

Origine des concentrations élevées de nickel dans l'air ambiant à Limoilou

Pierre Walsh, Ph. D., et Jean-François Brière, M. Sc.
Direction du suivi de l'état de l'environnement
18 avril 2013



*Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs*

Québec 

Résumé

Des concentrations élevées de nickel ont été mesurées dans l'air ambiant à trois stations du MDDEFP dans le quartier Limoilou à Québec. Deux de ces stations, Beaujeu et De Vitré, ont été en opération d'avril 2010 à mars 2012, dans le cadre d'un projet spécial visant à évaluer les effets de l'incinérateur de Québec sur la qualité de l'air dans le quartier Limoilou. La troisième station, Des Sables, est une station permanente du réseau québécois qui a aussi été spécialement utilisée dans le cadre de ce projet pour effectuer des analyses de métaux.

Les concentrations moyennes annuelles de nickel à ces trois stations varient de 0,012 à 0,096 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles sont supérieures aux concentrations urbaines habituelles qu'on estime entre 0,001 et 0,004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et supérieures à la norme annuelle de 0,012 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de nickel dans l'air ambiant adoptée par le Québec en 2011 dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Ces résultats indiquent la présence d'une ou de plusieurs sources d'émissions importantes dans l'environnement des stations.

Au Port de Québec, secteur Beauport, la compagnie Arrimage du Saint-Laurent transborde des tonnages importants de concentré de pentlandite, le minerai de sulfure de fer et de nickel utilisé dans la production du nickel. La pentlandite est extraite et concentrée dans deux mines, Raglan (Xstrata) dans le nord du Québec et Voisey's Bay (Vale Inco) au Labrador. Le concentré est expédié à Québec dans des navires consacrés à ce transport : le MV Arctic (Raglan) et l'Umiak 1 (Voisey's Bay). Il est déchargé et entreposé au Port de Québec d'où il est finalement expédié par train à Sudbury où on produit le nickel matte, c'est-à-dire un nickel métallique non encore totalement affiné (l'affinage final est réalisé en Europe). Ces activités de transbordement sont donc toutes désignées comme responsables des concentrations élevées de nickel dans l'air du quartier Limoilou.

Afin de s'en assurer, les résultats d'échantillonnage du MDDEFP ont été étudiés, et il s'avère que, sous trois angles d'analyse, les données indiquent que le nickel dans les particules en suspension provient effectivement du secteur du Port de Québec : 1) la relation entre les concentrations de nickel et la direction des vents, 2) la relation entre le cobalt et le nickel, et 3) l'analyse minéralogique des poussières et des particules en suspension.

1) Relation entre les concentrations de nickel et la direction des vents

Les résultats des concentrations de nickel ont été étudiés en fonction de la direction des vents aux stations De Vitré et Des Sables et en fonction de la localisation de deux sources d'émissions potentielles, le port et l'incinérateur de la ville de Québec. Une relation statistiquement significative a été mise en évidence entre les concentrations de nickel observées aux stations De Vitré et Des Sables et le nombre d'heures de vents en provenance du port. Ainsi, au cours d'une journée d'échantillonnage, plus la fréquence des vents en provenance du port est grande et plus les concentrations de nickel sont

élevées aux stations. Il n'y a par ailleurs aucune relation entre les vents en provenance de l'incinérateur et les concentrations de nickel aux stations d'échantillonnage.

2) Corrélation entre le cobalt et le nickel

On a observé une association étroite entre les concentrations de nickel et celles du cobalt, ce qui indique que la source des deux métaux devrait être la même. Le cobalt est présent dans le minerai exploité à la mine de Voisey's Bay. Le rapport moyen entre les concentrations de nickel et de cobalt dans les échantillons de particules en suspension est d'environ 25, soit un rapport similaire à celui observé sur un échantillon de concentré de l'Umiak 1 prélevé par le CCEQ de la Capitale-Nationale.

3) Analyse minéralogique des poussières et des particules en suspension

Des échantillons de retombées de poussières recueillis par le MDDEFP dans Limoilou et des filtres d'échantillonnage de l'air de la station Des Sables ont été analysés au laboratoire de la professeure Josée Duchesne du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. L'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB) a révélé que le nickel dans les échantillons de poussières et de particules en suspension était principalement sous forme de pentlandite.

En conclusion, il apparaît très improbable que les concentrations élevées de nickel mesurées dans l'air de Limoilou puissent provenir d'une autre source que le transbordement et/ou l'entreposage du concentré de nickel dans le secteur Beauport du Port de Québec.

Introduction

Le MDDEFP a réalisé, d'avril 2010 à mars 2012, une campagne visant à évaluer les effets de l'incinérateur de Québec sur la qualité de l'air dans le quartier Limoilou. À cette occasion, plusieurs métaux ont été analysés dans les échantillons de particules en suspension, dont le nickel. Pour cette étude, deux appareils d'échantillonnage des particules en suspension totales (PST) ont été spécialement installés dans les quartiers situés de part et d'autre de l'incinérateur et un troisième appareil, déjà en place à la station Des Sables, une station régulière du réseau de mesure du MDDEFP, a été utilisé pour l'analyse des métaux.

Les résultats de cette étude ont montré que les concentrations de nickel dans le quartier Limoilou étaient nettement au-dessus de la normale. Le MDDEFP a donc entrepris de déterminer la source du nickel observé à Limoilou.

Dans cet avis, nous présentons un résumé de la problématique du nickel, des concentrations observées au Québec en fonction de la norme de nickel du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère ainsi qu'un avis sur la cause et sur l'origine des concentrations élevées de nickel mesurées dans le quartier Limoilou à Québec.

Concentrations de nickel dans l'air ambiant

Le MDDEFP ne fait pas un suivi régulier du nickel dans l'air ambiant. Toutefois, le nickel et d'autres métaux ont été mesurés à quelques occasions par le MDDEFP dans le cadre d'études visant à caractériser l'impact de certaines sources d'émissions sur la qualité de l'air. Ce fut le cas, par exemple, des programmes d'échantillonnage réalisés à Mercier, de 2008 à 2011, et à Limoilou, de 2010 à 2012. De plus, une autre campagne de mesure a été amorcée en avril 2012 afin de documenter les concentrations de métaux dans l'air ambiant dans quelques sites urbains et ruraux du Québec. Cette dernière campagne a débuté en 2012-2013 et se poursuivra en 2013-2014. Finalement, le MDDEFP a aussi entrepris en juin 2012 une caractérisation de la qualité de l'air dans la ville de Sept-Îles; les résultats ne sont toutefois pas encore disponibles.

Parallèlement aux mesures effectuées par le MDDEFP, Environnement Canada mesure le nickel et d'autres métaux à certaines stations au Québec et au Canada. Ces mesures ont débuté dans le milieu des années 1990, et les stations utilisées ont varié durant cette période. La station Des Sables à Québec est l'une de ces stations; elle est en opération depuis 1994.

Les appareils d'échantillonnage utilisés par Environnement Canada sont différents de ceux du MDDEFP. Environnement Canada utilise des échantillonneurs de type *Dichotomous* qui récoltent et séparent les particules en deux classes de taille, les particules dites « fines », de moins de 2,5 µm de diamètre aérodynamique (PM_{2.5}), et les

particules grossières, dont la taille varie de 2,5 à 10 µm de diamètre aérodynamique¹. Le MDDEFP utilise plutôt un échantillonneur à grand débit (HiVol) qui récolte les particules en suspension totales (PST), soit des particules dont le diamètre est inférieur à 150 µm. La concentration de particules et de métaux sera donc plus grande dans les PST, suivie des PM₁₀ et des PM_{2,5}. La répartition du nickel dans les différentes classes de taille de particules peut varier.

Le tableau 1 présente une compilation de quelques études rapportant des concentrations de nickel dans l'air ambiant extérieur telles que mesurées ailleurs au Canada et aux États-Unis (selon ATSDR 2004 et CCME 2012). Les concentrations de nickel dans l'air ambiant sont en général très faibles, de l'ordre de la fraction ou du nanogramme par mètre cube (ng/m³). Les concentrations en milieu éloigné sont de l'ordre de 0,1 à 0,5 ng/m³ et de 1 à 4 ng/m³ en milieu urbain (MOE 2011). Les concentrations les plus élevées au Canada sont celles rapportées pour la ville de Sudbury en Ontario où des moyennes annuelles au-dessus de 150 ng/m³ ont été mesurées (les normes ontariennes, particulières pour cette ville, permettent même, à partir de 2016, jusqu'à 1 000 ng/m³ en moyenne annuelle).

La figure 1 présente les concentrations mesurées par le MDDEFP dans différentes localités, notamment à Mercier, dans le cadre d'une campagne de mesure pour caractériser les effets des émissions d'un incinérateur de matières dangereuses sur la qualité de l'air. On présente aussi les résultats préliminaires obtenus à quelques stations rurales et urbaines choisies pour documenter la situation d'ensemble des concentrations de métaux dans l'air ambiant. La figure 2 présente les concentrations de nickel à la station Des Sables par Environnement Canada.

Les sources d'émissions de nickel

En milieu urbain, la principale source d'émissions de nickel est la combustion des combustibles fossiles. Le facteur d'émission est de 0,03 kg/tonne (Schmidt et Andren 1980 dans ATSDR 2005), ce qui génère des émissions qui sont globalement responsables de la plus grande partie du nickel dans l'air. Par ailleurs, la présence, dans une localité, d'activités d'extraction de minerais de nickel, de concentration, de fonte et d'affinage du nickel représentera la plus importante source d'émissions de nickel. On peut le constater à Sudbury en Ontario, à Thompson au Manitoba et aussi, de manière plus surprenante, dans le quartier Limoilou à Québec, où la manutention au port du concentré de minerai de nickel (pentlandite) produit dans le quartier adjacent de Limoilou des concentrations de nickel anormalement élevées. L'incinération des matières résiduelles, la production d'acier et d'autres alliages de nickel et la combustion du charbon, et même la combustion du bois, constituent d'autres sources moins importantes d'émissions de nickel (CEPA 1994; ATSDR 2005). Ces dernières sources d'émissions sont moins importantes et ne peuvent expliquer les concentrations mesurées à Limoilou.

¹ La somme de la fraction fine (F ou PM_{2,5}) et de la fraction grossière (C – *coarse*) est la fraction PM₁₀, ou particules de moins de 10 µm.

Tableau 1. Concentrations de nickel dans l'air ambiant (en ng/m³) (selon ATSDR 2005)

Localisation	Périodes Dates	Concentrations (ng/m ³) (1 ng = 0,001 µg)	Références
Concentrations « background »		0,69	Newhook <i>et al.</i> 2003
Arctique canadien (moyennes annuelles)		0,14 à 0,45	Barrie et Hoff 1985
Alberta : 3 villages amérindiens		0,78 ± 0,77 1,1 ± 0,57 4,97 ± 9,2	Moon <i>et al.</i> 1998
Milieus éloignés Milieu rural Milieu urbains	nd	0,01 à 60 0,6 à 78 1 à 328	Schroeder 1987
Milieus urbains Près de sources d'émissions	nd	6 à 20 jusqu'à 150	Barceloux 1999
USA moyenne USA médiane	1996	2,2 0,948	EPA 2003
Spokane (Washington)	1995-1999	1,2 ± 0,9 (PM _{2.5} à PM ₈)	Claiborn <i>et al.</i> 2002
Midwest américain Saint-Louis (est) Chicago (sud-est) Bondville (Illinois) site rural	1985 à 1988	2,1±1,4 (PM _{2.5}) 1,8±1,5 (PM _{2.5-10}) 2,7±2,6 (PM _{2.5}) 2,1±1,0 (PM _{2.5-10}) 0,5±0,3 (PM _{2.5}) 0,7±0,5 (PM _{2.5-10})	Sweet <i>et al.</i> 1993
Moyennes : Virginie occidentale Delaware New York Montana Dakota du sud Wyoming	1996	6,6 4,10 3,80 0,311 0,157 0,127	EPA 2003
Moyennes de 11 villes canadiennes 1 localité rurale Près d'affineries de métaux	1987 à 1990	1 à 20 1 1 à 151	CEPA 1994
Montréal Windsor Toronto Vancouver – Abbotsford Vancouver – Burnaby Kelowna	2007 – 2008 2007 – 2009 2007 à 2009 2007 – 2009 2007 – 2009 2007 – 2009	1,4 (0 à 6,6) 0,1 (0,0 à 4,9) 0,7 (0,0 à 74,1) 0,5 (0,0 à 0,71) 1,3 (0,1 à 11,1) 0,7 (0,0 à	CCME 2012
Québec – Mercier moyennes dans les PST	2008-2010	3,3	
Québec – Station Des Sables Moyennes annuelles	1995-2012	2 à 49,9 ((PM ₁₀))	Environnement Canada (2013)
Sudbury (Ontario) – moy. ann.	1997 2006	50 à 140 15-20	Clean Air Sudbury 2009

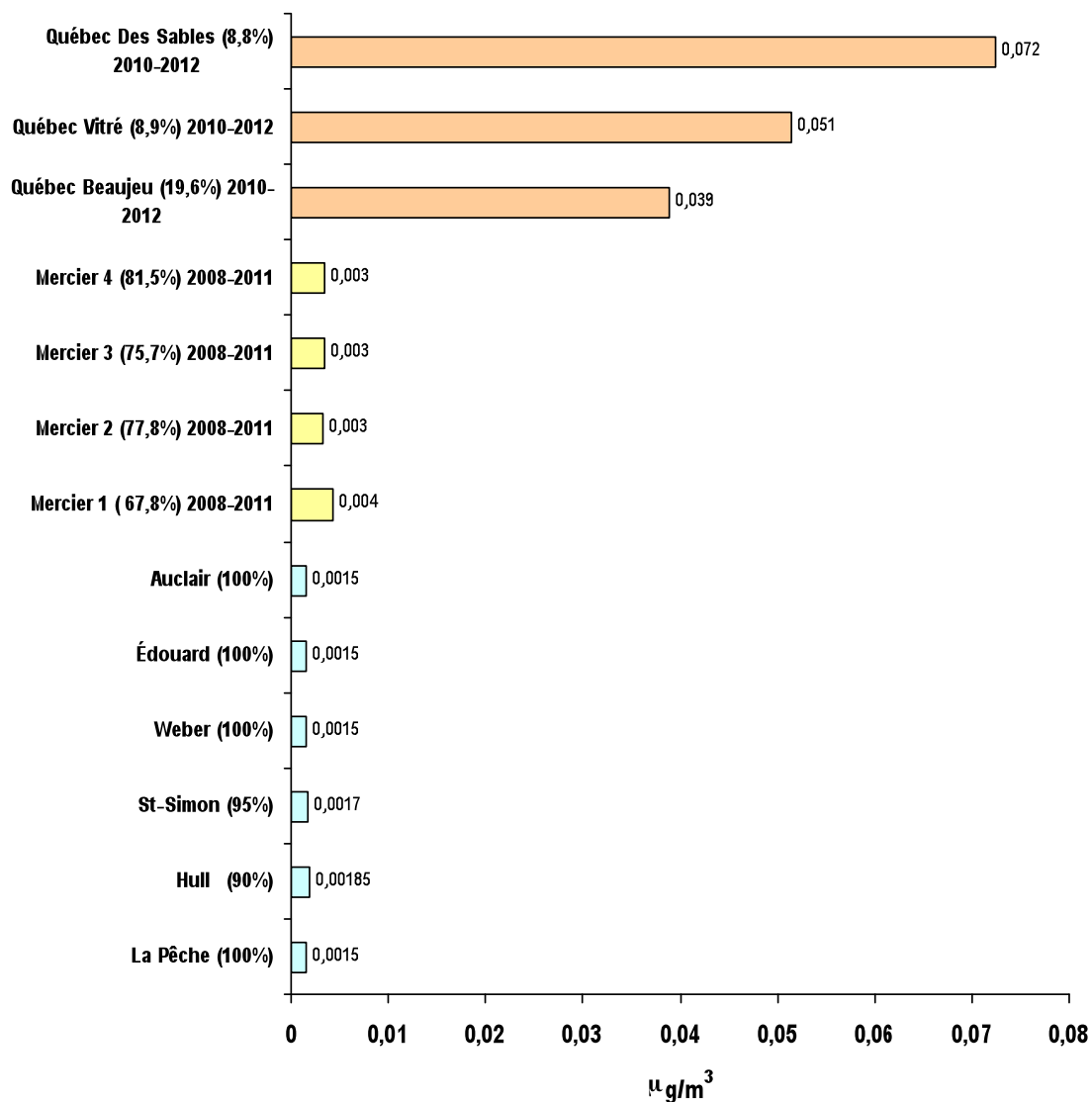


Figure 1. Concentrations de nickel dans l'air ambiant mesurées à quelques stations d'échantillonnage par le MDDEFP. Le pourcentage entre parenthèse qui suit le nom de la station est la proportion des résultats sous la limite de détection. Les stations Auclair, Édouard, Saint-Simon et La Pêche sont situées en milieu rural. Les stations Weber et Hull sont situées respectivement dans les villes de Sherbrooke et de Gatineau.

Tableau 2. Concentrations de nickel dans l'air aux stations du MDDEFP (Beaujeu, De Vitré et Des Sables) et d'Environnement Canada (Des Sables). Les années en grisé sont celles où le nombre d'échantillon est considéré comme insuffisant pour le calcul de la moyenne annuelle.

Station	Méthode d'échantillonnage	Année	N ^{bre} de données	Nickel			
				Moy.	Min	Max	< LD
Des Sables	Dichotomous moins de 2,5 µm	2010	47	0,0078	0,0006	0,1374	49 %
		2011	61	0,0058	0,0006	0,0534	30 %
		2012	21	0,0053	0,0007	0,0183	14 %
	Dichotomous de 2,5 µm à 10 µm	2010	47	0,0178	0,0006	0,3809	55 %
		2011	61	0,0121	0,0006	0,1599	30 %
		2012	21	0,0052	0,0006	0,0320	43 %
	Particules en suspension totales	2010	27	0,0960	0,0015	1,6700	22 %
		2011	43	0,0696	0,0015	0,8140	2 %
		2012	55	0,0239	0,0015	0,1423	13 %
Beaujeu	Particules en suspension totales	2010	37	0,0484	0,0015	0,3890	22 %
		2011	52	0,0387	0,0015	0,7340	21 %
		2012	13	0,0120	0,0015	0,0440	15 %
De Vitré	Particules en suspension totales	2010	44	0,0711	0,0015	1,0300	11 %
		2011	56	0,0376	0,0015	0,3960	7 %
		2012	12	0,0188	0,0015	0,0910	17 %

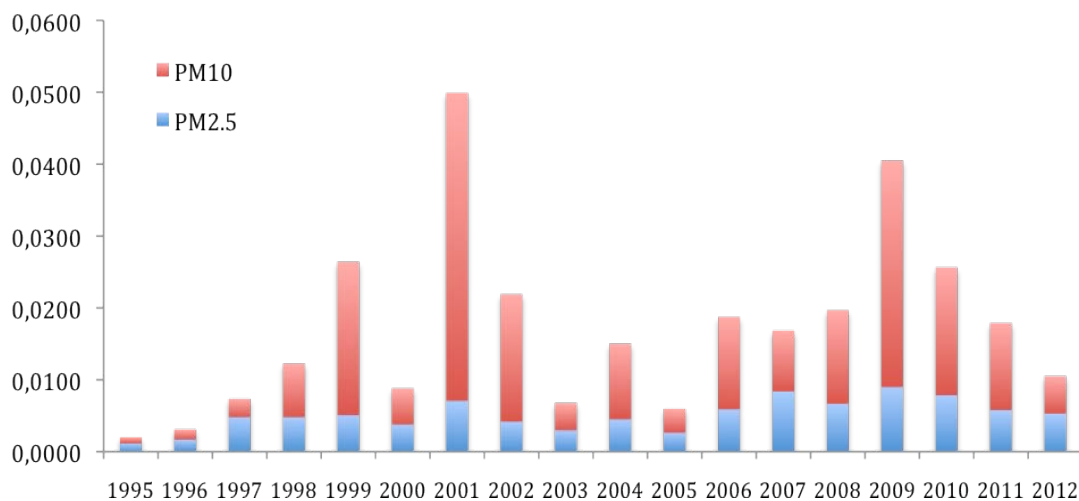


Figure 2. Concentrations moyennes de nickel à la station Des Sables de 1995 à 2012 dans les fractions PM_{2.5} et PM₁₀ (Environnement Canada)

Stations de mesure de la qualité de l'air à Limoilou

Deux stations ont été installées pour la campagne de mesure visant l'incinérateur de Québec. Les stations ont été positionnées selon l'axe des vents dominants du secteur, de façon à obtenir le plus d'échantillons possible avec les stations qui subissent l'influence des émissions de l'incinérateur (figure 3). Ces deux stations, De Vitré et Beaujeu, sont situées sur les rues du même nom. Le MDDEFP opère aussi une station régulière sur la rue Des Sables, soit au sud de l'incinérateur. À cette dernière station, on a ajouté l'analyse des métaux afin de compléter l'évaluation des effets de l'incinérateur pour une direction de vent peu fréquente (nord). Cette station constitue en quelque sorte un « témoin » pour l'incinérateur.

Les appareils de mesure utilisés sont des échantillonneurs à grand débit (HiVol). Ils permettent l'échantillonnage des particules totales en suspension (PST). Les PST comprennent l'ensemble des particules de moins de 150 µm de diamètre aérodynamique. Des filtres sont placés dans les appareils qui fonctionnent durant 24 heures, soit de minuit à minuit. Le résultat est donc sous forme d'une concentration moyenne sur une période de 24 heures. Les métaux sont analysés sur les filtres au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Pour chaque échantillon, on obtient donc la concentration moyenne sur 24 heures des particules totales en suspension ainsi que les concentrations des métaux présents dans les particules. Les échantillons de particules sont prélevés tous les six jours selon un calendrier préétabli.

Directions et vitesses des vents

Les données de vent (vitesse et direction) en surface proviennent de la station d'Environnement Canada située dans la baie de Beauport (7010565). La rose des vents à cette station est présentée à la figure 4. Les directions et vitesses des vents sont obtenues sur une base horaire chaque jour.



Figure 3. Localisation des stations Beaujeu, Vitré, Des Sables, de l'incinérateur de Québec et des secteurs du Port de Québec où l'on fait le déchargement des navires transportant les concentrés de nickel en provenance des mines Raglan et Voisey's Bay

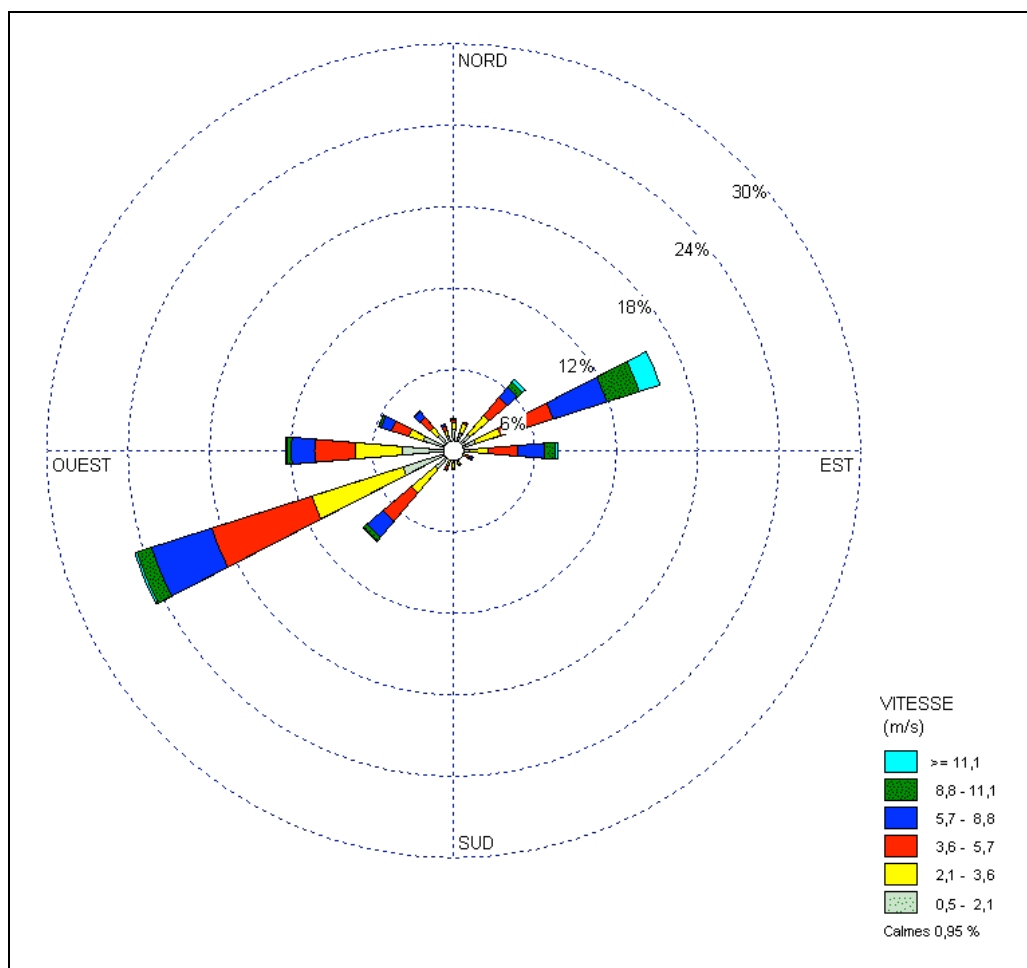


Figure 4. Rose des vents à la station Beauport d'Environnement Canada (pour les années 2000, 2001, 2002, 2004 et 2006)

Relation entre la direction des vents et les concentrations de nickel

Les résultats de concentrations de nickel dans l'air ont été comparés aux directions de vents observés les mêmes journées. Toutefois, les données sur les directions des vents sont compilées sur des périodes d'une heure de sorte qu'à chaque échantillon de nickel correspondent 24 directions de vents possibles. La pratique habituelle veut qu'on sélectionne une direction de vent dominante pour la journée et qu'on la compare à la concentration du contaminant mesuré. Aux fins de la présente analyse, on a plutôt cherché à déterminer s'il y avait un lien entre le nombre d'heures dans la journée pendant lequel le vent provient de l'incinérateur de la ville de Québec ou du Port de Québec et la concentration de nickel enregistrée pour la journée correspondante. Les résultats de la station Beaujeu n'ont pas été retenus parce que l'incinérateur et le Port de Québec sont dans un axe rapproché par rapport à la station, ce qui rend difficile une distinction claire de l'influence de l'une et l'autre des deux sources.

Pour chacune des stations d'échantillonnage, on a tout d'abord sélectionné les résultats de nickel pour lesquels il n'y a pas eu au cours de la même journée (24 heures) des vents en provenance de l'incinérateur et du port. Par exemple, un échantillon n'aurait pas été retenu s'il avait été pris une journée pendant laquelle il y avait eu à la station trois heures de vents en provenance de l'incinérateur et cinq autres heures de vents en provenance du port. Au cours d'une même journée, pour qu'un échantillon ait été retenu pour cette analyse, il fallait qu'il n'y ait que du vent en provenance de l'incinérateur ou que du vent en provenance du Port de Québec.

Tableau 3. Directions de vents retenus comme susceptibles et non susceptibles d'influencer les stations de mesure

Stations	Directions pouvant influencer les stations (Secteur A)	Direction sans influence des sources d'émissions (Secteur B)
<i>Incinérateur</i>		
Des Sables	De 350 à 10°	De 20 à 340°
De Vitré	De 200 à 220°	De 230 à 190°
<i>Port de Québec</i>		
Des Sables	De 40 à 70°	De 80 à 30°
De Vitré	De 70 à 120°	De 130 à 60°

Pour chaque échantillon sélectionné, on a déterminé des couples de données (x, y) où x représente le nombre d'heures en provenance du secteur A et y la concentration de nickel à la station. Avec ces données, on peut évaluer l'influence des vents provenant du port ou de l'incinérateur sur la concentration moyenne du nickel mesurée aux stations.

Les figures 5 et 6 présentent les histogrammes des concentrations par classe de nombre d'heures en provenance respectivement du Port de Québec et de l'incinérateur. Aux fins de la présentation, on a divisé les résultats en quatre classes pour les données présentant l'influence des vents en provenance du port, en visant à obtenir des nombres relativement égaux d'observations dans chacune des classes. Comme il y a moins de journées avec des vents en provenance de l'incinérateur aux deux stations, les résultats ont été présentés pour chaque groupe de nombre d'heures, soit quatre à la station Vitré et cinq à la station Des Sables.

La figure 5 indique clairement que, plus le vent souffle en provenance du port vers les stations De Vitré et Des Sables, et plus la concentration de nickel est importante. À la station Des Sables, la concentration moyenne de nickel lorsque le vent n'a pas été en provenance du port durant les 24 heures d'échantillonnage est de $0,0147 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et cette concentration passe à $0,0499 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lorsqu'il y a de 1 à 5 heures en provenance du port, à $0,0627 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 6 à 16 heures en provenance du port et finalement à $0,2018 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lorsqu'il y a 12 heures ou plus de vents en provenance du port.

Une relation similaire est observée à la station De Vitré. La concentration moyenne de nickel lorsque le vent n'a pas été en provenance du port durant les 24 heures d'échantillonnage est de $0,0127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et cette concentration passe à $0,0263 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lorsqu'il y a de 1 à 6 heures en provenance du port, à $0,0564 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 7 à 11 heures en provenance du port et finalement à $0,0772 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lorsqu'il y a 12 heures ou plus de vents en provenance du port.

La figure 6 présente les mêmes graphiques que précédemment, mais cette fois, les concentrations moyennes de nickel ont été calculées pour les journées pendant lesquelles il n'y a eu aucun vent en provenance du port et pendant lesquelles il y a eu des vents en provenance de l'incinérateur. Première constatation : pour ces journées, les concentrations moyennes de nickel sont beaucoup plus faibles que celles des journées durant lesquelles il y a eu une ou plusieurs heures de vents en provenance du port, et ce, aux deux stations. Les fortes concentrations de nickel sont donc associées à des vents en provenance du port.

Deuxième constatation : on ne trouve pas le même patron de variation des concentrations de nickel que dans la figure 3. Il n'y a pas de tendance entre une augmentation des concentrations de nickel en fonction des heures de vents en provenance de l'incinérateur. Notons toutefois que la fréquence des vents en provenance de l'incinérateur est plus faible et donc que le nombre d'échantillons pour effectuer cette comparaison est plus limité. Ainsi, dans le cas de la station Des Sables, on obtient 41 jours avec des vents sans provenance de l'incinérateur ni du port, et seulement 11 jours pendant lesquels le vent a soufflé de l'incinérateur vers la station. De plus, lorsqu'on a observé des vents en provenance de l'incinérateur, ceux-ci ont été peu fréquents pendant la journée : 6 journées avec 1 heure, 3 journées avec 2 heures et 1 journée chacune avec 3 heures et 4 heures.

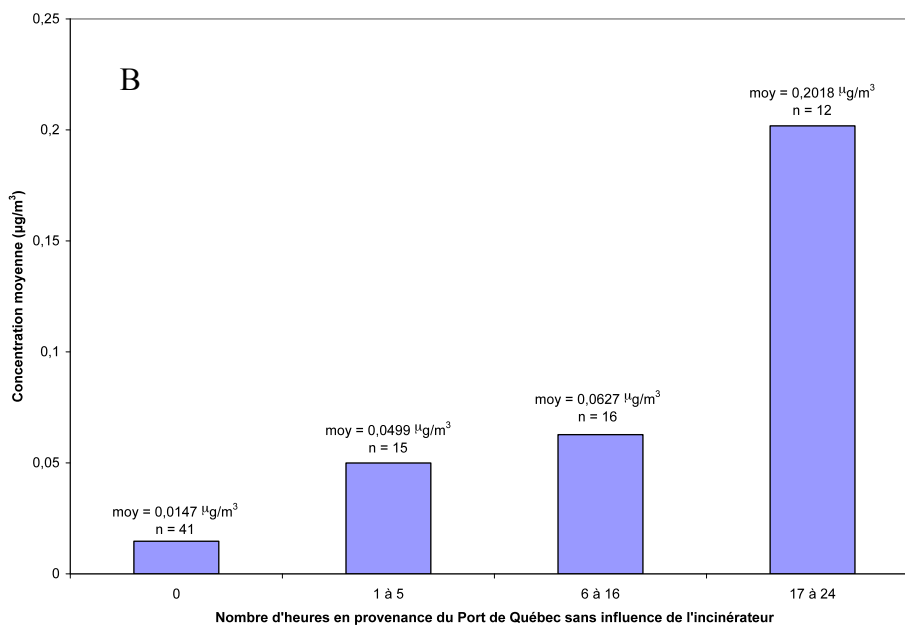
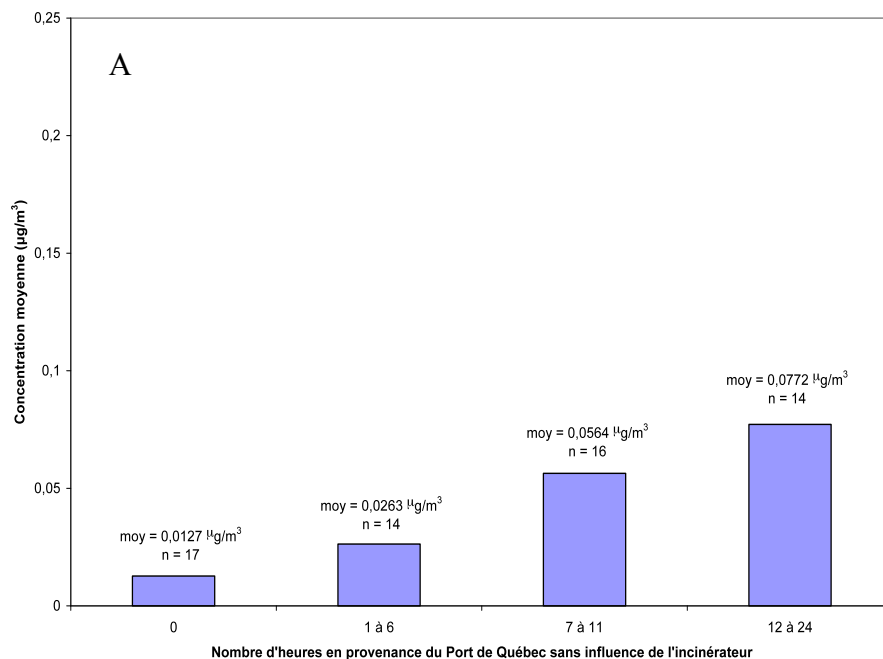


Figure 5. A. Concentrations de nickel à la station De Vitré en fonction du nombre d'heures avec des vents en provenance du Port de Québec. B. Concentrations de nickel à la station Des Sables en fonction du nombre d'heures avec des vents en provenance du Port de Québec. Le nombre d'échantillons dans chacune des classes est indiqué en haut de chaque barre. Les données utilisées sont celles qui ont été enregistrées à la station De Vitré d'avril 2010 à mars 2012 et à la station Des Sables d'avril 2010 à décembre 2012 inclusivement.

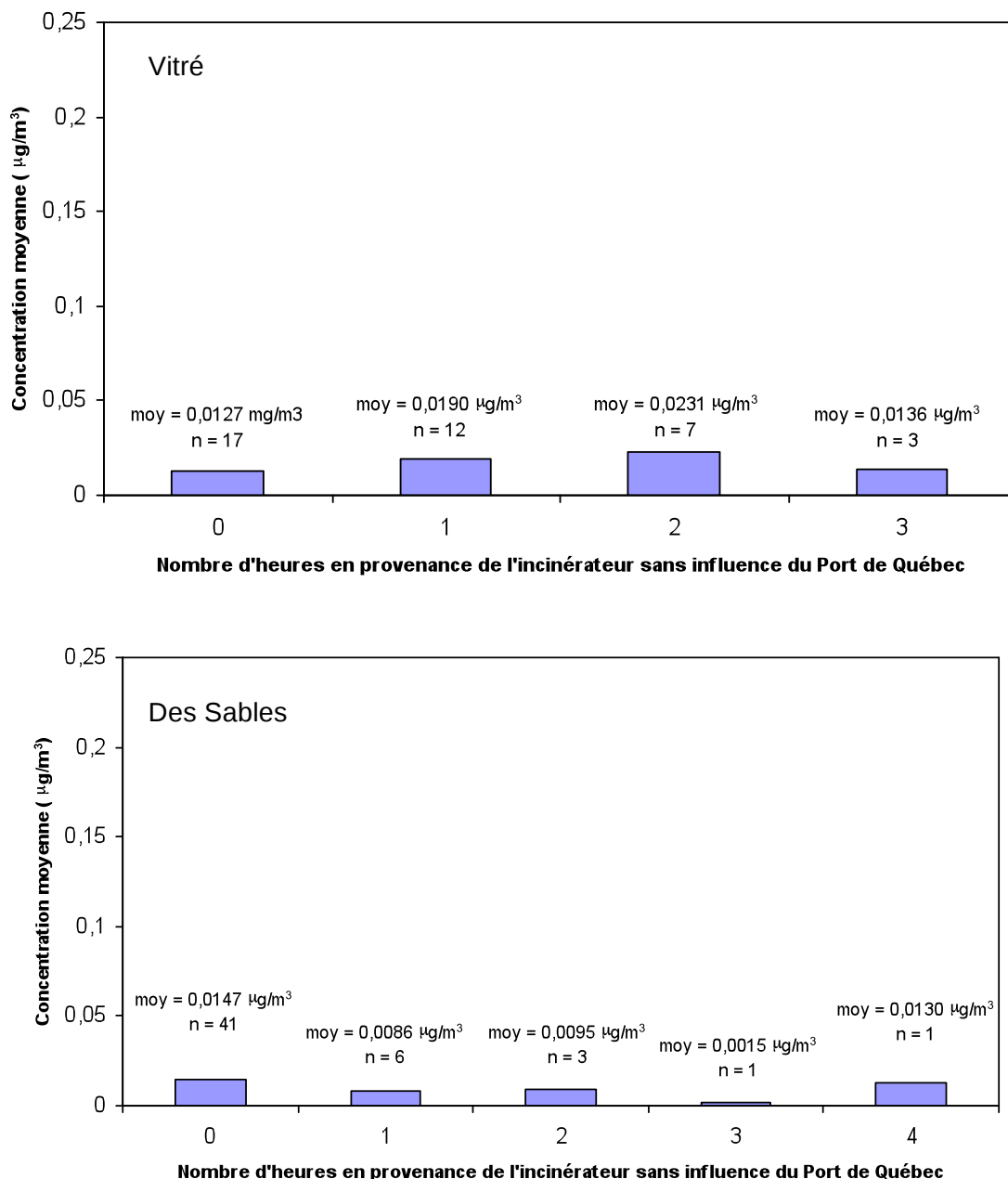


Figure 6. A. Concentrations de nickel à la station De Vitré en fonction du nombre d'heures avec des vents en provenance de l'incinérateur. B. Concentrations de nickel à la station Des Sables en fonction du nombre d'heures avec des vents en provenance de l'incinérateur. Le nombre d'échantillons dans chacune des classes est indiqué en haut de chaque barre. Les données utilisées sont celles qui ont été enregistrées à la station De Vitré d'avril 2010 à mars 2012 et à la station Des Sables d'avril 2010 à décembre 2012 inclusivement.

Le coefficient de corrélation par rang de Spearman a été calculé pour vérifier la significativité statistique du lien observé entre le nombre d'heures en provenance du port ou de l'incinérateur et les concentrations observées aux stations (tableau 4). Il n'y a pas de lien significatif entre le nombre d'heures en provenance de l'incinérateur et la concentration moyenne de nickel. Par contre, le lien est hautement significatif avec le port.

Tableau 4. Coefficient de corrélation de Spearman entre le nombre d'heures de vents en provenance de l'incinérateur et du Port de Québec et la concentration moyenne de nickel aux stations Des Sables et Vitré. N est le nombre de données. Lorsque la probabilité P est supérieure à 0,05, il n'y a pas de relation entre les deux variables.

Station	Source	N	Coefficient de Spearman	P
Vitré	Incinérateur	44	0,149	0,334
Des Sables	Incinérateur	52	-0,138	0,329
Vitré	Port de Québec	61	0,424	0,0007
Des Sables	Port de Québec	84	0,577	0,000000008

Relation entre le cobalt et le nickel dans l'air

Le cobalt est un élément associé au minerai de pentlandite. Il est même produit commercialement dans certaines fonderies à partir de ce minerai. On s'attend donc à le voir en association au nickel dans nos échantillons de particules en suspension dans l'air.

La figure 7 présente la relation entre les concentrations de nickel et de cobalt dans les échantillons des trois stations réunies (Beaujeu, De Vitré et Des Sables) dont les résultats pour les deux métaux étaient au-dessus de la limite de détection. Tel que le montre la figure, les concentrations de nickel et de cobalt sont étroitement associées, ce qui indique que la source des deux métaux dans l'air ambiant est la même.

À titre d'exemple, nous présentons les mêmes graphiques pour le nickel comparé au plomb et pour le nickel comparé à l'arsenic. On note l'absence d'une relation entre ces métaux et donc d'une même source d'émissions.

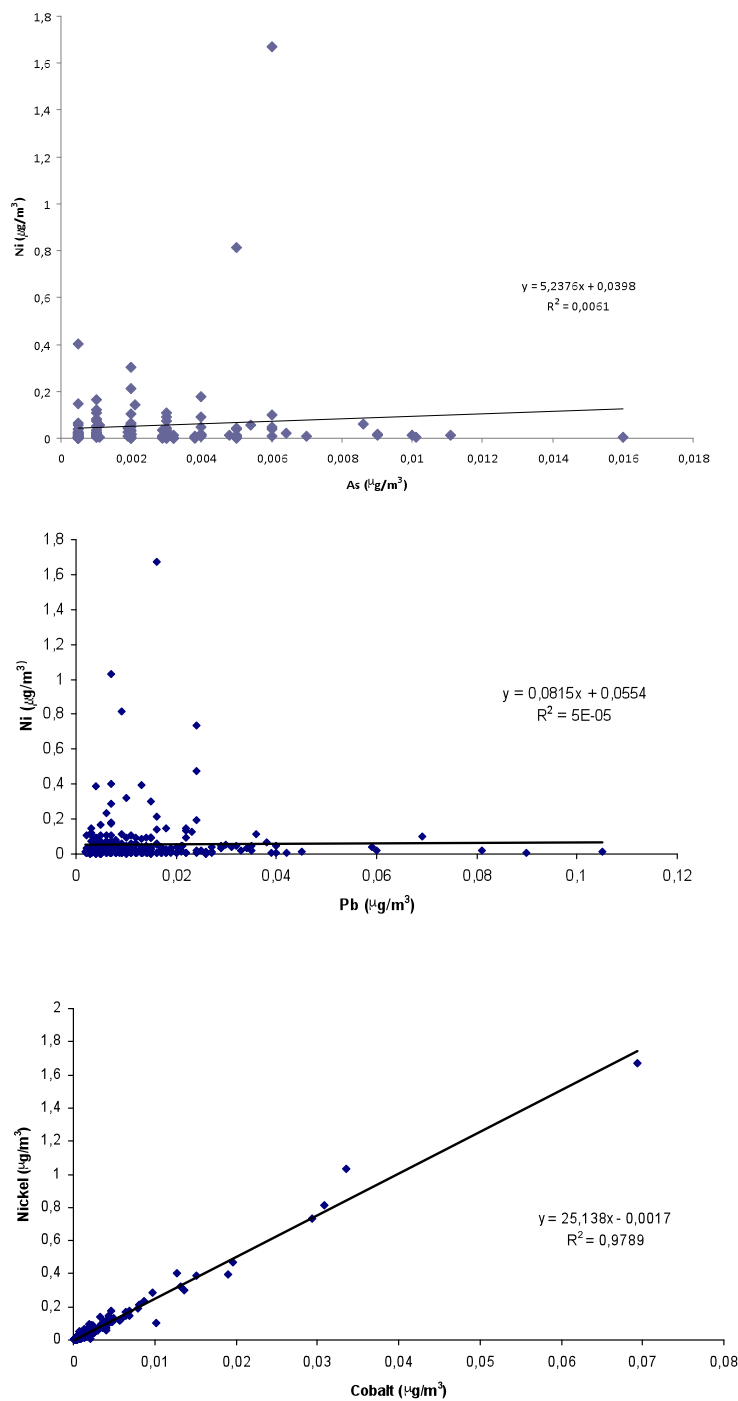


Figure 7. Relation entre les concentrations dans l'air ambiant du nickel (Ni) et celles de l'arsenic (As), du plomb (Pb) et du cobalt (Co) pour l'ensemble des résultats des stations Beaujeu, De Vitré et Des Sables

Composition des poussières recueillies au Port de Québec et dans Limoilou

Le concentré de nickel qui est transbordé au Port de Québec est produit à partir de gisements de pentlandite à la mine Raglan au Québec et à Voisey's Bay au Labrador. La pentlandite est un sulfure de fer et de nickel dont la formule chimique est $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$. La pentlandite est souvent associée à la pyrrhotite et elle peut aussi contenir du cobalt. On ne trouve pas de pentlandite naturellement dans les poussières dans une ville comme Québec.



Figure 8. Pentlandite

Le Centre de contrôle environnemental de la Capitale-Nationale (CCEQ) a prélevé des échantillons de poussières les 21 et 26 mars 2013 sur des cadres de fenêtres extérieurs non métalliques à la hauteur du numéro 500 de la 2^e rue à Limoilou. Le CCEQ a également prélevé des échantillons de concentré de minerai et d'autre matériel au Port de Québec les 21, 24 et 31 mars 2013. Il a également fait parvenir au laboratoire de l'Université Laval quatre filtres provenant d'un échantillonnage de l'air à la station Des Sables. Ces échantillons sont :

- L023274-05 (15 mai 2012) : $\text{Ni} = 0,108 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- L023274-10 (14 juin 2012) : $0,045 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- L023274-26 (18 septembre 2012) : $0,087 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- L023274-41 (29 décembre 2012) : $0,133 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Les résultats obtenus jusqu'ici au laboratoire de l'Université Laval montrent que :

- Le concentré de minerai de Voisey's Bay (échantillon M-8) s'est révélé n'être que de la pentlandite (sulfure de fer et de nickel) sans aucune trace d'autres sulfures;
- Dans l'échantillon de poussières prélevé le 26 mars, la phase porteuse du nickel était la pentlandite; il y avait aussi présence d'autres sulfures, comme la chalcopryrite (CuFeS_2) et la sphalérite $(\text{Fe, Zn})\text{S}$ ainsi que de l'oxyde de fer;
- Dans le filtre de particules en suspension (L023274-41) du 29 décembre 2012 qui contient une concentration élevée de nickel ($0,133 \mu\text{g}/\text{m}^3$), l'essentiel du nickel est sous forme de pentlandite.

Les résultats de ces analyses indiquent que des échantillons de particules recueillis sur des surfaces extérieures à Limoilou et sur les filtres de particules en suspension de la station Des Sables contiennent une grande proportion de pentlandite, soit le même minéral de nickel transbordé au Port de Québec. Sur le filtre de particules en suspension de la station Des Sables du 29 décembre 2012 qui montrait une concentration élevée de nickel, celui-ci était principalement sous forme de pentlandite. La présence de ce minéral ne peut venir que du transbordement des concentrés de minéral de nickel dans le Port de Québec.

Bibliographie

- ATSDR 2005. Toxicological Profile for Nickel. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 351 pages et annexes.
- BARCELOUX DG. 1999. Nickel. *Clin Toxicol* 37(2):239-258.
- BARRIE LA, HOFF RM. 1985. Five years of air chemistry observations in the Canadian Arctic. *Atmos Environ* 19:1995-2010.
- CCME 2012. Canadian Soil Quality Guidelines for Nickel: Environmental and Human Health. Scientific Criteria Document. 126 pages et annexes.
http://www.ccme.ca/ourwork/soil.html?category_id=44
- CEPA. 1994. Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessment report: Nickel and its compounds. Government of Canada, Environment Canada, Health Canada, 1-82.
- CLAIBORN CS, LARSON T, et SHEPPARD L. 2002. Testing the metals hypothesis in Spokane, Washington. *Environ Health Perspect* 101(Suppl 4):547-552
- CLEAN AIR SUDBURY, 2009. Clearing the air. Technical Report. Air Quality Trends in Sudbury 1998 – 2007. Potvin Air Management Consulting, 87 pages.
<http://www.cleanairsudbury.ca/>
- COUTURE, Y., 2011. *Suivi de la qualité de l'air au voisinage de l'incinérateur de Clean Harbors, Ville Mercier, rapport d'étape*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-62519-3 (PDF), 22 pages.
<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/mercier/rapport-etape-incin-cleanharbors.pdf>
- EPA. 2003. 1996 modeled ambient concentration for nickel compounds. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
http://www.epa.gov/ttnatw01/nata/pdf/nicke_conc.pdf. August 28, 2003
- MOE, 2011. Ontario Air Standards for nickel and nickel compounds. Standard Development Branch, Ontario Ministry of the Environment. 171 pages.
- MOON J, DAVISON AJ, SMITH TJ, *et al.* 1988. Correlation clusters in the accumulation of metals in human scalp hair: Effects of age, community of residence and abundances of metals in air and water supplies. *Sci Total Environ* 72:87-112.
- MDDEP 2011. *Suivi de la qualité de l'air au voisinage de l'incinérateur de Clean Harbors*

à Mercier Rapport d'étape.

NEWHOOK R, HIRTLE H, BYRNE K, *et al.* 2003. Releases from copper smelters and refineries and zinc plants in Canada: human health exposure and risk characterization. *Sci Total Environ* 301:25-41.

SCHROEDER WH, DOBSON M, KANE DM. 1987. Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: A review. *Air Pollut Control Assoc* 11:1267-1287.

SWEET CW, VERMETTE SJ, LANDSBERGER S. 1993. Sources of toxic trace elements in urban air in Illinois. *Environ Sci Technol* 27:2502-2510.