

CONTAMINATION ENVIRONNEMENTALE DANS LE QUARTIER LIMOILOU

LE NICKEL

Avis complémentaire de santé publique

Directeur de santé publique de la Capitale-Nationale
Direction de santé publique

Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale



Septembre 2015

ONT CONTRIBUÉ À LA PRODUCTION DE CET AVIS

Rédacteur

- D^{re} Caroline Huot, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale

Réviseurs internes

- M. Jean-François Duchesne, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale
- D^r Pierre L. Auger, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale
- D^r Denis Laliberté, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale
- Mme Daria Pereg, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale

Mise en page et révision linguistique

- Lina Bergeron, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale

Nous remercions également les professionnels de l'Institut national de santé publique du Québec pour leur collaboration.

Ce document est disponible en version électronique à l'adresse Internet www.dspq.qc.ca, section Documentation, rubrique Publications.

Dépôt légal, bibliothèque et Archives nationale du Québec, 2015

ISBN : 978-2-550-74109-1 (version imprimée)
ISBN : 978-2-550-74110-7 (version électronique)

Cette publication a été versée dans la banque SANTÉCOM

La reproduction de ce document est permise, pourvu que la source soit mentionnée.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
1. MISE EN CONTEXTE	5
2. L'ÉVALUATION ET LA GESTION DU RISQUE EN SANTÉ PUBLIQUE	8
2.1 L'ÉVALUATION DU RISQUE POUR LA SANTÉ	8
2.2 LA GESTION DU RISQUE POUR LA SANTÉ	9
3. L'ÉVALUATION DU RISQUE DE L'EXPOSITION AU NICKEL DANS L'AIR AMBIANT DANS LE QUARTIER LIMOILOU EN 2014	10
3.1 IDENTIFICATION DU DANGER.....	10
3.1.1 <i>Source, nature et caractéristiques physicochimiques du produit</i>	10
3.1.2 <i>Voies d'absorption et d'élimination du nickel</i>	11
3.1.3 <i>Effets d'une exposition aiguë et chronique</i>	12
Effets à la santé d'une exposition aiguë au nickel	12
Effets à la santé d'une exposition chronique au nickel	13
Effets reproducteurs et développementaux	14
Effets cancérogènes	14
3.1.4 <i>Populations sensibles et exposées</i>	15
Groupes sensibles aux effets du nickel.....	15
Population exposée.....	15
3.2 CARACTÉRISATION TOXICOLOGIQUE - VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE ET ESTIMATEURS DE RISQUE CANCÉRIGÈNE POUR LE NICKEL	16
3.3 ESTIMATION DE L'EXPOSITION - LES CONCENTRATIONS DE NICKEL MESURÉES DANS L'AIR AMBIANT EN 2014 À LA STATION DES SABLES	20
3.4 ESTIMATION DU RISQUE ASSOCIÉ À L'EXPOSITION AU NICKEL DANS L'AIR AMBIANT AUX CONCENTRATIONS MESURÉES À LA STATION DES SABLES EN 2014	22
3.4.1 <i>Effets liés à l'exposition aiguë au nickel</i>	22
3.4.2 <i>Effets liés à l'exposition chronique au nickel</i>	22
Effets non cancérogènes	22
Effets cancérogènes	23
3.5 LIMITES DE L'ANALYSE	23
3.6 CONCLUSION DE L'ÉVALUATION DU RISQUE	25
4. LA GESTION DU RISQUE LIÉ À L'EXPOSITION AU NICKEL DANS LE QUARTIER LIMOILOU	27
4.1 RESPECT DE LA NORME DU RAA POUR LE NICKEL	27
4.2 OPTIONS DE GESTION EFFICACES ET PROPORTIONNÉES AU RISQUE	27
4.2.1 <i>Rôles et responsabilités</i>	27
4.2.2 <i>Gestion efficace et proportionnée du risque</i>	27
4.2.3 <i>Options de gestion recommandées</i>	28
4.2.4 <i>Suivi des actions</i>	28
5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	29
6. RÉFÉRENCES	31

INTRODUCTION

Le document qui suit présente une analyse complémentaire à l'avis de santé publique diffusé en avril 2013 par le directeur de santé publique de la Capitale-Nationale (DSP). Depuis la diffusion de cet avis, certains éléments de contexte ont changé. Le DSP a donc jugé nécessaire de faire le point sur la présence de nickel dans l'air du quartier Limoilou et sur ses effets à la santé.

Ce document présente succinctement la démarche d'évaluation et de gestion du risque utilisée en santé publique. Une évaluation du risque pour la santé en lien avec l'exposition au nickel aux concentrations retrouvées dans l'air ambiant en 2014 dans Limoilou est faite. Il en découle certains constats pour la gestion de ce risque dans ce secteur.

1. MISE EN CONTEXTE

Il est utile de rappeler quelques constats quant à la présence de nickel dans le quartier Limoilou présentés dans le premier avis de santé publique publié en avril 2013.

1. Entre 2010 et 2012, trois stations d'échantillonnage (Des Sables, Beaujeu et De Vitré) établies par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) ont mesuré le nickel dans l'air ambiant du secteur Limoilou. Les mesures les plus élevées de nickel dans les particules en suspension totales (PST)¹ ont été enregistrées à la station Des Sables (moyenne annuelle de 0,024 à 0,096 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comparativement à 0,012 à 0,048 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station Beaujeu et à 0,019 à 0,071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station De Vitré) (annexe 1) (MDDELCC, 2013).
2. Les concentrations de nickel mesurées à la station Des Sables pour cette période étaient généralement supérieures à celles retrouvées ailleurs au Québec, au Canada ou aux États-Unis en milieu urbain. Toutefois, les villes où l'on retrouve de l'affinage de nickel présentent des niveaux supérieurs à ce qui a été observé à Limoilou (Walsh et Brière, 2013; OEHHA, 2012; ATSDR, 2005).
3. L'évolution dans le temps des concentrations de nickel mesurées à la station Des Sables dans les particules de moins de 10 μm (PM_{10})¹ et dans celles de moins de 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$)¹ est présentée à la figure 1. On peut constater que les concentrations moyennes de nickel mesurées à cette station ont été variables de 1995 à 2012. Une baisse des concentrations de nickel dans l'air ambiant a été notée à la suite du niveau atteint en 2009.
4. À la station Des Sables, une diminution de la concentration moyenne de nickel mesurée a été notée entre 2010 et 2012, de façon plus marquée dans les PST que dans les PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ (dans les PST : de 0,096 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010 à 0,070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2011 à 0,024 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2012) (Walsh et Brière, 2013) (annexe 2).

¹ Voir le premier avis de santé publique publié en 2013 p. 12 et 13.

Les particules en suspension totales (PST) mesurées sont celles de moins de 150 μm . Elles incluent les particules **respirables** de moins de 10 μm (PM_{10}) qui pénètrent dans les voies respiratoires supérieures et les poumons. Les PM_{10} incluent les particules de moins de 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) qui pénètrent profondément dans les poumons.

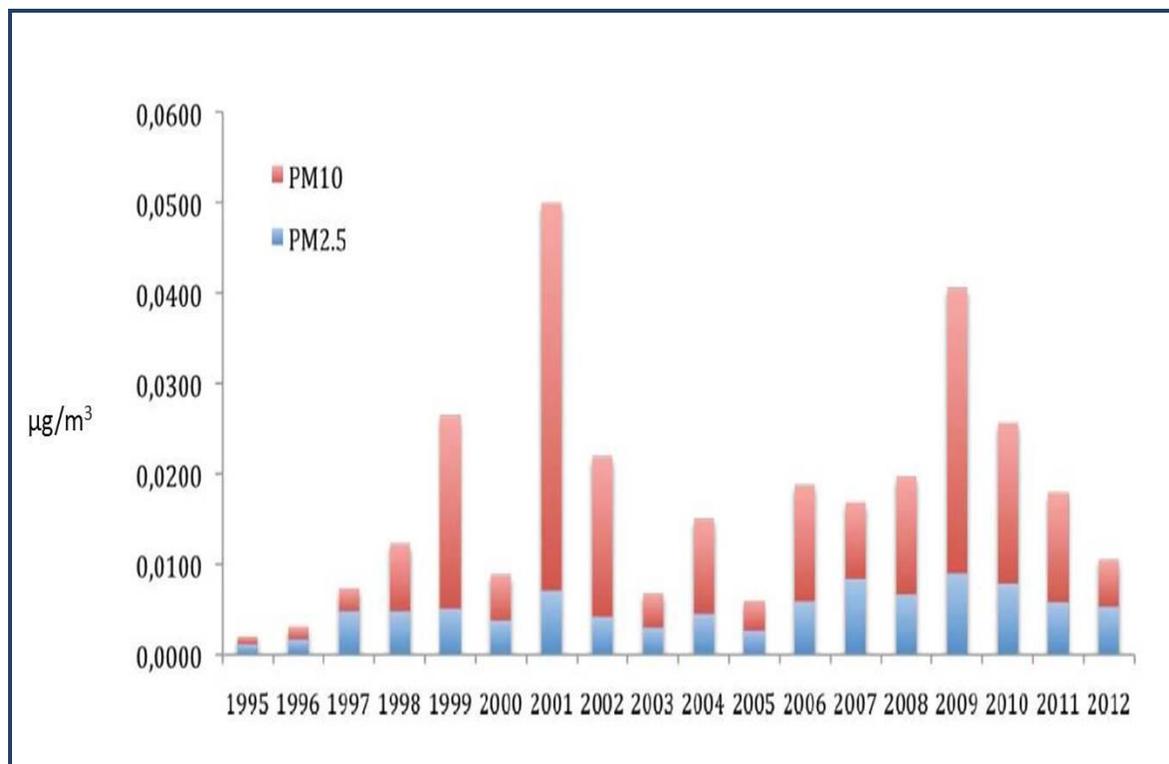


Fig. 1 Concentrations moyennes de nickel à la station Des Sables de 1995 à 2012 dans les fractions $PM_{2,5}$ et PM_{10}

Source : Walsh et Brière, 2013

Depuis la publication du premier avis de santé publique en avril 2013, les éléments de contexte suivants ont évolué :

1. Le MDDELCC a modifié, en novembre 2013, la norme qui prévaut pour le nickel dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) (Gouvernement du Québec, 2015). Les normes antérieures, adoptées en 2011, de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une base horaire et de $0,012 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période annuelle dans les PST ont été remplacées par une valeur de $0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une période de 24 heures dans les PM_{10} (tableau 1, section 3). Cette valeur est applicable aux composés de nickel.
2. Le MDDELCC partage ses données d'échantillonnage du nickel dans l'air ambiant avec le DSP, de façon mensuelle avant validation puis annuellement pour les données validées, pour qu'il puisse les analyser et en tirer les conclusions qui s'imposent dans une perspective de prévention des risques pour la santé de la population.

3. Des changements ont été apportés au devis d'échantillonnage du nickel dans l'air ambiant et à la présentation des données par le MDDELCC en 2014. Ces changements compliquent les comparaisons historiques des données. Ces changements portent sur :
 - a. les fractions (PST, PM₁₀) analysées et rapportées;
 - b. la fréquence d'échantillonnage;
 - c. la présentation des données (actuellement présentées sous forme de pourcentage d'échantillons respectant la norme).

4. L'administration portuaire de Québec de même qu'Arrimage Saint-Laurent ont mis en place des mesures de mitigation qui ont été rapportées dans le Bilan de l'an 1 du comité intersectoriel sur la contamination environnementale dans l'arrondissement La Cité-Limoilou (CICEL) créé par le DSP (Agence, 2014).

2. L'ÉVALUATION ET LA GESTION DU RISQUE EN SANTÉ PUBLIQUE

Un risque à la santé de la population peut être défini de la façon suivante : la **probabilité de survenue des conséquences négatives** et leur **importance** sur la santé de la population à la suite d'une exposition à un agent (Ricard, 2003; WHO, 2012).

Les intervenants de santé publique sont appelés à évaluer ces risques puis à proposer des options pour les gérer.

2.1 L'évaluation du risque pour la santé

L'évaluation consiste à identifier les **différents types de conséquences** négatives sur la santé, leurs sources et leurs causes, puis à estimer quantitativement ou qualitativement la **probabilité** de survenue de ces conséquences et leur **importance** (Ricard, 2003; WHO, 2012). La principale conséquence du risque concerne les effets négatifs directs sur la santé de la population (morbidité et mortalité). Les autres conséquences possibles du risque ou des options de gestion, comme les impacts sociaux, économiques, environnementaux ou politiques doivent aussi être envisagés parce qu'ils peuvent avoir un effet sur la santé (WHO, 2012). En effet, la santé humaine est influencée par plusieurs déterminants, dont les facteurs génétiques et biologiques ainsi que les habitudes de vie et les comportements, mais également par plusieurs autres facteurs environnementaux, sociaux ou économiques.

L'évaluation du risque d'exposition à une substance dans l'environnement est une démarche mettant en relation des renseignements toxicologiques sur un contaminant avec les renseignements concernant l'exposition humaine à ce contaminant en vue d'estimer quantitativement le niveau de risque pour la santé humaine associé à cette exposition. L'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine, telle que décrite par l'Institut national de santé publique du Québec, comprend les quatre étapes suivantes :

1. Identification du danger (section 3.1);
2. Caractérisation toxicologique (section 3.2);
3. Estimation de l'exposition (section 3.3);
4. Estimation du risque (section 3.4) (INSPQ, 2012).

L'identification du danger comprend l'identification du produit en cause et de ses propriétés toxicologiques, des voies d'exposition possibles et la description des conséquences ou effets à la santé de l'exposition aiguë ou chronique. La caractérisation toxicologique permet de savoir à partir de quelle dose ou concentration la substance à l'étude peut entraîner des effets à la santé. Pour ce faire, les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances non cancérigènes et les estimateurs de risque pour les substances cancérigènes sont utilisées. Les VTR correspondent aux doses ou aux concentrations de contaminants auxquelles un individu peut être exposé sans risque de subir des effets

toxiques non cancérigènes. Pour les substances entraînant des effets cancérigènes, l'outil pour estimer le risque (estimateur de risque) est le coefficient de cancérogénicité. Il permet d'estimer le nombre de cas de cancer en excès, par rapport au taux de base dans la population, attribuable à l'exposition étudiée. L'estimateur de risque cancérigène est établi en tenant compte de toute la durée de vie des individus de la population. Les VTR et les estimateurs de risque cancérigène peuvent être basés sur des études toxicologiques animales ou des études épidémiologiques menées chez l'humain (INSPQ, 2012). Ces valeurs :

- sont construites à partir des relations dose-réponse ou concentration-réponse observées;
- incluent des facteurs de sécurité (FS) d'ampleur variable (ex. : 10, 100, 1000), selon le niveau d'incertitude associé à la relation dose-réponse attendue pour l'humain, de manière à s'assurer qu'elles soient suffisamment protectrices. Les VTR sont donc de 10 à 1000 fois plus faibles que les valeurs observées dans les études, notamment lorsque ces valeurs sont obtenues à partir d'expériences conduites chez des animaux et qu'elles sont extrapolées aux humains. Cette façon de faire permet également de protéger les personnes les plus sensibles au sein d'une population;
- sont spécifiques pour une substance, une voie d'exposition, un effet et une durée d'exposition (InVS, 2002).

Des VTR et des estimateurs de risque cancérigène sont proposés par des organismes reconnus disposant de procédures mises à jour régulièrement.

2.2 La gestion du risque pour la santé

La gestion du risque porte principalement sur l'identification, la mise en œuvre et le suivi des interventions possibles aux différentes étapes de la chaîne du risque pour remédier aux causes et réduire le risque (Ricard, 2003; WHO, 2012). Les intervenants de santé publique doivent recommander des options de gestion du risque et travailler avec les partenaires à identifier les rôles et responsabilités dans la mise en œuvre de ces options et leur suivi. L'efficacité des options de gestion du risque ainsi que leurs conséquences sur l'ensemble des déterminants de la santé (sociaux, économiques, environnementaux) doivent être prises en compte dans les recommandations faites par les intervenants de santé publique (WHO, 2012). En effet, les options de gestion proposées doivent être efficaces et proportionnelles au risque identifié, de façon à ce que leurs impacts négatifs potentiels sur la santé soient justifiés et possiblement contrebalancés par leur efficacité à réduire le risque et leurs retombées positives sur la santé (WHO, 2012).

3. L'ÉVALUATION DU RISQUE DE L'EXPOSITION AU NICKEL DANS L'AIR AMBIANT DANS LE QUARTIER LIMOILOU EN 2014

3.1 Identification du danger

3.1.1 Source, nature et caractéristiques physicochimiques du produit

La toxicité du nickel dépend de sa nature et de ses caractéristiques physicochimiques. Le nickel existe sous forme métallique naturellement présente dans les sols et les poussières volcaniques (ATSDR, 2005). Il peut se combiner avec du soufre, du chlore et de l'oxygène pour former plusieurs composés solubles et insolubles de nickel, comme le sous-sulfure de nickel, le chlorure de nickel et l'oxyde de nickel (Public Health England, 2009).

La nature du nickel dépend de la source d'émission. Les principales sources de nickel dans l'air sont les activités humaines comme la combustion de carburants fossiles (ex. : huile et charbon), l'incinération de déchets municipaux, le raffinage de nickel et la production d'acier ou autres alliages de nickel (Public Health England, 2009; OEHHA, 2012, ATSDR, 2005). Jusqu'à un tiers du nickel présent dans l'air pourrait être de source naturelle, provenant notamment des volcans en éruption et des feux de forêt (OEHHA, 2012). La fumée de cigarette pourrait contenir de 0,200 à 0,510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de nickel (OEHHA, 2012).

Les principales caractéristiques physicochimiques influençant la toxicité du nickel sont la solubilité du composé dans l'eau ainsi que sa distribution dans les particules en suspension dans l'air (OEHHA, 2012). Les composés de nickel ayant une solubilité élevée (ex. : sulfate de nickel, chlorure de nickel et nitrate de nickel) se retrouvent en plus grande concentration dans les organes cibles que les composés moins solubles (ex. : carbonate de nickel et sous-sulfure de nickel) (OEHHA, 2012) et seraient plus toxiques (ATSDR, 2005). Le potentiel cancérigène des formes moins solubles serait cependant mieux démontré (ATSDR, 2005).

Les composés de nickel se lient à des particules en suspension dans l'air qui sont inhalées. La toxicité de ces particules dépend de l'endroit où elles se déposent dans le système respiratoire et de leur élimination (OEHHA, 2012). De façon générale, les plus grosses particules (taille supérieure à 10 μm) pénétreront difficilement dans le système respiratoire et n'atteindront pas les alvéoles pulmonaires. Elles se logeront principalement au niveau nasopharyngé et pourront être dégluties ou recrachées avec le mucus (Goupil-Sormany, 2013). Ce sont les particules inhalables, celles de moins de 10 μm (PM_{10}) et particulièrement celles de moins de 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), qui sont préoccupantes pour la santé respiratoire parce qu'elles peuvent pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire, atteindre les alvéoles pulmonaires et sont alors plus difficilement éliminées. Les effets sur la santé de ces particules inhalables sont bien documentés (WHO, 2013).

Considérant la présence naturelle et anthropique du nickel dans tout environnement urbain (Clougherty *et coll.*, 2015), plusieurs formes de ce métal pourraient être présentes dans le secteur Limoilou. Selon le MDDELCC (Walsh et Brière, 2013), le nickel identifié dans les échantillons provenant de Limoilou serait

majoritairement de la pentlandite (Fe, Ni)₉S₈. C'est un minerai de nickel sulfuré dans lequel est également présent du fer. Ce minerai peut générer du sous-sulfure de nickel, un composé insoluble du nickel (INERIS, 2006; OEHHA, 2012). La taille moyenne de la grande majorité des grains du minerai (80 %) serait de 50 µm (25 µm à 90 µm), mais l'information n'est pas disponible pour la pentlandite échantillonnée dans Limoilou (Vale Canada, 2011).

3.1.2 Voies d'absorption et d'élimination du nickel

Un contaminant peut avoir un effet à son site de contact (ex. : peau, yeux, système digestif, système respiratoire) ou à la suite de son absorption et de son action sur des organes cibles. L'absorption d'un contaminant signifie son passage du site de contact à la circulation sanguine de la personne exposée. Un contaminant peut être absorbé par le corps humain par les **voies orale** (ingestion, par le système digestif), **cutanée** (par la peau) et **pulmonaire** (inhalation, par le système respiratoire).

Le nickel et ses composés sont absorbés par les voies pulmonaires et dans une moindre mesure par la voie orale (INERIS, 2006). Les composés solubles du nickel (chlorure, sulfate) sont plus facilement absorbés par le tractus respiratoire (INERIS, 2006) et le tractus digestif (ATSDR, 2005).

Chez les humains, environ 20 à 35 % du nickel inhalé serait absorbé dans le sang, le reste serait ingéré, expectoré ou resterait au niveau du système respiratoire (ATSDR, 2005).

L'absorption du nickel par voie orale varie dépendamment du médium de consommation (de 3 à 40 %); on observe une plus grande absorption par l'eau que par la nourriture. Elle diminuerait avec l'âge (ATSDR, 2005). Le nickel ne se bioaccumule pas beaucoup chez les animaux, mais peut s'accumuler dans certaines plantes (noix, légumineuses, grains) (ATSDR, 2005; OEHHA, 2012).

L'absorption du nickel se fait également par voie cutanée. Cette voie est peu significative quantitativement, mais importante cliniquement dans la pathogénie de la dermatite de contact. Il n'existe pas de différence d'absorption du nickel par voie cutanée entre les sujets hypersensibles et les autres (INERIS, 2006; ATSDR, 2005).

La majorité du nickel absorbé est excrété par l'urine, peu importe la voie d'absorption (ATSDR, 2005).

La situation qui nous intéresse ici concerne la présence de nickel dans les particules dans l'air ambiant. De façon générale, les contaminants de l'air extérieur sont majoritairement inhalés au niveau pulmonaire.

On ne peut exclure que des particules respirables soient inhalées et se déposent au niveau du nasopharynx avant d'être ingérées avec les sécrétions nasopharyngées. Les particules se déposant au sol pourraient également être ingérées via les aliments cultivés sur place. Cependant, la majorité des personnes consomment des aliments achetés à l'épicerie et de l'eau de l'aqueduc municipal; aliments et eau qui proviennent de sources situées ailleurs sur le territoire. Les enfants pourraient ingérer des particules via le sol ou l'eau en jouant au niveau du sol.

La population pourrait également être exposée par voie cutanée au nickel présent dans les fines particules dans l'air ambiant.

3.1.3 Effets d'une exposition aigüe et chronique

Les mots *aigus* et *chroniques* peuvent être associés aux mots *exposition*, *intoxication*, *toxicité* et *effets* (Viau et Tardif, 2003). Dans le contexte actuel, nous discutons d'effets à la santé résultant d'une *exposition* aigüe ou chronique.

Les principaux effets documentés du nickel sur la santé sont les effets respiratoires et immunologiques découlant de l'inhalation de nickel, les effets immunologiques et possiblement reproducteurs et développementaux consécutifs à son ingestion ainsi que les effets immunologiques à la suite de l'exposition cutanée (ATSDR, 2005; OEHHA 2012). Les effets sur les différents systèmes à la suite de l'inhalation, l'ingestion ou le contact cutané avec du nickel seront décrits pour une exposition aigüe puis chronique. Il sera précisé si les informations disponibles sont basées sur des études humaines ou animales.

Effets à la santé d'une exposition aigüe au nickel

Les effets chez l'**humain** comme les intoxications modérées à sévères ou le décès à la suite de l'inhalation ou de l'ingestion de nickel ont toujours été rapportés après des expositions à de hautes concentrations de nickel (au moins 1 000 µg/m³) (INERIS, 2006; ATSDR, 2005).

Une inflammation pulmonaire a été décrite chez des **animaux** à la suite d'une exposition aigüe à des composés de nickel par inhalation. Les plus faibles concentrations auxquelles ces effets ont été observés sont ≥ 100 µg/m³. Ces effets aigus étaient plus importants lorsque les animaux étaient exposés à des composés solubles de nickel (OEHHA, 2012; ATSDR, 2005).

Des effets immunologiques ont également été décrits après une exposition aigüe par inhalation ou ingestion aux composés de nickel chez les **animaux**. Une altération de l'immunité innée et acquise et une augmentation de la susceptibilité aux infections par streptocoque ont été observées (ATSDR, 2005; INERIS 2006). Une hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques et médiastinaux a également été notée chez ces animaux (ATSDR, 2005). Ces effets consécutifs à l'inhalation, sont survenus à des concentrations plus élevées que 100 µg/m³.

Les **individus** sensibilisés (c'est-à-dire qui ont développé une allergie) au nickel peuvent avoir une réactivation de leurs symptômes de dermatite de contact à la suite de l'ingestion d'une dose unique de nickel de 10 à 60 µg Ni/kg (ATSDR, 2005). La plus faible dose décrite ayant ce genre d'effet serait 9 µg/kg (INERIS 2006, OEHHA, 2012). Des tests épicutanés au nickel chez des individus sensibilisés ont montré une relation entre la dose de nickel présent au niveau cutané et la sévérité de la dermatite (INERIS, 2006; ATSDR, 2005). La plus faible concentration de chlorure de nickel entraînant une réaction était de 0,1 % (1000 ppm) ou 9,7 X 10⁶ µg/m³ (CSST, 2014; INERIS, 2006).

Effets à la santé d'une exposition chronique au nickel

Le système respiratoire est la principale cible de l'exposition chronique au nickel par inhalation (INERIS 2006; OEHHA, 2012). Les études épidémiologiques ont démontré un risque plus élevé de bronchite chronique et de fibrose pulmonaire chez des **travailleurs** exposés au nickel, mais également à d'autres types de métaux (INERIS, 2006; ATSDR, 2005). Les concentrations de nickel décrites dans ces études sont $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les études **animales** font état d'une inflammation pulmonaire pour un ordre de concentration similaire. Ces effets sont liés à la solubilité du composé de nickel, un composé moins soluble étant plus toxique pour une exposition chronique (ATSDR, 2005). Une atrophie de l'épithélium nasal réversible aurait également été décrite dans des études animales à des concentrations plus élevées que les effets pulmonaires (ATSDR, 2005).

Des cas d'asthme (réaction irritative ou allergique) ont également été rapportés chez quelques **travailleurs** à la suite d'une exposition professionnelle au nickel (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

Une stimulation du système immunitaire a aussi été observée, mais cette fois chez l'**humain**, à la suite d'une exposition chronique par inhalation au nickel (INERIS, 2006; ATSDR, 2005). Les niveaux d'exposition n'étaient cependant pas rapportés et l'importance de ces résultats en termes d'effets à la santé n'est pas décrite.

L'effet le plus fréquent de l'exposition au nickel dans la **population** est la dermatite de contact allergique (environ 15 % de la population) (ATSDR, 2005). Le mécanisme immunitaire expliquant cette allergie est encore mal connu (OEHHA, 2012). La sensibilisation au nickel se produit le plus souvent à la suite d'un contact avec des produits de consommation, le plus fréquemment des bijoux contenant du nickel, bien que ce soit une source contrôlée maintenant (PHE, 2009). Une association a d'ailleurs été observée en lien avec le perçage des oreilles, cette allergie étant plus fréquente chez les femmes (INRS, 2010). Cette sensibilisation aurait tout de même augmenté entre 1992 et 2004 chez les Nord-Américains (Rietschel *et coll.*, 2008). Deux études transversales conduites auprès de groupes de 309 et 749 enfants respectivement ont étudié le lien entre l'inhalation de nickel et la sensibilisation au nickel (Mann *et coll.*, 2010; Kasper-Sonnenberg *et coll.*, 2010). La première n'avait pas de conclusion statistiquement significative. La deuxième étude a conclu à un risque légèrement augmenté (RC : 1,28; IC : [1,25; 1,32]) de présenter une sensibilisation au nickel détectée par des tests cutanés lors d'une augmentation de la concentration de nickel dans l'air ambiant de $0,018 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toutefois, les organismes scientifiques qui révisent cette littérature et qui se prononcent sur les effets à la santé possibles du nickel n'ont pas encore évalué la signification de cette deuxième étude (OEHHA, 2012). La sensibilisation ne semble pas être un effet notable de l'ingestion de nickel (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

La sensibilité au nickel persiste pour des années, mais le temps écoulé entre les expositions influence l'intensité de la réaction. Cette intensité est également influencée par la dose de nickel absorbée par voie orale (ATSDR, 2005). Une étude a suggéré que ce pourrait être le retrait du nickel plutôt que la valeur des pics atteints qui contribuerait aux symptômes cutanés lorsque les **personnes** sensibilisées

sont exposées par voie orale (ATSDR, 2005). Des études suggèrent que l'exposition à long terme au nickel par voie orale peut être tolérée par quelques individus désensibilisés, et peut même servir de traitement désensibilisant (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

Des effets cutanés et hépatiques ont été observés chez des **rats** exposés à 60 mg/kg/jour de sulfate de nickel par voie cutanée pendant 15 à 30 jours. Cependant, il n'a pas été précisé si les rats pouvaient lécher la zone d'application et il se peut donc que les effets résultent d'une exposition orale (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

Deux études ont démontré que la présence de nickel dans les particules fines respirables de moins de 2,5 µm (PM_{2,5}) pourrait jouer un rôle dans les effets cardiovasculaires et respiratoires provoqués par ces particules (Bell *et coll.*, 2009; Patel *et coll.*, 2009, OEHHA, 2012). Plus précisément, Patel (2009), qui a étudié le lien entre le contenu en métaux des PM_{2,5} sur trois mois et la survenue de symptômes respiratoires autodéclarés de façon longitudinale pendant 24 mois, a démontré une augmentation de la probabilité d'observer des symptômes de sifflement respiratoire chez les enfants lorsque le contenu en nickel augmente dans les PM_{2,5}.

Effets reproducteurs et développementaux

Des études chez des **travailleurs** exposés lors de leur travail à de fortes doses de nickel par inhalation suggèrent une augmentation de l'incidence de la spermatoxycité. Les résultats des études disponibles sont contradictoires pour l'effet sur les avortements spontanés (OEHHA, 2012).

Les études **animales** disponibles révèlent des résultats contradictoires concernant la dose à laquelle des effets pourraient être observés sur le système reproducteur à la suite de l'ingestion de nickel, mais les doses testées étaient toujours plus grandes que 1 mg/kg/jour. Ces effets sont une altération de la spermatogenèse et peut-être de la fertilité (OEHHA, 2012). Les effets développementaux principalement observés sont une diminution de la survie de la progéniture et une augmentation des avortements spontanés (ATSDR, 2005; INERIS, 2006). L'interprétation de ces données est compliquée par la toxicité maternelle, particulièrement la diminution du poids chez les mères aux mêmes doses (ATSDR, 2005).

Effets cancérigènes

Une augmentation statistiquement significative du risque de cancer nasal et des poumons a été décrite chez des **travailleurs** de raffinerie de nickel exposés par inhalation à de fortes doses de nickel insoluble (ATSDR, 2005; INERIS, 2006). Le comité international sur la cancérogenèse du nickel chez l'homme (1990) a conclu que ces cancers étaient surtout liés aux composés peu solubles de nickel à des concentrations plus grandes ou égales à 10 000 µg/m³ (ATSDR, 2005). L'exposition à des composés solubles de nickel à des concentrations moindres ($\geq 1\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) pourrait augmenter ce risque (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

La *US Environmental Protection Agency* (US EPA) classe le sous-sulfure de nickel et le nickel des poussières de raffineries parmi les composés cancérigènes pour **l'humain** (groupe A) (US EPA, 1991). Le

Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) a identifié les composés du nickel comme cancérigènes chez l'humain (groupe 1) (IARC, 2012).

3.1.4 Populations sensibles et exposées

Groupes sensibles aux effets du nickel

Certains groupes de la population pourraient être plus sensibles aux effets du nickel. C'est le cas des personnes hypersensibles ou sensibilisées au nickel. Les personnes présentant une insuffisance rénale pourraient plus difficilement éliminer le nickel et y être plus sensibles. Les personnes diabétiques présentent souvent une insuffisance rénale et pourraient également davantage souffrir de la toxicité du nickel étant donné ses effets hyperglycémisants décrits chez les animaux (ATSDR, 2005). Les asthmatiques ou personnes atopiques pourraient être plus à risque de développer de l'asthme lié au nickel. À cause de ses effets vasoconstricteurs décrits, les personnes avec une maladie cardiaque ischémique pourraient être plus sensibles aux effets du nickel. Les fumeurs pourraient être plus exposés parce que la fumée de cigarette contient déjà du nickel. Les enfants pourraient aussi être plus impactés, en lien avec les effets respiratoires, immunologiques et développementaux du nickel (OEHA, 2012).

Population exposée

Les territoires de CLSC Basse-Ville/Limoilou-Vanier comptaient 86 910 personnes en 2014 (MSSS, 2015).

Les données sociosanitaires publiées en 2012 montrent que la population du territoire de CLSC Basse-Ville/Limoilou-Vanier présente en général un portrait moins favorable pour plusieurs déterminants et conditions de santé que le reste du Québec. Par exemple, les proportions de personnes vivant sous le seuil de faible revenu, de familles monoparentales avec enfant de moins de 18 ans, de fumeurs chez les 12 ans et plus et de naissances de faible poids y sont plus élevées. Le taux de mortalité par tumeurs malignes, maladie de l'appareil respiratoire et circulatoire y est également plus élevé. L'espérance de vie en bonne santé y est plus faible qu'ailleurs au Québec (DSP Capitale-Nationale 2015). La plus grande concentration régionale de défavorisation, à la fois sur le plan matériel et social, se retrouve dans les territoires de CLSC Basse-Ville/Limoilou-Vanier (DSP Capitale-Nationale, 2012). Il est plus fréquent d'observer dans les secteurs résidentiels plus défavorisés, la proximité de zones commerciales et industrielles, ce qui augmente le risque d'exposition de la population aux contaminants environnementaux relâchés par les industries. Ce cumul global de facteurs de risque pour la santé pourrait rendre certaines personnes de ce quartier plus vulnérables aux effets de la présence des contaminants dans l'environnement.

Plus spécifiquement en lien avec les habitudes de vie ou les conditions de santé énoncées plus haut qui peuvent rendre les personnes plus sensibles aux effets du nickel (tabagisme, insuffisance rénale, diabète, asthme, maladies cardiaques), les données disponibles montrent que la prévalence du tabagisme et le taux de diabète y sont plus élevés qu'ailleurs sur le territoire (DSP Capitale-Nationale, 2015).

3.2 Caractérisation toxicologique - Valeurs toxicologiques de référence et estimateurs de risque cancérigène pour le nickel

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) et les estimateurs de risque cancérigène disponibles pour le nickel sont présentés au tableau 1. On peut y voir l'organisme qui les a développés, la date de mise à jour, le type de nickel visé et la voie d'exposition, la durée de l'exposition pertinente considérée, la concentration de nickel impliquée et la fraction des particules mesurée ainsi que le(s) effet(s) à la santé retenu(s).

À titre indicatif, la norme du RAA pour le nickel est également présentée dans ce tableau.

Tableau I

Valeurs pour l'interprétation des concentrations mesurées de nickel dans l'air ambiant

Type de valeur	Organisme (date)	Type de nickel	Voie d'exposition	Durée	Concentration de nickel dans l'air ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (sauf si précisé autrement) ²	Fraction des particules	Effets à la santé
Norme du RAA	MDDELCC (2013)	Composés de nickel	Inhalation	24 h	0,014	PM ₁₀	Diminution de la réponse immunitaire*
VTR	OEHHA (2012)	Nickel et composés de nickel	Inhalation	1 h	0,200	Substitut de PM ₁₀ et PM _{2,5}	Diminution de la réponse immunitaire
VTR	OEHHA (2012)	Nickel et composés de nickel	Inhalation	8 h par jour, peut être répété	0,060	Substitut de PM ₁₀ et PM _{2,5}	Inflammation pulmonaire et diminution de la réponse immunitaire
VTR	ATSDR (2005)	Nickel	Inhalation	14-364 jours	0,200	ND	Inflammation pulmonaire
VTR	OEHHA (2012)	Nickel et composés de nickel (sauf oxyde de nickel)	Inhalation	70 ans	0,014	Substitut de PM ₁₀ et PM _{2,5}	Inflammation et fibrose pulmonaire, atrophie de l'épithélium nasal et hyperplasie ganglionnaire
VTR	ATSDR (2005)	Nickel	Inhalation	≥ 365 jours	0,090	ND	Inflammation pulmonaire

² La limite de détection pour le nickel du laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) est de 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Type de valeur	Organisme (date)	Type de nickel	Voie d'exposition	Durée	Concentration de nickel dans l'air ambiant ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (sauf si précisé autrement) ²	Fraction des particules	Effets à la santé
VTR	OEHHA (2012)	Nickel et composés de nickel	Orale	70 ans	11 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$	NA	Effets développementaux
Coefficient de cancérogénicité	OEHHA (2011)	Nickel et composés de nickel	Inhalation	70 ans	$2,6 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$; 0,004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un risque $\leq 1 \times 10^6$	ND	Carcinogène chez l'humain, groupe 1 de l'IARC et groupe A de la US EPA
Coefficient de cancérogénicité	WHOEuro (2000)	Nickel et composés de nickel	Inhalation	70 ans	$3,8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$; 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un risque $\leq 1 \times 10^6$	ND	Idem précédent
Coefficient de cancérogénicité	US EPA (2000)	Sous-sulfure de nickel	Inhalation	70 ans	$4,8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$; 0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un risque $\leq 1 \times 10^6$	ND	Idem précédent
Coefficient de cancérogénicité	US EPA (2000)	Poussière des raffineries de nickel	Inhalation	70 ans	$2,4 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$; 0,004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un risque $\leq 1 \times 10^6$	ND	Idem précédent

Sources : (Gouvernement du Québec, 2015; OEHHA, 2012; ATSDR, 2005; ATSDR, 2014; OEHHA, 2011; WHOEuro, 2000; US EPA, 2000).

*Source : Communication personnelle, MDDELCC, données non publiées

NA : Non applicable

ND : Non disponible

Le coefficient de cancérogénicité se comprend de la façon suivante : par exemple, pour le coefficient émis par l'OEHHA en 2011, un excès de 2,6 cas de cancer serait observé si 10 000 personnes étaient exposées à une concentration moyenne journalière de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de nickel dans l'air ambiant durant toute leur vie (70 ans) (OEHHA, 2012).

Ces VTR et estimateurs de risque cancérigène sont établis en fonction des effets à la santé du nickel sur les systèmes les plus sensibles décrits dans des études épidémiologiques, le plus souvent chez des travailleurs et chez des animaux. Des facteurs de sécurité de l'ordre de 100 à 1000 y sont appliqués. Pour une description plus détaillée des études desquelles sont dérivées ces VTR ainsi que leurs forces et limites, le lecteur est invité à consulter les références citées au tableau 1.

Les VTR et estimateurs de risque cancérigène qui seront utilisés pour la présente évaluation du risque toxicologique sont les suivants :

- effets d'une exposition aiguë par inhalation : $0,200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OEHHA, 2012);
- effets non cancérigènes d'une exposition chronique par inhalation : $0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OEHHA, 2012);
- effets non cancérigènes d'une exposition chronique par ingestion : $11 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ (OEHHA, 2012);
- effets cancérigènes par inhalation : $2,6 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (OEHHA, 2011).

Ils ont été choisis en fonction de la rigueur scientifique démontrée dans leur développement, du contexte québécois ainsi que pour leur pertinence par rapport aux composés de nickel impliqués, aux voies d'absorption considérées, à la durée d'exposition et aux effets à la santé considérés. Les plus récentes valeurs ont également été priorisées.

3.3 Estimation de l'exposition - Les concentrations de nickel mesurées dans l'air ambiant en 2014 à la station Des Sables

La station Des Sables est considérée représentative des plus hauts niveaux d'exposition au nickel pouvant survenir pour la population de Limoilou (Walsh et Brière, 2013). De façon conservatrice, ces mesures seront utilisées pour la présente estimation du risque en posant l'hypothèse que toute la population de Limoilou est exposée à ces concentrations de nickel. Ce sont également les seules mesures récentes disponibles. Étant donné que des changements dans la méthodologie d'échantillonnage du nickel à la station Des Sables ont été apportés en 2013 et, dans un souci de comparabilité des données, uniquement les données de l'année 2014 seront utilisées.

Nous avons également posé l'hypothèse, de façon conservatrice, que le composé de nickel échantillonné dans les PM_{10} pouvait avoir les effets à la santé décrits plus haut.

Le nickel y est échantillonné dans les PST et les PM₁₀. Les résultats dans les PM₁₀ seront utilisés puisque les VTR retenues peuvent s'appliquer à cette fraction des particules.

Les résultats des calculs de dispersion (étendue) et de tendance (moyenne et médiane) basés sur les mesures de nickel dans les PM₁₀ à la station Des Sables durant l'année 2014 sont présentés au tableau II.

Tableau II

Tendance et dispersion des mesures de nickel dans les PM₁₀ à la station Des Sables,
Québec, 1^{er} janvier au 31 décembre 2014

Nombre d'échantillons (n)	155
Valeurs inférieures ou égales à la limite de détection de l'appareil*	54 %
Étendue des mesures 24 heures (µg/m ³)	Limite de détection (0,003) à 0,603
Nombre de mesures 24 heures (µg/m ³) :	
Inférieures ou égales à la limite de détection (0,003)	84
de 0,004 à 0,050	62
de 0,051 à 0,100	4
de 0,101 à 0,200	2
≥ 0,201	3
Moyenne (µg/m ³)**	0,016
Médiane (µg/m ³)	Limite de détection (0,003)

Source : Communication personnelle, MDDELCC, données non publiées

* La limite de détection pour le nickel du laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) est de 0,003 µg/m³.

** La moyenne a été calculée en attribuant aux valeurs inférieures ou égales à la limite de détection (0,003 µg/m³), la moitié de cette valeur, soit 0,0015 µg/m³.

La dose quotidienne de nickel ingérée par les habitants du secteur est inconnue, mais probablement faible étant donné les concentrations retrouvées dans l'air et les situations d'exposition décrites plus haut (section 3.1.2) peu communes. On ne peut cependant exclure que certains individus ayant des habitudes de vie différentes puissent ingérer du nickel à des niveaux un peu plus importants.

On ne connaît pas la dose de nickel en contact avec la peau ou absorbée via cette voie pour les habitants du secteur.

3.4 Estimation du risque associé à l'exposition au nickel dans l'air ambiant aux concentrations mesurées à la station Des Sables en 2014

3.4.1 Effets liés à l'exposition aiguë au nickel

La VTR proposée pour les effets aigus (OEHHA, 2012) correspond à une période d'une heure. Le nickel est mesuré à la station Des Sables sur une période de 24 heures et la valeur obtenue représente une moyenne. Il n'est pas approprié de comparer les mesures 24 heures obtenues avec la VTR 1 heure. Il n'est donc pas possible de calculer un indice de risque précis de survenue d'effets liés à une exposition aiguë au nickel dans l'air ambiant.

On peut cependant mentionner que les valeurs mesurées en 2014 à Limoilou sont de 160 à 1000 fois inférieures aux concentrations auxquelles les effets d'une exposition aiguë au nickel ont été observés dans les études (section 3.1.3). C'est 97 % des valeurs mesurées à Limoilou en 2014 qui sont 1000 fois inférieures aux concentrations auxquelles des effets ont été observés dans les études.

Il n'existe aucune VTR pour les effets aigus du nickel par ingestion ou absorption cutanée.

3.4.2 Effets liés à l'exposition chronique au nickel

Effets non cancérigènes

Pour l'évaluation des effets chroniques, la moyenne annuelle des mesures de nickel sur 24 heures, obtenues pendant l'année 2014, sera utilisée.

Le calcul de la possibilité de survenue d'effets non cancérigènes liés à une exposition chronique au nickel dans l'air ambiant par inhalation se fait comme suit :

Indice de risque de survenue d'effets non cancérigènes liés à l'inhalation chronique de nickel (Indice)

= Concentration moyenne d'exposition mesurée dans l'air en 2014 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) / VTR pour les effets chroniques non cancérigènes par inhalation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$\text{Indice} = 0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3 / 0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{Indice} = 1,14$$

Ainsi, la population du quartier Limoilou a été exposée en 2014 à des concentrations de nickel dans l'air ambiant 1,14 fois plus élevées que la VTR retenue comme protectrice contre des effets néfastes de l'inhalation de nickel de manière chronique (70 ans) sur la santé. Cette VTR est basée sur les effets les plus sensibles à la suite d'une exposition chronique au nickel observés chez les animaux, soit les effets respiratoires. Des effets similaires ont été observés chez les humains, mais à des concentrations environ 1000 fois plus élevées que la VTR ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et 600 fois plus élevées que les valeurs observées dans Limoilou en 2014. On ne connaît pas les concentrations auxquelles les effets immunitaires de l'exposition chronique au nickel surviennent chez les humains.

La VTR pour l'ingestion chronique de nickel est élevée (11 µg/kg/jour). Les effets reproducteurs et développementaux sont liés à l'ingestion de doses élevées de nickel, soit plus de 1 mg/kg/jour dans les études animales. La dose ingérée n'a pas été mesurée chez les citoyens de Limoilou, mais il serait surprenant qu'elle puisse atteindre ces niveaux pour la majorité des personnes, compte tenu des concentrations observées dans l'air ambiant et des voies d'absorption peu communes décrites à la section 3.1.2.

La sensibilisation au nickel a majoritairement été décrite à la suite du contact cutané avec du nickel. On ne connaît pas la dose pouvant mener à cette sensibilisation. Une étude a décrit que l'inhalation de nickel à des doses similaires à celles observées ici pourrait être liée à la sensibilisation au nickel. Concernant la réactivation des symptômes suite à la sensibilisation, le contact cutané à hautes doses (plus de 1 mg/kg/jour), beaucoup plus élevées que celles observées ici, s'est soldé par des symptômes cutanés chez des animaux.

Effets cancérogènes

Le calcul du risque de cancer lié au nickel inhalé dans l'air ambiant se fait comme suit :

Risque cancérogène sur 70 ans lié à l'inhalation de nickel (Risque)

$$= \text{Concentration moyenne d'exposition dans l'air en 2014 } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{risque de cancer lors d'exposition à } 1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ pendant 70 ans}$$

$$\text{Risque} = 0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 2,6 \text{ cas de cancer} / 10\,000 \text{ personnes lors d'exposition à } 1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ pendant 70 ans}$$

$$\text{Risque} = 0,000\,004\,2 \text{ ou } 4,2 \text{ cas de cancers} / \text{million de personnes exposées durant 70 ans.}$$

Ainsi, si toute la population des territoires du CLSC Basse-Ville et Limoilou-Vanier (86 910 personnes en 2014) était exposée pendant 70 ans à la concentration moyenne annuelle de nickel dans l'air ambiant mesurée en 2014, on pourrait y observer un excès de 0,37 cas de cancer lié à l'inhalation de nickel de manière chronique.

3.5 Limites de l'analyse

Cette évaluation de risque comporte des incertitudes, de même que certaines limites qui pourraient sous-estimer ou surestimer les effets du nickel sur la santé. Il existe également des lacunes dans les connaissances sur ces effets. Ces limites doivent être prises en considération dans l'interprétation de cet avis.

Ainsi, les limites suivantes pourraient avoir contribué à une sous-estimation du niveau de risque évalué dans l'analyse. En effet, l'évaluation ne considère pas ou ne quantifie pas :

- l'ingestion ou l'absorption cutanée de nickel, mais toutefois la dose quotidienne ingérée sans effet néfaste pour la santé est élevée (11µg/kg/jour);

- les individus hypersensibles au nickel;
- la présence d'autres contaminants (métaux et autres polluants), d'autres facteurs de risque (habitudes de vie) et d'un cumul de risques qui pourraient s'ajouter ou potentialiser les effets du nickel.

Par ailleurs, les éléments suivants de l'analyse pourraient avoir contribué à surévaluer le risque pour la santé. Ainsi, nous avons considéré que :

- tout le nickel mesuré à la station Des Sables était sous la forme qui entraîne les effets sur la santé décrits dans la littérature;
- toute la population de Limoilou était exposée à des concentrations moyennes similaires à celles mesurées à la station Des Sables. Celle-ci est située à proximité des activités industrielles et a présenté les concentrations les plus élevées parmi trois stations d'échantillonnage sur le territoire, entre 2010 et 2012.

Des incertitudes sont associées à cette évaluation du risque :

- il demeure la possibilité de la présence d'un mélange de substances non pris en compte (plusieurs composés de nickel ou autres substances);
- des mesures ont été prises pour 155 journées en 2014, il y a donc 210 journées pour lesquelles le nickel n'a pas été mesuré;
- tel que mentionné plus haut, dans un souci de disponibilité et de comparabilité des données, seules les concentrations mesurées en 2014 ont été analysées. Le risque d'effets chroniques sur une période de 70 ans a été établi à partir de ces données. Cependant, la valeur moyenne de nickel mesurée en 2014 ($0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$) semble être un estimé valable de la valeur moyenne observée entre 1995 et 2012 pour la même station d'échantillonnage (figure 1, section 1).
- 54 % des valeurs mesurées de nickel en 2014 étaient inférieures ou égales à la limite de détection du CEAQ pour le nickel ($0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La moyenne des concentrations mesurées en 2014 a été calculée en attribuant aux valeurs inférieures ou égales à la limite de détection, la moitié de cette valeur, soit $0,0015 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'absence de données mesurées sur 1 heure permettant de comparer avec la VTR 1 heure n'a pas permis d'évaluer quantitativement le risque d'effets à la santé d'une exposition aiguë au nickel.

Finalement, il existe des limites et des lacunes quant aux connaissances générales sur les effets à la santé du nickel. Les effets décrits ont été observés, soit dans des études où des animaux ont été exposés à de plus fortes doses/concentrations pendant moins longtemps (quelques mois, au plus une à deux années), soit dans des études sur des travailleurs exposés dans le cadre de leurs tâches, à de plus fortes doses/concentrations que la population générale et le plus souvent à des mélanges de substances (ATSDR 2005, INERIS 2006, INRS 2009). Le niveau d'exposition n'est pas toujours bien caractérisé, les voies d'exposition ne sont pas toujours pertinentes pour l'exposition à considérer et les biais ne sont pas

toujours bien contrôlés. Par exemple, les effets du nickel décrits ne sont pas spécifiques à cette substance. Conséquemment, il devient complexe de documenter et d'évaluer spécifiquement les impacts de cette problématique puisque les cas observés peuvent être attribuables à d'autres expositions.

3.6 Conclusion de l'évaluation du risque

Il n'est pas possible de quantifier le risque lié à l'exposition aigüe au nickel dans Limoilou étant donné l'absence de mesures sur 1 heure pour comparer avec la VTR 1 heure. On peut cependant mentionner que les concentrations de nickel mesurées en 2014 à Limoilou sont de 160 à 1000 fois inférieures aux concentrations auxquelles les effets d'une **exposition aigüe au nickel** ont été observés dans les études (ex. : effets immunologiques et inflammatoires pulmonaires, dermatite de contact, intoxication) (OEHHA, 2012; ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

L'exposition au nickel par inhalation de la population de Limoilou, aux concentrations mesurées en 2014 pendant 70 ans, entraînerait un risque représentant 1,14 fois la VTR d'observer des **effets non cancérigènes d'une exposition chronique** (ex. : asthme, bronchite chronique, inflammation pulmonaire). Cette estimation est basée sur une VTR dérivée d'études animales comportant un facteur de sécurité de 100. Des effets non cancérigènes pulmonaires ont été observés chez les humains, mais à des concentrations environ 600 fois plus élevées ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que la valeur moyenne annuelle observée ici.

Concernant les **effets reproducteurs et développementaux**, la dose ingérée n'a pas été mesurée, mais il serait surprenant qu'elle puisse atteindre les niveaux de la VTR protectrice pour ces effets ($11 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$), compte tenu des faibles concentrations observées dans l'air et que les sources de nourriture et d'eau proviennent majoritairement de l'extérieur du secteur pour la plupart des résidents.

On ne connaît pas la dose pouvant mener à une **sensibilisation au nickel** par contact cutané. Ce risque ne peut donc pas être évalué. On sait cependant que la majorité des sensibilisations résultent de contact avec des objets du quotidien. Dans une étude transversale, la sensibilisation pouvait résulter de l'inhalation de nickel à des doses similaires à celles observées ici, mais plus d'informations sont nécessaires pour pouvoir conclure adéquatement sur ce risque (OEHHA, 2012). L'ingestion de nickel ne serait pas liée à la sensibilisation (ATSDR, 2005; INERIS, 2006; OEHHA, 2012).

Concernant la présence de **dermatites chez les personnes sensibilisées exposées au nickel de façon chronique**, seul le contact cutané à hautes doses (plus de $1 \text{ mg}/\text{kg}/\text{jour}$), beaucoup plus élevées que les doses potentielles décrites ici, a entraîné des symptômes dans les études (ATSDR, 2005; INERIS, 2006).

Quant aux **effets cancérigènes**, c'est un excès de 0,37 cas de cancer (poumon, nez) qui pourrait être lié à cette exposition pendant 70 ans aux concentrations mesurées en 2014 pour l'ensemble de la population de Limoilou.

Il est utile de caractériser le risque de façon plus qualitative pour s'approprier davantage sa signification. Cette caractérisation doit tenir compte de l'estimation quantitative du risque pour la santé ainsi que d'autres facteurs non encore pris en compte comme les particularités de la population exposée, d'autres conséquences du risque comme celles sur l'environnement, le milieu social, l'économie et également la perception du risque par les parties prenantes (WHO, 2012; Ricard, 2003). Ce travail doit donc idéalement être fait en collaboration avec toutes les parties impliquées.

Malgré les limites inhérentes à la présente analyse et aux connaissances sur le nickel, le DSP juge que, dans l'ensemble, **le risque que l'exposition au nickel aux concentrations observées dans Limoilou entraîne des effets à la santé de la population est faible**. En effet :

- il est peu probable que des effets chroniques de sévérité mineure à modérée (asthme, bronchite chronique et fibrose pulmonaire) soient observés à la suite de l'inhalation de nickel durant toute une vie (70 ans);
- un très petit nombre de cas de cancer lié au nickel pourrait être observé (moins de 1 cas) à la suite de l'inhalation de nickel durant toute une vie (70 ans);
- il n'est pas possible de quantifier les risques suivants : effets aigus à la suite de l'inhalation de nickel, effets développementaux à la suite de l'ingestion de nickel, dermatites par contact cutané avec du nickel chez des personnes sensibilisées et sensibilisation au nickel par inhalation. Toutefois, pour les apprécier, les éléments suivants ont été considérés :
 - les effets aigus de l'inhalation de nickel (inflammation pulmonaire, altération de l'immunité) ont été décrits à des concentrations de 160 à 1000 fois supérieures à celles retrouvées aux abords des secteurs industriels à Limoilou pendant la période d'observation;
 - les effets développementaux à la suite de l'ingestion de nickel et les dermatites de contact à la suite d'un contact cutané avec du nickel chez des personnes sensibilisées ont été décrits à des doses beaucoup plus élevées que les doses potentiellement observables ici;
 - trop peu d'information est disponible à ce jour pour conclure sur la sensibilisation au nickel par inhalation.

Néanmoins, le DSP propose des options de gestion proportionnées au risque évalué étant donné :

- la vulnérabilité de cette population;
- le cumul de risques pour la santé pour cette population;
- la préoccupation citoyenne pour cette problématique;
- l'importance du respect de la norme environnementale;
- l'application efficace de mesures de mitigation démontrée ailleurs.

4. LA GESTION DU RISQUE LIÉ À L'EXPOSITION AU NICKEL DANS LE QUARTIER LIMOILOU

4.1 Respect de la norme du RAA pour le nickel

De prime abord, il est utile de rappeler que le MDDELCC est l'instance responsable d'assurer le respect de son règlement. La norme du RAA sur le nickel établie par le MDDELCC constitue une exigence légale à respecter par tous les générateurs de risque.

4.2 Options de gestion efficaces et proportionnées au risque

4.2.1 Rôles et responsabilités

Il est du ressort de la santé publique d'évaluer les risques pour la santé de l'émission d'un contaminant dans l'air ambiant, d'identifier les objectifs de la gestion du risque et d'évaluer chaque option de gestion du risque afin de proposer ou de recommander celles qui apparaissent les plus appropriées. Les intervenants de santé publique doivent également travailler avec leurs partenaires pour identifier leurs rôles et responsabilités dans la mise en œuvre de ces recommandations et leur suivi. Les générateurs de risque ont la responsabilité de mettre en application les recommandations qui les concernent.

4.2.2 Gestion efficace et proportionnée du risque

La santé publique considère nécessaire une réduction des rejets polluants afin de protéger la santé humaine et de minimiser les nuisances et les effets sur le milieu, notamment par l'application du RAA. Cependant, il est essentiel que les options de gestion du risque choisies soient efficaces et proportionnelles au risque observé pour que les conséquences négatives possibles sur la santé d'une option de gestion soient compensées par son efficacité et ses retombées positives sur la santé.

En effet, il est possible que certaines mesures mises en place pour diminuer le risque comportent des conséquences néfastes ou des effets inattendus négatifs sur d'autres déterminants influençant la santé. La santé publique considère la santé dans une perspective large, où un ensemble de déterminants comme les facteurs génétiques et les habitudes de vie, mais également les facteurs sociaux, environnementaux et économiques influencent la santé. Il faut donc être à l'affût de ces retombées non désirées d'une option de gestion et soulever les avantages et les inconvénients pour la santé des options proposées, et ce, pour chaque groupe de la population. L'ampleur du risque influencera donc le choix des options de gestion. Ces dernières devront être efficaces et balancées au regard des conséquences positives et négatives qu'elles engendrent pour les différents groupes.

La santé publique doit identifier clairement le ou les objectifs de la gestion du risque et évaluer les différentes options possibles afin de recommander celles qui apparaissent les meilleures pour une situation donnée. Pour la situation qui nous intéresse, l'objectif de la gestion du risque est de diminuer le plus possible les conséquences négatives pour la santé de la population de la présence de nickel dans Limoilou tout en minimisant les effets non désirés possibles des mesures de gestion sur la santé.

4.2.3 Options de gestion recommandées

Une analyse des options de gestion du risque potentielles a été faite et les conclusions suivantes ont été tirées, en fonction de l'ampleur du risque observé.

La mise en place de mesures préventives qui permettront de diminuer les pics et la moyenne des concentrations de nickel dans l'air ambiant à court, moyen et long termes est l'approche qui doit être favorisée. Un suivi de l'efficacité de ces mesures préventives doit être fait par la surveillance de l'étendue et de la moyenne des concentrations de nickel dans l'air ambiant des données validées.

Plus précisément, les mesures préventives suivantes ont été retenues et sont proposées par le DSP pour gérer le risque lié à la présence de nickel dans Limoilou. Les **générateurs de risque** devront assurer :

- le respect des bonnes pratiques en termes de manutention, d'entreposage et autres utilisations du nickel et de ses composés;
- l'utilisation des technologies disponibles pour minimiser le largage de nickel dans l'air ambiant;
- la surveillance environnementale des émissions à la source, mais également près des quartiers habités pouvant être touchés, à une fréquence et avec une technologie appropriée;
- le partage des données de surveillance recueillies avec toutes les instances concernées;
- le suivi de l'efficacité des mesures préventives mises en place et l'apport de correctifs au besoin.

Ces mesures devront être élaborées par les générateurs de risque et validées par leurs spécialistes techniques en la matière.

4.2.4 Suivi des actions

Les **générateurs de risque** sont responsables de mettre en place les mesures de contrôle appropriées et d'en suivre l'efficacité. Le suivi du respect de la norme du RAA revient au MDDELCC. Le DSP s'engage pour sa part à suivre l'ensemble des données qui lui seront transmises pour s'assurer de la prévention du risque pour la santé.

5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le présent document avait pour but d'évaluer le risque pour la santé que représente le nickel présent dans l'air ambiant dans le quartier Limoilou. Cette évaluation permet de conclure que malgré les limites inhérentes à la présente analyse et aux connaissances sur le nickel, **le DSP juge que, dans l'ensemble, le risque que l'exposition au nickel aux concentrations observées dans Limoilou entraîne des effets à la santé de la population est faible.** En effet :

- il est peu probable que des effets chroniques de sévérité mineure à modérée (asthme, bronchite chronique et fibrose pulmonaire) soient observés à la suite de l'inhalation de nickel durant toute une vie (70 ans);
- un très petit nombre de cas de cancer lié au nickel pourrait être observé (moins de 1 cas) à la suite d'inhalation de nickel durant toute une vie (70 ans);
- il n'est pas possible de quantifier les risques suivants : effets aigus à la suite de l'inhalation de nickel, effets développementaux à la suite de l'ingestion de nickel, dermatites par contact cutané avec du nickel chez des personnes sensibilisées et sensibilisation au nickel par inhalation. Toutefois, pour les apprécier, les éléments suivants ont été considérés :
 - les effets aigus de l'inhalation de nickel (inflammation pulmonaire, altération de l'immunité) ont été décrits à des concentrations de 160 à 1000 fois supérieures à celles retrouvées aux abords des secteurs industriels à Limoilou pendant la période d'observation;
 - les effets développementaux à la suite de l'ingestion de nickel et les dermatites de contact à la suite d'un contact cutané avec du nickel chez des personnes sensibilisées ont été décrits à des doses beaucoup plus élevées que les doses potentiellement observables ici;
 - trop peu d'information est disponible à ce jour pour conclure sur la sensibilisation au nickel par inhalation.

Néanmoins, le DSP propose des options de gestion proportionnées au risque évalué étant donné :

- la vulnérabilité de cette population;
- le cumul de risques pour la santé pour cette population;
- la préoccupation citoyenne pour cette problématique;
- l'importance du respect de la norme environnementale;
- l'application efficace de mesures de mitigation démontrée ailleurs.

Ainsi, à la suite d'une analyse des options potentielles de gestion du risque, et étant donné le faible risque pour la santé observé, le directeur de santé publique recommande les mesures préventives suivantes **aux générateurs de risque** :

1. le respect des bonnes pratiques en termes de manutention, d'entreposage et autres utilisations du nickel et de ses composés;
2. l'utilisation des technologies disponibles pour minimiser le largage de nickel dans l'air ambiant;
3. la surveillance environnementale des émissions à la source, mais également près des quartiers habités pouvant être touchés, à une fréquence et avec une technologie appropriée;
4. le partage des données de surveillance recueillies avec toutes les instances concernées;
5. le suivi de l'efficacité des mesures préventives mises en place et l'apport de correctifs au besoin.

Les **générateurs de risque** sont responsables de mettre en place les mesures de contrôle appropriées et d'en suivre l'efficacité. Le suivi du respect de la norme du RAA revient au MDDELCC. Le DSP s'engage pour sa part à suivre l'ensemble des données qui lui seront transmises pour s'assurer de la prévention du risque pour la santé.

6. RÉFÉRENCES

- Agency for Toxic Substances Disease registry (ATSDR) (2005). *Toxicological Profile for Nickel*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 397 p.
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf>.
- Agency for Toxic Substances Disease registry (ATSDR) (2014). *Minimal Risk Levels (MRLs)*. 15 p.
http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/atsdr_mrls_december_2014.pdf.
- Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale (2014). Bilan de l'an 1 (2013-2014), Comité intersectoriel sur la contamination environnement dans l'arrondissement La Cité-Limoilou. 9 p.
- Bell et coll. (2009). Hospital Admissions and Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution, *Am J Respir Crit Care Med*, Vol 179, p. 1115–1120.
- Brière, JF (2012). *Incinérateur de Québec : Analyse des résultats de métaux*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Clougherty et coll. (2015). The New York City Community Air Survey, Supplemental Report, Nickel Concentration in Ambient Fine Particles : Winter Monitoring, 2008-2009, Queens College, PLANYC, NYC Health.
- Commission sur la santé et la sécurité au travail (CSST) (2014). *Dichlorure de nickel hexahydraté*,
http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=4713&no_seq=3, page web consultée le 27 juillet 2015.
- Direction de santé publique de la Capitale-Nationale (2012). Répertoire cartographique, Indice régional de défavorisation matérielle et sociale 2006, Région sociosanitaire de la Capitale-Nationale, CSSS et CLSC. Espace informationnel en surveillance de la santé de la population de la Capitale-Nationale,
<http://www.eisscapitalenationale.gouv.qc.ca/Cartes/Cartographie-thematique.shtml>, page web consultée le 27 juillet 2015.
- Direction de santé publique de la Capitale-Nationale (2015). *Portrait de santé de la région de la Capitale-Nationale en un coup d'œil*. Espace informationnel en surveillance de la santé de la population de la Capitale-Nationale,
http://www.eisscapitalenationale.gouv.qc.ca/publications/Web_Affiche_petit.pdf, page web consultée le 17 juillet 2015.

Direction de santé publique de la Capitale-Nationale (2015). *Fiche thématique diabète*. Espace informationnel en surveillance de la santé de la population de la Capitale-Nationale, http://www.eisscapitalenationale.gouv.qc.ca/thematiques/Fiche_037-Juin-2015_2.pdf, page web consultée le 17 juillet 2015.

Direction de santé publique de la Capitale-Nationale (2015). *Fiche thématique tabagisme*. Espace informationnel en surveillance de la santé de la population de la Capitale-Nationale, http://www.eisscapitalenationale.gouv.qc.ca/thematiques/Fiche_032-Septembre-2014.pdf, page web consultée le 17 juillet 2015.

Goupil-Sormany I., Levaque R et Sebez S (2013). Contamination atmosphérique dans l'arrondissement La Cité-Limoilou : la question du nickel, Avis de santé publique. Direction régionale de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, avril 2013, 26 p.
http://www.dspq.qc.ca/documents/ContaminationatmospheriqueASP_26042013.pdf.

Gouvernement du Québec (2015). *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA)*, Loi sur la qualité de l'environnement,
http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=//Q_2/Q2R4_1.htm, page web consultée le 1^{er} juillet 2015.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (2012). *IARC Monographs*. 35 p.
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf> 2012.

Institut de veille sanitaire (InVS) (2002). Valeurs toxicologiques de référence : méthodes d'élaboration. Département santé environnement,
http://www.invs.sante.fr/publications/2002/val_toxico_ref/.

Institut National de l'Environnement et des Risques (INERIS) (2006). Nickel et ses dérivés, 71 p.
http://www.ineris.fr/rsde/fiches/Fiche_Nickel_v5.pdf.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (2012). Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec, 141 p.
http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1440_LignesDirectRealEvaRisqueToxicoOrigEnviroSanteHum.pdf.

INRS (2009). Nickel et ses oxydes Fiche toxicologique,
<http://www.inrs.fr/publications/bdd/doc/fichetox?refINRS=FT%2068>.

INRS (2010). Dermatoses professionnelles allergiques aux métaux, Première partie : allergies de contact au nickel, Fiche d'allergologie-dermatologie professionnelle, p. 94,
<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TA%2084>.

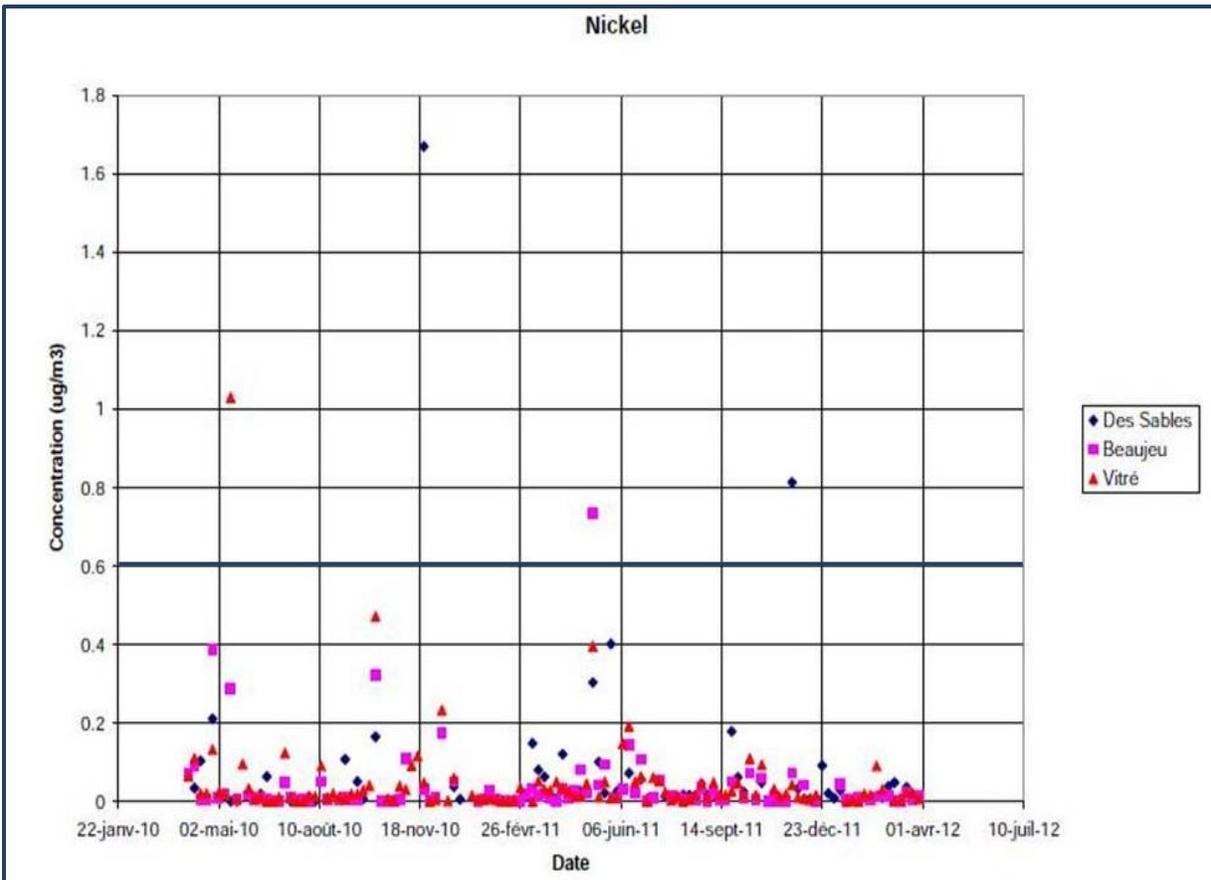
- Kasper-Sonnenberg, M. *et coll.* (2010). *Prevalence of Nickel Sensitization and Urinary Nickel Content of Children are Increased by Nickel in Ambient Air*, *Environmental Research* 111, p. 266-73.
- Mann, E. *et coll.* (2010). Does Airborne Nickel Exposure Induce Nickel Sensitization? *Contact Dermatitis* 62, p. 355-62.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2014). *Évolution des concentrations moyennes annuelles de nickel*, page web consultée le 21 juillet 2015, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/ambient/nickel-limoilou/Graphique-evolution-concentrations-moyennes.pdf>.
- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS) (2015). *Estimations et projections de population comparables (1996-2036)*, 2 juin 2015.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) (2011). *Appendix A: Hot Spots Unit Risk and Cancer Potency Values*, 5 p. http://oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixA.pdf.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) (2012). *Nickel Reference Exposure Levels*. http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/032312NiREL_Final.pdf
- Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2000) Politiques de santé publique relatives à la pollution atmosphérique. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/public_health_policy/fr/.
- Patel *et coll.* (2009). Ambient Metals, Elemental Carbon, and Wheeze and Cough in New York City Children through 24 Months of Age. *Am J Respir Crit Care Med*, Vol 180, p.1107–1113.
- Public Health England (PHE) (2009). *Nickel General Information*, Toxicology Department Centre for Radiation, Chemical and Environmental, Public Health England, 4 p.
- Ricard, S. (2003). Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique, Institut national de santé publique, 85 p.
- Rietschel RL, Fowler JF, Warshaw EM, Belsito D, DeLeo VA, Maibach HI, Marks JG, Mathias CGT, Pratt M, Sasseville D, Storrs FJ, Taylor JS and Zug KA. (2008). *Detection of Nickel Sensitivity has Increased in North American Patch-Test Patients*. *Dermatitis* 19(1):16-19.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2000). *Nickel Compounds*. <http://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/nickel.html>

- Vale Canada Newfoundland and Labrador (2011). Safety Data Sheet, High Grade Nickel Concentrate, 3 p.
http://www.vale.com/EN/business/mining/nickel/product-safety-information/SafetyDataSheets/VBN%20High%20Grade_CDN_EN_v1.1.pdf.
- Viau C et R Tardif (2003). *Toxicologie*. In : Environnement et santé publique – Fondements et pratiques, pp.119-143. Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Québnel P, Dewailly É, rédacteurs. Édisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris.
- Walsh P et J-F Brière (2013). *Origine des concentrations élevées de nickel dans l'air ambiant à Limoilou*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/ambiant/nickel-limoilou/concentrations-nickel-air-Limoilou.pdf>.
- WHOEuro (2000). Air Quality Guidelines, Second Edition, Chapter 6.10, *Nickel*, http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0014/123080/AQG2ndEd_6_10Nickel.pdf.
- World Health Organization (WHO) (2012). *Rapid Risk Assessment of Acute Public Health Event*, WHO, 44 p.
- World Health Organization (WHO) (2013). *Health Effects of Particulate Matter. Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*. WHO Regional Office for Europe. 15 p.

ANNEXE 1

**Concentrations de nickel dans les PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), secteur de la
Basse-Ville de Québec, 2 avril 2010 au 28 mars 2012**

Concentrations de nickel dans les PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), secteur de la Basse-Ville de Québec, 2 avril 2010 au 28 mars 2012

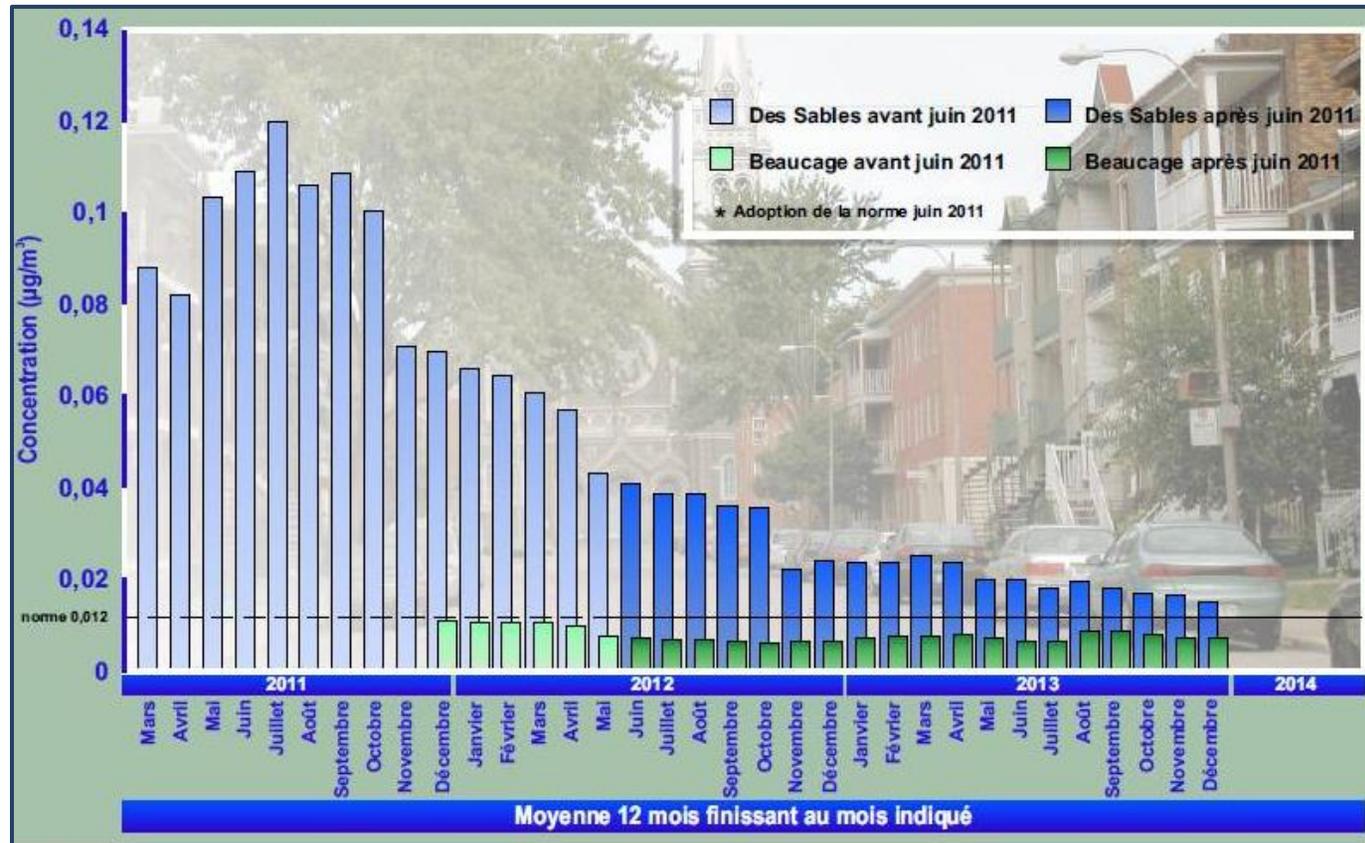


Source : (Brière, 2012)

ANNEXE 2

**Concentrations moyennes annuelles finissant
au mois indiqué de nickel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les PST,
Stations d'échantillonnage Des Sables et Beaucage, Québec,
avant et après juin 2011**

Concentrations moyennes annuelles finissant au mois indiqué de nickel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les PST, Stations d'échantillonnage Des Sables et Beaucage, Québec, avant et après juin 2011



Source : (MDDELCC, 2014)