eU sont plus fréquentes sur le pourtour de la carbonatite. Au-dessus de la carbonatite, d'importantes zones avec de 0 à 4 ppm eU se rencontrent là où les dépôts sont les plus épais (62 % de la surface) alors qu'ailleurs on observe des zones avec 4 à 10 ppm eU (26 %) et même 10 à 30 ppm eU (10 %). Les zones d'activité maximale correspondent au site SLC avec un maximum mesuré de 23 ppm eU, et au site Niocan avec un maximum de 65 ppm eU observé sur des affleurements au sud-ouest de la propriété (document déposé DB17, p. 67, figure 13). La moyenne pondérée de la radioactivité de surface au-dessus de la carbonatite serait de 5,3 ppm eU (document déposé DA26). En général, elle est d'origine naturelle, sauf au site SLC où sont entreposés des stériles, des résidus et des scories générés par les opérations de l'ancienne mine.

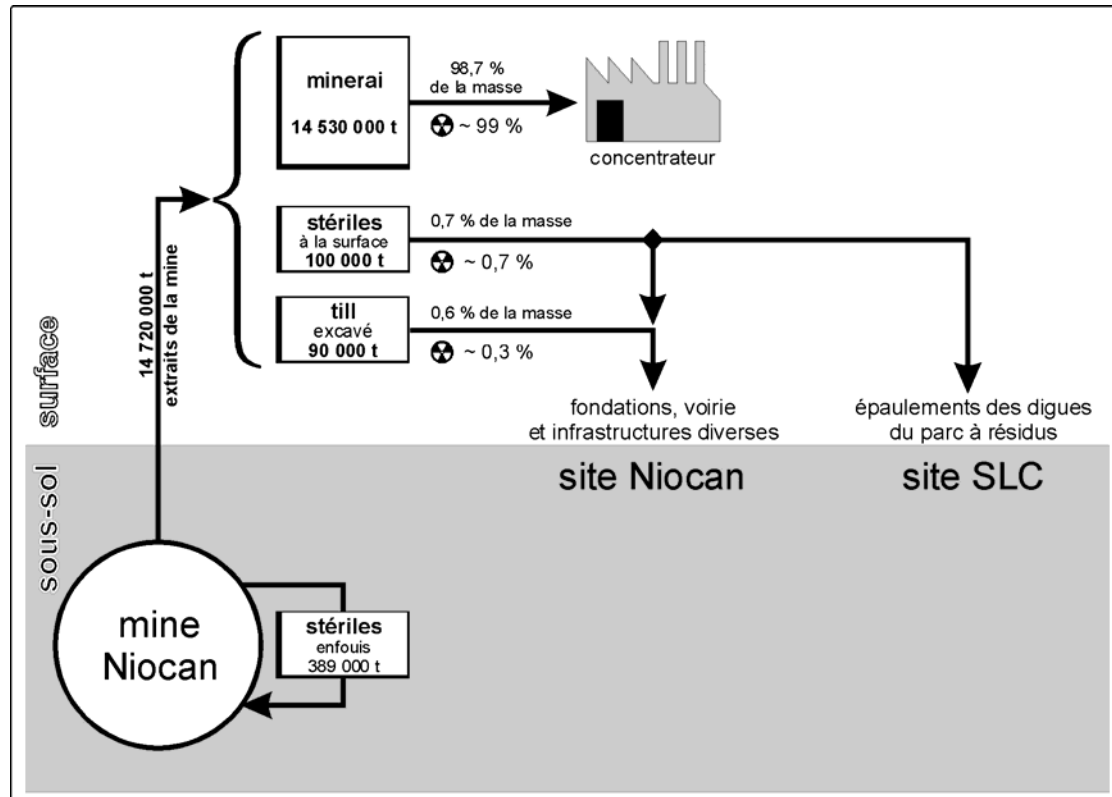
Niocan a fait analyser les teneurs en uranium et en thorium de onze échantillons de sol provenant de neuf sites distincts dans les limites de la carbonatite (document déposé DB13, p. 4, tableau 4 et figure 5). Les résultats sont comparables avec les relevés radiométriques de la Commission géologique du Canada. À une exception près, les teneurs naturelles des sols échantillonnés oscillaient entre 1,5 et 3,7 ppm d'uranium et entre 5,3 et 10,5 ppm de thorium. Par exemple, l'échantillon prélevé sur le site Niocan contenait 3,7 ppm d'uranium et 10,5 ppm de thorium. Seul l'échantillon de sol prélevé en bordure d'un affleurement rocheux était nettement plus enrichi en radioéléments avec des teneurs respectives de 17 ppm (U) et 101 ppm (Th). Sur le site SLC, les échantillons de stériles contenaient 8 et 29 ppm d'uranium ainsi que 34 et 77 ppm de thorium, alors que ceux de résidus contenaient 19 et 34,5 ppm d'uranium ainsi que 55 et 69 ppm de thorium.

- ◆ *La commission note la variabilité de la radioactivité naturelle à la surface du sol au-dessus de la carbonatite d'Oka. Le niveau de radioactivité observé oscille entre le bruit de fond régional, là où les dépôts meubles sont épais, et une radioactivité une dizaine de fois plus élevée là où ces dépôts sont minces ou absents.*

L'extraction de matières solides contenant des substances radioactives

Les activités minières projetées par Niocan extrairaient du sous-sol trois types de matériaux solides susceptibles de contenir des concentrations significatives de radioéléments : des dépôts meubles, des stériles et du minerai (figure 4).

Figure 4 Schéma de la gestion des matériaux excavés et répartition de la charge radioactive (⊕)



La gestion des dépôts meubles excavés

Selon Niocan, l'implantation de la mine nécessiterait l'excavation de 50 000 m³ (90 000 t) de dépôts meubles (document déposé PR3, p. 5.10). Elle compte les utiliser à des fins de construction sur le site de la mine. Ceux-ci proviendraient essentiellement de la couche de 10 à 15 m de till qui recouvre la carbonatite au-dessus des gisements S-60 et HWM-2 (*ibid.*, figures 3.3, 3.4 et 5.1). Bien que les teneurs en uranium et en thorium de ce till n'aient pas été documentées, il est vraisemblable qu'à la surface elles soient du même ordre de grandeur que celles de l'échantillon de sol analysé sur le site Niocan, soit environ 4 ppm d'uranium et 10 ppm de thorium (voir échantillon B, document déposé DB13, tableau 4 et figure 5). En profondeur cependant, Niocan prévoit que le till sera en majeure partie composé de fragments de la carbonatite sous-jacente (document déposé PR3, p. 3.23). Aussi ses teneurs en uranium et en thorium, bien que variables, devraient être plus élevées. Elles pourraient s'approcher de celles du gisement S-60 ou de l'échantillon de sol prélevé près d'un affleurement de carbonatite, soit de l'ordre d'une vingtaine de ppm d'uranium et d'une centaine de ppm de thorium (document déposé DB13, p. 5 et tableau 4).

L'excavation du till et son utilisation sur le site de la mine remanieraient les matériaux en place. Ce faisant, il est probable que ces travaux remonteraient à la surface des couches profondes de till avec des teneurs en uranium et en thorium supérieures à celles des couches de surface. Les teneurs maximales prévisibles de ces matériaux pourraient être d'un ordre de grandeur plus élevé que celles des sols du site de la mine. Elles seraient cependant semblables aux teneurs naturelles observées près des affleurements de carbonatite et dans les zones de till mince, notamment dans la partie sud-ouest du site Niocan.

- ◆ *La commission estime que l'excavation de dépôts meubles et leur utilisation à des fins de construction tel que le prévoit le projet sont susceptibles d'augmenter localement les teneurs en uranium et en thorium ainsi que le niveau de radioactivité à la surface du terrain. Elle note cependant que le niveau de radioactivité maximal pouvant découler du remaniement de ces dépôts ne dépasserait pas le niveau naturel observé au-dessus de la carbonatite dans les zones de till mince ou aux abords des affleurements.*

La gestion des stériles miniers

Les gisements de niobium « n'ont pas de limites nettes [...] mais bien des contacts progressifs en fonction de la valeur économique du niobium » (document déposé DB13, p. 2). Pour son projet d'exploitation minière, Niocan considère comme minerai toute partie de la carbonatite dont la teneur en oxyde de niobium (Nb_2O_5) dépasse 0,4 % (document déposé PR3, p. 5.7). Inversement, toute roche extraite présentant une teneur en Nb_2O_5 inférieure à ce seuil serait considérée et gérée comme du stérile.

Le développement et l'exploitation de la mine entraîneraient l'accumulation de 489 000 t de stériles. Cependant, 389 000 t seraient utilisés comme matériaux de remplissage souterrain (figure 4) alors que 100 000 t seraient sortis de la mine (documents déposés DB16 et PR3, p. 5.9). Selon Niocan, les stériles foisonnés auraient une densité de 2 t/m³ (document déposé DB16, p. 3). La partie enfouie dans la mine occuperait alors 194 500 m³ et celle ramenée à la surface, 50 000 m³. Les stériles extraits de la mine seraient utilisés comme fondations pour les bâtiments (12 800 m²), comme matériaux de voirie pour les voies d'accès au site (4 800 m²) et pour un stationnement (6 500 m²), ainsi que pour construire les épaulements des digues du parc à résidus (documents déposés DA28 et PR3, p. 5.9).

Ces stériles étant composés de carbonatite excavée aux abords des gisements exploités contiendraient aussi du pyrochlore et, par conséquent, de l'uranium et du thorium. La commission note que, malgré l'abondance de forages dans la masse rocheuse entourant ces deux gisements (document déposé DB13, figure 4), ses teneurs en uranium et en thorium ainsi que son niveau d'activité n'ont pas été documentés. Pour estimer la radioactivité de ses stériles, Niocan se réfère plutôt aux stériles de la mine SLC excavés dans la même carbonatite à environ 1,2 km plus à l'est.

L'un des deux échantillons prélevés sur des stériles du site SLC contenait 8 ppm d'uranium et 77 ppm de thorium, et l'autre, 29 ppm d'uranium et 34 ppm de thorium (*ibid.*, tableau 4). De plus, en 1999 et 2002, deux échantillons de stériles ont été prélevés du site SLC et analysés pour leur activité gamma (document déposé DA21, p. 1 à 6). Leurs coefficients d'activité totale évalués par Niocan étaient de 4,4 et 0,9 respectivement. L'analyse de ces échantillons révèle que la radioactivité des stériles de SLC est variable et qu'au moins une partie de ces stériles doit être considérée et traitée comme un matériau radioactif au terme du *Règlement sur les matières dangereuses*, puisque l'un des deux échantillons présente un coefficient d'activité supérieur à 1. Un test de lixiviation a été mené sur l'échantillon de stérile de SLC prélevé en 2002 et dont le coefficient d'activité avait été évalué à 0,9 (aucun test n'a été fait sur celui présentant un coefficient d'activité de 4,4). Les activités du lixiviat obtenu étant sous le seuil de détection, son coefficient d'activité radioactive totale a été évalué à 0.

Bien qu'il eût été préférable d'analyser des échantillons de stériles prélevés directement sur le site Niocan, la commission estime que des mesures sur des stériles du site SLC seraient acceptables dans la mesure où l'effort d'échantillonnage est suffisant pour bien rendre compte de la variabilité de la radioactivité au sein de la carbonatite d'Oka. L'écart important observé entre les coefficients d'activité des deux échantillons analysés par le promoteur confirme cette grande variabilité de la radioactivité au sein des stériles. Aussi, même si le test de lixiviation fait sur le moins radioactif des deux échantillons suggère que la radioactivité des stériles est très peu lixiviable, la commission estime que cette présomption, bien que vraisemblable, reste à confirmer par des tests de lixiviation supplémentaires sur les stériles les plus radioactifs.

- ◆ *La commission note que la radioactivité des stériles de la mine Niocan et de leur lixiviat n'a pas été documentée. Elle estime que leur caractérisation à partir d'échantillons du site SLC est acceptable mais elle constate que le peu d'analyses complétées restreint la portée des conclusions qu'il est possible d'en tirer. La commission considère que les stériles de la mine Niocan pourraient constituer une matière radioactive au terme du Règlement sur les matières dangereuses. Leur niveau de risque devrait être précisé par des tests de lixiviation faits sur les stériles les plus radioactifs.*

Le très faible coefficient d'activité du lixiviat d'un échantillon de stériles du site SLC suggère aussi que les 100 000 t de stériles disposés à l'extérieur de la mine ne devraient pas présenter de risque de contamination radioactive pour les eaux de surface et souterraines. La partie des stériles qui serait utilisée pour les épaulements des digues du parc à résidus ne rehausserait pas le niveau de radioactivité ambiant du site SLC puisque celui-ci est déjà occupé par des affleurements rocheux et d'importants volumes de stériles. En revanche, les matériaux qui seraient employés pour diverses infrastructures sur le site de la mine Niocan sont davantage plus radioactifs que le sol sur lequel ils seraient disposés, puisque la partie nord-est de la propriété qui borde le rang Sainte-Sophie enregistre un taux de radioactivité plus faible, proche du bruit de fond régional (documents déposés DA11 et DB13, tableau 4).

Sur les aires d'utilisation des stériles, principalement les fondations de bâtiments, le stationnement et les voies d'accès, la radioactivité pourrait atteindre un niveau semblable à celui qui existe actuellement sur le site SLC. Selon Niocan, les remblais de stériles pourraient couvrir environ 2,4 ha, soit près du quart de l'aire occupée par les installations minières (documents déposés DA28 et PR3.1, annexe XV). Leur niveau de radioactivité est du même ordre que celui mesuré sur le site SLC et près des affleurements de carbonatite. Selon les experts en radioactivité consultés, bien que le coefficient d'activité radioactive puisse y dépasser le seuil de 1, des niveaux de radioactivité de cet ordre ne présenteraient pas en soi de risque pour la santé des personnes qui y seraient exposées (documents déposés DA27 et DB26, annexe A). Ils sont comparables à des niveaux d'exposition naturels auxquels sont soumis plusieurs millions de personnes dans diverses régions du monde (documents déposés DA26 et DB82, tableaux 11 et 12).

- ◆ *La commission note que la radioactivité des stériles que le projet minier de Niocan laisserait en surface serait du même ordre que celle des affleurements naturels de carbonatite et des stériles du site de la mine SLC. L'utilisation d'une partie de ces stériles sur le site de la mine Niocan augmenterait la radioactivité à la surface du terrain, mais la commission estime que les stériles ne présenteraient pas de risque pour la santé humaine.*

C'est plutôt en tant que source de radon que les stériles pourraient présenter un risque pour la santé dans la mesure où il parvient à s'infiltrer dans un bâtiment et à s'y accumuler suffisamment pour atteindre des concentrations élevées (document déposé DB17). Les fondations de bâtiments comptent pour un peu plus de la moitié (1,3 ha) des superficies qui seraient recouvertes de stériles sur le site Niocan. La Direction régionale de santé publique des Laurentides a recommandé « de ne pas construire dans les zones à radiométrie excédant les 6 ppm eU [...] à moins d'appliquer, lors de la construction, des mesures exceptionnelles » afin de prévenir l'infiltration du radon (*ibid.*, p. 98). Puisque les stériles de Niocan auraient vraisemblablement des teneurs en uranium du même ordre que celles du gisement S-60 (19 ppm en moyenne) ou celles du site SLC (échantillons à 8 ppm et 29 ppm), ces recommandations s'appliqueraient aux bâtiments de la mine.

Aussi Niocan a-t-elle fait élaborer un concept de construction visant à conférer à ses bâtiments une étanchéité au radon du sol (documents déposés DA3 et DA3.1). Le concept, qui suppose que les bâtiments reposent sur l'assise rocheuse, propose de nettoyer et de sceller la surface rocheuse avant d'y installer une série de couches superposées comportant des membranes d'étanchéité sous-jacentes à la dalle de béton du bâtiment. Or, selon les plans de Niocan, il s'avère que les bâtiments reposeraient plutôt sur des assises de stériles au-dessus d'une couche de till de près de 10 m d'épaisseur (document déposé PR3, p. 3.21, 3.24 et 5.11). Aux yeux de la commission, le concept proposé mériterait d'être révisé et adapté aux conditions du site.

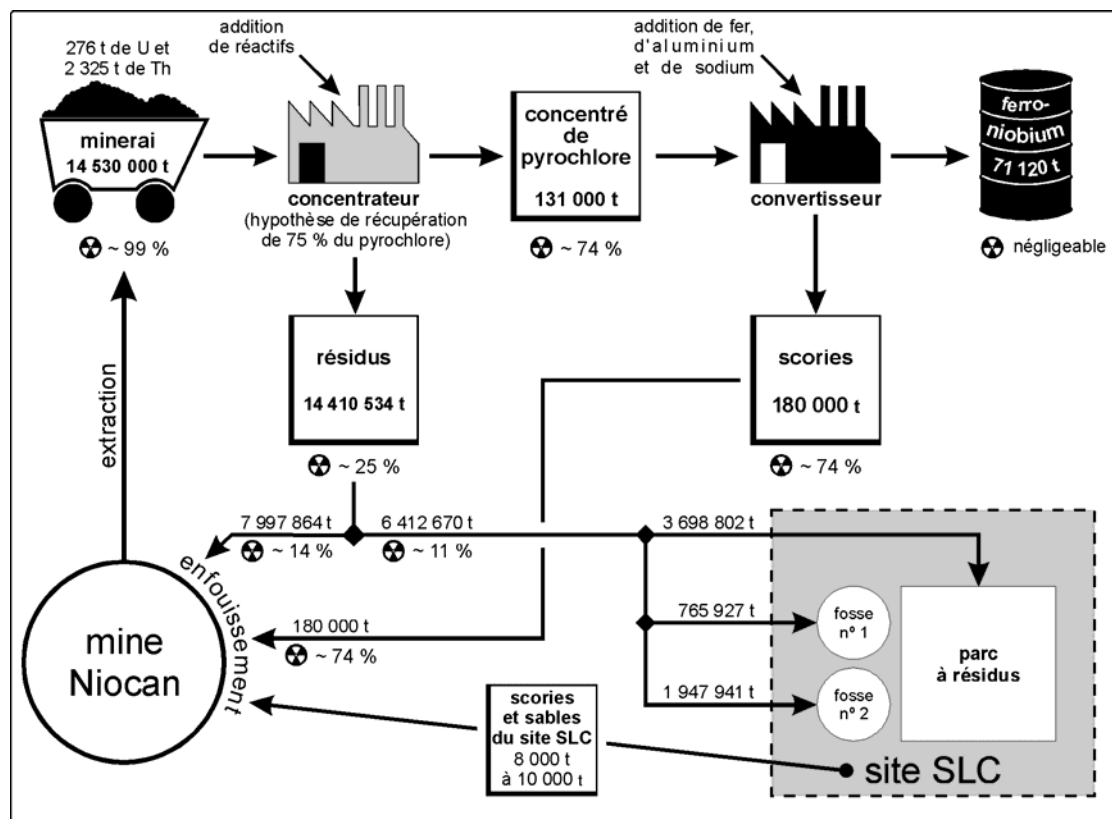
- ◆ *La commission constate que l'emploi de stériles comme assise pour les bâtiments de la mine Niocan nécessiterait l'application de mesures spéciales de construction afin d'empêcher que le radon émis par les stériles ne s'y infiltre. Elle est d'avis que ces*

mesures devraient être élaborées de concert avec la Direction régionale de santé publique des Laurentides et faire l'objet d'un suivi.

La gestion du minerai

Niocan prévoit extraire 14 530 000 t de minerai, dont 86 % (12 530 000 t) au gisement S-60 et 14 % (2 000 000 t) au gisement HWM-2 (*ibid.*, p. 5.9). Le minerai serait concassé sous terre et réduit en fragments d'une taille maximale de 15 cm. Le minerai concassé serait d'abord acheminé vers des silos souterrains puis remonté à la surface. En surface, après avoir transité par les silos à minerai du chevalement, il serait envoyé vers un concentrateur. La première série de traitements consiste à en extraire le pyrochlore (figure 5). Ce concentré serait ensuite expédié vers le convertisseur de l'usine et soumis à une seconde série de traitements visant à en extraire le niobium pour préparer le ferro-niobium, le produit final commercialisé (*ibid.*, chapitre 6).

Figure 5 Schéma de la gestion du minerai et répartition de la charge radioactive excavée (⊕)



La gestion des résidus

Selon la terminologie retenue par le promoteur, le terme résidus désigne les résidus du procédé de concentration du pyrochlore ; il est plus restrictif que la définition donnée dans le projet de révision de la directive 019 sur l'industrie minière (document déposé DB53, p. 12).

S'appuyant sur un test en usine pilote avec un échantillon du gisement S-60, Niocan s'attend à récupérer de 75 % à 81 % du pyrochlore présent dans le minerai (documents déposés DA23 et DB13, p. 3). Ce taux serait supérieur à ceux obtenus par SLC (de 68 % à 73 %) et par Niobec (de 54 % à 58 % en 1999 et 2000) (www.cambior.com et document déposé DA23). Le pyrochlore non récupéré demeurerait dans les résidus. Selon Niocan, le traitement des 14,53 Mt de minerai générerait 0,12 Mt de concentré de pyrochlore et 14,41 Mt de résidus (document déposé DB16, p. 5).

En regard du minerai, les résidus représentent donc un produit appauvri en pyrochlore et, conséquemment, appauvri en radioéléments. Les radioéléments présents dans les résidus proviendraient principalement du pyrochlore non récupéré et, dans une moindre mesure, d'autres minéraux uranifères ou thorifères inclus dans le minerai. Sur la base d'un taux de récupération de 75 %, Niocan estime que ses résidus devraient enregistrer des teneurs moyennes de 5 à 10 ppm d'uranium et d'environ 40 ppm de thorium, ce qui serait nettement inférieur aux teneurs des résidus échantillonnés sur le site SLC (documents déposés DA20, p. 12, DB13, p. 5 et tableau 4). Cependant, la commission note que, si le taux de récupération s'avérait moindre que celui espéré, la quantité de pyrochlore résiduel augmentant, les teneurs en uranium et en thorium des résidus en seraient d'autant accrues. Avec le scénario pessimiste d'un taux de récupération de 54 % (le plus faible taux obtenu par Niobec), on pourrait s'attendre à des teneurs moyennes en uranium et en thorium s'approchant de celles des résidus de SLC.

Niocan a fait analyser des échantillons de résidus générés par le traitement du minerai du gisement S-60 par l'usine pilote. Les résultats n'ont pas permis d'évaluer leur activité totale. Ils indiquent que les solides du résidu contenaient 17 ppm de thorium, mais leur teneur en uranium n'a pu être précisée. Quant à la partie liquide, elle contenait 0,008 ppm d'uranium et moins de 0,1 ppm de thorium (documents déposés PR3, p. 6.6-6.8, DQ1.2, p. 11 et annexe 7). Pour caractériser l'activité de ses résidus, Niocan a donc eu recours à deux échantillons de résidus du site SLC (document déposé DA21, p. 1-9). Leurs coefficients d'activité ont été évalués respectivement à 0,63 et 0,81. Ces coefficients étant inférieurs à 1, les résidus de SLC ne constitueraient donc pas une matière radioactive au terme du *Règlement sur les matières dangereuses*. L'échantillon de résidus avec l'activité de 0,81 a aussi été soumis au test de lixiviation et son lixiviat ne montrait aucune radioactivité mesurable.

La radioactivité des résidus de SLC est analogue à celle des résidus de la mine Niobec. Le coefficient d'activité des résidus frais de Niobec mesuré en mai 2002 était de 0,79 alors que ceux des lixiviats de résidus frais et de résidus anciens étaient respectivement

de 0,0021 et 0,0017 (document déposé DB46.1). La très faible radioactivité des lixiviats des résidus de SLC et de Niobec permet de croire que les résidus que Niocan propose d'entreposer sur le site SLC ne présenteraient pas de risque de contamination radioactive des eaux tant de surface que souterraines.

Niocan prévoit enfouir 55,5 % de ses résidus (8 Mt) dans la mine sous forme de remblai en pâte et stocker les 44,5 % restant (6,4 Mt) sur le site SLC (document déposé DB16). La portion enfouie remplirait l'espace occupé auparavant par du minerai possédant de plus fortes teneurs en radioéléments que le résidu inclus dans le remblai. Si le lixiviat des résidus de Niocan s'avérait similaire à celui des résidus du site SLC, il ne présenterait pas de risque de contamination radioactive pour les eaux souterraines. De plus, la constitution d'un remblai en pâte par l'addition de ciment et d'eau aux résidus aurait pour effet de les isoler davantage et, en limitant substantiellement leur contact avec les eaux souterraines, de réduire leur potentiel de lixiviation.

- ◆ *La commission est d'avis que les résidus de Niocan ne constitueraient pas des matières radioactives selon le Règlement sur les matières dangereuses. À la lumière des tests de lixiviation effectués sur les résidus de l'ancienne mine SLC et de la mine Niobec, la commission estime que l'enfouissement de résidus similaires générés par Niocan ne présenterait pas de risque de contamination radioactive des eaux souterraines. De même, elle est d'avis que leur stockage dans un parc à résidus et dans les fosses de l'ancienne mine SLC ne présenterait pas de risque de contamination radioactive des eaux de surface et souterraines.*

Des 6,4 Mt de résidus qui seraient stockés sur le site SLC, 60 % seraient disposés dans un parc à résidus alors que 40 % seraient déversés dans les deux fosses de la mine SLC. En supposant des teneurs moyennes de 10 ppm d'uranium et 40 ppm de thorium, Niocan estime que son projet ajouterait une quantité de 38,5 t d'uranium et 153,9 t de thorium au parc à résidus du site SLC, et de 25,7 t d'uranium et 102,6 t de thorium dans les deux fosses (document déposé DA20, p. 12). Par ailleurs, en se basant sur les teneurs du plus enrichi des deux échantillons de résidus de la mine SLC, Niocan estime à 276 t et 551,2 t les charges d'uranium et de thorium présentes sur le site SLC (document déposé DB13, tableau 4). Cette évaluation ne tient pas compte de l'uranium et du thorium compris dans les importants volumes de stériles accumulés sur le site. La charge ajoutée au site SLC par Niocan représenterait donc 23 % de la charge en uranium et 46 % de la charge en thorium des résidus en place.

Les données disponibles indiquent que l'entreposage des résidus de Niocan n'augmenterait pas la radioactivité à la surface du site SLC. Leur radioactivité serait moindre que celle des stériles de SLC et des affleurements rocheux autour des fosses. Elle serait vraisemblablement moindre ou, dans le pire cas, similaire à celle des résidus de SLC et aurait pour effet de réduire globalement le niveau de radioactivité à la surface du site SLC.

- ◆ *Puisque la radioactivité des résidus de Niocan serait moindre ou équivalente à celle des résidus de l'ancienne mine SLC et que ces derniers sont, de façon significative, moins radioactifs que les stériles et les affleurements rocheux du site SLC, la commission en déduit que l'entreposage des résidus de Niocan sur le site SLC aurait pour effet d'y abaisser la radioactivité de surface.*

La gestion des scories

Niocan prévoit récupérer au total 131 000 t de concentré de pyrochlore, qui lui permettrait, après y avoir ajouté du fer, de l'aluminium et du sodium, de produire 71 120 t de ferroniobium. Ce procédé générerait également 180 000 t de scories (documents déposés DA28, DB16, p. 3 et PR3, p. 6.10). Lors de la fusion qui permet de séparer le niobium de la scorie, la quasi-totalité des radioéléments présents dans le pyrochlore se trouvent incorporés dans la scorie. L'analyse du ferroniobium produit par Niobec confirme la très faible radioactivité du produit final commercialisé (document déposé DB46.1, échantillons E-51929 et E-51979). Inversement, les scories montrent des niveaux de radioactivité relativement élevés. Ainsi, les coefficients d'activité radioactive totale de scories générées à l'usine de la mine Niobec sont de 41,4 et 47,8 (*ibid.*, échantillons S00-07022 et S00-07023). Quant à ceux de trois échantillons prélevés sur le site SLC par Niocan, ils sont respectivement de 26, 51,5 et 81,4 (document déposé DA21, p. 10). Toutes ces scories montrent un coefficient d'activité de quelques dizaines de fois plus élevé que le seuil fixé pour être considérées comme matière radioactive d'après le *Règlement sur les matières dangereuses*.

Les scories ayant été vitrifiées par un procédé de pyrométallurgie à très haute température, comme à Niobec, elles seraient pratiquement imperméables aux liquides et aux gaz et très peu lixiviables (document déposé DA17, p. 2). Tant qu'elles demeurent sous forme de blocs vitrifiés, leur interface avec l'air et l'eau se limite aux faces extérieures des blocs et le radon et autres radioéléments y demeureraient emprisonnés. À mesure qu'elles seraient générées, les scories seraient envoyées sous terre grâce à une chute à scories pour être incorporées au remblai en pâte destiné au remplissage des chantiers d'exploitation (M. Richard Faucher, rencontre du 21 juin 2002). Les scories compteraient pour 2 % de la masse du remblai en pâte (document déposé DB16, p. 5). Aux yeux de la commission, il apparaît souhaitable que, lors de leur transport entre le creuset de fusion du ferroniobium et l'usine souterraine de remblais en pâte, Niocan minimise la fragmentation des scories afin de limiter leur surface externe et de restreindre la quantité de fins débris et de poussières.

- ◆ *La commission note que, lors de la production du ferroniobium, la quasi-totalité des substances radioactives présentes dans le concentré de pyrochlore s'accumulent dans les scories. Elle constate que le coefficient d'activité des scories est considérablement plus élevé que le seuil définissant une matière radioactive dans le Règlement sur les matières dangereuses. Aussi, la commission trouve adéquat que les scories soient acheminées sous terre au fur et à mesure et ne soient pas entreposées en surface.*

Des tests de lixiviation ont été menés sur des échantillons de scories des mines SLC et Niobec. Les échantillons sont broyés et offrent alors une surface de contact nettement supérieure à celle des blocs de scories. L'échantillon de scories de la mine SLC soumis au test était celui dont le coefficient d'activité était le plus faible, soit 26. Le coefficient d'activité de son lixiviat ne dépassait pas 0,014. Il demeurait donc inférieur au seuil de 0,05 au-delà duquel le matériau source du lixiviat aurait été considéré comme présentant un risque élevé et aurait requis des mesures d'imperméabilisation pour la protection des eaux souterraines (document déposé DA21, p. 3 et 10). Par ailleurs, les coefficients d'activité des lixiviats de deux échantillons de scories de la mine Niobec étaient de 0,0013 et 0,1349 (document déposé DB46.1, échantillons Lixi-P020419 et Lixi S-3). Un des deux lixiviats présentait donc un coefficient d'activité presque trois fois supérieur au seuil de 0,05.

Ainsi, ce résultat indique que, une fois broyée, une partie des scories de la mine Niobec seraient suffisamment lixiviables pour être considérées comme substance radioactive offrant un risque élevé. Il montre également que le potentiel de lixiviation peut varier substantiellement d'un échantillon à l'autre. Pour la commission, les résultats de lixiviation des scories de Niobec suggèrent que plusieurs échantillons pourraient être requis afin de caractériser adéquatement le potentiel de lixiviation radioactive des scories de Niocan et que le seul test effectué est insuffisant. Elle ne peut donc pas apprécier ce potentiel sur la base d'un seul échantillon de scories du site SLC.

- ◆ *La commission reconnaît que les blocs de scories sont formés d'une substance vitrifiée très stable chimiquement et pratiquement imperméable aux gaz et aux liquides. Elle note cependant que certaines scories présentent un potentiel de lixiviation radioactive. Aussi juge-t-elle souhaitable que Niocan minimise la fragmentation des blocs de scories et gère de façon sécuritaire les poussières et les fragments de scories.*

L'inclusion des scories au sein du remblai cimenté à raison d'une partie pour cinquante aurait pour effet de les isoler dans une gangue pratiquement imperméable. Une fois la mine inondée au terme de sa période d'exploitation, le remblai en pâte durci restreindrait considérablement, sinon totalement, leur contact avec les eaux souterraines. Grâce à ce mode de gestion, les radioéléments contenus dans les scories seraient immobilisés et retournés dans le milieu d'où ils auraient été extraits.

- ◆ *La commission est d'avis que l'enfouissement souterrain des scories de l'usine de Niocan dans une gangue de remblai en pâte cimenté contribuerait à les isoler et à minimiser leur contact avec l'eau souterraine. Elle considère qu'il s'agit d'un mode de gestion prudent et sécuritaire qui présenterait très peu de risque de contamination radioactive des eaux souterraines et contribuerait à réduire davantage la mobilité environnementale des radioéléments.*

L'enfouissement des scories de la mine SLC

Niocan estime entre 4 000 et 6 000 t la masse de scories abandonnées sur le site de la mine SLC, où se trouvent également un certain nombre de barils, en bonne partie éventrés, contenant des matériaux sableux potentiellement contaminés. Leur contenu a été estimé visuellement à quelque 2 000 t. Niocan propose de prélever les scories et les barils laissés sur le site SLC et de les enfouir dans sa mine en les intégrant au remblai en pâte. Compte tenu qu'une certaine quantité de sol adjacent ne pourrait être séparée adéquatement de ces matériaux, Niocan évalue entre 8 000 et 10 000 t la masse totale à prélever sur le site SLC (documents déposés DB1, p. 1 et DB16, p. 3).

Les coefficients d'activité évalués sur des scories du site SLC varient entre 26 et 81, celles-ci sont considérées comme des matières dangereuses résiduelles en vertu du *Règlement sur les matières dangereuses* (documents déposés DA21, p. 10 et DB1, p. 1). Les coefficients d'activité de deux échantillons du contenu des barils étaient de 1,2 et 1,3 (document déposé DQ1.2, p. 2-3). Leur radioactivité serait légèrement plus élevée que celle des résidus et du même ordre que celle des stériles du site SLC. Selon Niocan, il pourrait s'agir du sable utilisé dans les creusets de fusion du ferroniobium comme réfractaire thermique. Si c'était le cas, ils seraient susceptibles de contenir quelques fragments résiduels de scories.

La gestion souterraine des scories et des sables des barils du site SLC serait similaire à celle des scories de l'usine Niocan et s'étalerait sur une période de trois à cinq ans (documents déposés DA29, p. 1-4 et DQ1.1, p. 3). Les scories du site SLC seraient chargées dans des camions et transportées jusqu'à la chute à scories de la mine Niocan. Leur déplacement nécessiterait quelque 200 chargements de camion à raison de 33 t à la fois. Quant au contenu des barils et au sol, ils seraient ensachés et descendus par camion directement dans la mine Niocan par la rampe d'accès. Tous ces matériaux seraient incorporés dans le remblai en pâte. La masse de scories et autres déblais récupérés du site SLC équivaldrait à environ 5 % des scories que générerait l'usine de Niocan et compterait pour seulement 0,1 % de la masse totale de remblai en pâte.

- ◆ *La commission est d'avis que l'enfouissement des scories de l'ancienne mine SLC dans la mine Niocan au sein d'un remblai en pâte cimenté représente un mode de disposition sécuritaire. Elle constate que leur récupération contribuerait à réduire la radioactivité du site SLC.*

En bref...

L'exploitation de la mine Niocan apporterait à la surface quelque 14,7 millions de tonnes de matériaux constitués à 98,7 % de minerai, à 0,7 % de stériles et à 0,6 % de dépôts meubles. Ces matériaux comprendraient environ 278 t d'uranium et 2 341 t de thorium contenus à 99 % dans le minerai et presque entièrement compris dans des cristaux de pyrochlore.

Si, comme le prévoit Niocan, 75 % du pyrochlore était récupéré dans le concentré, près de 74 % des radioéléments s'y trouveraient également. Au terme du procédé, la quasi-totalité de ces radioéléments seraient concentrés dans les scories, lesquelles seraient retournées sous terre. Près de 25 % des radioéléments demeureraient dans les 14,4 millions de tonnes de résidus et plus de la moitié de ces résidus seraient envoyés dans la mine sous forme de remblai en pâte. Enfin, une proportion des stériles excavés seraient également enfouis sous terre.

Au total, près de 88 % de la charge radioactive extraite de la mine serait donc retournée sous terre. Celle laissée en surface se trouverait principalement dans les résidus entreposés sur le site SLC (11 %), qui seraient de deux à quatre fois moins radioactifs que la carbonatite. La charge résiduelle (1 %) serait dans les stériles et le till disposés sur les sites Niocan et SLC.

L'entreposage en surface de stériles et de résidus et l'enfouissement proposé dans la mine Niocan de ces matériaux et des scories ne devraient pas présenter de risque de contamination radioactive tant pour les eaux souterraines que les eaux de surface. Cependant, l'échantillonnage rudimentaire et le petit nombre de tests effectués sont insuffisants pour confirmer l'absence de potentiel de lixiviation. À cet égard, Niocan devrait minimiser la fragmentation des blocs de scories et gérer de façon sécuritaire les poussières et les fragments de scories.

Sur le site SLC, l'établissement d'un parc à résidus de même que l'entreposage de résidus dans les fosses et le parc auraient pour effet de réduire le niveau de radioactivité ambiant à la surface du terrain. Sur le site Niocan, l'usage de stériles comme matériaux de remblai pour diverses infrastructures devrait rehausser par endroits le niveau de radioactivité du sol. Le niveau maximal atteint serait toutefois comparable au niveau de radioactivité naturel observé près des affleurements de carbonatite. La construction des bâtiments de la mine sur des assises de stériles nécessiterait l'application de mesures préventives contre les infiltrations de radon.

Chapitre 4 **La radioactivité des eaux de surface et souterraines**

La commission examine dans le présent chapitre l'impact du projet sur la teneur en radioéléments des eaux de surface et souterraines dans la région à l'étude. Deux composantes du projet sont évaluées à cette fin : le pompage des eaux de mine, ou eaux d'exhaure, nécessaire à l'assèchement des galeries et les rejets d'eaux en provenance du parc à résidus. L'évaluation tient compte uniquement de l'uranium en raison de la faible activité et de la mobilité réduite du thorium dans l'eau. D'ailleurs, le ministère de l'Environnement a fixé un objectif environnemental de rejet seulement pour l'uranium. Aux concentrations trouvées dans les eaux de surface et souterraines à Oka, l'uranium est plus toxique par sa chimie que par sa faible radioactivité (document déposé DB18, p. 8). Pour cette raison, sa concentration est exprimée en mg/l et non en Bq/l comme pour les autres substances radioactives (*ibid.*).

Les eaux d'exhaure

Le pompage des eaux d'exhaure a deux effets potentiels : il peut influencer sur la qualité des eaux souterraines et il peut amener en surface des radioéléments en suspension ou en solution dans les eaux de mine (figure 6). Ces eaux proviendraient essentiellement d'infiltrations d'eau souterraine à l'intérieur de la mine, que le promoteur estime à environ 2 500 m³/j (104 m³/h) lorsque la mine aurait atteint sa profondeur maximale (document déposé PR3, p. 5.18). L'addition des eaux nécessaires à l'exploitation de la mine porterait le débit des eaux d'exhaure à environ 145 m³/h (figure 7).

Toutes ces eaux seraient acheminées au bassin de sédimentation (document déposé PR3, p. 6.4). Une partie (50 m³/h) serait utilisée pour le procédé dans l'usine, tandis que des quantités indéterminées pourraient, sur demande, servir pour l'agriculture et, occasionnellement, pour la protection contre les incendies (*ibid.*, p. 5.22). La partie non recyclée des eaux d'exhaure formerait l'effluent minier qui serait déversé dans le ruisseau Rousse à un débit maximal de 95 m³/h (figure 7). Le ministère de l'Environnement a retenu cette valeur dans son calcul de l'objectif environnemental de rejet pour l'uranium qui serait déversé dans le ruisseau Rousse (document déposé DB88, p. 1).

Niocan a obtenu quatre valeurs pour l'uranium dans trois puits privés situés à proximité de sa propriété et qui atteignent des profondeurs maximales variant entre 50,6 et 116,1 m (tableau 7).

Tableau 7 Caractéristiques et teneurs en uranium des eaux souterraines au voisinage du site Niocan

Paramètres	Puits privé n° 1	Puits privé n° 2		Puits privé n° 3
Année	1999	1999	2002	1999
Profondeur du roc (m)	6,1	23,8	23,8	24,4
Profondeur totale (m)	50,6	111,9	111,9	116,1
Uranium (mg/l)	0,01	0,051	0,052	0,024

Source : document déposé DA4, tableau 1, p. 1 et tableau 2, p. 3.

Le radium et les radioéléments en amont du radium dans la séquence de l'uranium étaient sous la limite de détection dans l'eau de ces puits (document déposé DA4, p. 6). Leur très faible concentration mettrait en évidence qu'il y a dans l'eau souterraine un déséquilibre géochimique du radon en solution avec le radium-226 et l'uranium-238. Au passage de l'eau à la surface du roc, le radon passerait en solution beaucoup plus facilement que le radium dont il provient par désintégration (*ibid.*). Dans son analyse, la commission a estimé que tout le radon présent dans l'eau d'infiltration était dégazé, et il a été inclus dans l'estimation de l'activité de l'air expulsé par la ventilation de la mine (voir chapitre 5). En conséquence, l'activité résiduelle de l'eau d'exhaure proviendrait principalement de l'uranium.

Niocan a retenu la valeur de 0,05 mg/l comme teneur maximale en uranium des eaux d'exhaure qui seraient rejetées dans ce ruisseau. Elle estime qu'avant le début de l'exploitation de la mine, soit pendant le creusage du puits et de la rampe d'accès (année 0 du projet), l'eau pompée proviendrait des zones les plus minéralisées. Les débits seraient alors moindres que pendant l'exploitation subséquente et une partie relativement importante des eaux d'infiltration aurait circulé à travers les gisements. Les teneurs attendues en uranium des eaux d'exhaure seraient alors d'environ 0,05 mg/l. Cette teneur se maintiendrait au cours des deux premières années d'exploitation. Elle devrait tendre vers 0,02 mg/l pendant le reste du projet, à part une hausse temporaire à 0,025 mg/l au début de la deuxième phase du projet, au moment du creusage en profondeur du puits et de la rampe. Durant cette étape, une partie des eaux d'exhaure émaneraient des zones minéralisées (document déposé DA20, p. 5-6).

La Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides a, en 1999, mesuré les concentrations d'uranium dans l'eau non traitée de 21 puits localisés dans le roc de la carbonatite (document déposé DQ1.2, p. 13). L'analyse de ces données montre une teneur médiane en uranium de 0,011 mg/l, une teneur moyenne de 0,016 mg/l et une teneur maximale de 0,066 mg/l (M. Yves Thomassin, réunion du 21 juin 2002). Le promoteur prévoit qu'après les premières années d'exploitation de la mine, les teneurs en uranium des eaux d'exhaure diminueraient pour s'approcher des valeurs régionales mesurées dans la carbonatite. La commission note que le promoteur suppose ici que la teneur en uranium de la carbonatite est plus faible à l'extérieur des gisements. Elle considère

cependant que la concentration d'uranium de ces eaux serait largement dépendante de la présence éventuelle de zones minéralisées dont la distribution est mal connue.

Figure 6 Schéma de la circulation des eaux potentiellement contaminées par des radioéléments

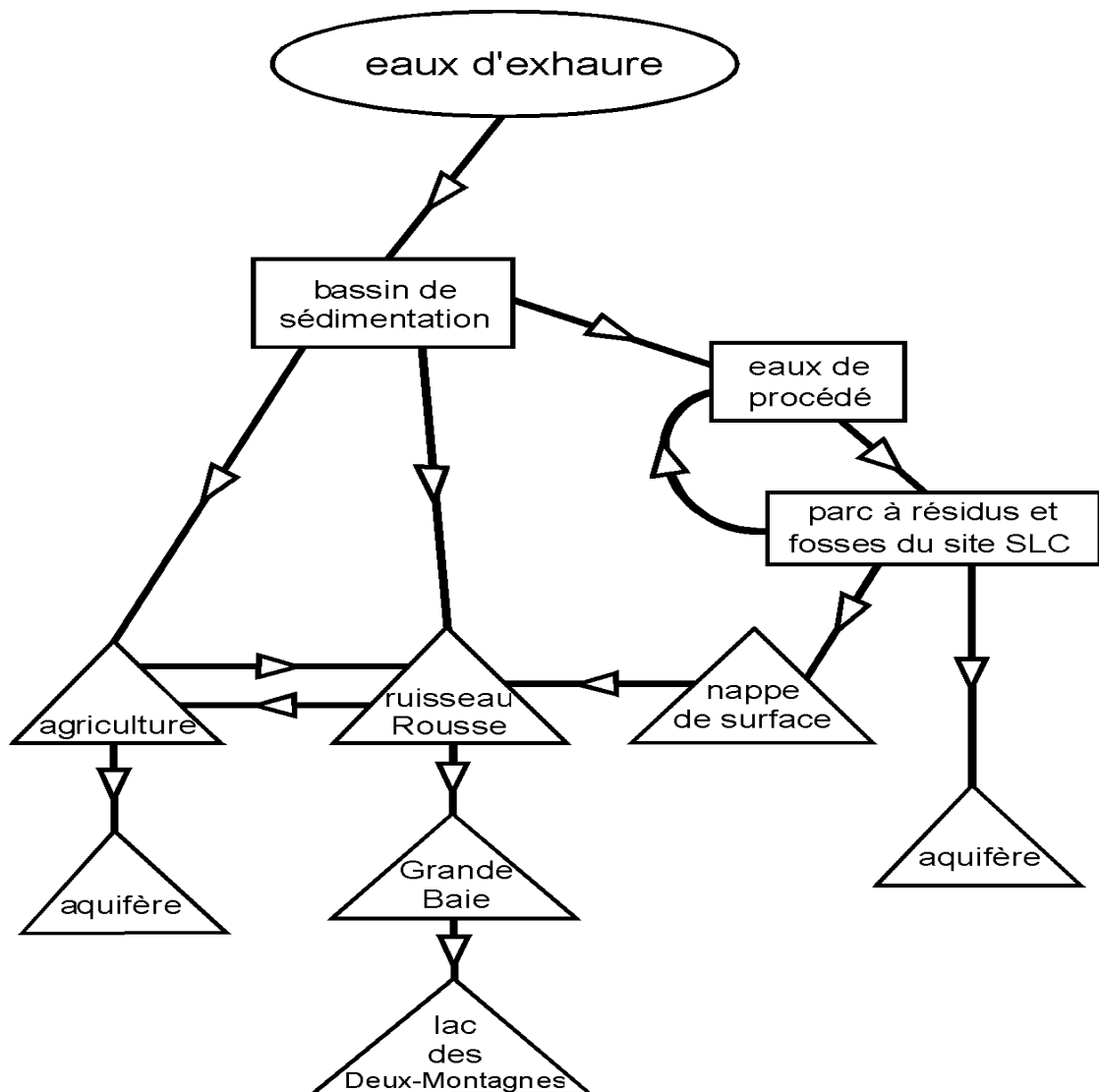
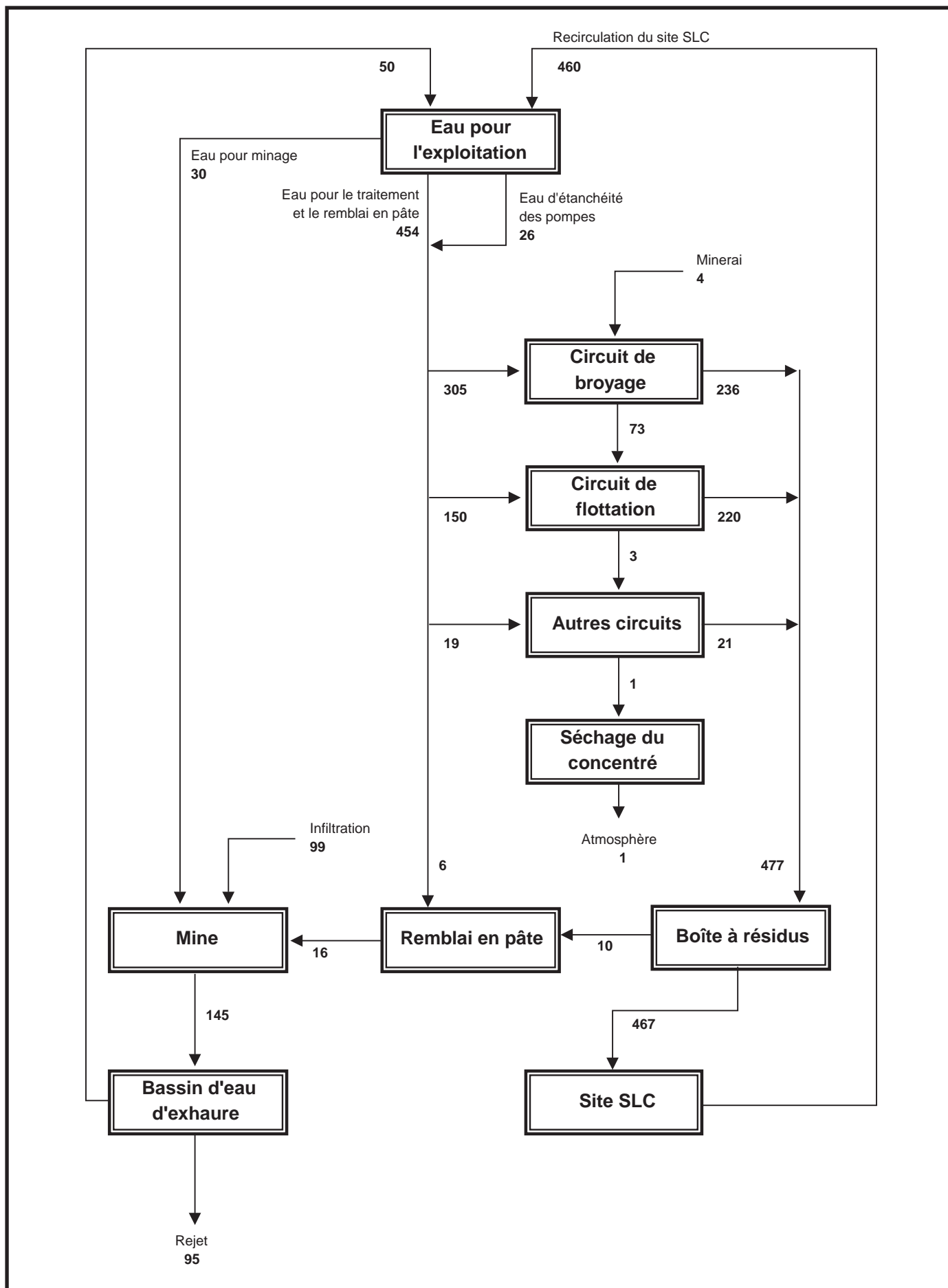


Figure 7 Bilan des eaux sur une base annuelle en m³/h



Source : adaptée du document déposé PR3, p. 6.5.

Pour estimer l'activité des eaux d'exhaure, le promoteur a tenu compte uniquement de l'uranium présent naturellement dans les eaux d'infiltration. Il n'a pas fait mention d'une possible contamination par des radioéléments qui pourraient être produits mécaniquement ou chimiquement par les activités minières. Pourtant, le promoteur indique que les eaux d'exhaure auraient une concentration en matières en suspension d'environ 100 mg/l alors que l'aquifère de la carbonatite est dépourvue de solides en suspension (document déposé PR3.2, p. 8 et M. Denis Isabel, réunion du 21 juin 2002). Il faut en déduire que ces matières en suspension proviennent des fins débris de roche produits lors de l'extraction du minerai et véhiculés par les eaux de minage. Selon la commission, il faut ajouter l'apport en uranium particulière lié à ces fins débris de roche à celui qui est en solution naturellement dans les eaux d'infiltration.

Par ailleurs, les rapports d'expertise font mention que l'assèchement de la mine et l'exposition des roches uranifères à l'air ambiant feraient en sorte qu'une partie de l'uranium présent sur les parois de la mine et le long des fractures dans la roche serait oxydée au contact de l'air, ce qui augmenterait sa solubilité. Par conséquent, une certaine quantité d'éléments radioactifs pourrait être lessivée et entraînée hors de la mine par les eaux d'exhaure (documents déposés DB84, p. 1 et DB87, p. 4).

- ◆ *La commission estime que les teneurs en uranium prévues dans les eaux d'exhaure de la mine projetée à Oka sont des valeurs minimales parce qu'elles représentent uniquement le niveau naturel observé dans l'eau de la carbonatite. Ces valeurs ne tiendraient pas compte des quantités d'uranium mobilisées mécaniquement ou chimiquement lors de l'extraction du minerai.*

Le bassin de sédimentation

Une première décantation aurait lieu dans un bassin de pompage souterrain. À la sortie de la mine, les eaux auraient une teneur en matières en suspension maximale de l'ordre de 100 mg/l (document déposé DB9, p. 7). Elles seraient pompées vers un bassin de rétention comprenant deux sous-bassins. Les particules minérales fines décanteraient dans le premier bassin durant une période moyenne d'environ 48 heures (document déposé PR3, p. 5.22). Les boues accumulées, contrairement aux stériles plus grossiers et peu réactifs, peuvent par échange ionique s'enrichir en éléments radioactifs par adsorption de l'uranium transporté en solution. Ce phénomène d'adsorption dynamique permettrait d'abord le transfert d'une partie de l'uranium en solution dans les eaux souterraines vers les particules solides contenues dans les eaux d'exhaure. Le captage de l'uranium en solution sur la phase solide en suspension se poursuivrait ensuite pendant plusieurs heures dans les bassins de sédimentation.

Selon un expert consulté, les particules d'uranium dans les eaux d'exhaure représentent une plus grande fraction de la radioactivité que l'uranium dissous. Ainsi, la décantation des particules solides réduirait la radioactivité de l'effluent minier qui serait rejeté dans le ruisseau Rousse (document déposé DB89, p. 2). Pour la commission, la décantation des

matières en suspension entraînerait dans les sédiments une partie indéterminée de l'uranium contenu dans les eaux d'exhaure. Cependant, la décantation dans le bassin extérieur permettrait d'obtenir à l'effluent final une teneur inférieure à 10 mg/l de matières en suspension. Elle laisserait au fond du bassin un volume annuel de 76 m³ de sédiments, soit environ 1 300 m³ pour toute la durée de l'exploitation (document déposé PR3.2, p. 8). Le promoteur propose d'en disposer dans le parc à résidus, soit une quantité minimale représentant moins de 0,1 % du volume total des résidus acheminés au site SLC.

Les teneurs moyennes en uranium (0,04 mg/l) et en matières en suspension (<10 mg/l) prévues par Niocan dans l'effluent minier laissent supposer que le passage des eaux d'exhaure dans les bassins de sédimentation permettrait de décanter une quantité d'uranium lié aux particules en suspension équivalente à celle qui serait introduite dans les eaux d'infiltration lors de l'extraction du minerai. Ainsi, la concentration en uranium dans l'effluent minier serait comparable à celle observée dans l'aquifère de la carbonatite près de la mine (documents déposés PR3, p. 5.22 et DB9, tableau 1). La commission croit également, à l'instar de Niocan, que le contenu en uranium des eaux rejetées dans l'environnement serait comparable au niveau actuellement observé dans les puits de certaines résidences voisines et dans les fosses du site SLC.

- ◆ *La commission estime que le bassin de sédimentation ferait office de système de traitement primaire par décantation physique des fins débris de roche générés lors de l'extraction du minerai et enrichis en radioactivité par l'adsorption de l'uranium présent en solution dans les eaux d'exhaure. Par conséquent, le bassin de sédimentation réduirait la mobilité des radioéléments introduits dans l'environnement par l'activité minière projetée à Oka.*

Le milieu récepteur

L'effluent de la mine à Oka se déverserait dans le ruisseau Rousse qui se jette dans le marais de la Grande Baie (figure 1). Deux échantillons prélevés par Niocan en septembre 1998 et novembre 2000 à quelques centaines de mètres en amont du site ont servi à caractériser la qualité des eaux du ruisseau Rousse (document déposé PR3, p. 3.12 et 3.13). En ce qui a trait à l'uranium total, l'un des deux résultats montre une valeur sous la limite de détection analytique (<0,005 mg/l) alors que l'autre atteindrait 0,006 mg/l (*ibid.*, tableau 3.5, p. 3.16). Sur la base de ces données fragmentaires, la teneur en uranium du ruisseau Rousse semble être très faible, de l'ordre du dixième de celle mesurée dans l'aquifère de la carbonatite.

Cependant, le nombre d'échantillons apparaît nettement insuffisant pour caractériser adéquatement le niveau et la variabilité naturelle des radioéléments présents dans les eaux de surface. Les travaux menés par Environnement Canada dans la rivière des Outaouais, à la tête du lac des Deux-Montagnes, illustrent bien les difficultés inhérentes au dosage et à l'étude de la variabilité des métaux présents à l'état de trace dans les cours d'eau dont le régime hydrique varie selon les saisons. Pour bien cerner l'évolution saisonnière de la

qualité de l'eau à cet endroit de la rivière des Outaouais, il a fallu un échantillonnage tous les 14 jours, auquel se sont ajoutés des échantillons prélevés au moment des crues, pour un total de 44 visites de terrain au cours d'une seule année¹. Aux yeux de la commission, une caractérisation de la variabilité de l'uranium dans un cours d'eau en milieu agricole suppose un effort beaucoup plus considérable que celui consenti par Niocan dans la préparation de son étude environnementale.

Dans le but d'examiner l'impact des rejets d'eaux d'exhaure sur le milieu récepteur, il faut confronter les données disponibles aux principaux facteurs qui pourraient influencer la teneur en uranium dans le ruisseau Rousse au cours des diverses saisons.

La partie basse du bassin versant du ruisseau Rousse est d'affectation agricole alors que la forêt occupe surtout les parties hautes. Dans les cours d'eau en milieu agricole, les concentrations en solides en suspension affichent souvent des valeurs très élevées en raison de l'érosion des sols dénudés. Par exemple, la rivière du Nord, qui débouche à la tête du lac des Deux-Montagnes et draine un territoire largement agricole dans la région de Lachute, affiche des variations de turbidité qui épousent presque parfaitement celles des débits. Le ministère de l'Environnement du Québec explique cette situation par le ruissellement de la pluie et de l'eau de fonte des neiges qui entraîne les particules des terres agricoles. Dans la rivière du Nord, les mesures les plus élevées de turbidité correspondent à la crue printanière, et les plus faibles sont enregistrées en période d'étiage, sauf lors de pluies abondantes et subites.

Ainsi, la qualité des cours d'eau en milieu agricole dans la région d'Oka pourrait changer très rapidement en fonction des variations saisonnières et journalières de la charge en matières en suspension causées par l'érosion des terres agricoles. Les teneurs en uranium des terres en culture du bassin versant du ruisseau Rousse oscilleraient entre 1,5 et 3,7 mg/kg, avec une valeur moyenne d'environ 2 mg/kg (document déposé DB13, tableau 4, p. 10 et M. Serge Lavoie, réunion du 21 juin 2002). Il est probable que cette valeur moyenne soit aussi celle des sédiments du ruisseau Rousse. La commission note ici que la limite de détection retenue par Niocan pour les analyses de sédiments était bien supérieure, soit 50 mg/kg (document déposé PR3, tableau 3.6).

Par ailleurs, Niocan estime à 0,027 m³/s le débit théorique d'étiage estival du ruisseau Rousse, tandis que le débit de crue lors de la fonte printanière d'avril serait de 6 m³/s, soit un débit qui est au moins 200 fois plus élevé que celui de l'étiage de juillet (document déposé DB15, tableau 1). Afin de calculer la concentration maximale attendue de l'uranium dans le ruisseau Rousse lors d'un événement hydrologique dominant, on peut utiliser la teneur moyenne en uranium de 2 ppm dans les sols et une concentration très élevée de 1 000 ppm de particules en suspension dans le ruisseau. La concentration

1. D. COSSA *et al.*, *Bilan massique des contaminants chimiques dans le fleuve Saint-Laurent*, Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, rapport scientifique et technique ST-163, 1998, 258 pages.

annuelle maximale en uranium serait de l'ordre de 0,002 mg/l. En fait, les ruisseaux échantillonnés par Niocan affichaient une concentration maximale de solides en suspension de 50 mg/l ; la teneur attendue de l'uranium dans les eaux de surface en provenance des mêmes sols serait alors très faible, de l'ordre de 0,0001 mg/l (document déposé PR3, tableau 3.5). Ces teneurs en uranium sont bien en deçà de la limite de détection retenue par Niocan pour les analyses de l'eau, qui était au mieux de 0,005 mg/l (*ibid.*).

En revanche, il faut rappeler que la teneur en uranium de la nappe dans la carbonatite oscille entre 0,01 et 0,07 mg/l. S'il existait une recharge importante des eaux de surface par l'eau de la carbonatite, il en résulterait des teneurs en uranium nettement plus élevées dans le ruisseau Rousse. Elles demeureraient presque toujours au-dessus du seuil de détection et, en période d'étiage, s'approcheraient de celles de la nappe de la carbonatite. Il y a lieu de noter que de telles concentrations élevées en uranium n'ont pas été observées par Niocan dans le ruisseau Rousse, tout comme pour les deux petits ruisseaux sur le site SLC (*ibid.*). Par ailleurs, la teneur en uranium de l'eau d'un puits de surface creusé dans un horizon graveleux des dépôts meubles au-dessus de la carbonatite était sous la limite de détection de 0,005 mg/l (*ibid.*, p. 3.65 et tableau 3.12). La commission en conclut que l'eau de la carbonatite aurait actuellement peu d'influence sur la radioactivité des eaux de surface et que le ruisseau Rousse serait largement tributaire de la nature géochimique des sols de son bassin de drainage.

En présumant que tout l'uranium rejeté au ruisseau Rousse parvienne à la Grande Baie, la commission estime que la charge annuelle ainsi amenée serait de l'ordre de 20 à 30 kg. Elle s'ajouterait à celles provenant naturellement du ruisseau Rousse et des autres tributaires de la baie. L'absence de données sur l'apport en uranium dans la baie et ses tributaires ne permet toutefois pas d'évaluer l'effet potentiel de cet ajout.

- ◆ *La commission constate que le faible échantillonnage et les limites de détection retenues pour le dosage de l'uranium dans l'eau et les sédiments du ruisseau Rousse et des autres ruisseaux exposés aux rejets de la mine projetée à Oka n'ont pas permis de caractériser les milieux récepteurs. Selon la commission, le ministère de l'Environnement aurait avantage à s'assurer que cette question soit documentée dans la perspective d'un suivi.*

Les usages des eaux de l'effluent minier

Niocan estime que la teneur en uranium de l'effluent final acheminé au ruisseau Rousse serait de 0,05 mg/l au cours de la première phase du projet et de 0,025 mg/l durant la deuxième phase (document déposé DA20, p. 8). Ces valeurs seraient de l'ordre de 12 à 25 fois supérieures à l'estimation théorique de 0,002 mg/l calculée par la commission comme teneur maximale actuelle en uranium du ruisseau Rousse. La commission note que la concentration attendue en uranium à l'exutoire du bassin de traitement avoisinerait la norme pour l'eau potable fixée à 0,02 mg/l dans le *Règlement sur la qualité de l'eau*

potable [Q-2, r. 18.1.1]. Par ailleurs, elle serait nettement inférieure à l'objectif environnemental de rejet que le ministère de l'Environnement a établi à 0,14 mg/l sur la base du critère pour la protection de la vie aquatique fixé à 0,1 mg/l. Le Ministère a défini l'objectif très près de ce critère en raison du faible pouvoir de dilution du ruisseau Rousse en période d'étiage. Il souligne que l'uranium est plus toxique par sa chimie que par sa radioactivité. Par conséquent, il est d'avis que le respect de l'objectif de rejet permettrait de prévenir à la fois les effets liés à la toxicité chimique et à la radioactivité de l'effluent minier sur la vie aquatique (document déposé DB88, p. 1).

- ◆ *La commission estime que le rejet des eaux d'exhaure dans le ruisseau Rousse entraînerait une augmentation de sa teneur en uranium. Cette augmentation serait acceptable puisque l'activité de l'uranium s'avère faible et que la concentration attendue avoisinerait la norme pour l'eau potable et serait nettement inférieure à l'objectif environnemental de rejet fixé par le ministère de l'Environnement pour la protection de la vie aquatique.*

Niocan propose dans son étude environnementale qu'une partie des eaux du bassin de sédimentation soit utilisée en agriculture si certains producteurs étaient lésés par un éventuel rabattement des eaux souterraines (document déposé PR3, p. 5.22). Dans le secteur immédiat de la mine projetée à Oka, l'eau puisée à partir d'étangs artificiels et de ruisseaux est largement utilisée à des fins agricoles, notamment dans les cultures maraîchères et fruitières (*ibid.*, p. 3.17). En revanche, l'utilisation de l'eau souterraine pour l'agriculture serait plutôt limitée et, exception faite d'une ferme laitière, elle servirait surtout aux serriculteurs qui s'approvisionnent à partir de puits artésiens (*ibid.*, p. 3.69).

Selon les estimations du promoteur, les teneurs en uranium dans l'effluent final de la mine projetée seraient du même ordre de grandeur que celle de l'eau de la carbonatite. Cependant, trois facteurs peuvent modifier, à la baisse ou à la hausse, la teneur en uranium dans l'effluent du bassin de sédimentation : la qualité des eaux d'infiltration, la mobilisation de l'uranium dans la mine et la décantation. Il est difficile à ce stade-ci de prévoir la teneur en uranium de l'effluent. Il faudrait donc se référer éventuellement aux résultats du suivi inhérent à l'application de l'objectif environnemental de rejet.

- ◆ *La commission estime que, si la teneur en uranium de l'effluent du bassin de sédimentation s'avérait être inférieure ou égale à celle de l'eau de la carbonatite, la faible radioactivité de cet effluent ne restreindrait pas son utilisation à des fins agricoles.*

L'impact du rejet de l'effluent minier sur les eaux du ruisseau Rousse est largement fonction de son pouvoir de dilution qui varie avec les apports hydriques du bassin versant, de même qu'avec la distance entre le point de rejet de l'effluent minier et le lieu d'un éventuel prélèvement d'eau à des fins agricoles. En temps normal, l'accroissement du niveau d'uranium dans le milieu récepteur serait faible, selon Niocan. Pour un étiage estival moyen, le promoteur estime à 0,005 mg/l la teneur en uranium dans le ruisseau

Rousse, en aval du point de rejet de l'effluent, lorsque le débit mensuel moyen atteint 0,14 m³/s, comme en juillet (document déposé DA20, tableau 3). Dans une situation extrême d'étiage estival, le débit du ruisseau Rousse serait de l'ordre de 0,027 m³/s, alors que celui de l'effluent minier atteindrait 0,016 m³/s, ce qui correspond à un facteur de dilution de l'effluent par le ruisseau récepteur de près de deux (document déposé DB15, tableau 1). La commission souligne cependant qu'en période d'étiage marqué le ruisseau fournit peu d'eau à l'agriculture.

- ◆ *La commission considère que l'eau du ruisseau Rousse qui serait puisée à des fins agricoles en aval du point de rejet de l'effluent de la mine projetée à Oka présenterait une teneur en uranium plus élevée que celles des eaux de surface actuellement. Sa radioactivité serait faible, inférieure à celle de l'eau puisée directement dans l'aquifère de la carbonatite, et en conséquence pourrait être utilisée aux mêmes fins agricoles. Toutefois, par mesure de prudence, un suivi de la qualité de cette eau s'impose.*

Les rejets dans l'environnement d'eaux en provenance du parc à résidus

Niocan prévoit qu'environ 55 % des résidus de traitement seraient utilisés pour le remblayage souterrain. Une partie du contenu en eau de ces résidus serait acheminée vers la fosse n°2 au site de la SLC. Les autres 45 % seraient acheminés sous forme de pulpe semi-liquide au site SLC. De la première à la treizième année d'exploitation de la mine, la pulpe serait déposée lors de la période chaude de l'année (8 mois/an) à l'intérieur d'un parc circonscrit par un système de digues ouvert sur la fosse n°2 ; elle serait rejetée directement dans la fosse n°2 durant la période froide (4 mois/an). Vers la huitième année d'exploitation, un système de digues serait aménagé autour de la fosse n°2, qui deviendrait alors un parc à résidus. De la quatorzième année à la fin de l'exploitation, tous les résidus seraient éliminés dans la fosse n°2 jusqu'à son comblement, puis dans la fosse n°1.

Le promoteur prévoit que les eaux contenues dans la pulpe de résidus du parc initial ruisselleraient vers la fosse n°2. Après une première décantation dans cette fosse, les eaux se déverseraient dans la fosse n°1 qui servirait de bassin de polissage. Comme les eaux de la fosse n°1 seraient circulées à nouveau vers le concentrateur, Niocan estime qu'il n'y aurait pas de déversement dans l'environnement sous forme d'un effluent minier au site SLC (document déposé PR3, p. 7.1-7.7). Néanmoins, le promoteur prévoit d'autres voies de pénétration dans l'environnement d'eaux issues de la pulpe de résidus, soit l'évacuateur de crue qui serait installé dans la fosse n°1 et l'exfiltration (35,2 m³/d) à travers les parois des fosses, les digues du parc à résidus et le fond même du parc. Les eaux de crues et une partie des exfiltrations seraient évacuées vers un ruisseau tributaire du ruisseau Rousse (*ibid.*, p. 7.6 et DB9, p. 6). La commission estime toutefois que des infiltrations d'eau pourraient également se produire sous le parc à résidus miniers vers la

nappe phréatique et l'aquifère du roc, notamment si le cône de rabattement atteignait le secteur du parc à résidus.

Des échantillons représentatifs des résidus analysés par Niocan montrent que la partie liquide de la pulpe contiendrait 0,008 mg/l d'uranium (*ibid.*, tableau 6.2). Par ailleurs, les eaux d'exfiltration afficheraient une teneur en uranium inférieure à 0,001 mg/l après leur séjour dans le parc à résidus (document déposé DB9, tableau 2). Toujours selon le promoteur, la teneur en uranium des eaux d'exfiltration après la lixiviation des résidus serait extrêmement faible, sinon inférieure au seuil de détection analytique, essentiellement pour deux raisons. En premier lieu, la majeure partie des radioéléments du minerai sont retenues dans le concentré de pyrochlore et seraient donc en très faible quantité dans les résidus. En deuxième lieu, les eaux d'exfiltration proviendraient principalement des eaux de ruissellement au droit des digues, d'où leur court temps de contact avec les résidus. De la même manière, les eaux de crue évacuées vers un petit ruisseau lors de la fonte des neiges et de fortes pluies auraient un temps de contact restreint avec les résidus (document déposé DB11, p. 2-3).

À cet égard, la commission note que la teneur en uranium des eaux d'exfiltration et de crue se comparerait à celle des eaux de surface, mais serait plus faible que celles mesurées dans l'aquifère de la carbonatite. Ainsi, l'infiltration éventuelle d'eaux de pulpe dans la nappe de l'aquifère par les fosses de la mine SLC ne présenterait pas un risque important de contamination radioactive des eaux souterraines. En outre, l'uranium présent dans les eaux d'exfiltration et du bassin de polissage (fosse n° 1) serait surtout sous forme de particules, ce qui réduirait sa mobilité dans les eaux souterraines.

- ◆ *La commission estime que les rejets dans l'environnement d'eaux de crue et d'exfiltration en provenance du parc à résidus de la mine projetée à Oka aurait un impact marginal sur la radioactivité des eaux de surface et souterraines en raison de leur faible teneur en uranium et de la mobilité réduite de l'uranium dans les sols.*

La conduite d'amenée de la pulpe de résidus et la conduite d'amenée de l'eau de la fosse n° 1 du site SLC vers l'usine seraient enfouies, sauf sur quelques mètres pour la traversée du ruisseau Rousse (document déposé PR3.2, p. 1). En cas de bris, un volume de pulpe ou d'eau s'échapperait dans l'environnement. La radioactivité de la partie solide de la pulpe est de deux à quatre fois moindre que celle du minerai, mais jusqu'à cinq fois celle des sols environnants. La partie liquide de la pulpe contiendrait environ 0,01 mg/l d'uranium (document déposé PR3, p. 6.7). La radioactivité de l'eau provenant de la fosse se situerait entre celle de l'eau de l'effluent du bassin et celle de l'eau souterraine.

Ainsi, selon la commission, l'impact le plus grand se produirait si le bris survenait dans le voisinage du ruisseau Rousse. Le bris de la conduite de pulpe aurait un impact d'ordre physique, pouvant occasionner un apport soudain de matières en suspension et même bloquer le cours d'eau. L'uranium et le thorium des particules de résidus étant peu mobiles chimiquement, l'impact sur la radioactivité de l'eau du ruisseau serait faible.

L'apport d'eau provenant du bris de l'une ou l'autre conduite aurait un impact sur les eaux de surface équivalent à celui des rejets d'eaux provenant du parc à résidus.

- ◆ *La commission recommande que le promoteur prépare un plan d'intervention pour faire face à un éventuel bris de l'une ou l'autre des conduites d'amenée entre le site SLC et le site Niocan.*

En bref...

L'activité minière contribuerait au largage d'une certaine quantité d'uranium dans l'environnement aquatique. L'importance des volumes d'eau en jeu, la faible radioactivité de l'uranium et sa mobilité réduite dans l'environnement feraient en sorte que le projet n'aurait pas d'impact mesurable sur les eaux souterraines.

Le projet aurait un faible impact sur la radioactivité naturelle des eaux de surface. Les données fragmentaires ne permettent pas une évaluation précise de cet impact, mais les usages actuels pour l'agriculture ne devraient pas être compromis. La radioactivité du ruisseau Rousse recevant l'effluent de la mine projetée augmenterait légèrement et de façon acceptable puisque la concentration de l'uranium attendue avoisinerait la norme pour l'eau potable et serait nettement inférieure à l'objectif environnemental de rejet fixé par le ministère de l'Environnement pour la protection de la vie aquatique. Par mesure de prudence, il apparaît toutefois qu'un suivi de la qualité de cette eau s'impose.

Chapitre 5 **La radioactivité des émissions atmosphériques**

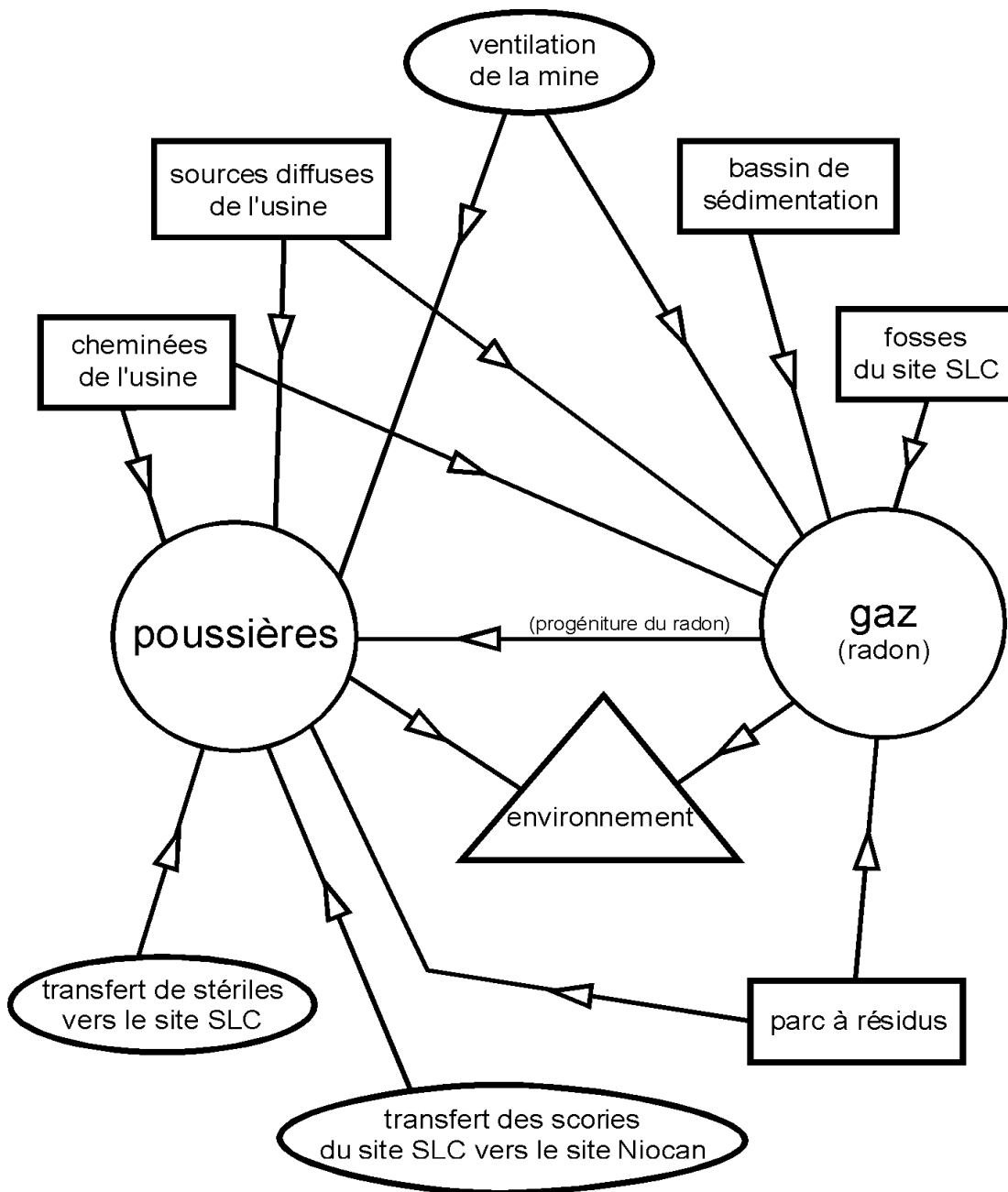
Dans le présent chapitre, la commission examine les impacts potentiels des radioéléments qui seraient émis dans l'atmosphère aux diverses étapes de la construction, de l'exploitation et de la fermeture de la mine projetée par Niocan. Les diverses sources potentielles de radioéléments émis dans l'atmosphère sont présentées et quantifiées. La commission dresse ensuite un bilan des émissions et les compare aux niveaux ambiants de radioactivité dans l'atmosphère et les sols de la région dans le but d'évaluer les effets potentiels du projet sur le milieu naturel, sur l'agriculture et sur les humains.

La figure 8 présente de façon schématique les diverses activités liées au projet qui seraient susceptibles de contribuer à l'émission de radioéléments dans l'atmosphère. Les contributions sont définies selon qu'elles seraient sous forme gazeuse ou sous forme particulaire. Les émissions sous forme de gaz sont essentiellement du radon généré par la désintégration naturelle du radium dans divers milieux aux différentes phases du projet. Les émissions de poussières sont constituées de particules résultant de la pulvérisation du roc et du broyage du minerai ; ces particules peuvent contenir de l'uranium et du thorium et les éléments radioactifs de leurs séquences de désintégration (voir tableau 1). Il convient également d'inclure dans les poussières les produits de la désintégration du radon, qui sont des solides.

La ventilation de la mine

Pour procurer en tout temps de l'air pur aux travailleurs sous terre, les installations souterraines pour l'exploitation de la mine de Niocan seraient dotées d'une soufflerie qui assurerait le remplacement continu de l'air dans les galeries et puits. La ventilation aurait un débit de 81 m³/s, et l'air vicié serait expulsé par une cheminée dont l'extrémité serait située à 40 m au-dessus du niveau du sol (documents déposés PR3, p. 5.18 et DB26, p. B-2). La ventilation de la mine constituerait, selon le promoteur, la source de radioéléments rejetés dans l'atmosphère la plus importante parmi les sources potentielles liées au projet. L'air émis contiendrait peu de poussières, mais la quasi-totalité du radon généré sous terre.

Figure 8 Schéma des sources potentielles d'émissions de radioéléments dans l'atmosphère



Le radon

La présence de radon dans les galeries constitue un problème commun à tous les types de mines souterraines, puisque le radon y est généré par la désintégration spontanée de l'uranium, un élément présent presque partout dans la croûte terrestre. Le radon expulsé de la mine de Niocan est formé sous terre par trois processus. Il s'agit, par ordre d'importance, du dégazage de l'eau souterraine, de la formation spontanée de radon à la surface du roc exposé à l'air le long des galeries, et du radon libéré par le forage, le dynamitage et le broyage du roc et du minerai.

Les émissions de radon par la ventilation de la mine

Le radon généré par chacune des sources souterraines, comme l'estime le promoteur, apparaît au tableau 8. Ces estimations proviennent de calculs basés sur plusieurs paramètres. En premier lieu, il faut se rappeler que le radon est issu directement de la désintégration du radium-226, lequel provient de l'uranium, parent de la chaîne de désintégration dont ils font tous deux partie. Il faut se rappeler également que, dans un roc naturel, l'activité des divers isotopes radioactifs qui font partie d'une chaîne de désintégration est la même. Par conséquent, le promoteur a évalué l'activité du radon dans l'air des galeries souterraines de la mine projetée à partir de celle de l'uranium dans le roc visé par son exploitation. Il a utilisé une teneur en uranium de 19 ppm, soit la valeur moyenne qu'il a estimée dans le minerai qu'il veut exploiter. Théoriquement, l'activité due à l'uranium dans un tel minerai est de 0,23 Bq/g (tableau 2). Le calcul de l'activité du radon générée par chacune des trois sources définies au tableau 8 se fait ensuite en plusieurs étapes.

Tableau 8 Estimation des émissions de radon dans l'atmosphère par la ventilation de la mine projetée par Niocan

Source	Origine du radon	Quantité émise (Bq/s)	%
Concassage du minerai	Pores du roc	$1,3 \times 10^3$	1,3
Eaux d'infiltration	Dégazage de l'eau	$8,0 \times 10^4$	76,4
Surfaces exposées des galeries	Radium-226	$2,3 \times 10^4$	22,3
Total		$1,0 \times 10^5$	100,0

Sources : documents déposés DB26 et DQ1.2.

Le concassage et le broyage du minerai libèrent une partie du radon généré à l'intérieur du roc. Ce radon demeure normalement captif dans les cristaux ou dans les pores (ou vides). Seul le radon présent dans les pores peut s'échapper du roc lorsque ce dernier est broyé. Selon la documentation scientifique et technique, environ 20 % du radon qui apparaît spontanément dans un roc se trouve dans les pores (citée dans le document déposé DQ1.2, p. 30-31). Le promoteur a estimé que tout ce radon serait libéré entièrement sous terre lors du broyage quotidien prévu de 2 500 t de minerai.

Le radon présent dans l'eau d'infiltration résulte du passage de cette eau souterraine dans les pores et les fissures du roc lors de son cheminement à travers la carbonatite. Sous l'effet de la pression, le radon dans les pores se dissout dans l'eau interstitielle. Pour le calcul de cette quantité de radon, le promoteur a d'abord considéré la densité et la porosité du roc, l'activité en uranium du minerai, ainsi que la proportion de radon généré qui se trouve dans les pores du roc (*ibid.*, p. 31). Ce premier calcul lui a permis d'évaluer l'activité du radon dans un mètre cube de roc à $2,76 \times 10^6$ Bq. Le promoteur a ensuite supposé que tous les pores du roc étaient saturés en eau, que l'eau, à la fin de l'exploitation, s'infiltrerait dans la mine à un rythme de $2\,500\text{ m}^3$ par jour, et que tout le radon dissous dans l'eau serait libéré à ce moment dans les galeries de la mine. Le calcul donne 8×10^4 Bq/s. Selon la commission, il s'agit d'une estimation maximale, puisque le calcul considère que la teneur en uranium dans toute la carbonatite à travers laquelle l'eau souterraine a cheminé est aussi élevée que celle du minerai, ce qui est peu probable.

La production de radon à partir des surfaces de roc mises à nu tout au long des galeries dépend, selon le promoteur, de divers facteurs tels que la densité, la porosité, le degré d'humidité et la fraction du radon produit au sein de la structure cristalline du roc qui peut effectivement diffuser dans les pores (*ibid.*, p. 32). Citant des documents techniques de l'ONU et d'autres références applicables à des mines d'uranium, le promoteur estime que la combinaison de ces facteurs conduit à un taux d'exhalation de radon sur les surfaces exposées de 1 Bq par mètre carré et par seconde pour chaque Bq/g de radium-226. Enfin, à partir d'une estimation de la surface maximale exposée pendant la période d'exploitation de $100\,000\text{ m}^2$, le promoteur obtient une quantité de radon émanant de cette source de $2,3 \times 10^4$ Bq/s. L'estimation étant basée sur la surface maximale exposée en cours d'exploitation, la commission considère que l'approche du promoteur est prudente. Enfin, les trois sources définies par le promoteur donnent une activité totale due au radon dans l'air des galeries de $100\,000$ Bq/s. Il estime que tout ce radon serait effectivement émis dans l'atmosphère par la ventilation de la mine.

- ◆ *La commission est d'avis que l'estimation des émissions de radon dans l'atmosphère de $100\,000$ Bq/s par la ventilation de la mine de niobium projetée à Oka est raisonnable et correspond à une valeur maximale.*

La dispersion du radon émanant de la ventilation de la mine

Afin d'évaluer l'effet du radon provenant de la ventilation de la mine sur la qualité de l'air ambiant extérieur, le promoteur a produit une étude de dispersion. Il a utilisé un modèle reconnu qui tient compte des caractéristiques de la cheminée (diamètre et hauteur), du taux d'émission, de la température des émissions et des données météorologiques de l'aéroport de Dorval (document déposé DB26). Le modèle permet de décrire la concentration attendue d'une substance émise dans l'air ambiant à un mètre au-dessus du sol.

Les résultats (figure 9) montrent que, sur l'air ambiant et sur une base annuelle, l'effet du radon émanant de la ventilation de la mine contribuerait pour 4 Bq/m^3 . Il se produirait à

une distance de moins de 1 km du point d'origine de la source (la mine), dans la direction nord-est, soit celle qui est influencée par les vents dominants. Dans la direction ouest, la contribution maximale serait de moins de 1 Bq/m³.

Selon la commission, ce type d'analyse représente une approximation et ne permet pas de déterminer avec précision la concentration de radon en un point donné autour de la mine projetée. En particulier, les collines du secteur avoisinant la mine, la météorologie locale, qui peut être différente de celle observée à Dorval, et les variations saisonnières pourraient modifier au jour le jour la dispersion du radon émis par la ventilation de la mine. La commission note que la cheminée serait à 40 m au-dessus du sol et que l'air ambiant a un grand pouvoir de dissolution.

Les poussières émises par la ventilation de la mine

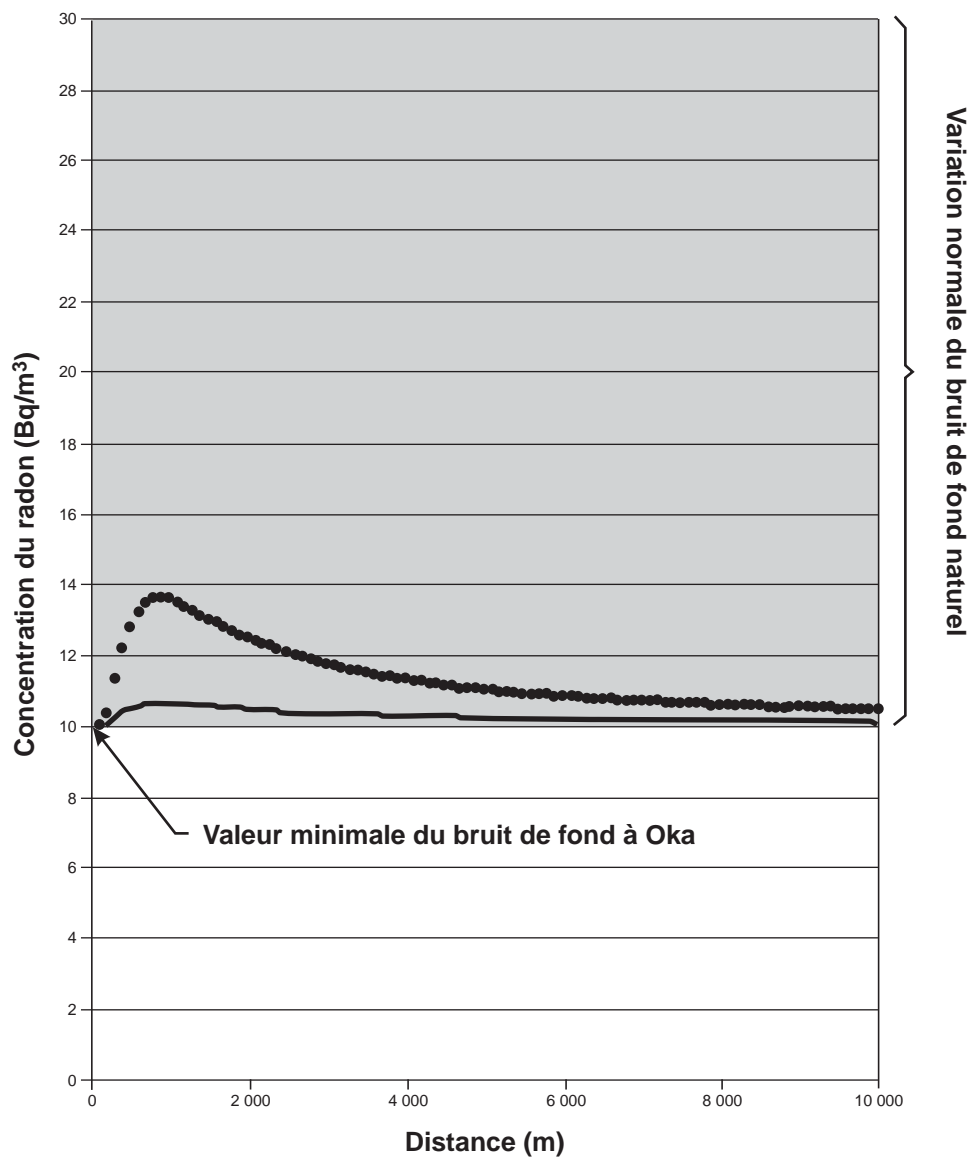
Selon le promoteur, bien que l'air à la sortie de la ventilation d'une mine ne soit pas filtré, sa charge en poussières est faible. Pour les estimer, il renvoie à des mesures effectuées à deux mines de taille considérable et qui ont donné des résultats de l'ordre de 1 mg/m³ (document déposé DQ1.2, p. 33). Or, selon le promoteur, la mine de Niocan sera plus humide et la charge en poussières devrait atteindre la moitié de cette valeur, soit 0,5 mg/m³. Cette estimation donnerait une quantité de 1 300 kg/an pour un taux de ventilation proposé de 81 m³/s. Si toutes ces poussières provenaient d'un minerai avec des teneurs de 19 ppm d'uranium et de 160 ppm de thorium, la ventilation émettrait quelque 0,03 kg d'uranium et 0,2 kg de thorium par an. Le promoteur juge ces quantités négligeables et la commission partage cette opinion.

Les cheminées de l'usine

Les émissions de radon émanant des cheminées de l'usine

Selon le promoteur, les cheminées des divers bâtiments de l'usine contribueraient peu à l'émission de radon. La seule source serait le minerai ramené des galeries souterraines. À l'aide d'un calcul analogue à celui qui a été fait pour le concassage de la pierre (voir tableau 8), le promoteur évalue ces émissions à 1,2 x 10³ Bq/s (*ibid.*, p. 35). Aux autres étapes des opérations, il estime que les gaz émis ne contiendront que des concentrations infinitésimales de radioéléments (document déposé DA5).

Figure 9 Concentration maximale dans l'atmosphère, après dispersion, du radon émis par la ventilation de la mine Niocan



Légende

— Apport par la ventilation de la mine dans la direction ouest

••• Apport par la ventilation de la mine dans la direction nord-est

Les émissions de poussières émanant des cheminées de l'usine

L'étude environnementale précise que six cheminées émettraient des poussières (document déposé PR3.2, p. 13). Celles dont les émissions pourraient contenir des radioéléments sont les cheminées du dépoussiéreur du concentrateur (CP01), des dépoussiéreurs à haute et basse température de l'usine de ferroniobium (CP03 et CP02), et du dépoussiéreur principal de l'usine de remblai (CP06). Les sorties de ces cheminées sont situées entre 14,5 et 27,5 m au-dessus du niveau du sol. Elles seraient pourvues de dépoussiéreurs efficaces à 99 %, et les poussières retenues par les filtres seraient recyclées dans le procédé de production. Les émissions résiduelles d'uranium et de thorium prévues pour ces cheminées sont données au tableau 9.

Tableau 9 Estimation des émissions de particules radioactives dans l'atmosphère par les cheminées du projet de Niocan à Oka

	Émissions totales (kg/an)	
	Uranium (U_3O_8)	Thorium (ThO_2)
Séchoir du concentré de pyrochlore (CPO1)	0,58	11,67
Dépoussiéreurs trémies (CPO2)	0,06	1,23
Ferroniobium (CPO3)	0,04	0,83
Total	0,68	13,73
Total en U et Th seulement	0,58	12,10

Source : documents déposés DA5 et DQ1.1.

Le promoteur a produit une étude de dispersion de ces poussières en utilisant le même modèle que pour le radon s'échappant de la ventilation de la mine. À partir de ces résultats, il a évalué la contribution de ces émissions à la teneur des sols environnants en supposant que tous les radioéléments émis pendant les dix-sept années d'exploitation de son projet s'accumuleraient dans le premier centimètre à la surface du sol (document déposé DQ1.1, p. 2). Les résultats colligés au tableau 10 montrent que l'apport maximal total d'uranium et de thorium provenant des cheminées de l'usine serait de moins de 3 ppm. La commission est d'avis que cette estimation correspond à une situation extrême puisqu'il est tout à fait improbable que les poussières s'accumulent exclusivement à la surface pendant toute la durée de l'exploitation.

Tableau 10 Estimation de la déposition sur le sol de radioéléments émis par les cheminées de l'usine projetée par Niocan

Radioélément	Taux maximal de déposition (g/m ² /an)	Apport maximal dans le sol (ppm) ¹
Uranium	1,2 x 10 ⁻⁴	0,1
Thorium	2,4 x 10 ⁻³	2,6

1. Total pour les dix-sept années de l'exploitation, en supposant que toute la déposition se ferait dans le premier centimètre de sol.

Source : document déposé DQ1.1.

Le promoteur ajoute que les poussières émises par les divers procédés de l'usine (et par conséquent leurs émissions dans l'atmosphère) contiendraient également les produits de la désintégration de l'uranium et du thorium, lesquels seraient en équilibre radioactif approximatif (*ibid.*, p. 2). Une cheminée fait exception, celle du procédé de fusion de ferriobium qui ne contribuerait que pour 6 % à 7 % du total des émissions examinées ci-dessus (*ibid.*). La fusion se faisant à une température de l'ordre de 1 700 °C, des quantités de polonium-210 et de plomb-210 seraient volatilisées en deçà de celles qui correspondent à l'équilibre radioactif. Le promoteur a estimé les émissions dans l'atmosphère en supposant que la quantité totale de ces deux isotopes présente dans le concentré de pyrochlore serait volatilisée, et que les dépoussiéreurs retiendraient 98 % (au lieu des 99 % visés). Son étude de la dispersion de ces deux substances donne une concentration maximale dans l'air au niveau du sol de la région de 11µBq/m³ pour le polonium-210 ainsi que pour le plomb-210 (document déposé DQ1.1). La commission estime que ces quantités sont infimes et négligeables.

- ◆ La commission constate que les retombées des poussières radioactives émises par les cheminées des installations de la mine projetée à Oka occasionneraient un apport total d'uranium et de thorium de moins de 3 ppm aux sols environnants. La majeure partie des poussières se déposeraient sur le site Niocan. Il s'agit d'une surévaluation tout à fait improbable puisque l'étude de dispersion suppose que toutes les particules émises pendant la durée de vie du projet ne seraient pas remaniées par les phénomènes naturels et anthropiques courants, mais plutôt concentrées dans le premier centimètre à la surface du sol.

Le parc à résidus

Les émissions de radon du parc à résidus

Dans un parc aménagé sur le site SLC seraient déposés un total de 6 412 672 t de résidus (document déposé DB16, p. 5). Ces résidus contiendraient une concentration moyenne de 5 ppm d'uranium. La désintégration naturelle de cet uranium produira du radon, dont une partie pourra s'échapper à la surface du parc et passer dans l'atmosphère.

L'évaluation du taux d'émission de radon dans l'atmosphère doit tenir compte de la quantité d'uranium dans les résidus, de la demi-vie du radon, de la surface exposée, de la granulométrie, du taux d'humidité, de l'épaisseur de la couche de résidus, et de la présence d'un écran superficiel. Ce dernier peut être un sol contenant peu d'uranium-238 ou de radium-226, un couvert végétal ou simplement la couche de neige hivernale (Dr Anar S. Baweja, rencontre du 19 juin 2002).

En considérant que les résidus auraient une teneur moyenne en uranium de 10 ppm, le promoteur estime que les dix hectares du parc émettraient quelque $1,3 \times 10^3$ Bq/s (document déposé DB26, p. B2). Cette source serait quelque 100 fois moins importante que la ventilation de la mine. De plus, le mode de gestion proposé par le promoteur pour le parc à résidus contribuerait de façon substantielle à réduire les émissions potentielles de radon dans l'atmosphère. Ces mesures sont la limitation de la surface exposée des résidus, l'arrosage de ces surfaces ainsi que le recouvrement des résidus avec du sol et des plantations à mesure que l'exploitation progresse. En période hivernale, le couvert de neige pourrait éliminer presque entièrement les émissions de radon du parc à résidus. La commission note par ailleurs que le parc à résidus proposé ne peut se comparer aux parcs de mines d'uranium comme il en existe au Canada ou ailleurs dans le monde. Ces parcs étant plus riches en radium, ils émettent beaucoup plus de radon (document déposé DB86).

- ◆ *La commission est d'avis que le parc à résidus de la mine projetée à Oka serait une source marginale de radon. Sa contribution serait beaucoup moins importante que la ventilation de la mine.*

Les émissions de poussières du parc à résidus

Les résidus du parc contiendraient environ 5 ppm d'uranium et 40 ppm de thorium (document déposé DB26, p. B-1). Les surfaces exposées du parc sont susceptibles de générer des poussières qui seraient emportées par le vent. Ce potentiel dépend de la granulométrie, de la consolidation, du taux d'humidité et de la présence d'un couvert de sol et de végétation. Selon le promoteur, son mode de gestion (disposition des résidus, arrosage, végétation) minimiserait la possibilité d'émission de poussières.

La commission est d'avis qu'une certaine quantité de particules fines radioactives du parc à résidus de la mine projetée à Oka pourraient être emportées par le vent. Cette quantité devrait effectivement être faible en phase d'exploitation. Cependant, en cas d'arrêt des opérations, de l'arrosage et de la gestion du parc, les secteurs du parc à résidus non recouverts de sol ou de végétation pourraient être plus actifs. Ces particules pourraient contenir en moyenne au moins deux fois plus d'uranium et de thorium que la plupart des sols de la région avoisinante.

- ◆ *La commission est d'avis que le parc à résidus de la mine projetée à Oka pourrait constituer une source marginale d'émission de poussières faiblement radioactives. Un échantillonnage éventuel devrait toutefois confirmer cette considération.*

Les autres sources d'émissions atmosphériques de radioéléments

Les autres activités du projet qui pourraient émettre des radioéléments dans l'atmosphère sont les sources diffuses de l'usine, la gestion des scories générées lors de la coulée du ferroniobium et le transfert de certains résidus d'un site à l'autre pour disposition ou enfouissement. Ce sont des sources potentielles de poussières plutôt que de radon.

Deux autres sources potentielles de radon, soit le bassin de décantation destiné à recevoir les eaux d'exhaure et les fosses du site SLC (figure 8), ne sont pas considérées ici puisque leur apport a été jugé négligeable ou nul : le radon ne diffuse pas rapidement à travers l'eau et tout le radon qui pourrait être contenu dans l'eau d'exhaure a été inclus dans le calcul des émissions de la ventilation de la mine.

Les émissions diffuses

Toute usine comporte une série de points d'émissions diffuses, tels les événements. Le promoteur entend contrôler la qualité de l'air dans ses bâtiments pour être en conformité avec les *Règlements sur la qualité de l'air en milieu de travail*. Selon lui, la filtration et l'humidification de l'air ambiant dans les bâtiments élimineraient l'émission de poussières radioactives vers le milieu extérieur (document déposé DQ1.2).

La gestion des scories de Niocan

La scorie est le matériau le plus radioactif de tous ceux qui seraient générés par le projet. Lors d'une visite à l'usine de Niobec, la commission a constaté l'importance d'une bonne gestion des scories qui se forment lors de la coulée du ferroniobium. Bien que la masse principale de la scorie apparaisse sous forme de gros blocs chimiquement inertes, il existerait des morceaux, des particules et des poussières lors de la récupération et du nettoyage du biscuit de ferroniobium, ainsi que lors de l'enfouissement sous terre des blocs de scories. Comme cet aspect n'a pas été couvert dans l'étude environnementale, le promoteur s'est engagé à l'étudier (document déposé PR3).

- ◆ *La commission estime que, compte tenu de leur radioactivité élevée, toutes les étapes de la production et de la manutention des scories de l'usine de ferroniobium projetée à Oka devraient faire l'objet d'une attention particulière par Niocan afin de limiter ou d'éliminer l'émission de poussières radioactives qui pourraient se retrouver dans l'air à l'intérieur des bâtiments ou être émises dans l'atmosphère. Un protocole à cet effet devrait être élaboré par le promoteur.*

Le transfert des scories et sables du site SLC au site Niocan

Le promoteur prévoit transférer et enfouir de 8 000 à 10 000 t de scories et de sables radioactifs accumulés au site SLC (document déposé DB16, p. 3). Il considère que cet enfouissement constitue un élément positif du projet qui réduirait le contentieux actuel de la radioactivité régionale. Lorsqu'elle est sous forme de blocs, la scorie est un matériau compact, résistant et inerte. Cependant, il est probable qu'une portion inconnue sur le site SLC soit sous forme de fragments ou de poussières. Le chargement et le transport de ces fragments et des barils de sable pourraient constituer une source de poussières radioactives dans l'atmosphère. Pour cette activité qui s'étalerait sur trois ans, le promoteur a proposé un mode de transport et des mesures de précaution particulières (document déposé DA29). Il a évalué les émissions de poussières qui pourraient en résulter (tableau 11).

Tableau 11 Estimation des émissions de radioéléments sous forme particulaire lors du transfert de résidus entreposés sur le site SLC

Type de résidu	Uranium (kg) ¹	Thorium (kg) ¹
Scories	0,06	1,32
Barils de sable	< 0,003	< 0,003
1. Total pour les trois années.		

Source : adapté du document déposé DQ1.1.

- ◆ La commission considère que les quantités de poussières radioactives émises dans l'atmosphère lors du transfert des scories et des sables du site SLC au site Niocan seraient minimes et négligeables comparativement aux émissions des cheminées des installations projetées.

Les stériles de Niocan

Des stériles seraient excavés du site Niocan pour permettre l'exploitation. Une partie d'entre eux seraient utilisés comme assise des bâtiments et l'autre, transportés au site SLC pour construire les digues du parc à résidus. Les stériles proviennent surtout de la carbonatite et contiendraient des teneurs faibles en uranium. Ils seraient donc légèrement radioactifs et généreraient du radon tout comme le roc qui affleure à certains endroits. Lorsque le roc est brisé, le radon captif dans les pores peut s'échapper. Ainsi, un roc excavé pourrait constituer une source de radon plus active que la roche en place. Le promoteur n'a pas l'intention de concasser ce roc plus que ne l'exige le creusage des puits et des galeries. Les blocs et les particules de diverses tailles seraient utilisés ou transportés tels quels. La contribution en radon de cette source atteindrait un maximum en début des opérations et diminuerait par la suite, alors que d'autres activités (notamment la ventilation de la mine) deviendraient à long terme des sources beaucoup plus marquées de radon.

Après l'arrêt de l'exploitation de la mine, le promoteur a l'intention de démanteler ses installations et de recouvrir le site de terre arable (document déposé PR3). Aux yeux de la commission, cette mesure réduirait substantiellement les émissions de radon de cette source déjà peu importante.

Par ailleurs, l'excavation et le transfert de stériles du site Niocan vers le site SLC pourraient générer des poussières contenant des particules radioactives qui seraient transportées par le vent. La commission note cependant que ce roc contient des teneurs faibles en éléments radioactifs, comparables dans l'ensemble à celles du roc formant le reste de la carbonatite et des sols qui en sont dérivés.

- ◆ *La commission est d'avis que les poussières radioactives provenant du transfert des stériles du site Niocan vers le site SLC contribueraient de façon négligeable à modifier le bilan de la radioactivité locale et régionale.*

Bilan des impacts des émissions prévues dans l'atmosphère

La commission dresse ici un bilan des gaz et des poussières radioactives qui seraient générés par le projet. Elle compare ensuite ces apports avec les niveaux ambiants dans l'atmosphère de la région d'Oka.

Le radon

Le sommaire des évaluations des émissions de radon résultant de l'ensemble du projet de Niocan est donné au tableau 12.

Tableau 12 Sommaire des émissions de radon du projet de Niocan

Source – activité	Radon émis (Bq/s)	%
Ventilation de la mine	$1,0 \times 10^5$	97,6
Usine de concentré	$1,2 \times 10^3$	1,1
Parc à résidus	$1,3 \times 10^3$	1,3
Autres	Négligeable	—
Total	$1,03 \times 10^5$	100,0

Sources : documents déposés DB26 et DQ1.2.

Le total de radon émis de $1,03 \times 10^5$ Bq/s n'est pas très différent de la source la plus forte, ce qui appuie l'affirmation du promoteur selon laquelle la source prépondérante du radon émis dans l'atmosphère par son projet serait la ventilation de la mine, la contribution des autres sources étant négligeable (document déposé DB26). Le promoteur

a retenu l'émission de radon par la ventilation de la mine pour évaluer l'impact du radon libéré par son projet en regard de sa concentration ambiante dans l'atmosphère au-dessus de la carbonatite. À cet effet, il utilise une évaluation théorique de la quantité de radon généré par le sol de la carbonatite, qui contiendrait naturellement en moyenne 5,3 ppm d'uranium (documents déposés DB26, p. B-2 et DA11). Le promoteur estime ainsi que les émissions actuelles de radon au-dessus de la carbonatite sont de 8×10^5 Bq/s (tableau 13).

Tableau 13 Estimation de la quantité de radon émis actuellement dans l'atmosphère au-dessus de la carbonatite d'Oka

Paramètre	Valeur	Unité
Superficie de la carbonatite	1 317	hectare
Teneur moyenne des sols en uranium	5,3	ppm
Taux de production de radon naturel par Bq/g de radium-226	1,0	Bq/m ²
Total du radon émis	8×10^5	Bq/s
Concentration de radon dans l'air ambiant	10 à 30	Bq/m ³

Sources : documents déposés DB26, DQ1.1 et DQ1.2.

Ces émissions naturelles se traduiraient par une concentration moyenne dans l'air ambiant variant entre 10 et 30 Bq/m³. Cette valeur représenterait, selon le promoteur, le bruit de fond régional (document déposé DB26, p. B-2). Puisque la ventilation de la mine ne contribuerait que 1×10^5 Bq/s, soit le huitième des émissions actuelles, et que l'étude de dispersion montre un apport maximal de 4 Bq/m³ de radon dans l'air ambiant, le projet n'aurait donc pas d'effet mesurable sur la quantité de radon dans l'atmosphère.

- ◆ *La commission estime que l'apport maximal de radon de 4 Bq/m³ généré par le projet se fondrait dans le bruit de fond régional qui varie entre 10 et 30 Bq/m³ et ne contribuerait pas de façon significative à la concentration de radon dans l'atmosphère de la région d'Oka.*

La progéniture du radon

Les radio-isotopes qui résultent de la désintégration du radon sont des solides. La plupart ont une demi-vie très courte et ne subsistent pas assez longtemps pour porter à conséquence. Deux d'entre eux ont une demi-vie plus longue : le plomb-210 (22,3 ans) et le polonium-210 (138 jours). Ces éléments sont formés en succession, sous forme d'atomes, lors de la désintégration d'un atome de radon. Ils peuvent séjourner dans l'air ou se déposer au sol et sur la végétation, en particulier lors des précipitations. Ceux qui résulteraient des activités de Niocan seraient de même nature que ceux générés par la désintégration du radon qui provient de la carbonatite. Puisque les apports en radon du projet seraient minimes dans l'air ambiant, leur progéniture le serait également.

- ◆ La commission considère que les particules radioactives résultant de la désintégration du radon qui proviendrait du projet de mine à Oka ne causeraient pas de concentration dans l'atmosphère ni de déposition sur la végétation qui soient décelables. Elles seraient grandement diluées dans les apports actuels de cette même progéniture qui émane du radon atmosphérique ambiant.

Les poussières

Le bilan des radioéléments particuliers qui seraient émis dans l'atmosphère par le projet de Niocan est présenté au tableau 14, qui synthétise les données présentées aux sections précédentes.

Tableau 14 Sommaire des estimations des émissions atmosphériques de radioéléments sous forme de particules par le projet de Niocan à Oka

Source	Uranium-238 (kg/an)	Thorium-232 (kg/an)
Ventilation de la mine	0,03	0,20
Cheminées de l'usine	0,58	12,10
Transferts des scories et sables du site SLC	0,004 ¹	0,08 ¹
Parc à résidus	Négligeable	Négligeable
Autres	Négligeable	Négligeable
Total	0,614	12,38

1. Le total pour trois années a été étendu sur les dix-sept années du projet.

Sur la base de l'équilibre entre les membres d'une séquence radioactive et de l'activité propre à l'uranium et au thorium seuls, la commission évalue l'activité totale de ces poussières due à ces radioéléments à 20,25 Bq/s. Cette quantité est minime par rapport à la radioactivité qui s'échappe de la ventilation de la mine (100 000 Bq/s), laquelle une fois dispersée se confond au bruit de fond.

Dans la mesure où la gestion proposée est respectée, en particulier en ce qui concerne le parc à résidus, et où un plan de gestion des scories est agréé, la commission constate que le bilan des poussières générées par les diverses composantes du projet de Niocan correspondrait à un apport de radioactivité dans l'atmosphère peu important. La concentration dans l'air ambiant et la déposition éventuelle sur la végétation et les sols de radioéléments ne seraient vraisemblablement pas décelables par rapport au niveau actuel de la radioactivité du bruit de fond régional.

L'exposition des résidants aux émissions radioactives du projet

Dans le but d'évaluer le niveau d'exposition aux radiations que le projet représenterait pour les personnes vivant dans la région de la carbonatite, le promoteur a procédé à une

analyse des voies d'exposition. Il s'agit d'une méthode acceptée pour estimer l'exposition potentielle dans un milieu donné. Elle intègre des valeurs reconnues pour les divers paramètres d'entrée, tels le taux de déposition atmosphérique de radioéléments sur la végétation, les taux de transfert du sol aux organismes vivants et dans la chaîne alimentaire, ainsi que les taux d'ingestion et d'inhalation pour les humains.

Le promoteur a considéré l'exposition due aux rayons gamma issus de l'uranium-238, du thorium-232 et de leur progéniture respective dans le sol, et celle due au rayonnement provenant de ces radioéléments qui auraient été soit inhalés sous forme de poussières, soit ingérés en consommant des produits agricoles végétaux (feuilles et raines) et animaux (bœuf et lait), ainsi que des particules de sol qui y seraient attachées (document déposé DA30, p. A2-1). L'analyse n'inclut pas l'exposition aux rayons cosmiques ni aux sources de radiations que le promoteur estime ne pas devoir être modifiées par le projet, soit le radon à l'intérieur des résidences et l'uranium présent dans l'eau des puits.

Le promoteur a considéré trois scénarios, dont deux évaluent l'exposition aux radioéléments présents sur les terres de la carbonatite. Le premier examine la situation où les sols auraient une concentration moyenne uniforme de 5,3 ppm d'uranium et de 23,8 ppm de thorium. Le second examine une situation où les sols auraient les concentrations médianes de 15 ppm d'uranium et 62,4 ppm de thorium, valeurs qui se trouvent en fait sur environ 130 des quelque 1 300 hectares couverts par la carbonatite (soit environ 10 %). Le troisième scénario correspond au scénario un, soit les valeurs moyennes observées sur la carbonatite, mais auxquelles les émissions prévues du projet ont été ajoutées. Dans tous les cas, le modèle tient pour acquis que les humains ciblés ne consommeraient que des produits agricoles venant de la carbonatite et que le bétail ne s'alimenterait que de végétaux qui en proviennent également. L'exposition a été évaluée pour un adulte et pour un enfant âgé de cinq ans, et les résultats pour les trois scénarios sont compilés au tableau 15.

Tableau 15 Évaluation de la dose maximale de radiations d'origine locale pour des humains vivant sur la carbonatite d'Oka, avec ou sans le projet de Niocan

Scénario	Adulte mSv/an	Enfant (5 ans) mSv/an
1* : sol moyen (5,3 ppm d'uranium et 23,8 ppm de thorium)	0,505	0,809
2* : sol médian (15 ppm d'uranium et 62,4 ppm de thorium)	1,206	1,852
3 : sol moyen, plus l'apport maximal du projet	0,520	0,836
*Situation actuelle sans le projet.		
Source: adapté du document déposé DA30.		

Il est important de souligner qu'il s'agit d'une analyse purement mathématique et que les résultats renvoient à des situations théoriques visant à évaluer un risque maximal. Dans la réalité, ces situations se présentent rarement, sinon jamais, puisqu'elles considèrent que tous les produits cibles ingérés et leurs étapes de production proviennent de sols où les teneurs en uranium et thorium sont telles qu'indiquées pour un scénario donné.

Les scénarios 1 et 3 représentent respectivement la situation actuelle moyenne et la situation extrême qui pourrait résulter en y ajoutant les émissions maximales du projet. L'exposition ambiante actuelle représente une dose qui équivaut à entre 17 % et 40 % de la dose moyenne due au bruit de fond en Amérique du Nord de 2 à 3 mSv/an. À cet égard, la population vivant sur la carbonatite d'Oka n'est donc pas exposée de façon exceptionnelle en dépit de la géologie particulière de cette région. Le projet de Niocan (scénario 3) ajouterait au plus 0,027 mSv/an à la situation moyenne. Cette quantité forme environ 1 % de la dose due au bruit de fond pour l'ensemble de l'Amérique du Nord.

- ◆ *La commission considère que l'exposition des résidents aux radiations qui résulteraient du projet de mine de niobium à Oka est minime. Dans les pires conditions, la dose supplémentaire maximale d'exposition aux radiations due aux émissions du projet représenterait une augmentation d'environ 1 % de la dose moyenne due au bruit de fond en Amérique du Nord.*

En bref...

La ventilation de la mine serait la source prépondérante (98 %) de radon du projet de mine de niobium à Oka. Ce radon serait émis à quelque 40 m au-dessus du sol environnant et rapidement dispersé dans l'air ambiant. Ni le radon ni sa progéniture ne seraient en concentration suffisante pour modifier de façon significative dans l'air ambiant la concentration de ces mêmes radioéléments qui proviennent de l'action des processus naturels ayant cours dans la région de la carbonatite d'Oka.

Les cheminées de certains bâtiments du projet constitueraient la principale source des émissions de particules radioactives, sous forme d'uranium et de thorium (plus de 95 % des émissions). La charge et l'activité totales de ces émissions seraient faibles. Une fois dispersées et intégrées aux sols environnants, les particules émises par le projet ne causeraient pas une augmentation notable de l'activité du sol. L'application des mesures de gestion proposées par le promoteur pour le transport et la disposition de tous les types de résidus préviendrait l'émission de particules radioactives en quantité suffisante pour modifier la situation actuelle de l'atmosphère et des sols en regard de la radioactivité.

La voie atmosphérique revêt une importance particulière parce qu'elle serait la principale voie d'exposition aux impacts du projet pour les personnes qui résident dans la région avoisinante. L'analyse des voies d'exposition aux émissions du projet démontre un impact négligeable des activités de la mine de niobium projetée à Oka. Pour la personne la plus exposée qui vivrait constamment sur la carbonatite et qui en tirerait entièrement sa subsistance, l'exposition maximale supplémentaire aux rayons gamma externes et aux radioéléments internes provenant de l'inhalation de poussières et de l'ingestion de produits touchés par les retombées sur la végétation ne représenterait qu'environ 1 % de la dose annuelle moyenne qui provient du bruit de fond en Amérique du Nord.

Chapitre 6 Le radon dans les résidences

Le présent chapitre vise à évaluer l'augmentation possible de l'infiltration du radon à l'intérieur des habitations dans la région à l'étude en raison des dynamitages et des divers travaux de la mine. La commission examine dans un premier temps les concentrations actuelles de radon dans les résidences et le niveau d'exposition qui en découle. Elle traite ensuite de la toxicité du radon et de l'exposition supplémentaire pouvant résulter de l'exploitation éventuelle de la mine et de l'usine de niobium à Oka.

Niveau actuel d'exposition

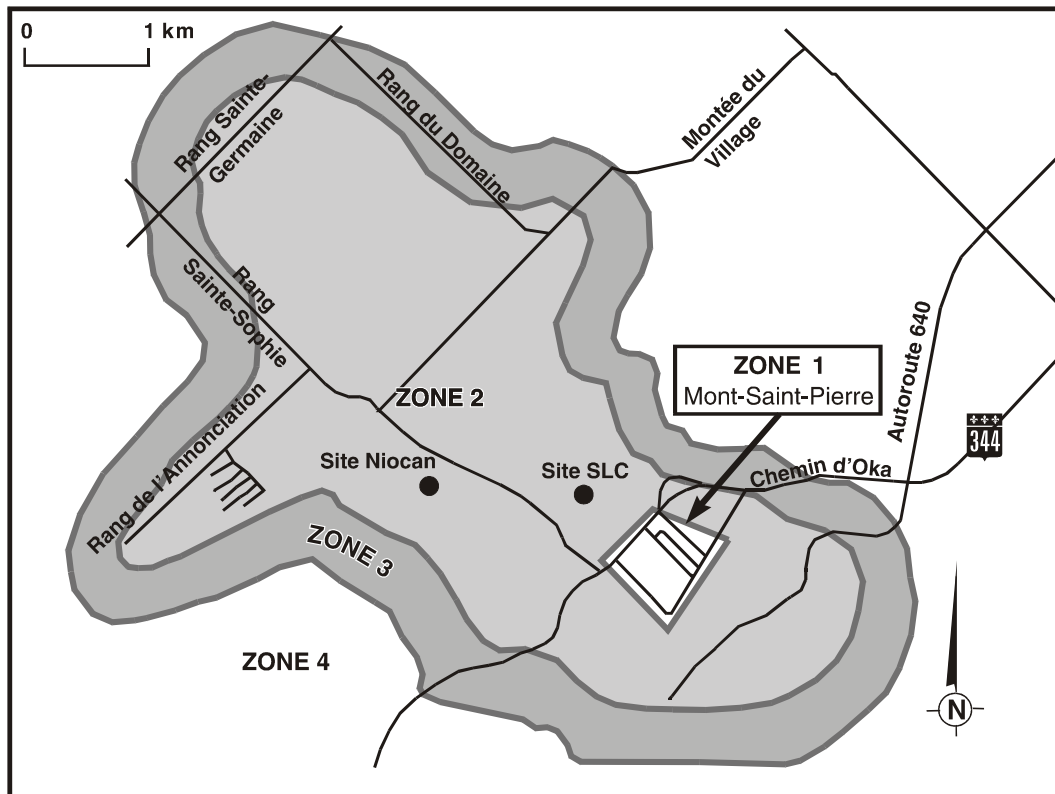
La présence de radon à Oka résulte de la désintégration de l'uranium contenu dans les formations géologiques locales. Le radon est un gaz inerte lourd, inodore et incolore (document déposé PR3, p. 3.25). Il migre sous forme dissoute dans l'eau dans la zone saturée du sous-sol ou sous forme de gaz dans la zone non saturée. La majeure partie du radon se retrouvant dans les résidences provient d'infiltrations directes en phase gazeuse par des fissures dans les fondations à partir du sol ou du roc (*ibid.*, p. 3.31). Quant au radon émis dans l'atmosphère, il représente une source minime d'exposition, puisqu'il est dilué dans un très grand volume d'air (document déposé DA18, p. 26).

Dans la zone située à l'intérieur du périmètre de la carbonatite, les sous-sols de plus de 40 % des maisons renferment entre 150 et 800 Bq/m³ de radon, alors que près de 20 % en contiennent plus de 800 Bq/m³. Localement, des concentrations extrêmes peuvent atteindre 10 000 Bq/m³. Les valeurs les plus élevées ont été trouvées dans le secteur résidentiel Mont-Saint-Pierre, un secteur de carbonatite affleurante ou subaffleurante (document déposé PR3, p. 3.33). À titre comparatif, notons qu'au Québec environ 82 % des résidences présentent des concentrations de radon inférieures à 150 Bq/m³ et environ 8 %, des concentrations comprises entre 150 Bq/m³ et 800 Bq/m³. Seulement 0,2 % des résidences québécoises enregistrent des valeurs supérieures à 800 Bq/m³ (document déposé DB17, p. 7).

La Direction régionale de santé publique des Laurentides documente ce dossier depuis plusieurs années. Dès 1997, elle recommandait à la municipalité de cesser le développement résidentiel dans la section nord du quartier Mont-Saint-Pierre (document déposé DB39, p. 2). En juin 2001, un avis gouvernemental était d'ailleurs publié à cet effet, dans lequel il était précisé que des corrections devraient être apportées au schéma d'aménagement (document déposé DA16). En 2000, la Direction régionale de santé publique publiait les résultats intégrés de toutes les données disponibles sur le radon dans

les résidences d'Oka, aux alentours de la carbonatite. Le territoire étudié avait été subdivisé en quatre zones comme l'illustre la figure 10. Les résultats sont présentés au tableau 16.

Figure 10 Subdivisions territoriales pour la détermination de la concentration de radon dans l'air des résidences d'Oka



Source : adaptée du document déposé DB21, annexe A.

Tableau 16 Concentration du radon dans les résidences de la région à l'étude

Zone	Maisons analysées/ nombre total de maisons	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum (Bq/m ³)
1	92/113	1 458	575	18	10 500
2	84/99	609	245	37	9 626
3	48/152	236	101	8	3 190
4	23/n.d.	126	102	12	650

Source: adapté du document déposé DB21, p. 10, tableau 1.

Selon le promoteur, les concentrations en radon les plus élevées seraient le fruit d'une conjoncture de trois facteurs déterminants : la présence d'une source de radon (une carbonatite enrichie en uranium), sa proximité et l'absence d'une couche de dépôts meubles peu perméable ou d'épaisseur importante qui pourrait jouer un rôle de barrière (document déposé PR3, p. 3.34). Ainsi, les résidents des secteurs Mont-Saint-Pierre et Oka-sur-la-Montagne souffriraient de cette conjoncture et peuvent être exposés à des niveaux élevés de radon (document déposé DB6, p. 3). D'autres facteurs peuvent influencer sur le niveau de radon dans les résidences, notamment le nombre de fissures et d'ouvertures dans la fondation. Des travaux de mitigation ont été réalisés dans plusieurs résidences, mais il semble que les résultats soient équivoques (document déposé DB20, p. 12).

- ◆ La commission constate que les concentrations de radon dans l'air des sous-sols de nombreuses résidences aux environs de la mine et de l'usine de niobium projetées à Oka sont très élevées, pouvant atteindre en moyenne une dizaine de fois celles des secteurs plus éloignés.

Toxicité du radon

En 1988, le radon a été reconnu comme cancérigène pour l'humain par l'*International Agency for Research on Cancer*, l'organisme international qui évalue le potentiel cancérigène de différents agents¹. Cette classification a été maintenue en 2001 lors de l'examen par cette même agence de l'ensemble des radiations ionisantes².

Après avoir consulté de nombreux experts et en se basant sur le dernier rapport du *Biological Effects of Ionizing Radiation Committee* (BEIR), une autorité en matière de risque pour la santé lié au radon, la Direction régionale de santé publique des Laurentides, précise qu'à une concentration de 800 Bq/m³ le risque de développer le

1. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Man-made mineral fibres and radon*, vol. 43, IARC, Lyon, France, 1988, p. 241.
2. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ionizing radiation, part 2 : some internally deposited radionuclides*, vol. 78, 2001, IARC Press, Lyon, France, p. 481.

cancer du poumon à la suite d'une exposition prolongée de plusieurs décennies est de l'ordre de 1/100 et peut atteindre 1/10 chez une personne exposée au tabagisme. En santé publique, les niveaux de risque cancérigène jugés acceptables sont habituellement de l'ordre de 1/1 000 000 à 1/ 100 000 (document déposé DB17, p. 13). Néanmoins, il n'existe aucune norme de santé publique, mais une ligne directrice canadienne de 800 Bq/m³ ; elle est de 150 Bq/m³ aux États-Unis et de 200 à 400 Bq/m³ dans plusieurs pays européens (document déposé PR3, p. 3.33).

Par ailleurs, l'approche utilisée par le BEIR pour l'évaluation du risque suscite une certaine polémique en raison notamment de l'incertitude dans l'extrapolation à de faibles doses des résultats obtenus pour de fortes doses. Cette incertitude liée à la nature insidieuse des effets associés à des expositions chroniques à faible niveau expliquerait peut-être la variabilité des valeurs de référence appliquées dans différents pays.

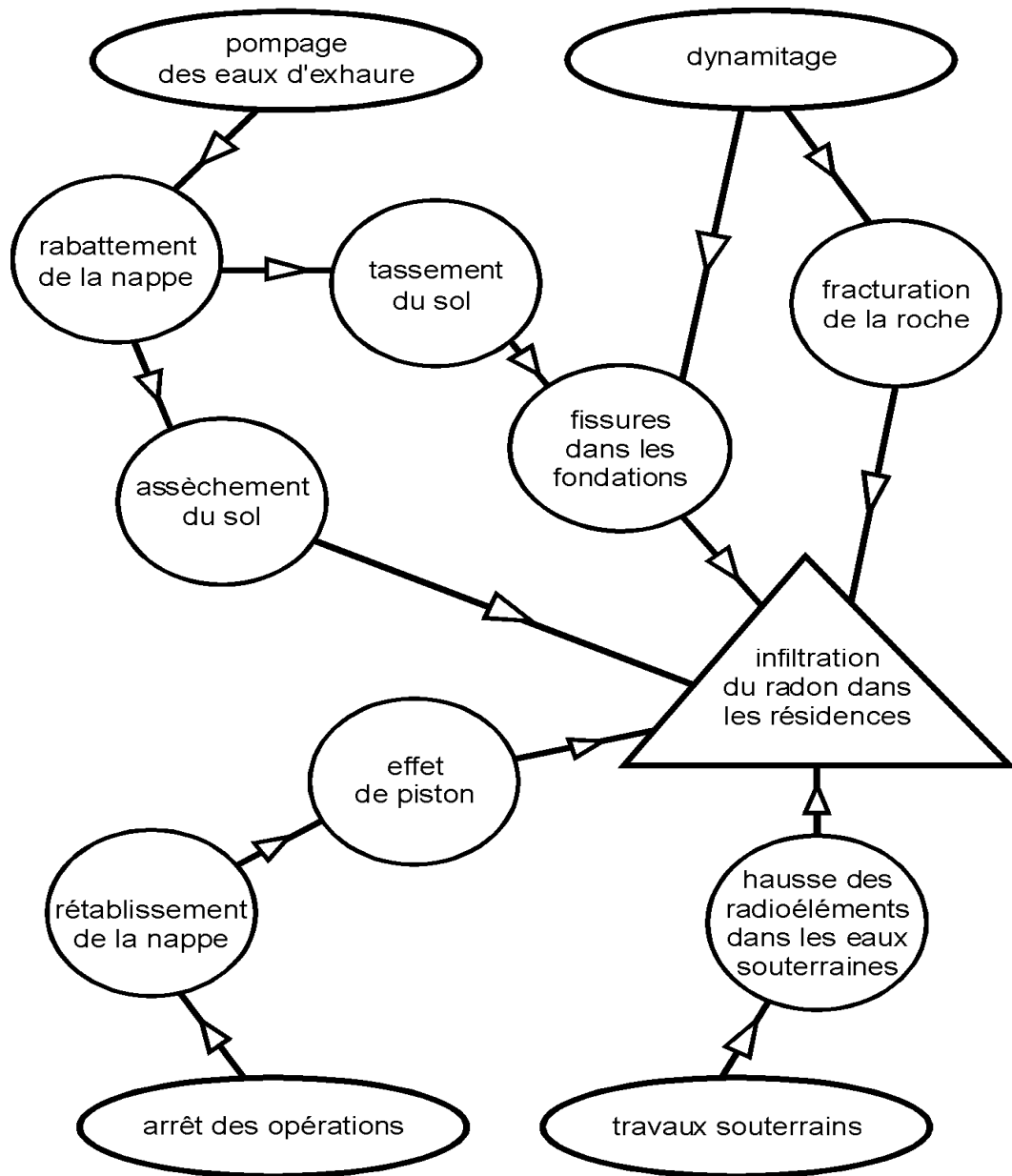
Ceci pourrait aussi expliquer le double seuil d'intervention appliqué par la Direction régionale de santé publique des Laurentides pour la réduction du niveau de radon dans les résidences. Celle-ci considère en effet qu'une concentration égale ou supérieure à 800 Bq/m³ requiert des mesures correctrices immédiates, alors qu'à une concentration égale ou supérieure à 150 Bq/m³ des mesures d'atténuation sont encouragées (document déposé DC5, p. 5 et Dr Michel Savard, rencontre du 14 mai 2002).

- ◆ *La commission constate que les concentrations de radon dans l'air des sous-sols de certaines résidences aux environs de la mine et de l'usine de niobium projetées à Oka présentent des dépassements de plus de dix fois la ligne directrice canadienne fixée à 800 Bq/m³ proposée à des fins de santé publique. La commission constate qu'une exposition chronique aux concentrations les plus fortes observées dans ces sous-sols présente un risque élevé pour les résidents de développer un cancer du poumon.*

L'impact potentiel de la mine projetée sur le radon dans les résidences

Plusieurs éléments rattachés au projet de mine doivent être examinés pour estimer l'exposition supplémentaire de la population environnante au radon dans les résidences pouvant résulter de son exploitation. Il s'agit de l'incidence du dynamitage sur la fondation des maisons, des travaux sur la modification éventuelle de la teneur en radon de la nappe d'eau souterraine, du pompage de l'eau d'exhaure sur l'assèchement et la compaction des sols ainsi que du rétablissement de la nappe d'eau souterraine à son niveau actuel à l'arrêt des opérations minières (figure 11).

Figure 11 Schéma des activités pouvant avoir une incidence sur le radon dans les résidences à proximité de la mine projetée



L'augmentation des concentrations de radon dans les résidences en raison du dynamitage

L'implantation et l'exploitation éventuelles de la mine de niobium nécessiteraient des travaux de dynamitage. Théoriquement, les vibrations engendrées dans le roc pourraient atteindre les structures des résidences et causer des fissures permettant une infiltration plus importante du radon. La norme québécoise en vigueur stipule que la vitesse des vibrations mesurée au sol ne peut excéder 40 mm/s dans un rayon de 30 m d'un bâtiment à protéger. Cette norme, que le ministère de l'Environnement suggère de ramener à 12,5 mm/s, vise surtout à minimiser le nombre de plaintes liées à la perception des vibrations (document déposé DB53, p. 30).

En ce qui a trait aux effets à long terme sur les maisons, aucune étude n'a été en mesure de démontrer une relation de cause à effet entre les vibrations et la fissuration. À cet égard, des vibrations de l'ordre de 75 mm/s sont requises pour fissurer des joints de mortier d'un mur de fondation en blocs, alors que des vibrations de 125 mm/s peuvent occasionner des microfissures dans le béton (document déposé DB5, p. 3). Sur la base des études effectuées, l'expert du ministère des Transports soutient la conclusion du promoteur selon laquelle il ne devrait pas y avoir d'impact sur l'intégrité des résidences environnantes dans la mesure où l'intensité des vibrations respecte les normes en vigueur (*ibid.* et DB2, p. 2). En fait, les vitesses de vibrations prévisibles aux deux bâtiments les plus près du site Niocan seraient de 28,3 mm/s (document déposé DA6, p. 2). Questionnés sur les vitesses de vibrations lors de dynamitages intenses, les ingénieurs de Niobec ont indiqué que celles-ci n'excédaient pas 30 mm/s.

Par ailleurs, les explosions, surtout si elles sont activées près de la surface, peuvent provoquer des fissures dans la roche environnante ou encore ouvrir des fractures existantes, favorisant ainsi la migration du radon. Cette migration pourrait être observable aux affleurements rocheux près des explosions à cause de l'absence de dépôts meubles qui atténuent à la fois les vibrations et la migration du radon (document déposé DB81, p. 5). Bien que les résidences les plus proches ne soient pas situées sur un affleurement rocheux mais plutôt sur des dépôts meubles épais qui agissent comme tampon, le promoteur s'est engagé à réaliser un suivi des teneurs en radon dans les cinq résidences situées à proximité du site Niocan (document déposé DA2, p. 2).

- ◆ *Selon la commission, le dynamitage requis pour l'implantation et l'exploitation éventuelles de la mine de niobium par Niocan à Oka ne devrait pas modifier l'intégrité des résidences ni entraîner une augmentation des concentrations du radon dans l'air des résidences. Comme mesure de prudence, la commission trouve approprié le suivi des concentrations de radon dans les résidences les plus proches. Ce suivi mériterait d'être planifié de concert avec la Direction régionale de santé publique des Laurentides.*

L'impact des travaux souterrains sur la modification éventuelle de la teneur en radon de la nappe d'eau souterraine

Généralement, une partie du radon issu des matériaux géologiques peut se dissoudre et migrer avec l'eau souterraine (document déposé DB81, p. 2). Les concentrations typiques de radon dans les eaux souterraines sont de 7 000 à 22 000 Bq/m³. Dans la région d'Oka, en excluant le secteur à proximité immédiate de la mine projetée, les concentrations varient de 6 000 à plus de 600 000 Bq/m³ (Chah et Zikovski, 1990, document déposé PR3, p. 3.31). Quant à celles dans le territoire situé à l'intérieur d'un rayon d'un kilomètre du site Niocan, elles fluctuent entre 12 000 et 1 590 000 Bq/m³ (*ibid.*).

L'eau souterraine constitue actuellement la seule source d'eau potable pour les résidants en périphérie du site Niocan. La plupart de ces résidants prennent leur eau dans des puits artésiens forés dans le roc. Quelques-uns ont des puits de surface aménagés dans les dépôts meubles (*ibid.*, p. 3.69). L'exposition au radon présent dans l'eau souterraine se fait par voie respiratoire lors du dégazage de l'eau, c'est-à-dire lorsque le radon dissous passe à l'air dans la maison. Cette exposition découle notamment de l'utilisation de douches, de bains, de lave-vaisselle et des toilettes. Pour des concentrations typiques de radon dans l'eau, la contribution moyenne de l'eau à la concentration du radon dans l'air des résidences est d'environ 2 Bq/m³. Pour une eau souterraine qui contiendrait 1 500 000 Bq/m³ de radon, la concentration ajoutée dans l'air serait de l'ordre de 150 Bq/m³ (*ibid.*, p. 3.34 et DB6, p. 4).

Il faudrait ainsi une augmentation considérable du radon dissous pour entraîner une augmentation d'une relative importance des niveaux de radon actuellement mesurés dans l'air des sous-sols des résidences. Or, la commission a conclu précédemment que l'exploitation de la mine aurait globalement un faible impact sur l'accroissement de la radioactivité naturelle dans les eaux souterraines. Pour la Direction régionale de santé publique des Laurentides, l'augmentation de radon dans les résidences, découlant d'une augmentation théorique du radon dans les eaux souterraines, n'est considérée que comme un épiphénomène qui ne changerait pas la problématique du radon dans les résidences d'Oka (Dr Michel Savard, rencontre du 14 mai 2002).

Par ailleurs, dans l'éventualité où le projet serait autorisé, le promoteur s'est engagé à prolonger l'aqueduc municipal pour alimenter les résidants limitrophes du rang Sainte-Sophie, en prévision des effets possibles du rabattement de la nappe dans l'aquifère. En fait, tous les résidants situés à l'intérieur d'un rayon d'un kilomètre du site projeté seraient alimentés par le réseau d'aqueduc (document déposé PR3.2, p. 24). L'eau de cet aqueduc est tirée de deux puits d'approvisionnement en eau souterraine situés à l'extérieur de la carbonatite, dans le parc d'Oka, près du lac des Deux-Montagnes (document déposé PR3, p. 3.68). Elle est reconnue comme étant de très bonne qualité et la concentration de radon est de 12 000 Bq/m³ (documents déposés DB6, p. 7 et *ibid.*, tableau 3.12, p. 3.66). Selon le maire d'Oka, la capacité des puits municipaux permettrait

ce prolongement (M. Yvan Patry, rencontre du 8 mai 2002). Cela pourrait être avantageux puisque les puits privés localisés dans la carbonatite peuvent présenter actuellement des dépassements de la norme d'uranium fixée à 0,02 ppm dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (document déposé DB6, p. 7).

- ◆ Selon la commission, l'implantation et l'exploitation éventuelles de la mine de niobium par Niocan à Oka ne devraient pas entraîner une augmentation du radon dissous dans l'eau souterraine qui serait susceptible d'influer de façon notable sur les niveaux de radon dans l'air des résidences de la zone d'étude.
- ◆ La commission est d'avis que le raccordement éventuel à l'aqueduc municipal pourrait entraîner une légère baisse du radon dans l'air intérieur de plusieurs résidences.

L'impact du pompage de l'eau d'exhaure sur l'assèchement et la compaction des sols

À partir des observations sur l'aire d'influence du pompage à l'ancienne mine SLC, le promoteur conclut que le rabattement de la nappe était significatif dans la limite de la carbonatite et n'aurait pas dépassé une distance de 1,7 km du site SLC (document déposé PR3, p. 3.61). Toutefois, le promoteur n'a pu statuer sur l'ampleur et l'étendue réelle du rabattement à la mine projetée, notamment en raison de divergences entre les résultats de la modélisation numérique utilisée à cette fin et les observations quant au rayon d'influence du pompage sur l'eau souterraine à la mine SLC (*ibid.*, p. 3.63). C'est pourquoi le programme de suivi prévu vise un rayon de un kilomètre et s'étendrait au besoin à deux kilomètres si le cône de rabattement s'avérait plus grand que prévu (document déposé PR3.2, p. 22-23).

La baisse du niveau de l'aquifère peut avoir une incidence sur l'assèchement et la compaction des sols, ce qui théoriquement pourrait influencer sur la quantité de radon dans l'air des résidences. L'assèchement en surface réduit en effet l'efficacité du rôle de barrière que le sol joue dans la migration du radon. Par ailleurs, la compaction du sol peut porter atteinte à la structure des fondations des résidences, favorisant par le fait même une plus grande infiltration directe du radon en phase gazeuse. Ces éventualités ont été soulevées par les experts mandatés par le Conseil Mohawk de Kanasatake. Deux facteurs jouent un rôle déterminant dans l'assèchement et la compaction des sols, soit la nature des sols et l'échange entre les nappes d'eau souterraines et de surface.

La nature des sols

Selon les experts consultés, la nature de certains sols permet d'accumuler d'importantes quantités d'eau. Lorsque l'eau est retirée, le sol peut s'effondrer sur lui-même en raison de la perte du volume préalablement occupé par l'eau (document déposé DB85, p. 6). Un tel tassement se produit quand une partie du poids des dépôts susjacentes porté initialement par l'eau interstitielle écrase l'espace poreux partiellement asséché

(document déposé DB81, p. 4). Ce phénomène serait alors permanent et irréversible (documents déposés DB85, p. 6 et DB81, p. 5).

« La subsidence reliée au pompage excessif d'une nappe souterraine affecte les matériaux finement grenus en régime saturé tels les silts et les argiles ainsi que les matériaux organiques non consolidés [...]. L'ampleur de ce phénomène est généralement proportionnelle à l'épaisseur du dépôt susceptible d'être affecté et se limitera aux matériaux retrouvés dans le volume correspondant au cône de rabattement de la nappe. [...] En règle générale, les tills [...] sont déjà trop consolidés pour subir de la subsidence » (document déposé DB85, p. 6).

Le promoteur reconnaît la possibilité de consolidation à long terme des argiles en notant toutefois que ce processus serait vraisemblablement très lent puisque les argiles sont peu perméables. Dans cette éventualité, les tassements des sols devraient être relativement homogènes à l'échelle d'une résidence, ce qui n'aurait pas d'effets sur la structure des fondations (document déposé DQ1.2, p. 36). Le problème n'arrive en effet que lorsque le tassement est différentiel.

Seules les résidences le long du rang Sainte-Sophie, entre le site Niocan et l'intersection de la Montée du Village, seraient susceptibles d'être atteintes par la subsidence (documents déposés DA29, p. 10 et DB85, p. 6). Les dépôts de surface de ce secteur comprennent des sédiments marins d'eau profonde (argiles). Cependant, la distribution et la magnitude des tassements différentiels sont difficiles à prédire (document déposé DB81, p. 3).

L'échange entre l'eau de l'aquifère et la nappe de surface

Généralement, la nappe d'eau de surface est tributaire des précipitations reçues à court terme, comparativement à la nappe de l'aquifère (de la carbonatite) qui se charge à beaucoup plus long terme (document déposé DB85, p. 5). Aussi, le promoteur considère comme très faible la possibilité que le rabattement de la nappe de la carbonatite qui résulterait de son projet puisse influencer sur la nappe de surface (M. Denis Isabel, rencontre du 21 juin 2002).

Toujours selon le promoteur, le rabattement de l'eau souterraine observé lors de l'exploitation de l'ancienne mine de SLC permet d'estimer les effets possibles sur l'assèchement des sols (document déposé DB81, p. 4). Il fait remarquer que les observations notées à l'époque suggèrent que le rabattement de la nappe de la carbonatite n'a pas causé de rabattement notable de la nappe dans les dépôts meubles (document déposé DQ1.1, p. 35). Il souligne à cet égard la présence d'eau dans des étangs creusés en surface, comme l'illustrent des photographies aériennes prises peu avant l'arrêt des activités minières (M. André Vachon, rencontre du 13 mai 2002 et documents déposés DA29, p. 8 et DQ1.1, p. 35). Bien qu'elle ne puisse établir avec certitude qu'aucun étang n'a pu être touché, la commission a constaté que les photographies aériennes témoignent

effectivement de la présence d'eau de surface dans le secteur touché par le rabattement de la nappe d'eau souterraine lors de l'exploitation de la mine SLC.

- ◆ *La commission considère comme faible la probabilité que le pompage de l'eau d'exhaure requis par l'exploitation éventuelle de la mine de niobium à Oka entraîne une augmentation du radon dans l'air des résidences à la suite des effets potentiels de l'assèchement ou de la compaction des sols sur la structure de leurs fondations. Toutefois, puisqu'il existe une possibilité de tassements différentiels des sols à très petite échelle, les règles élémentaires de prudence militent en faveur d'un suivi des secteurs les plus propices au tassement et inclus dans le cône de rabattement.*

L'impact du rétablissement de la nappe d'eau à l'arrêt des opérations minières

Après l'arrêt du pompage au terme de la période d'exploitation, l'aquifère de la carbonatite devrait envahir et inonder graduellement le cône de rabattement formé autour de la mine. Ce processus de remontée de la nappe, qui s'étalerait sur une dizaine d'années, pourrait exercer l'effet d'un piston sur l'air présent initialement dans le cône de rabattement (document déposé DB81, p. 4). L'expulsion de ce volume d'air a été présentée par des experts du Conseil Mohawk comme un facteur potentiel d'augmentation de la diffusion du radon vers la surface et d'infiltration de radon dans les résidences (document déposé DB3, p. 64). Afin d'apprécier l'effet de l'interruption de l'exploitation minière sur les émissions de radon à la surface, la commission a cherché à quantifier le phénomène.

L'air expulsé par l'effet de piston comprendrait l'air des pores et fissures de la roche, environ $14 \times 10^6 \text{ m}^3$, ainsi que l'air des galeries de la mine qui représente moins de $300\,000 \text{ m}^3$ (documents déposés DQ1.2, p. 17 et PR3, p. 10.21).

L'estimation de la quantité de radon expulsé par le rétablissement de la nappe

Niocan évalue à environ $2\,500 \text{ m}^3/\text{j}$ le débit de pompage nécessaire pour maintenir la mine à sec jusqu'à une profondeur de 500 m (document déposé PR3, p. 5.18). Au moment de l'arrêt des pompes, le taux de remplissage initial du cône de rabattement serait donc d'environ $2\,500 \text{ m}^3/\text{j}$. Au fur et à mesure du remplissage, le débit d'inondation décroîtrait au rythme du rehaussement de la nappe et deviendrait nul à la fin du processus.

Le taux maximal d'expulsion de l'air du cône de rabattement serait comparable au débit d'inondation. En pratique, il serait vraisemblablement moindre puisque le volume gazeux se comprimerait avec l'augmentation de la pression et qu'une certaine quantité d'air pourrait passer en solution dans l'eau. Ainsi, le taux maximal d'expulsion d'air

occasionné par l'inondation de la mine ne devrait pas dépasser le débit maximal d'infiltration d'eau dans la mine.

Les experts en radioactivité de Niocan ont évalué la teneur maximale en radon des pores et fissures de la carbonatite dans le cône de rabattement à $3\,000\,000\text{ Bq/m}^3$ (document déposé DQ1.1, p. 5). Ils présumant aussi qu'une fois que la ventilation de la mine aurait cessé la teneur en radon des galeries s'approcherait de celle qui est présente dans les pores de la roche. Aussi, en supposant un débit d'air expulsé maximal de $2\,500\text{ m}^3/\text{j}$ avec une teneur maximale en radon de $3 \times 10^6\text{ Bq/m}^3$, le taux maximal d'expulsion de radon découlant de l'effet de piston ne dépasserait pas $7,5 \times 10^9\text{ Bq/j}$ ou $87\,000\text{ Bq/s}$ (tableau 17). Cette émission maximale de radon équivaldrait à 87 % de celle qui provenait auparavant de la ventilation de la mine et ajouterait 11 % aux émissions naturelles des sols dans la zone de la carbonatite, évaluées à $800\,000\text{ Bq/s}$.

Tableau 17 Évaluation des émissions maximales de radon attribuables à la recharge du cône de rabattement au terme de l'exploitation de la mine Niocan

Estimation de l'émission maximale de radon occasionnée par la recharge du cône de rabattement	$87 \times 10^3\text{ Bq/s}$
Estimation de l'émission maximale de radon par la ventilation de la mine pendant l'exploitation	$100 \times 10^3\text{ Bq/s}$
Estimation de l'émission naturelle de radon au-dessus de la carbonatite	$800 \times 10^3\text{ Bq/s}$
Apport maximal aux émissions naturelles découlant du rétablissement de la nappe	11 %

- ◆ *La commission constate que l'inondation du cône de rabattement après l'interruption du pompage dans la mine Niocan à la fin de son exploitation peut entraîner l'expulsion à la surface d'une faible quantité de radon. Cette quantité serait inférieure à celle évacuée auparavant par la ventilation de la mine et ajouterait un faible pourcentage aux émissions naturelles des sols à la surface de la carbonatite.*

Les voies d'expulsion du radon lors du rétablissement de la nappe

Le radon expulsé peut parvenir à la surface par deux voies : de façon concentrée par les ouvertures de la mine ou de façon diffuse à travers les sols susjacentes au cône de rabattement. *A priori*, la contribution relative de chacune des deux voies n'est pas connue. L'expulsion du radon par les ouvertures de la mine ne peut influencer de façon tangible et mesurable sur le niveau de radon dans l'air des résidences puisque l'effet de dilution dans l'air ambiant sera très grand. C'est donc essentiellement l'augmentation du radon émis à travers le sol qui pourrait théoriquement avoir une influence.

Considérant la résistance à la diffusion des gaz offerte par la couche de plusieurs mètres de dépôts meubles qui recouvre une grande partie de la carbonatite (documents déposés

DB81, p. 1-2 et PR3, p. 3.24, 3.27), il est vraisemblable que les galeries de la mine représentent la voie de moindre résistance pour une grande partie de l'air expulsé. Néanmoins, afin d'évaluer un autre scénario, on peut présumer que les ouvertures de la mine seraient hermétiquement obstruées et que 100 % de l'air expulsé par la remontée de la nappe d'eau diffuserait à travers les sols au-dessus du cône de rabattement. La quantité maximale de radon ajoutée par unité de surface serait égale au radon expulsé par la recharge du cône de rabattement, déjà estimé à 87×10^3 Bq/s, divisé par la surface de ce cône estimée à $5,3 \text{ km}^2$ (document déposé DQ1.2, p. 17). Ainsi, $0,016 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$ de radon serait poussé vers le sol.

L'estimation de l'émission naturelle de radon de 800×10^3 Bq/s au-dessus des 14 km^2 de la carbonatite, avec une teneur moyenne de 5,3 ppm d'uranium dans le sol, équivaut à un taux de $0,061 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$. La quantité maximale de radon qui pourrait être expulsé à travers le sol au-dessus du cône par le rétablissement de la nappe, évaluée à $0,016 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$, représente 26 % de ce taux.

- ◆ *La commission estime que, dans le pire des cas où le radon poussé par le rétablissement de la nappe à la fin de l'exploitation de la mine Niocan émanerait entièrement par le sol au-dessus du cône de rabattement, l'apport pourrait représenter jusqu'à 26 % des émissions naturelles moyennes de radon par le sol.*

Certaines considérations devraient également être prises en compte dans l'analyse de l'impact potentiel du rétablissement de la nappe d'eau à l'arrêt des opérations minières sur le radon dans l'air des résidences. Tout d'abord, la demi-vie de 3,8 jours du radon limite sa mobilité à quelques mètres seulement dans les types de sols de perméabilité faible à moyenne de la région (document déposé DB85, p. 5). Par exemple, dans un till de conductivité moyenne, la migration du radon serait de l'ordre de 3 mm/j à 10 mm/j (document déposé DB81, p. 1-2). La courte demi-vie du radon évacue donc la possibilité que le radon expulsé du cône puisse s'accumuler et atteindre la surface.

La commission note que toutes les résidences à l'intérieur de la zone d'influence prévue du cône de rabattement sont séparées de la carbonatite par une couche de dépôts meubles dont l'épaisseur varie entre une dizaine et une cinquantaine de mètres (documents déposés PR3, p. 3.25, 3.27 et PR3.1, carte 5 de l'annexe XVIII). De telles épaisseurs de till et d'argile ont le pouvoir de restreindre considérablement, sinon de bloquer totalement la circulation de radon entre la carbonatite et la surface (document déposé DB81, p. 1-2). De plus, les résidences actuellement les plus exposées au radon, soit celles de la zone 1 (figure 10), sont passablement éloignées du cône de rabattement prévu.

- ◆ *Selon la commission, seul le radon émis à travers le sol lors du rétablissement de la nappe à la fin de l'exploitation de la mine Niocan pourrait influencer sur le niveau du radon dans l'air des résidences situées au-dessus du cône de rabattement. Cependant, la courte demi-vie du radon, sa vitesse de migration dans le sol et l'épaisseur des dépôts meubles sont des facteurs qui limiteront considérablement cette influence, au point qu'elle devrait se confondre dans la variabilité de la*

radioactivité naturelle. En pratique, il est probable que la majeure partie de ce radon serait expulsée par les ouvertures de la mine et se disperserait dans l'atmosphère.

En bref...

L'augmentation possible de l'infiltration du radon à l'intérieur des résidences au voisinage de la mine projetée touche quatre aspects : l'incidence du dynamitage sur les fondations des maisons, celle des travaux sur la modification éventuelle de la teneur en radon de la nappe d'eau souterraine, du pompage de l'eau d'exhaure sur l'assèchement et la compaction des sols et celle du rétablissement de la nappe d'eau à son niveau actuel à l'arrêt des opérations minières.

Il est improbable que la concentration de radon dans l'air des résidences situées à proximité du site projeté pour l'implantation et l'exploitation éventuelles de la mine de niobium à Oka soit modifiée de façon notable ou mesurable. Tout au plus le niveau de radon dans les résidences qui seraient raccordées à l'aqueduc municipal pourrait diminuer légèrement, alors qu'il existe une très faible probabilité que le pompage de l'eau d'exhaure puisse entraîner des tassements différentiels du sol qui se traduiraient par une très légère augmentation du radon dans un petit nombre de résidences.

Conclusion

La commission avait pour mandat de faire la lumière entourant les effets potentiels sur l'environnement et la santé publique de la radioactivité qu'engendrerait l'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium à Oka.

La commission reconnaît que l'activité minière contribuerait au largage dans l'environnement aquatique d'une certaine quantité de radioéléments et à l'émission de particules radioactives dans l'atmosphère. Cette contribution serait néanmoins négligeable au regard de la radioactivité des eaux souterraines et de l'air, et elle se confondrait avec le niveau ambiant de la radioactivité naturelle. Pour les eaux de surface, la radioactivité du ruisseau Rousse recevant l'effluent de la mine projetée augmenterait légèrement, alors que la concentration de l'uranium avoisinerait la norme pour l'eau potable et serait nettement inférieure à l'objectif fixé par le ministère de l'Environnement pour la protection de la vie aquatique. Par ailleurs, l'évaluation de l'exposition aux émissions radioactives des résidants de la région montre aussi un impact négligeable. Quant au radon dans l'air des résidences, la commission conclut qu'il est improbable que son niveau soit modifié de façon mesurable par le projet et que le risque pour la santé publique soit accru.

Ainsi, la commission conclut, sur la base des informations obtenues au cours de son enquête, que :

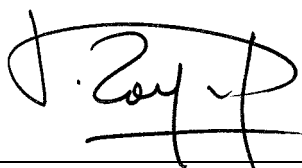
- les rejets d'eaux contenant des substances radioactives (eaux de procédé, eaux d'exhaure) n'auraient pas d'effet mesurable sur la qualité des eaux souterraines. Le projet aurait un faible impact sur la radioactivité naturelle des eaux de surface qui ne devrait pas compromettre leurs usages pour l'agriculture et la vie aquatique ;
- l'enfouissement dans les galeries de la mine de substances radioactives (scories et résidus) n'aurait pas d'impact mesurable sur la qualité des eaux souterraines ;
- l'entreposage de résidus miniers dans un parc à résidus n'aurait pas d'impact mesurable sur la radioactivité des eaux souterraines, des eaux de surface et de l'air ;
- l'émission de poussières radioactives par l'usine n'aurait pas d'impact mesurable sur la qualité de l'air ;
- il est improbable qu'il y ait une augmentation mesurable de l'infiltration du radon à l'intérieur des habitations situées dans le voisinage en raison des dynamitages et des divers travaux de la mine.

La commission note cependant que les données sont insuffisantes quant à certains aspects du projet ou du milieu récepteur, notamment la teneur en uranium des eaux de surface et

la radioactivité du lixiviat des stériles et des scories qui seraient générés par Niocan. Il en découle certaines incertitudes qui commandent des données complémentaires et un suivi environnemental.

La commission rappelle que les inquiétudes des citoyens face à la radioactivité sont légitimes. L'ancienne mine de niobium a laissé une mauvaise expérience dans la région et les citoyens sont conscients des particularités géologiques d'Oka, en même temps que sensibles à l'exposition élevée au radon dans certaines résidences. Aussi, la commission estime que le promoteur devrait, de concert avec les citoyens, former un comité de vigilance. Ce comité verrait à transmettre à la population toute l'information sur les contrôles, les suivis et les mesures de précaution, et à s'assurer que les lieux seront remis en état après la fin du projet.

FAIT À QUÉBEC,



JOSEPH ZAYED
Président de la commission



PIERRE BÉLAND
Commissaire

Ont contribué à la rédaction du rapport :

Guy R. Fortin, analyste

Jean Roberge, analyste

Avec la collaboration de :

Rosemary Al-Hayek, conseillère en communication

Anne-Lyne Boutin, coordonnatrice du secrétariat de la commission

Maryse Filion, agente de secrétariat

Et la participation de :

Suzanne Bouchard, coordonnatrice du secrétariat de la commission

Annexe 1

Les renseignements relatifs au mandat

Le mandat

Le mandat confié au BAPE en vertu de l'article 6.3 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., c. Q-2) était de tenir une enquête et de faire rapport au ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau de ses constatations et de son analyse.

Période du mandat

Du 29 avril au 30 août 2002

La commission d'enquête et son équipe

La commission d'enquête

Joseph Zayed, président
Pierre Béland, commissaire

Son équipe

Rosemary Al-Hayek, conseillère en communication
Anne-Lyne Boutin, coordonnatrice du secrétariat de la commission
Thérèse Daigle, conseillère en communication
Maryse Filion, agente de secrétariat
Guy R. Fortin, analyste
Jean Roberge, analyste

Les participants

Le promoteur et ses représentants

Niocan inc.

M. Richard R. Faucher, ing., président et porte-parole
M. René Dufour, ing., président du conseil d'administration

Ses experts

Roche ltée, Groupe-conseil

M. Yves Thomassin, ing. f., M. Sc., chargé de projet
M. André Vachon, M. Sc., vice-président, mines

SENES Consultants Limited

M. Douglas B. Chambers, Ph. D.
M. Leo M. Lowe, Ph. D.

Experts Enviroconseil inc.

M. Denis Isabel, ing., Ph. D.

École polytechnique de Montréal

M. Serge Lavoie, ing.

Les ministères, les entreprises, les organismes et les citoyens

Représentants

Comité de citoyens d'Oka

M. André Chaput, porte-parole
M. Maurice Desjardins
M^{me} Monique Girard
M. Claude Perras

Comité local de développement minier

M. Edmond Proulx, porte-parole
M. Robert Morin
M. Denis Desrosiers

Conseil Mohawk de Kanesatake

M. Steven L. Bonspille, porte-parole
M. Barry D. Bonspille
M^{me} Pearl Bonspille

Ses experts

M. Paul Boissonnault, M. Sc., B. Sc.
M. Daniel Labbé, B. Sc.
M. Gordon D.J. Edwards, Ph. D.
M. Marc Chénier, B. Sc.
M. Jean Demers, B. Sc.

Fédération de l'UPA de l'Outaouais-Laurentides

M. Richard Maheu, président et porte-parole
M. Yvon Désormeaux, président du Syndicat de base de l'UPA de Deux-Montagnes
M^{me} Nathalie Giguère, aménagiste
M. Jude B. Lavigne, administrateur du Syndicat de base de l'UPA de Deux-Montagnes

Ministère de l'Environnement

Direction régionale des Laurentides

M. Yves Dansereau, B. Sc., porte-parole
M^{me} Brigitte Bérubé, M. Sc., directrice

Direction régionale du Saguenay–
Lac-Saint-Jean

M. Bernard Crevier, ing.

Ministère de la Santé et des Services sociaux

Direction régionale de santé publique des
Laurentides

M. Michel Savard, M.D. M. Sc., porte-parole
M. Gaétan Carrier, ing., M.D., Ph. D.
M. Jean-Claude Dessau, M.D.
M^{me} Blandine Piquet-Gauthier, M.D., M. Sc.

Municipalité d'Oka	M. Yvan Patry, maire et porte-parole M ^{me} Marie Daoust, secrétaire-trésorière <i>Les conseillers</i> M. Paul Clément M. Jean-Claude Guindon M. Serge Lalande M. Luc Lemire M. Yves Renaud
Services minéraux industriels inc. Division Mine Niobec	M. Eddy Dénomme, ing., surintendant et porte-parole M. Christian Pichette, ing., directeur M. Martin Lanctot, ing., production M ^{me} Francine Leclerc, inf., santé, sécurité, formation M. Gérald Tremblay, technicien géologue M. Denis Villeneuve, géologue
Les autres experts consultés par la commission	Représentants
Commission canadienne de sûreté nucléaire	M ^{me} Patsy-Ann Thompson, Ph. D.
Consultant	M. Eric Pellerin, M. Sc.
École polytechnique de Montréal Département de génie physique	M. Gregory Kennedy, Ph. D.
INRS-Eau, Terre et Environnement	M ^{me} Uta Gabriel, Ph. D.
Radioprotection J.-M. Légaré	M. Jean-Marc Légaré, Ph. D.
Ressources naturelles Canada Commission géologique du Canada	M. Miroslav Nastev, ing., Ph. D.
Santé Canada Bureau de la radioprotection	M ^{me} Slavica Vlahovich, B. Sc., M.D. M. Anar S. Baweja, Ph. D.
Services d'hygiène du milieu, région du Québec Direction générale de la santé des Premières nations et des Inuits	M. Rolland Duguay (auditeur) M ^{me} Patricia Rioux (auditrice)
Université Laval Département de chimie Faculté des sciences et de génie	M. Claude Barbeau, Ph. D.

Les activités liées au mandat d'enquête

1 ^{er} mai 2002	Visite du site projeté de Niocan inc. et du site minier St. Lawrence Columbiun par la commission d'enquête accompagnée de M. André Proulx, Oka
7 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants du ministère de l'Environnement, Direction régionale des Laurentides, Saint-Eustache
8 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants de la municipalité d'Oka, Oka
8 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants du Comité local de développement minier, Oka
8 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants du Comité de citoyens d'Oka, Oka
13 mai 2002	Première rencontre tenue avec le promoteur Niocan inc. et ses experts, Montréal
14 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants du ministère de la Santé et des Services sociaux, Direction régionale de santé publique des Laurentides, Saint-Jérôme
15 mai 2002	Rencontre tenue avec les représentants de la Fédération de l'UPA de l'Outaouais-Laurentides, Montréal
16 mai 2002	Première rencontre tenue avec les représentants du Conseil Mohawk de Kanesatake et ses experts, Kanesatake
21 mai 2002	Rencontre tenue avec un expert en radioactivité, Montréal
5 juin 2002	Rencontre tenue avec les représentants de Mine Niobec et du ministère de l'Environnement, Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean et visite des installations de la mine, Saint-Honoré
11 juin 2002	Deuxième rencontre tenue avec les représentants du Conseil Mohawk de Kanesatake et ses experts, Kanesatake
18 juin 2002	Rencontre tenue avec un groupe d'experts sur les impacts environnementaux associés à la radioactivité, Montréal
19 juin 2002	Rencontre tenue avec un groupe d'experts quant aux effets sur la santé associés à la radioactivité, Montréal
21 juin 2002	Deuxième rencontre tenue avec le promoteur Niocan inc. et ses experts, Montréal

Annexe 2

La documentation

Les centres de documentation

Bibliothèque municipale d'Oka
Oka

Université du Québec à Montréal
Montréal

Conseil Mohawk de Kanesatake
Kanesatake

Centre de consultation du BAPE
Québec

La documentation versée au dossier

Procédure

- PR1** Ne s'applique pas.
- PR2** Ne s'applique pas.
- PR3** NIOCAN INC. *Étude environnementale déposée au ministère de l'Environnement, rapport et annexes I à V*, octobre 2000, pagination multiple.
- PR3.1** NIOCAN INC. *Étude environnementale déposée au ministère de l'Environnement, annexes VI à XIX*, octobre 2000, pagination multiple et cartographie.
- PR3.2** NIOCAN INC. *Étude environnementale déposée au ministère de l'Environnement, rapport complémentaire I*, avril 2001, 41 pages et annexes.

Par le promoteur

- DA1** NIOCAN INC. *Levée radiométrique, site de construction. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 2 octobre 2001, 1 page.
- DA1.1** GÉOPHYSIQUE GPR INTERNATIONAL INC. *Levée de radiométrie aux environs du site de Niocan inc. à Oka et à Montréal*, 25 septembre 2001, 3 pages et 1 carte.
- DA2** NIOCAN INC. *Correspondance adressée à M^{me} Jocelyne Sauvé de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides portant sur l'impact potentiel des activités de dynamitage sur la teneur en radon dans les résidences, les techniques de construction qui seront utilisées pour certains bâtiments miniers et l'impact potentiel de l'exploitation minière sur la qualité des eaux des puits des secteurs non approvisionnés par l'actuel aqueduc ou son prolongement*, 5 décembre 2001, 4 pages.
- DA3** NIOCAN INC. *Lettre de transmission à l'attention du ministère de l'Environnement et de la Régie régionale de la santé et des services sociaux relative au document sur les mesures préventives présenté par Roche Ltée*, 1 page.
- DA3.1** ROCHE LTÉE. *Radon, mesures préventives*, 31 octobre 2001, 3 pages et 1 plan.
- DA4** ROCHE LTÉE. *Qualité prévisible des eaux d'exhaure*, 8 mai 2002, 7 pages et tableaux.

- DA5** ROCHE LTÉE. *Émissions à partir des installations de dépoussiérage*, 8 mai 2002, 5 pages et annexes.
- DA6** YVES GILBERT. *Mine Niocan, Oka, chemin Sainte-Sophie. Vibrations prévisibles*, addenda I au rapport du 21 décembre 1999 (PR3.1, annexe VII), 9 mai 2002, 2 pages et annexes.
- DA7** ERIC J. HALL. Extrait du document *Radiation and Life*, [en ligne], avril 2000, College of Physicians and Surgeons, Columbia University, New York, [www.uic.com.au/ral.htm], (18 décembre 2001), 9 pages.
- DA8** NIOCAN INC. *Un projet en harmonie avec la nature et la population*, novembre 2001, 26 pages.
- DA9** NIOCAN INC. *Rapport annuel 2001 Niocan inc.*, 14 pages.
- DA10** NIOCAN INC. « Niocan : un projet écologique en harmonie avec la nature mené de concert avec la population », *Info-nio*, bulletin d'information aux résidents de la municipalité d'Oka, automne 2000, 5 pages.
- DA11** SENES CONSULTANTS LIMITED. *Equivalent Uranimum (ppm) in Oka Quebec*, mars 2002, 1 carte.
- DA12** AGENCE CANADIENNE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE. *Évaluation environnementale : projet de mine de niobium à Oka*, 18 mars 2002, 1 page.
- DA13** BSA GROUPE-CONSEIL. *Municipalité d'Oka, projet minier, consolidation et mise à jour des débits*, 21 mars 2002, 2 pages, tableaux et annexe.
- DA14** BSA GROUPE-CONSEIL. *Municipalité d'Oka, alimentation en eau potable, estimation des coûts*, 5 avril 2002, 2 pages et annexes.
- DA15** MET-CHEM CANADA INC. *Émissions des dépoussiéreurs CP01, CP02, CP03, CP05, CP06 et VA01*, novembre 2001, 2 pages et annexes.
- DA16** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Extrait du document *Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement, municipalité régionale de comté de Deux-Montagnes*, juin 2001, page 26.
- DA17** SENES CONSULTANTS LIMITED. *Emission of Radon from Slag (scories)*, 16 mai 2002, 2 pages et annexes.
- DA18** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DE LA MONTÉRÉGIE. *Impacts potentiels sur la santé associés aux silicates de calcium faiblement radioactifs répandus sur la rive sud de Montréal*, Direction de la santé publique, mai 1995, 70 pages et annexes.
- DA19** MET-CHEM CANADA INC. *Caractéristiques des systèmes de dépoussiérage*, version corrigée du tableau 2 du rapport complémentaire d'avril 2001 (PR3.2), 1 page.
- DA20** ROCHE LTÉE. *Réponses aux interrogations de la commission concernant l'uranium dans les eaux au site Niocan et dans le ruisseau Rousse ainsi que les charges d'uranium et de thorium présentes et ajoutées au site SLC*, 27 mai 2002, 12 pages.

- DA21** ROCHE LTÉE. *Caractérisation des matériaux du site minier St. Lawrence Columbium*, mai 2002, 11 pages et annexes.
- DA22** MET-CHEM CANADA INC. ET SNC-LAVALIN. Extrait du document *Revised Feasibility Study Report. Executive Summary*, 14 janvier 2001, pages 5 et 9.
- DA23** NIOCAN INC. *Comparaisons Niocan - SLC - Niobec*, 17 mai 2002, 1 tableau.
- DA24** NIOCAN INC. *Information sur les essais de la capacité de pompage effectués sur les deux puits situés dans le parc d'Oka*, 14 juin 2002, 1 page.
- DA24.1** MARC LAPERRIÈRE. *Information sur les essais de la capacité de pompage effectués sur les deux puits situés dans le parc d'Oka*, 6 juin 2002, 2 pages.
- DA24.2** MARTIN POULIN. *Détermination de la capacité d'un puits existant, municipalité d'Oka*, janvier 1981, 15 pages et annexes.
- DA24.3** TECSULT INC. *Aménagement d'un puits de production – parc provincial d'Oka*, février 1998, 18 pages et annexes.
- DA25** DOUGLAS B. CHAMBERS. *Radioactivity Aspects of the Proposed Niocan Project*, SENES Consultants Limited, 21 juin 2002, 9 pages.
- DA26** SENES CONSULTANTS LIMITED. *Summary of Radionuclide Concentration and Exposure Rates from 1996 GSC Airborne Survey within Oka Carbonatite Extrusion Area with 100 M Grid Interpolation*, juin 2002, 1 page.
- DA27** TRIBUNAL ADMINISTRATIF DU QUÉBEC. *Extrait du témoignage de M. Douglas B. Chambers* (STE-Q-077871-0107) (STE-Q-077873-0107) (dossier 318605), 28 mai 2002, 4 pages.
- DA28** NIOCAN INC. *Superficie stérile, tonnes FeNb et concentré*, 25 juin 2002, 1 page.
- DA29** ROCHE LTÉE. *Information sur la procédure opérationnelle et mode d'urgence couvrant le transport de scories et de matériaux faiblement radioactifs et sur le tassement des sols à la suite du rabattement de la nappe d'eau profonde et son impact potentiel sur le niveau de radon dans les résidences*, 28 juin 2002, 10 pages et annexe.
- DA30** SENES CONSULTANTS LIMITED. *Information relative au comportement des radionucléides dans la chaîne alimentaire et dans les résidus miniers*, 28 juin 2002, 5 pages et annexes.
- DA31** NIOCAN INC. *Rectifications apportées au document déposé DB3*, 25 juillet 2002, 2 pages.
- DA31.1** EXPERTS ENVIROCONSEIL INC. *Contre-contre-expertise hydrogéologique*, 10 avril 2002, 11 pages.

Par les ministères, organismes et consultants

- DB1** GSI ENVIRONNEMENT INC. *Évaluation des possibilités de gestion de résidus légèrement radioactifs provenant de l'exploitation de la St. Lawrence Columbium à Oka*, 29 janvier 2001, 13 pages.

- DB2** MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Expertise en dynamitage, impacts liés à l'implantation et l'exploitation d'une mine de Niobium à Oka*, commentaires transmis à M^{me} Brigitte Bérubé, ministère de l'Environnement, Service industriel et agricole, 5 juillet 2001, 3 pages.
- DB3** PAUL BOISSONNAULT, JEAN DEMERS ET DANIEL LABBÉ. *Dossier CPTAQ n° 318605 et dossier TAQ n° STE-Q-077871-0107. Contre-expertise présentée au Conseil Mohawk de Kanesatake et à M^e Louis V. Sylvestre*, Saint-Hyacinthe, novembre 2001, 96 pages et annexes.
- DB3.1** GORDON D.J. EDWARDS. *Dossier CPTAQ n° 318605 et dossier TAQ n° STE-Q-077871-0107, A Critical Lack of Radiological Hazards Assessment of the Niocan Project*, novembre 2001, 6 pages.
- DB4** GÉOPHYSIQUE GPR INTERNATIONAL INC. *Levée de radiométrie au site de Niocan inc., Oka, Québec*, août 2001, 8 pages et annexe.
- DB5** MINISTÈRES DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Commentaires complémentaires à la lettre de la Direction de la santé publique, impacts liés à l'implantation et l'exploitation d'une mine de Niobium à Oka. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 6 septembre 2001, 4 pages et 1 tableau.
- DB6** ROCHE LTÉE. *Correspondance adressée à M. Michel Léger de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides*, 28 septembre 2001, 9 pages.
- DB7** ROCHE LTÉE. *Tassement des argiles. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 28 septembre 2001, 3 pages.
- DB8** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Sommaire de la réunion du 2 novembre 2001*, 2 pages.
- DB9** ROCHE LTÉE. *Aspects « eau ». Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 23 novembre 2001, 7 pages.
- DB10** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Échantillonnage des eaux souterraines. Correspondance adressée à M. Richard Faucher de Niocan inc.*, 4 février 2002, 1 page.
- DB11** ROCHE LTÉE. *Aspects « eau ». Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 6 février 2002, 3 pages.
- DB12** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Localisation de Niocan inc. Note de M. Yves Dansereau adressée à M^{me} Hélène Proteau*, 20 mars 2002, 1 page et 3 plans.
- DB13** SERGE LAVOIE. *Géologie des minéralisations de la propriété Niocan, Oka, Québec*, 6 pages, tableaux et cartes.
- DB14** ROCHE LTÉE. *Gestion des eaux d'exfiltration et de ruissellement externe des digues et des eaux de crue. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 8 janvier 2002, 2 pages, tableaux et 1 carte.
- DB15** ROCHE LTÉE. *Impact potentiel de l'exploitation minière sur la température, le débit et l'intégrité des berges du ruisseau Rousse. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 25 mars 2002, 5 pages.

- DB16** ROCHE LTÉE. *Gestion des résidus. Correspondance adressée à M. Yves Dansereau du ministère de l'Environnement*, 26 mars 2002, 4 pages et 1 tableau.
- DB17** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Le radon à Oka, rapport d'intervention de santé publique*, Direction régionale de la santé publique, 1998, 134 pages.
- DB18** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *L'uranium dans l'eau des puits domestiques à Oka, 1999*, Direction régionale de la santé publique, 3 novembre 1999, 26 pages et annexe.
- DB19** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Évaluation des risques de surexposition au radon dans un secteur des collines de Saint-André-Est*, Direction régionale de la santé publique, 1^{er} juillet 1999, 17 pages.
- DB20** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Efficacité des mesures de mitigation*, Direction régionale de la santé publique, 6 mai 1999, 25 pages.
- DB21** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Mesures complémentaires de concentrations de radon, 1999*, Direction régionale de la santé publique, 2 mars 2000, 15 pages et annexes.
- DB22** BENOÎT LÉVESQUE. *Le radon dans les résidences et le cancer du poumon : les évidences épidémiologiques*, Institut nationale de santé publique du Québec, juin 2001, 25 pages.
- DB23** R. WILLIAM FIELD ET AUTRES. « Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer », *American Journal of Epidemiology*, vol. 151, n° 11, 2000, pages 1091-1102.
- DB24** ZUOYUAN WANG ET AUTRES. « Residential Radon and Lung Cancer Risk in a High-exposure Area of Gansu Province, China », *American Journal of Epidemiology*, vol. 155, n° 6, 2002, pages 554-564.
- DB25** ROCHE LTÉE. *Compte rendu de la réunion tenue le 1^{er} février 2001 avec les représentants du ministère de l'Environnement et de Niocan inc., portant sur les aspects hydrologiques et hydrogéologiques*, 2 pages.
- DB26** SENES CONSULTANTS LIMITED. *Expert Advice Concerning Radiological Aspects of Proposed Niocan Project at Oka, Québec*, 30 avril 2002, 2 pages et annexes.
- DB27** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Correspondance adressée à M. André Chaput, relative aux caractéristiques géologiques liées à un secteur particulier et à la possibilité d'une exposition exceptionnellement élevée au radon domestique*, (référence DB6), 16 août 2001, 2 pages.
- DB28** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Chemical Symbols and Important Characteristics of the U-238, Th-232 Radiactive Decay, Series and K-40*, demandes d'analyses à Niocan inc. des eaux souterraines profondes, figure 1.1, 1 page.
- DB29** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. « Règlement sur les matières dangereuses et modifiant diverses dispositions réglementaires », *Gazette officielle du Québec*, décret 1310-97, 8 octobre 1997 (1997) G.O., pages 6683, 6705 et 6706.

- DB30** FÉDÉRATION DE L'UPA DE L'OUTAOUAIS-LAURENTIDES ET SON SYDICAT DE BASE MONT-BLEU. *Mémoire présenté à la Commission de la protection du territoire agricole du Québec*, mars 2001, 22 pages et annexes.
- DB30.1** NATHALIE GIGUÈRE. *Audience publique à la CPTAQ*, 6 mars 2001, 7 pages.
- DB31** DONAT BILODEAU, EXPERTS-CONSEILS INC. *Municipalité d'Oka, projet minier Niocan inc. Analyse du volet hydrogéologie de l'étude environnementale*, février 2000, 23 pages et annexes.
- DB32** RICHARD MARTEL. *Zones propices à la présence de radon dans les résidences dans la région d'Oka, Québec*, rapport rédigé pour le ministère de l'Environnement et de la Faune, septembre 1995, 4 pages et 1 carte.
- DB33** GERLED. *Faits saillants de l'inventaire du GERLED pour la zone périphérique de Montréal*, 18 septembre 1984, 6 pages.
- DB34** HÔTEL-DIEU DE SAINT-JÉRÔME. *Les résultats d'une étude concernant le bilan de santé des anciens employés de la mine St. Lawrence Columbian and Metals Corporation à Oka*, Québec, 19 mai 1983, pagination multiple.
- DB35** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Matières radioactives dans la municipalité d'Oka et dans la région du nord-ouest de Montréal*, 23 septembre 1980, 3 pages et annexe.
- DB36** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Concentration du radium 226 dans l'eau potable de l'aqueduc*, 14 octobre 1980, 1 page et annexe.
- DB37** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Rapport final sur le sable et le gravier radioactifs de la mine St. Lawrence Columbian and Metals Corporation à Oka*, Service de protection de l'environnement, 27 novembre 1979, 4 pages, tableaux et annexes.
- DB38** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Les Agrégats Oka ltée*, Service de protection de l'environnement, 1^{er} août 1978, 1 page et tableaux.
- DB39** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Correspondance adressée à M. Yvan Patry, maire de la municipalité d'Oka, sur les mesures de niveau de radon effectuées dans 176 maisons du secteur de la formation géologique de carbonatite*, Direction de la santé publique, 16 décembre 1997, 2 pages et annexe.
- DB40** FÉDÉRATION DE L'UPA DE L'OUTAOUAIS-LAURENTIDES. *Points saillants des commentaires soumis par la Fédération au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement lors de la rencontre du 15 mai 2002*, 4 pages.
- DB41** OFFICE NATIONAL DU FILM DU CANADA. *Uranium : A Discussion Guide*, 1991, 24 pages.
- DB42** ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL. *Analyse du radium 226 dans l'eau*, 4 novembre 1980, non paginé.
- DB43** GORDON D.J. EDWARDS. *Health and Environmental Issues Linked to the Nuclear Fuel Chain. Section A : Radioactivity*, 16 mai 2002, 18 pages.

- DB44** GORDON D.J. EDWARDS. *Health and Environmental Issues Linked to the Nuclear Fuel Chain. Section B : Health Effects*, 16 mai 2002, 17 pages.
- DB45** E.R. YOUNG ET R.F. WOOLLARD. *Health Dangers of Uranium Mining and Jurisdictional Questions*, août 1980, 13 pages.
- DB46** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Rapport d'actualisation des activités de la mine Niobec*, mars 2002, 13 pages et annexes.
- DB46.1** SERVICES MINÉRAUX INDUSTRIELS INC., DIVISION MINE NIOBEC. *Résultats des analyses d'échantillons de scorie, du lixiviat des scories, du ferroniobium (FeNb), du lixiviat des résidus miniers des analyses radiologiques sur le solide – parc à résidus Niobec*, juillet 2000 à mai 2002, non paginé.
- DB47** COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC. *Décision n° 318605 relative aux autorisations nécessaires à des fins non agricoles pour les lots 195-264-P, 195-P, 216-P, 331-1-P et 333-P*, 26 juin 2001, 20 pages.
- DB47.1** COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC. *Compte rendu d'orientation préliminaire, Niocan inc. (dossier n° 318605), correspondance adressée à M^e Claude Lapierre*, 17 janvier 2001, 6 pages.
- DB47.2** COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC. *Avis de changement, Niocan inc. (dossier n° 318605), correspondance adressée à M^e Claude Lapierre*, 2 avril 2001, 4 pages.
- DB48** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Avis de santé publique*, Direction de la santé publique, 10 novembre 1995, 1 page et 1 carte.
- DB49** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. Extrait du document *Le radon à Oka, rapport d'intervention de santé publique* (document déposé DB17), Direction de la santé publique, 5 pages.
- DB50** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Décret n° 1296-99 concernant la mise en œuvre du Programme d'aide aux propriétaires de maisons exposées au radon dans un secteur de la région d'Oka*, 1^{er} décembre 1999, 5 pages.
- DB51** SOCIÉTÉ D'HABITATION DU QUÉBEC. *Programme d'aide financière pour les propriétaires de maisons exposées au radon*, janvier 2000, 1 dépliant.
- DB52** GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Directive sur les industries minières, directive n° 019 entrée en vigueur le 29 mai 1989*, 38 pages.
- DB53** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Projet de révision de la directive n° 019 sur les industries minières*, Direction des politiques du secteur industriel, 15 décembre 2000, 86 pages.
- DB54** CANADA. « Règlement sur les effluents de mines de métaux », *Gazette du Canada, Partie I*, 28 juillet 2001, pages 2613-2662.
- DB55** DONALD TREMBLAY. Extrait du document *Caractérisation hydrogéologique du massif rocheux à la mine Niobec, Saint-Honoré, Québec*, mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi, mai 1993, pages 47-57.

- DB56** ANTOINE FOURNIER. Extrait du document *Magmatic and Hydrothermal Controls of LREE Minerazilation of the Saint-Honoré Carbonatite, Québec*, Department of Earth and Planetary Sciences McGill University, Montréal, août 1993, 1 tableau.
- DB57** SERVICES MINÉRAUX INDUSTRIELS INC., DIVISION MINE NIOBEC. *Effets du dynamitage*, 6 juin 2002, 1 page.
- DB58** SERVICES MINÉRAUX INDUSTRIELS INC., DIVISION MINE NIOBEC. Extrait du document *Caractérisation du site de la mine Niobec*, 1991, 1 tableau.
- DB59** SERVICES MINÉRAUX INDUSTRIELS INC., DIVISION MINE NIOBEC. *Analyses de l'effluent eau de mine*, Laboratoire de contrôle, 24 mai 2002, 1 page.
- DB60** SERVICES MINÉRAUX INDUSTRIELS INC., DIVISION MINE NIOBEC. *Hygiène industrielle 2002. Rapport annuel sur les radiations dangereuses, surveillance par dosimétrie thermoluminescente*, 26 mars 2002, 3 pages et 1 tableau.
- DB61** COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATIONS. *Health Risks of Radon and other Internally Deposited Alpha-emitters*, Beir IV, National Academy Press, Washington, D.C., 1988, 23 pages.
- DB62** GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA. Extrait du document *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*, edited by Peter J. Hood, Proceedings of Exploration 77 – an international symposium held in Ottawa, Canada, octobre 1977, 1979, pages 489-510.
- DB63** LABORATOIRES D'EXPERTISES DE QUÉBEC LTÉE. *Analyse granulométrique*, projet n° 4398-00, parc à résidus, 25 février 2000, 1 page.
- DB64** JEAN DEMERS. *Surfaces exposées par la fragmentation versus granoclassement*, 1 page.
- DB65** CHARLES F. PARK JR. ET AUTRES. *Selected Quotations on the Mobility of Uranium in Groundwater*, 2 pages.
- DB66** U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Low-Level Waste Disposal Capacity Report, Revision 1*, [en ligne], Office of Environmental Management, [www.em.doe.gov/lowlevel/llw_apxc.html], 2 pages.
- DB67** U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Natural Radioactivity in the Environment, Energy Resource Surveys Program*, [en ligne], [energy.usgs.gov/factsheets/radioactivity/radioact.html], 2 pages.
- DB68** DOUGLAS B. CHAMBERS, LEO M. LOWE ET RONALD H. STAGER. *Long Term Population Dose due to Radon from Uranium Mill Tailings*, The Uranium Institute, 23^e symposium annuel, London, 10 et 11 septembre 1998, 13 pages.
- DB69** DOUGLAS B. CHAMBERS, VALERIE J. CASSADAY ET LEO M. LOWE. « Exposures from Mining and Mine Tailings », *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 4, n° 2, Int. J. Radiat. Appl. Instrum., Part C, Grande-Bretagne, 1989, pages 295-307.
- DB70** H. CAMUS ET AUTRES. « Long-term contaminant migration and impacts from uranium mill tailings », *Journal of Environmental Radioactivity*, n° 42, 1999, pages 289-303.

- DB71** GORDON D.J. EDWARDS. *Findings on Uranium Tailings*, Verbatim Quotations from Official Documents, 1996, 7 pages.
- DB72** REGROUPEMENT POUR LA SURVEILLANCE DU NUCLÉAIRE. *Estimating Lung Cancers or, « It's perfectly safe, but don't breathe too deeply »*, document rédigé par Gordon D.J. Edwards, mars 1978, mis à jour en août 1985, 102 pages.
- DB73** GORDON D.J. EDWARDS. *Commentaires relatifs au document DA21*, 15 juin 2002, 5 pages et annexes.
- DB74** « Chemical reactions of the elements. Reaction of radium with air », *Radium*, [en ligne], [www.webelements.com/webelements/elements/text/Ra/chem.html], (12 juin 2002), 2 pages.
- DB75** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Mesures du radon dans l'air de résidences privées à Saint-Honoré et les environs*, Direction générale de l'amélioration et de la restauration des milieux atmosphérique et terrestre, 28 décembre 1983, 4 pages et tableaux.
- DB76** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Évaluation de la nappe phréatique, échantillonnage des piézomètres*, 11 septembre 1999, 1 page.
- DB77** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Échantillonnage annuel du milieu récepteur de la mine Niobec*, 19 août 1998, 2 pages.
- DB78** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Échantillonnage annuel du milieu récepteur de la mine Niobec*, 23 juin 1999, 4 pages.
- DB79** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Avis et commentaires quant à l'application des résultats du rapport de M. Yves Gilbert (DA6) sur les niveaux de radon dans les résidences*, Direction de la santé publique, 10 juin 2002, 3 pages.
- DB80** SANTÉ CANADA. *Information relative à l'efficacité des systèmes de traitement installés en 1995 pour la réduction de l'uranium dans l'eau potable de certains puits d'une communauté autochtone du Québec*, Services d'hygiène du milieu, région du Québec, 20 juin 2002, 2 pages.
- DB81** RESSOURCES NATURELLES CANADA. *Réponses aux demandes de la commission portant sur la migration des gaz, le contexte hydrogéologique, le pompage, le dynamitage, la dispersion atmosphérique du radon et de la poussière*, Commission géologique du Canada, 20 juin 2002, 7 pages.
- DB82** UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Extrait du document *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, 2000, pages 108-112 et tableaux.
- DB82.1** SANTÉ CANADA. *Commentaires apportés au document Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Bureau de la radioprotection, 21 juin 2002, 3 pages.
- DB83** SANTÉ CANADA. *Correspondance adressée à M^{me} Michèle Moisan, Indian and Northern Affairs Canada*, Environmental Health Assessment Services, 1^{er} février 2002, 2 pages.
- DB84** CLAUDE BARBEAU. *Évaluation de teneurs d'uranium dissous dans l'eau*, Université Laval, 24 juin 2002, 1 page.

- DB85** ERIC PELLERIN. *Information portant sur les points suivants*, 23 juin 2002, 6 pages :
- la réduction des concentrations d'uranium dans l'eau lors de l'utilisation d'appareils de traitement ;
 - la prédiction des concentrations d'uranium dans l'eau souterraine dans le secteur de la carbonatite d'Oka ;
 - les activités minières et la production de radon et les concentrations dans l'air ambiant ;
 - la baisse ou la remontée (effet piston) du niveau de l'aquifère profond lors des opérations et la diffusion du radon vers les résidences ;
 - la baisse du niveau de l'aquifère profond et l'impact sur la consolidation des sols.
- DB86** COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE. *Information relative aux radionucléides incluant le radon dans des mines d'uranium au Canada et leurs effets sur l'environnement*, Division de la protection de l'environnement et de la vérification, 27 juin 2002, 12 pages.
- DB87** UTA GABRIEL. *Information relative à la géochimie de l'uranium et aux effets du cône de rabattement de l'aquifère à la mine projetée à Oka sur la concentration en uranium des eaux d'exhaure*, INRS-Eau, Terre et Environnement, 28 juin 2002, 10 pages et annexes.
- DB87.1** O. NITZSCHE, G. MEINRATH ET B. MERKEL. Extrait de l'article « Database uncertainty as a limiting factor in reactive transport prognosis », *Elsevier, Journal of Contaminant Hydrology*, [en ligne], [www.elsevier.com/locate/jconhyd], 2000, pages 223-227.
- DB88** MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. *Note de M^{me} Carole Lachapelle adressée à M. Yves Dansereau de la Direction régionale des Laurentides sur les objectifs de rejet pour l'uranium (OER)*, 5 juin 2002, 1 page et annexe.
- DB89** SANTÉ CANADA. *Information relative aux impacts potentiels de la mine projetée à Oka sur le niveau de radioactivité des milieux récepteurs en ce qui concerne la qualité de l'air, les eaux de surface et souterraines*, Bureau de la radioprotection, 2 juillet 2002, 3 pages.
- DB90** ERIC PELLERIN. *Les effets potentiels des travaux de dynamitage sur la fracturation du roc et sur les fondations des résidences dans la région des opérations minières*, 4 juillet 2002, 2 pages.

Par les citoyens et les organismes locaux

- DC1** COMITÉ DE CITOYENS D'OKA. *Rencontre du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement avec le Comité de citoyens d'Oka*, 8 mai 2002, 2 pages.
- DC2** COMITÉ DE CITOYENS DE SAINT-HONORÉ. *Correspondance adressée à M. Michel Robinson, directeur de la mine Niobec à Saint-Honoré*, 24 octobre 2000, 2 pages.
- DC3** MINING WATCH CANADA – MINES ALERTE. *Pour un bilan juste : les coûts réels de l'activité minière*, [en ligne], [www.miningwatch.ca/publications/lobbydayfr99.html], (26 mars 2000), 3 pages.
- DC4** YVAN PATRY. « Mot du maire », *Oka sionnel*, mars-avril 2002, vol. 10, n° 4, 1 page.

- DC5** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Le radon domestique et la santé publique*, Direction de la santé publique, révisé le 14 février 2001, 6 pages.
- DC6** COMITÉ LOCAL DE DÉVELOPPEMENT MINIER. *Oui à la mine d'Oka et oui à l'agriculture*, 21 juillet 2001, 2 pages.
- DC7** COMITÉ LOCAL DE DÉVELOPPEMENT MINIER. *Un avenir à sauvegarder, correspondance adressée au conseil municipal d'Oka*, 28 janvier 2002, 2 pages et 1 carte.
- DC8** COMITÉ LOCAL DE DÉVELOPPEMENT MINIER. *Un avenir à sauvegarder, correspondance adressée à la MRC de Deux-Montagnes*, 28 janvier 2002, 3 pages.
- DC9** PATRICK LEJTENYI. *Your mine, not mine. A controversial project is lining up the citizens of Oka against a Montreal company*, 2 pages.
- DC10** ANDRÉ DUGAL. « Lettre ouverte à André Chaput », *L'Éveil*, 27 avril 2002, page 4.
- DC11** RENÉ GOYER. « René Goyer répond à André Chaput », *L'Éveil*, 27 avril 2002, page 45.
- DC12** COMMISSION SCOLAIRE DE LA SEIGNEURIE-DES-MILLE-ÎLES. *Projet d'exploitation d'une mine de niobium à Oka (résolution n° CC-020508-1295), correspondance adressée à M. André Boisclair, ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau*, 15 mai 2002, 2 pages et annexe.
- DC13** CONSEIL RÉGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT DES LAURENTIDES. *Projet minier Niocan à Oka, correspondance adressée à M. André Boisclair, ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau*, 16 août 2001, 2 pages.
- DC14** SYNDICAT DE L'ENSEIGNEMENT DE LA SEIGNEURIE-DES-MILLE-ÎLES. *Projet minier Niocan à Oka, correspondance adressée à M. André Boisclair, ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau*, 25 octobre 2001, 2 pages.
- DC15** RÉGIE RÉGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DES LAURENTIDES. *Ouverture projetée de la mine Niocan sur le rang Sainte-Sophie à Oka, correspondance adressée à M. André Boisclair, ministre d'État aux Affaires municipales et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau*, 16 août 2001, 2 pages.
- DC16** « Un problème de santé publique : le radon », *Combat Nature n° 134*, [en ligne], août 2001, [www.globenet.org/acro/radon.html], (3 juin 2002), 3 pages.
- DC17** MINING WATCH CANADA – MINES. *Correspondance adressée à M. Richard R. Faucher de Niocan inc.*, 24 novembre 2000, 2 pages.
- DC18** ALAIN TIERCELIN. *Similarities between Kikland Lake and Oka*, 2 pages.
- DC18.1** ALAIN TIERCELIN. *Addenda apporté au document DC18*, 8 juillet 2002, 1 page.
- DC19** MUNICIPALITÉ D'OKA. *Projet minier (résolution n° 98-10-184)*, 5 octobre 1998, 1 page.

DC20 CONSEIL CENTRAL DES LAURENTIDES. Extrait du *Procès-verbal de la réunion du comité exécutif du CCSNL tenue à Saint-Jérôme (résolution n° CE-04122001-05)*, 4 décembre 2001, 1 page.

Par la commission

DD1 ANDRÉ PROULX. *Étude des processus magmatiques et postmagmatiques responsables des minéralisations niobifères dans la carbonatite d'Oka, Québec*, résumé, 27 pages et annexes.

DD2 MATTHEW GAINES. « Radiation and Risk », *Inside Science*, 18 mars 2000, 4 pages.

DD3 GREGORY KENNEDY. *Notions de radioactivité relatives à l'uranium dans les roches*, 23 mai 2002, 2 pages.

Les demandes d'information de la commission

DQ1 BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT. *Questions complémentaires adressées à Niocan inc. (n°s 1 à 25)*, 31 mai 2002, 5 pages.

DQ1.1 SENES CONSULTANTS LIMITED. *Information relative aux poussières causées lors du nettoyage des scories et des résidus miniers au site SLC et réponses aux questions sur l'impact des retombées de poussières radioactives sur les sols (question n° 22) et sur l'effet piston (question n° 19C) à la fermeture de la mine projetée à Oka*, 6 juin 2002, 5 pages.

DQ1.2 NIOCAN INC. *Réponses aux questions du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement*, juin 2002, 36 pages et annexes.

DQ2 BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT. *Question supplémentaire adressée à Niocan inc. (n° 26)*, 6 juin 2002, 1 page.

DQ2.1 *La réponse à la question n° 26 est contenue dans les documents DQ1.2 et DA29.*

DQ3 BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT. *Demande d'information relative au document de réponses aux questions (DQ1.2)*, 26 juin 2002, 1 page.

DQ3.1 NIOCAN INC. *Réponse à la demande d'information*, 26 juin 2002, 1 page.