

Rapport de la caractérisation préliminaire des sols à l'arsenic, au cadmium et au plomb dans le périmètre urbain de Rouyn-Noranda

Novembre 2020

Direction de santé publique de l'Abitibi-Témiscamingue,
unité de santé environnementale



Québec 

Rapport de la caractérisation préliminaire des sols
à l'arsenic, au cadmium et au plomb
dans le périmètre urbain de Rouyn-Noranda

Auteur principal**Frédéric Bilodeau**, Ph. D., conseiller en santé environnementale

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Auteurs**Stéphane Bessette**, M. Env., chef d'équipe et conseiller en santé environnementale

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Daniel Proulx, Ph. D., professionnel en surveillance et coordonnateur de l'étude de biosurveillance

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Phélix Bussière, M. Sc., conseiller en santé publique

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Sous la direction de**Lyse Landry**, M.D., directrice de santé publique

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Révision**Francine Robert**, adjointe à la direction

Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la *Loi sur le droit d'auteur*. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation de la Direction de santé publique du Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 3^e trimestre 2020 Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-88148-3

ISBN (version PDF) : 978-2-550-88115-5

Note : Dans ce document, le genre masculin désigne aussi bien les femmes que les hommes.

Toute reproduction totale ou partielle de ce document est autorisée, à condition que la source soit mentionnée.
Ce document est également disponible en médias substitués, sur demande.

© Gouvernement du Québec

Rien ne se perd rien ne se crée, tout se transforme.

ANTOINE LAVOISIER

TABLE DES MATIÈRES

1. MISE EN CONTEXTE	10
2. OBJECTIFS	12
3. MÉTHODOLOGIE	12
3.1 Échantillonnage des sols au mont Powell.....	12
3.2 Échantillonnage des parcs, des écoles, des CPE et des garderies en milieu familial de la ville de Rouyn-Noranda.....	13
3.3 Échantillonnage des ruelles du quartier Notre-Dame	13
3.4 Échantillonnage des terrains privés de Rouyn-Noranda	14
3.5 Protocole d'échantillonnage des sols	14
3.6 Historique des terrains.....	15
3.7 Analyse en laboratoire	15
3.8 Analyses statistiques	15
4. RÉSULTATS	16
4.1 Niveau global de contamination des terrains résidentiels de la ville de Rouyn-Noranda.....	30
5. DISCUSSION.....	36
5.1 Rôle de la Fonderie Horne dans la contamination des sols	37
5.2 Effets à la santé	39
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	41
7. RÉFÉRENCES	43
ANNEXE 1 : HISTORIQUE DE LA POLLUTION ÉMISE PAR LA FONDERIE HORNE (ARSENIC, CADMIUM, PLOMB)	50
ANNEXE 2 : CARTE DES RUELLES DU QUARTIER NOTRE-DAME	53
ANNEXE 3 : DISTRICTS ÉLECTORAUX DE LA VILLE DE ROUYN-NORANDA.....	54
ANNEXE 4 : PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS DU PÉRIMÈTRE URBAIN DE ROUYN-NORANDA..	55
ANNEXE 5 : GESTES SIMPLES POUR RÉDUIRE SON EXPOSITION OU CELLE DE SA FAMILLE AUX SOLS CONTAMINÉS.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Concentrations d'arsenic mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	17
Figure 2 :	Concentrations d'arsenic mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm	19
Figure 3 :	Concentrations d'arsenic mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm	20
Figure 4 :	Concentrations de cadmium mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	21
Figure 5 :	Concentrations de cadmium mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm	23
Figure 6 :	Concentrations de cadmium mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm	24
Figure 7 :	Concentrations de plomb mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	25
Figure 8 :	Concentrations de plomb mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm	27
Figure 9 :	Concentrations de plomb mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm	28
Figure 10 :	Indice de pollution calculé selon la méthode inspirée de Song et al. (2018).....	31
Figure 11 :	Terrains dépassant 30 ppm d'arsenic (critère B) dans l'horizon 0-3 cm	32
Figure 12 :	Terrains dépassant 5 ppm de cadmium (critère B) dans l'horizon 0-3 cm	33
Figure 13 :	Terrains dépassant 500 ppm de plomb (critère B) dans l'horizon 0-3 cm	34
Figure 14 :	Terrains résidentiels affichant des concentrations supérieures au critère B du RPRT dans l'horizon 0-3 cm	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Types de terrains, dates d'échantillonnage, nombre d'échantillons prélevés et types de sol	12
Tableau 2 : Statistiques descriptives des concentrations d'arsenic mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	18
Tableau 3 : Statistiques descriptives des concentrations de cadmium mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	22
Tableau 4 : Statistiques descriptives des concentrations de plomb mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm	26
Tableau 5 : Sélection de modèles testant le lien statistique entre les concentrations de métaux mesurées au sol, l'année de construction des maisons et la distance par rapport à la fonderie	29

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AICc : Critère d'information d'Akaike pour petit échantillon

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CISSS : Centre intégré de santé et de services sociaux

CPE : Centre de la petite enfance

Critère B : Réfère aux valeurs seuils de l'Annexe I du RPRT

Critère C : Réfère aux valeurs seuils de l'Annexe II du RPRT

DSPu : Direction de santé publique (de l'Abitibi-Témiscamingue)

GSC-MITE : Commission géologique du Canada « *Metals in the environment* »

IARC : International Agency for Research on Cancer

ICP-MS : Spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif

INRS : Institut national de la recherche scientifique

INSPQ : Institut national de santé publique du Québec

MELCC : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

MSSS : Ministère de la Santé et des services sociaux

PPM : Parties par million

QND : Quartier Notre-Dame, aussi nommé quartier Noranda ou Vieux-Noranda

RPRT : Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains

1. MISE EN CONTEXTE

Depuis le début des années 1990, la Direction de santé publique (DSPu) de l'Abitibi-Témiscamingue effectue un suivi environnemental des concentrations de plomb à la surface (0-3 cm) des sols du quartier Notre-Dame (QND), situé à proximité des installations de Glencore Fonderie Horne à Rouyn-Noranda. Ce suivi est réalisé conjointement avec la Fonderie Horne et en collaboration avec le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). De 1991 à 2000, le MELCC a observé à ses stations d'échantillonnage une augmentation des concentrations d'arsenic dans l'air ambiant du QND (Walsh et al., 2004). Parallèlement, l'Inventaire national des rejets de polluants¹ fait également état de cette augmentation de rejets atmosphériques d'arsenic ; de 1991 à 2001, les rejets sont passés d'environ 20 tonnes d'arsenic à 98 tonnes². Suivant ces constats, à partir des années 2000, le suivi de l'arsenic a été intégré au programme de surveillance des sols. À ce suivi de la qualité des sols en milieu résidentiel, la Fonderie Horne a volontairement souscrit à un programme qui prévoit la décontamination, à ses frais, des terrains résidentiels dont la concentration en surface des sols atteint ou excède 500 parties par million (ppm) de plomb et/ou 100 ppm d'arsenic. Précisons qu'à l'été 2019, la DSPu a recommandé à Fonderie Horne que dorénavant, les actions de restauration des sols pour l'arsenic soient réalisées sur la base d'un seuil de 30 ppm, cette valeur correspondant à la limite québécoise fixée pour les terrains à usage résidentiel (critères de l'annexe I³ ou critères B) dans le Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains. Les motifs justifiant cet abaissement de seuil s'appuient notamment sur les résultats de l'étude de biosurveillance menée par la DSPu à l'automne 2018 (Bilodeau, 2019), celle-ci ayant fait ressortir que les enfants de moins de 6 ans du QND sont plus imprégnés à l'arsenic que ceux vivant à Amos, une ville non exposée à une source d'arsenic industrielle, mais aussi sur les résultats de l'étude de biosurveillance visant à mesurer l'imprégnation à l'arsenic de l'ensemble de la population (adultes et enfants) du QND, présenté en juin 2020 et qui montre que l'ensemble de cette population est en moyenne quatre fois plus imprégnée à l'arsenic que la population d'Amos (Bilodeau et al., 2020)⁴.

Si le QND est le secteur du périmètre urbain de Rouyn-Noranda le plus affecté par les émissions diffuses et fugitives, notamment à cause de sa proximité avec le complexe industriel, les autres quartiers situés en périphérie de l'usine peuvent en revanche être davantage influencés par les émissions des panaches des cheminées, celles-ci contenant des concentrations importantes en divers métaux/métalloïde⁵ et pouvant se déposer dans un rayon de plus de cent kilomètres (Widory et al., 2018 ; Savard et al., 2005).

¹ <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/pollution-gestion-dechets/inventaire-national-rejets-polluants.html>

² Selon les données de l'Inventaire national des rejets de polluants, durant la même période, les émissions fugitives qui affectent davantage le QND ont pu représenter annuellement en moyenne jusqu'à 18 % du total des émissions d'arsenic.

³ <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cr/Q-2,%20R.%2037.pdf>

⁴ https://www.ciass-at.gouv.qc.ca/partage/BIOSURVEILLANCE/Rapport_biosurveillance_2019_F.pdf

⁵ L'arsenic est un métalloïde, le cadmium et le plomb des métaux lourds.

À noter que selon les données provenant de l'Inventaire national des rejets de polluants, les installations de la Fonderie Horne ont émis des dizaines de milliers de tonnes d'arsenic, de cadmium et de plomb dans l'atmosphère au fil des années⁶ Annexe 1 : Historique de la pollution émise par la Fonderie Horne (arsenic, cadmium, plomb). Des rapports de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) (Tassé, 2010 ; 2013) font aussi état d'une importante contamination des sols à l'arsenic, au plomb et au cadmium dans le secteur du mont Powell à Rouyn-Noranda, lequel est situé à environ trois kilomètres au nord-ouest des installations de la fonderie. Les concentrations de ces métaux mesurées dans les sols de ce secteur indiquent plusieurs dépassements des critères pour les terrains à usages industriels, commerciaux ou institutionnels (critère C) du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains. Les résultats des analyses isotopiques réalisées dans le cadre de ces études indiquent aussi que le plomb présent dans ces sols est attribuable aux activités passées de la Fonderie Horne, ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle les sols des terrains du périmètre urbain de la ville de Rouyn-Noranda ont été contaminés, en tout ou en partie, par les rejets atmosphériques générés par cette industrie. De plus, la Commission géologique du Canada a publié en 2005 un dossier d'articles scientifiques sur Rouyn-Noranda par l'entremise du projet « *Metals in the environment* » (GSC-MITE). Dans le cadre de ce projet subventionné par le gouvernement fédéral, les chercheurs ont caractérisé l'environnement jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres autour de la Fonderie Horne. Les résultats obtenus indiquent que cette entreprise a affecté la qualité de l'environnement de l'ensemble de la ville-MRC de Rouyn-Noranda et même au-delà (Alpay et al., 2005; Bonham-Carter, 2005 ; Bonham-Carter et al., 2005 ; Grenier et Kliza, 2005 ; Hall et al., 2005 ; Henderson et Knight, 2005 ; Kettles, 2005 ; Kliza et al., 2005 ; Knight et Henderson, 2005 ; Savard et al., 2005 ; Veillette et al., 2005 ; Zdanowicz et al., 2005).

Selon l'ensemble de ces données, il est indéniable que la Fonderie Horne a contribué à la contamination des sols en périphérie de celle-ci. Considérant ces informations et le fait que les populations vivant sur des sols contaminés par des métaux/métalloïdes sont susceptibles de s'exposer davantage à ces substances (Létourneau et Gagné, 1992 ; Gagné, 2000 ; Hinwood et al., 2003 ; Carrizales et al. 2006 ; Loh et al., 2016 ; Bilodeau, 2019), ceci représentant un risque pour leur santé, la DSPu a entrepris, à l'été 2019, une caractérisation préliminaire des sols du périmètre urbain de Rouyn-Noranda afin d'en vérifier la qualité dans le premier pouce de sol (0-3 cm)⁷. Le présent document fait état des résultats et contient des recommandations de santé publique.

⁶ <https://www.ec.gc.ca/plarp2-p2plan/default.asp?lang=Fr&n=68AE2C13-1&printfullpage=true>, voir aussi https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/copper_cuivre_zinc/copper_zinc-fra.pdf. Voir également l'Inventaire national des rejets de polluants : <https://pollution-dechets.canada.ca/inventaire-national-rejets/archives/index.cfm?do=query&lang=fr>.

⁷ Il s'agit de la portion du sol avec laquelle la population est la plus susceptible d'être en contact au quotidien.

2. OBJECTIFS

La caractérisation préliminaire des sols menée par la DSPu avait pour objectif principal de vérifier la présence d'une contamination de surface par des métaux en établissant un portrait des concentrations en arsenic, en plomb et en cadmium dans le premier pouce (0-3 cm) des sols du périmètre urbain de la ville Rouyn-Noranda⁸.

En fonction de son mandat et à partir des données de ce portrait, la DSPu poursuit également l'objectif d'informer la population sur les risques potentiels à la santé liés à une exposition à l'arsenic, au cadmium ou au plomb et les mesures de protection applicables.

3. MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de cette caractérisation préliminaire, la DSPu a prélevé 254 échantillons de sols à l'intérieur du périmètre urbain de la ville de Rouyn-Noranda. Les échantillons sont répartis selon les catégories présentées au tableau 1.

Tableau 1 : Types de terrains, dates d'échantillonnage, nombre d'échantillons prélevés et types de sol

Types de terrains échantillonnés	Date des échantillonnages	Nombre d'échantillons	Types de sol (n)
Sentier de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon	3 juillet 2019	17	terre (9), sable (8)
Parcs et écoles	15 juillet 2019	28	terre (25), sable (3)
Ruelles du QND	24 juillet 2019	26	gravier (26)
Terrains résidentiels	29 août au 24 septembre 2019	156	terre (156)
CPE et garderies en milieu familial	18 septembre 2019	27	terre (26), sable (1)

3.1 Échantillonnage des sols au mont Powell

La direction régionale du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a procédé en 2018 à l'analyse d'une demande d'utilisation du territoire public pour la réalisation d'un projet de pistes de vélo dans le secteur du mont Powell à Rouyn-Noranda. Dans le cadre de cette analyse, le MERN a souhaité connaître l'avis de la DSPu sur le projet considérant la contamination du secteur visé. Afin d'évaluer la requête adéquatement, la DSPu a interpellé le MELCC pour connaître le passif environnemental de ce site. C'est à la suite de cette demande que la DSPu a pris connaissance des rapports de l'INRS (Tassé, 2010 ; 2013), ceux-ci faisant état d'une contamination importante des

⁸ Considérant le programme de suivi des sols déjà en place dans le QND, les terrains publics et résidentiels de ce quartier ont été exclus de cette étude.

sols à divers métaux, notamment le plomb, l'arsenic et le cadmium, soit trois métaux/métalloïde pour lesquels les effets à la santé sont bien documentés dans la littérature scientifique.

Ce constat a mené la DSPu à se questionner sur l'étendue totale de cette contamination et sur l'exposition potentielle de la population à ces métaux. C'est dans ce contexte que la DSPu a échantillonné les pistes de vélo du mont Powell ainsi que la plage du lac Marlon, puisqu'il s'agit d'endroits fréquentés par le public particulièrement lors de la saison estivale.

Dans un premier temps, quinze emplacements ont été échantillonnés dans le réseau de pistes de vélo. Ensuite, deux échantillons ont été prélevés à la plage du lac Marlon, un sur le terrain gazonné menant à la plage et servant d'aire de repos et un dernier dans le sable de la plage. Les points de ces 17 emplacements ont été géoréférencés à l'aide d'un GPS. L'échantillonnage de ces emplacements a été fait en sorte d'obtenir une représentation spatiale uniforme du secteur à l'étude, et ce, en se basant sur la technique de l'échantillonnage aléatoire systématique (MDDEP, 2010). Comme les sols de surface sont suspectés d'être contaminés par voie aérotransportée, l'échantillonnage ciblé n'était pas nécessaire.

3.2 Échantillonnage des parcs, des écoles, des CPE et des garderies en milieu familial de la ville de Rouyn-Noranda

Considérant que les enfants constituent la population la plus vulnérable aux sols contaminés, la DSPu a entrepris d'échantillonner l'ensemble des parcs, des écoles, des centres de la petite enfance (CPE) et des garderies en milieu familial situés dans le périmètre urbain de Rouyn-Noranda, cela, à l'exception de ceux situés dans le QND, puisqu'ils ont été échantillonnés lors de la campagne d'échantillonnage réalisée en collaboration avec la Fonderie Horne à l'été 2019⁹.

3.3 Échantillonnage des ruelles du quartier Notre-Dame

Les ruelles du QND sont majoritairement recouvertes de gravier. Elles peuvent constituer des aires de jeux pour les enfants du quartier et ainsi représenter une source d'exposition potentielle, car elles sont sujettes aux retombées atmosphériques de la Fonderie Horne. Selon les informations dont dispose la DSPu, les ruelles du QND n'ont jamais fait l'objet d'une décontamination à proprement parler, mais la Ville de Rouyn-Noranda a remplacé le gravier de toutes les ruelles du quartier au début des années 1990¹⁰. Cependant, à travers les années, la ville y a mené des travaux d'entretien, ainsi que certains travaux d'excavation visant à remplacer des conduites souterraines. La DSPu a procédé à l'échantillonnage de l'ensemble des tronçons de ruelle du quartier recouverts de gravier dans le but d'en déterminer les concentrations d'arsenic, de cadmium et de plomb en surface du sol. Une carte représentant l'ensemble des tronçons est présentée à Annexe 2 : Carte des ruelles du quartier notre-dame.

⁹ Voir le rapport préparé par Glencore Fonderie Horne, <https://comiteliaison-fh.ca/wp-content/uploads/2020/07/Site-web-r%C3%A9sultats-campagne-d%C3%A9chantillonnage-des-sols-2019-du-quartier-ND-VC.pdf>. À noter qu'en raison de la non transmission des résultats de la campagne à la DSPu, celle-ci n'a pu participer à la rédaction du rapport.

¹⁰ Information tirée du document : *Contamination par le plomb dans le quartier Notre-Dame de Rouyn-Noranda. Bilan des travaux effectués au 22 octobre 1991*. Document transmis par la ville de Rouyn-Noranda le 21 novembre 1991. Conservé par la Direction de santé publique.

3.4 Échantillonnage des terrains privés de Rouyn-Noranda

Afin de documenter les concentrations d'arsenic, de cadmium et de plomb en surface des terrains du périmètre urbain de Rouyn-Noranda, la DSPu a procédé à l'échantillonnage de 156 terrains dans les districts électoraux 1, 2, 3, 4, 6 et 8 de la ville (voir Annexe 3 : Districts électoraux de la ville de Rouyn-Noranda). Dans un premier temps, une présélection des terrains a été réalisée sur une carte afin de couvrir l'ensemble des secteurs de chacun des quartiers identifiés. Considérant que le but de l'exercice était de vérifier l'effet des retombées atmosphériques passées de la Fonderie Horne sur la qualité des sols, lorsqu'il était évident que le sol d'un terrain présélectionné avait été remanié récemment, l'échantillonnage a été réalisé sur un autre terrain, dans la mesure du possible, adjacent à ce dernier et n'ayant visiblement pas été remanié au cours des dernières années.

3.5 Protocole d'échantillonnage des sols

Dans le cadre de cette étude, la DSPu s'est inspirée de la procédure d'échantillonnage développée en collaboration avec la Fonderie Horne pour le suivi de la qualité des sols dans le quartier Notre-Dame (Bessette et al., 2012), laquelle se concentre sur le premier pouce de sol (0-3 cm), c'est-à-dire la portion du sol avec laquelle la population est la plus susceptible d'être en contact au quotidien, ainsi que du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols* (MDDEP, 2010). Le protocole d'échantillonnage est décrit à l'Annexe 4 : Protocole d'échantillonnage des sols du périmètre urbain de Rouyn-Noranda. La caractérisation a aussi été réalisée de manière à se concentrer sur la contamination aérotransportée du sol et de permettre au besoin de comparer les résultats avec ceux obtenus dans le QND. Les horizons plus profonds du sol n'ont pas été caractérisés dans le cadre de cet échantillonnage préliminaire, ceci ne permettant pas d'évaluer la migration des contaminants dans le sol.

En bref, pour chaque terrain ou lieu échantillonné, un échantillon composé (composite) était constitué de 10 prélèvements d'un même type de sol (terre, sable ou gravier) carottés sur l'ensemble du terrain. Pour les pistes de vélo, les 10 prélèvements d'un même échantillon étaient réalisés à l'intérieur d'une zone délimitée d'environ 10 m² de piste de vélo. Lorsqu'il s'agissait d'échantillonner de la terre (avec ou sans pelouse), les trois premiers centimètres de sols étaient prélevés à l'aide d'un carottier. Pour les sols sablonneux ou graveleux, l'échantillon a été prélevé avec une petite pelle afin d'amasser une proportion de sol équivalente à un prélèvement de carottier, et ce, dans les trois premiers centimètres de sol. Les instruments utilisés pour l'échantillonnage étaient ensuite lavés à l'eau distillée et essuyés à l'aide d'un papier absorbant de type essuie-tout avant d'entreprendre l'échantillonnage de chaque nouveau terrain ou lieu. Cette procédure de nettoyage a été validée auprès de la division inorganique du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

3.6 Historique des terrains

Un questionnaire en ligne visant à documenter sommairement l'historique de chacun des terrains résidentiels a été élaboré et une invitation papier à le compléter a été laissée en main propre aux propriétaires présents lors de l'échantillonnage ou dans la boîte aux lettres. Cependant, il a été décidé de ne pas présenter ces données compte tenu du faible taux de participation. Néanmoins, l'âge des bâtiments a été obtenu auprès de la ville de Rouyn-Noranda et cette variable a été incluse dans les tests statistiques réalisés.

3.7 Analyse en laboratoire

Les échantillons recueillis par la DSPu ont tous été envoyés et analysés au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, où ils ont été homogénéisés et passés au tamis pour ne retenir que les particules de moins de deux millimètres de diamètre. Leur contenu en métaux a été analysé par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon (ICP-MS)¹¹. Les frais d'analyse ont été assumés par le MELCC.

3.8 Analyses statistiques

Afin de vérifier s'il y a un lien entre les concentrations de métaux mesurées dans les sols de l'ensemble des terrains, un test de corrélation de rang de Pearson a été réalisé. Une régression linéaire utilisant la méthode des moindres carrés généralisés (gls) a également été réalisée afin de vérifier s'il existe un lien statistique entre les concentrations de métaux mesurées dans le sol et la distance par rapport à la fonderie. Des modèles tenant compte uniquement des terrains résidentiels ont également été élaborés et l'année de construction des habitations a été ajoutée comme variable à ceux-ci¹². Afin de tenir compte d'un possible effet de pseudoréplication spatiale, les modèles ont été testés avec différentes structures d'autocorrélation spatiale (exponentielle, gaussienne, sphérique, linéaire et quadratique rationnelle) à l'aide du *package* « nlme » de R. Les différents modèles élaborés ont tous été comparés en fonction du critère d'information d'Akaike (AIC). Les modèles ayant les AIC les plus faibles, c'est-à-dire s'ajustant le mieux aux données observées, ont été sélectionnés.

¹¹ Méthode MA. 200 - Mét. 1,2 du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

¹² L'année de construction des maisons bâties sur les terrains échantillonnés a été fournie par la Ville de Rouyn-Noranda.

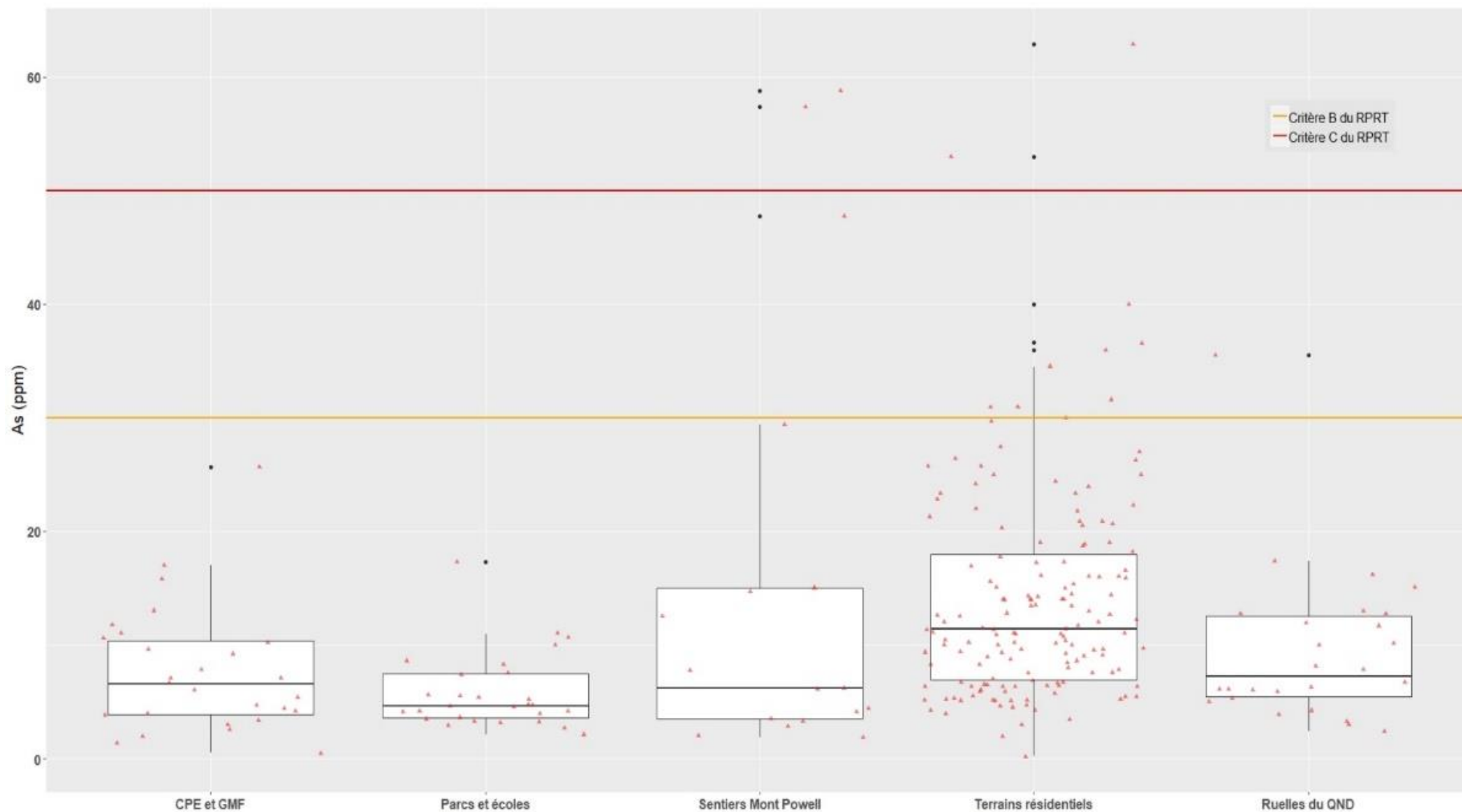
4. RÉSULTATS

Les figures 1, 4 et 7¹³ ainsi que les tableaux 2 à 4 décrivent l'ensemble des résultats des sols échantillonnés dans le cadre de cette caractérisation. Les résultats ont été divisés en cinq catégories, soit les CPE et les garderies en milieu familial, les parcs et les écoles, les sentiers de vélo du mont Powell et la plage du lac Marlon, les terrains résidentiels et finalement les ruelles du QND. La totalité des endroits échantillonnés représente 254 échantillons. Une représentation spatiale des données pour chacun des contaminants est présentée aux figures 2, 3, 5, 6, 8 et 9.

À noter que la DSPu a identifié un terrain fortement contaminé dont les concentrations d'arsenic et de plomb étaient respectivement de 368 ppm et de 77 100 ppm. Selon l'enquête menée auprès du propriétaire et après l'analyse des terrains adjacents, cette contamination est isolée et ne semble pas principalement attribuable aux retombées atmosphériques de la Fonderie Horne. En ce qui concerne le résultat pour le cadmium, il était de 0,76 ppm, un résultat similaire aux terrains à proximité. Ce terrain a également été identifié dans le secteur de la montée du sourire où tous les terrains étaient sous le critère B pour l'arsenic, le cadmium et le plomb, ce qui consolide l'idée qu'il s'agit d'un cas isolé et conséquemment, les résultats obtenus pour l'arsenic et le plomb de ce terrain ont été exclus des analyses.

¹³ Pour les figures 1, 4 et 7, les triangles rouges représentent les données distribuées aléatoirement sur l'axe des X. Ceux-ci ont été superposés au graphique en boîte à moustache qui est représenté en noir. Les points noirs représentent des données extrêmes, dépassant 1,5 fois l'intervalle interquartile. À titre informatif, les points rouges situés aux mêmes endroits que les points noirs sur l'axe vertical représentent les mêmes données. Les lignes horizontales jaune et rouge sur chacun des graphiques représentent les critères B ET C du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* établis par le MELCC. Puis, la ligne horizontale noire se situant à l'intérieur des boîtes à moustache représente la médiane de l'ensemble des résultats pour chaque type de lieu échantillonné.

Figure 1 : Concentrations d'arsenic mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm



Les triangles rouges représentent les données distribuées aléatoirement sur l'axe des X. Ceux-ci ont été superposés au graphique en boîte à moustache qui est représenté en noir. Les points noirs représentent des données extrêmes, dépassant 1,5 fois l'intervalle interquartile. À titre informatif, les points rouges situés aux mêmes endroits que les points noirs sur l'axe vertical représentent les mêmes données. Les lignes horizontales jaune et rouge sur chacun des graphiques représentent les critères B ET C du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* établis par le MELCC. Puis, la ligne horizontale noire se situant à l'intérieur des boîtes à moustache représente la médiane de l'ensemble des résultats pour chaque type de lieu échantillonné.

Tableau 2 : Statistiques descriptives des concentrations d'arsenic mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm

Distribution	Terrains résidentiels	CPE et garderies en milieu familial	Écoles	Parcs	Sentiers mont Powell	Ruelles du QND
Minimum	0,20	0,50	3,10	2,10	1,90	2,40
5 ^e percentile	4,57	1,51	3,38	2,71	1,98	3,08
Médiane	11,40	6,60	4,70	4,65	6,20	7,25
Moyenne arithmétique	14,02	7,69	5,55	5,86	16,33	9,49
95 ^e percentile	31,00	16,64	9,65	10,67	57,68	17,10
Maximum	62,90	25,70	11,00	17,30	58,80	35,5
Écart type	9,43	5,60	2,79	3,52	19,64	6,81
Nombre de terrains échantillonnés	156	27	6	22	17	26
Nombre de terrains au-dessus du critère applicable du RPRT ¹⁴	10	0	0	0	2	0

Des résultats dépassant le critère B du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains de 30 ppm d'arsenic ont été mesurés à la surface de terrains résidentiels. À l'exception du mont Powell, on peut observer que la moyenne arithmétique et la médiane sont plus élevées sur les terrains résidentiels que sur les autres types de sols. En ce qui a trait aux sentiers de vélo du mont Powell, deux endroits échantillonnés dépassaient le critère C du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains de 50 ppm d'arsenic.

¹⁴ Le critère applicable pour les terrains résidentiels, les écoles, CPE, garderies en milieu familial et les aires de jeux des parcs municipaux est le critère B de 30 ppm. Le critère applicable pour les sentiers de vélo du mont Powell et les ruelles du QND est le critère C de 50 ppm.

Figure 2 : Concentrations d'arsenic mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm

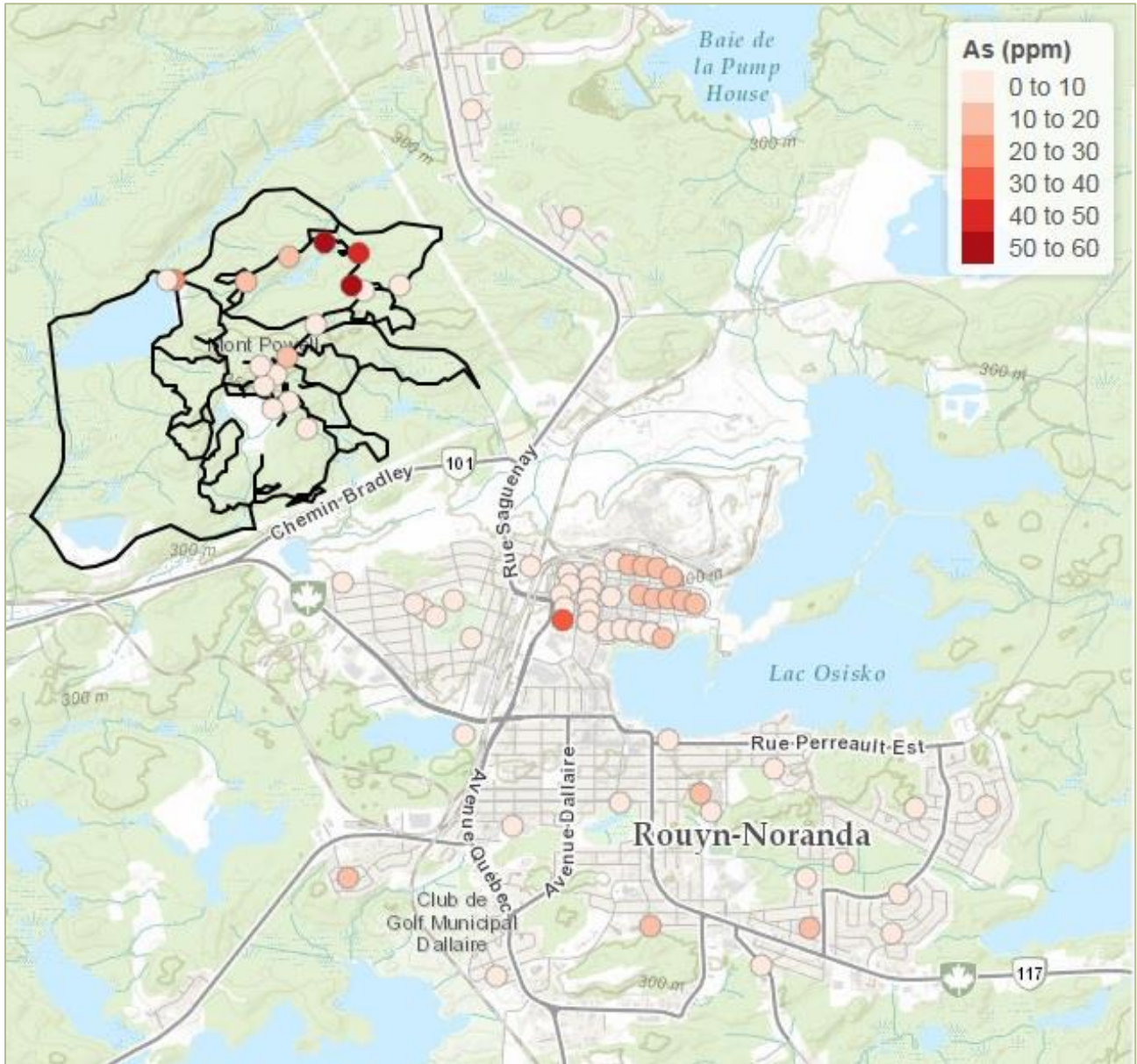


Figure 3 : Concentrations d'arsenic mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm

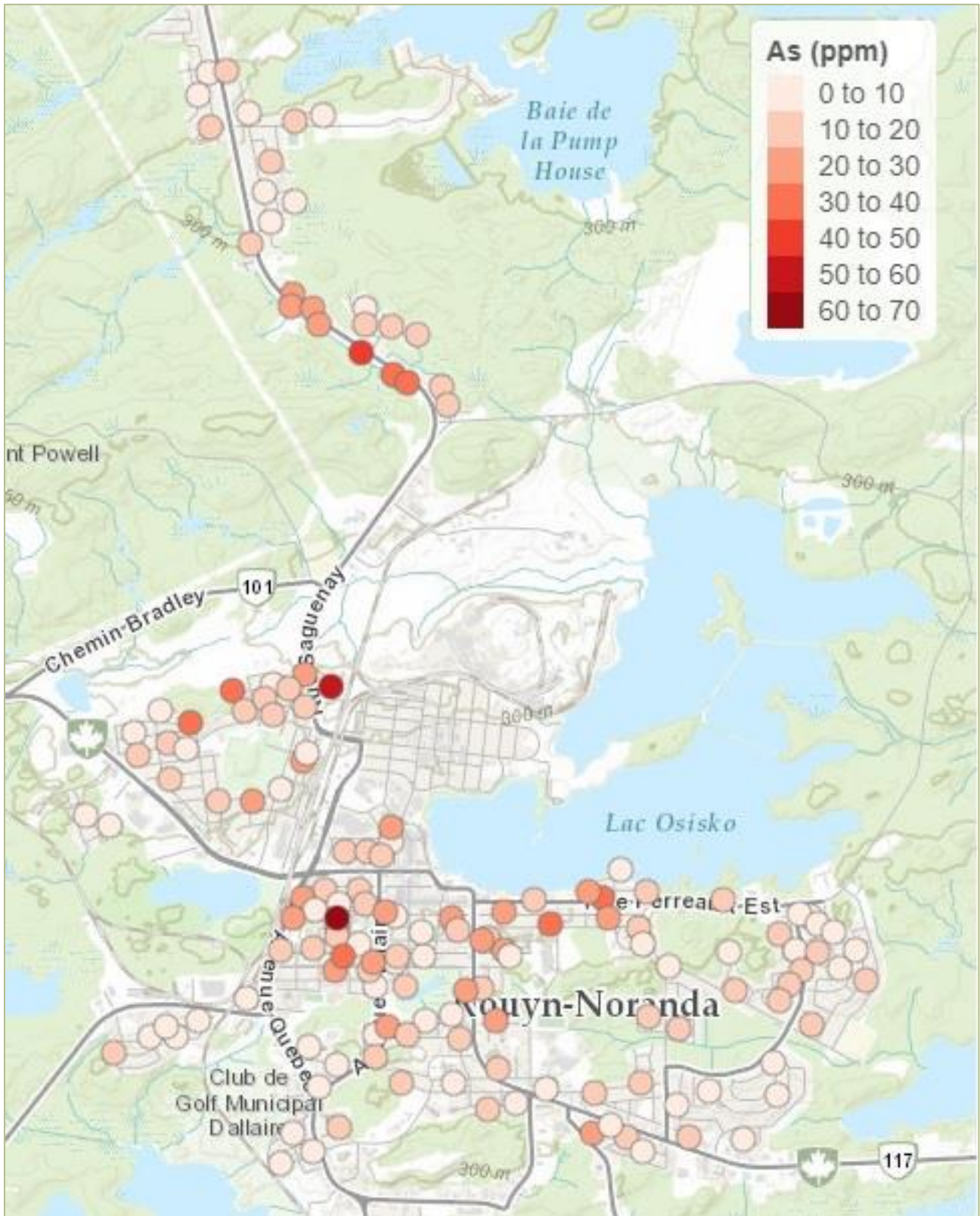
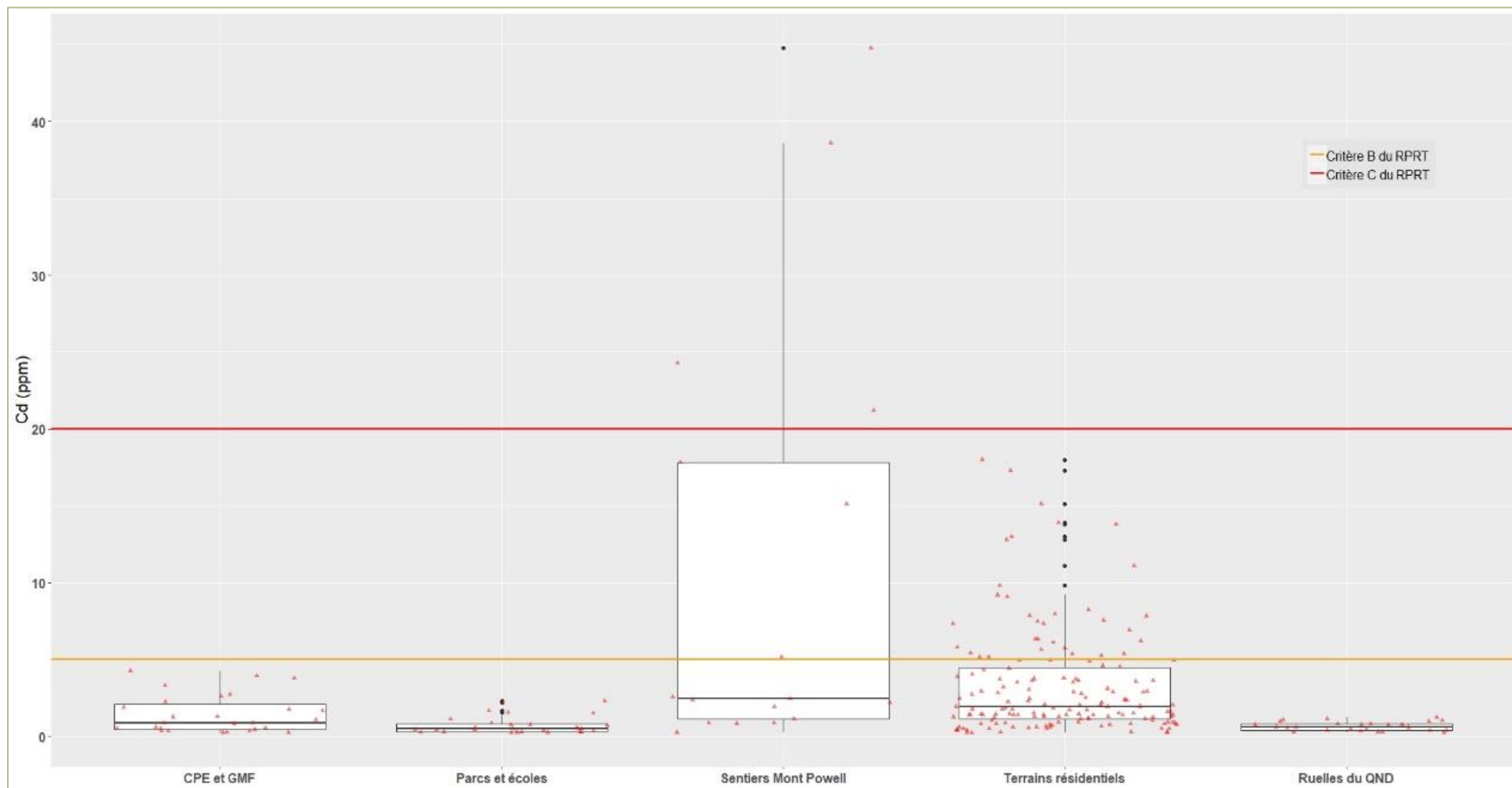


Figure 4 : Concentrations de cadmium mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm



Les triangles rouges représentent les données distribuées aléatoirement sur l'axe des X. Ceux-ci ont été superposés au graphique en boîte à moustache qui est représenté en noir. Les points noirs représentent des données extrêmes, dépassant 1,5 fois l'intervalle interquartile. À titre informatif, les points rouges situés aux mêmes endroits que les points noirs sur l'axe vertical représentent les mêmes données. Les lignes horizontales jaune et rouge sur chacun des graphiques représentent les critères B ET C du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* établis par le MELCC. Puis, la ligne horizontale noire se situant à l'intérieur des boîtes à moustache représente la médiane de l'ensemble des résultats pour chaque type de lieu échantillonné.

Tableau 3 : Statistiques descriptives des concentrations de cadmium mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm

Distribution	Terrains résidentiels	CPE et garderies en milieu familial	Écoles	Parcs	Sentiers mont Powell	Ruelles du QND
Minimum	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
5 ^e percentile	0,38	0,26	0,29	0,25	0,71	0,25
Médiane	1,95	0,88	0,47	0,49	2,47	0,61
Moyenne arithmétique	3,30	1,43	0,63	0,75	10,73	0,64
95 ^e percentile	10,20	3,87	1,30	2,17	39,84	1,13
Maximum	18,00	4,23	1,51	2,30	44,80	1,22
Écart type	3,44	1,25	0,45	0,63	14,10	0,30
Nombre de terrains échantillonnés	156	27	6	22	17	26
Nombre de terrains au-dessus du critère applicable du RPRT ¹⁵	33	0	0	0	4	0

Les résultats indiquent que tous les terrains des CPE, des garderies en milieu familial, des parcs, des écoles et des ruelles du QND sont en dessous du seuil du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains de 5 ppm de cadmium. Par contre, plusieurs résultats dépassent ce critère parmi les échantillons des terrains résidentiels ainsi que dans le secteur du mont Powell, où les résultats les plus élevés ont été mesurés.

¹⁵ Le critère applicable pour les terrains résidentiels, les écoles, CPE, garderies en milieu familial et les aires de jeux des parcs municipaux est le critère B de 5 ppm. Le critère applicable pour les sentiers de vélos du mont Powell et les ruelles du QND est le critère C de 20 ppm.

Figure 5 : Concentrations de cadmium mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm

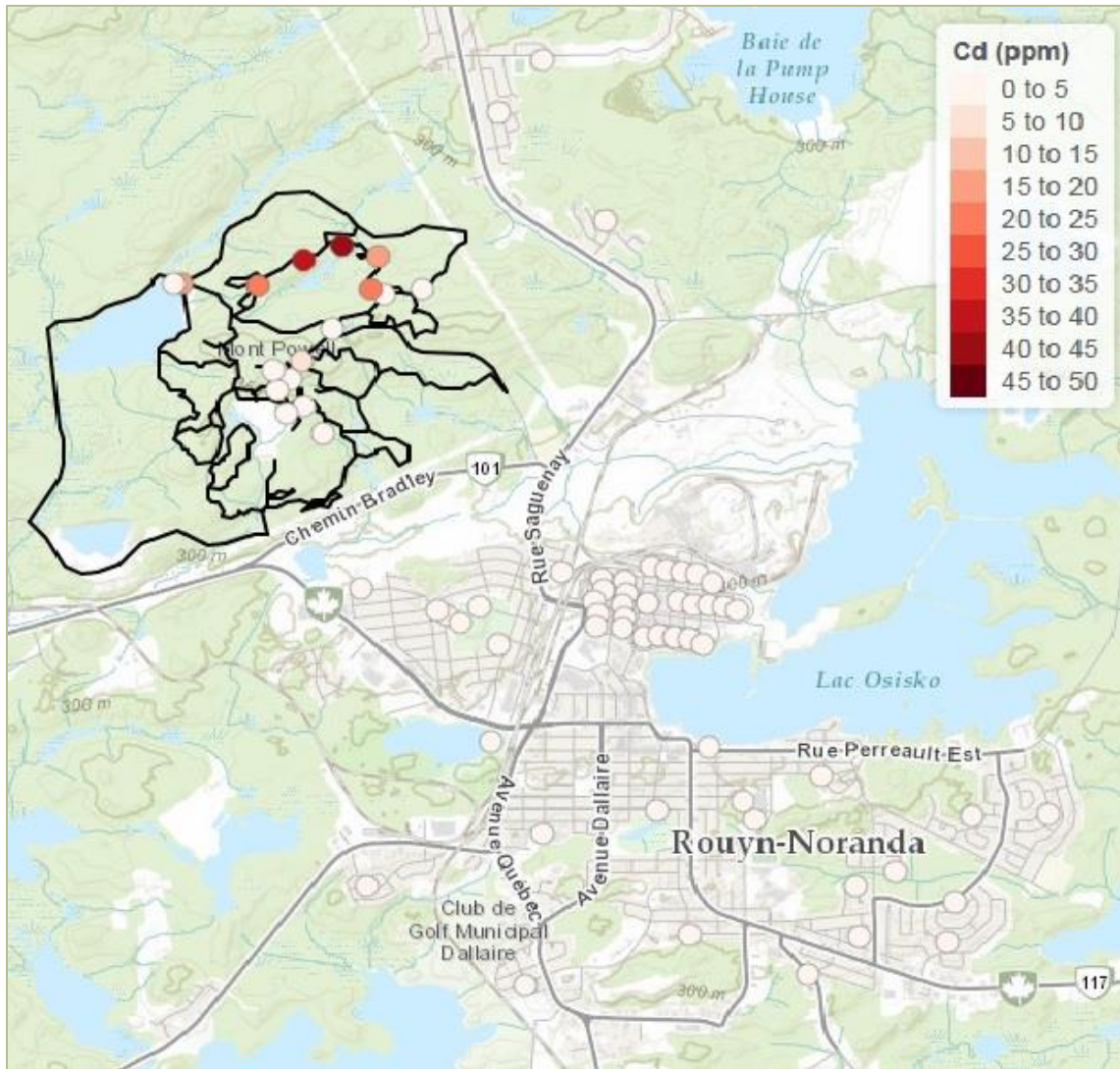


Figure 6 : Concentrations de cadmium mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm

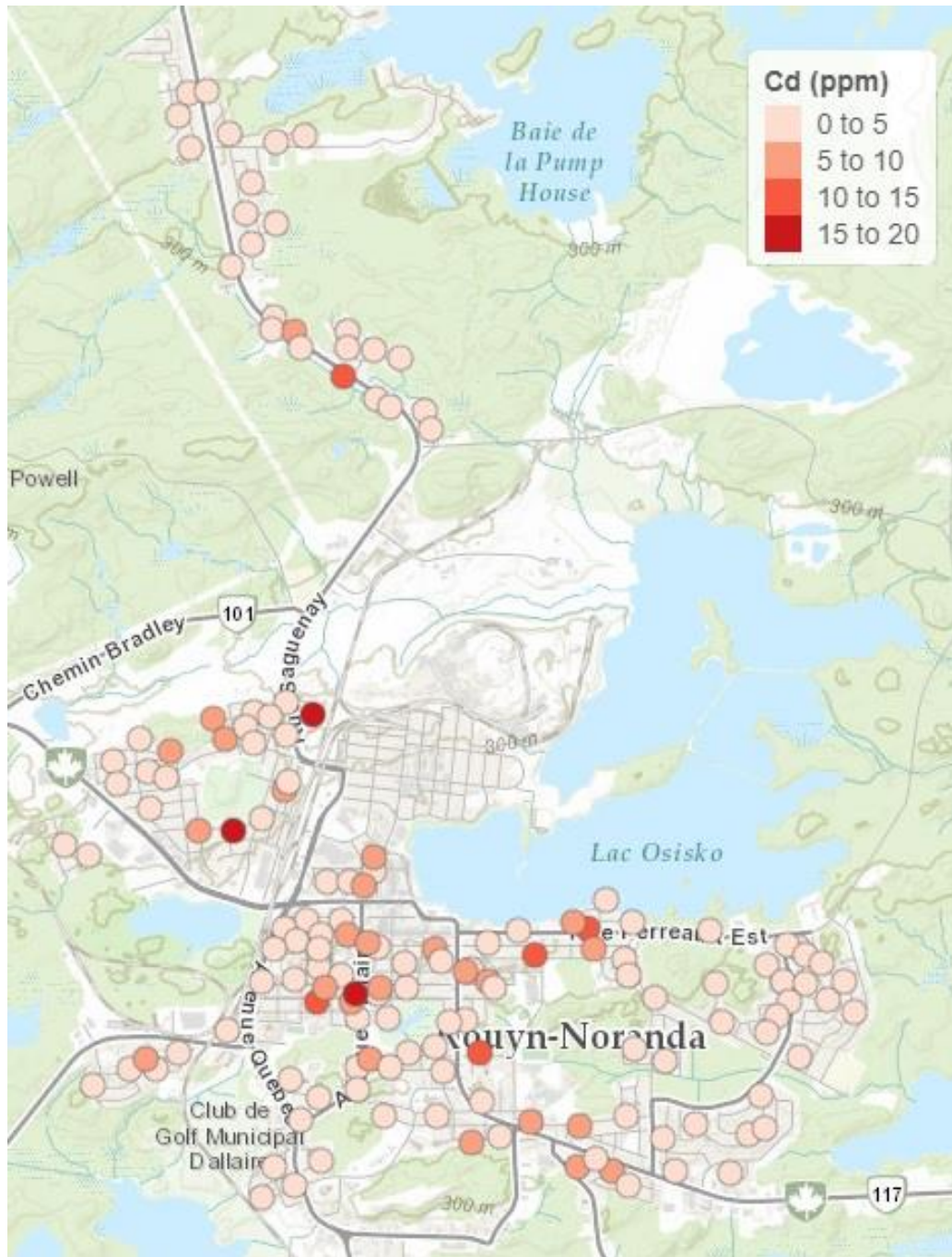
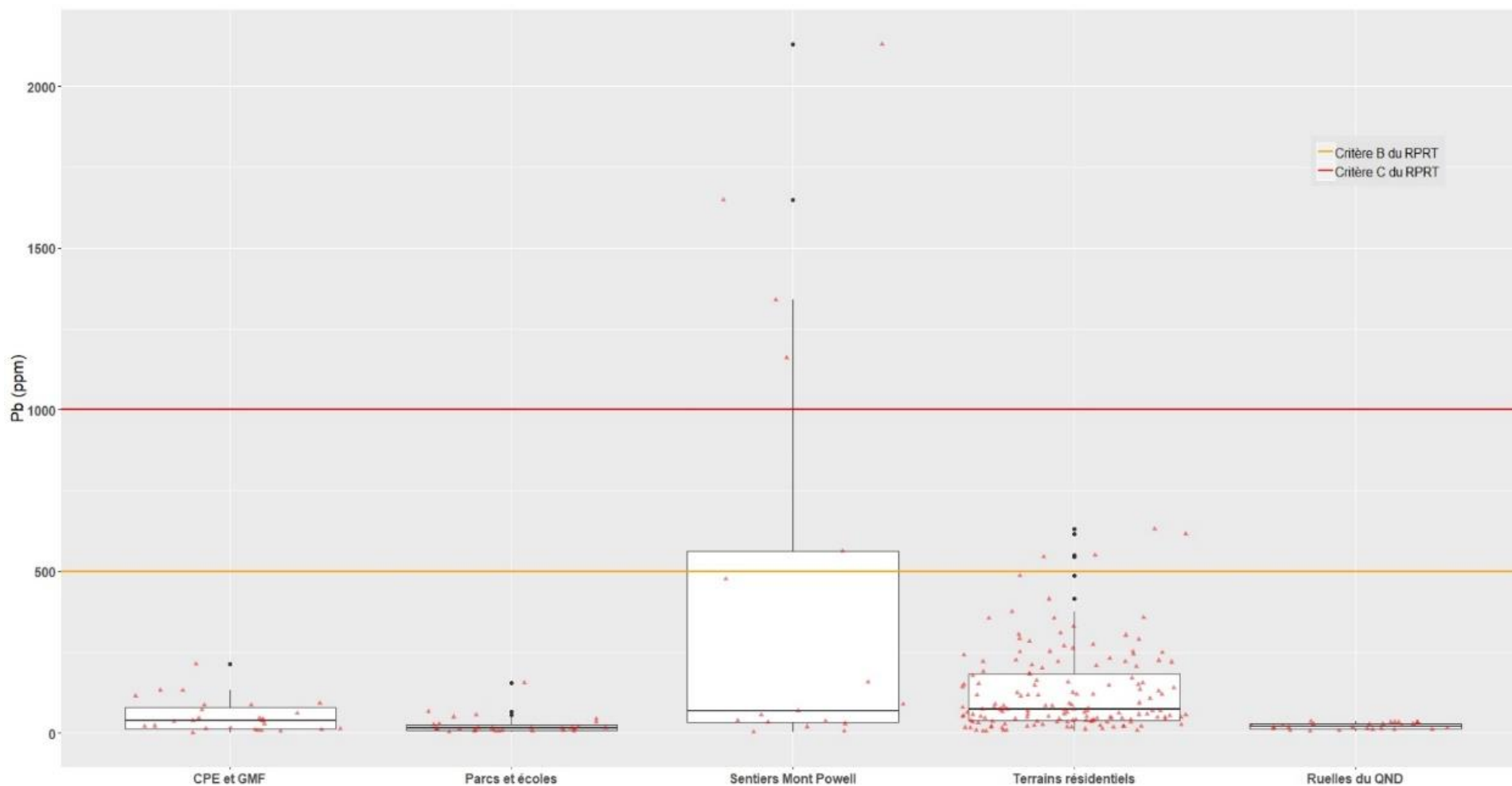


Figure 7 : Concentrations de plomb mesurées sur l'ensemble des terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm



Les triangles rouges représentent les données distribuées aléatoirement sur l'axe des X. Ceux-ci ont été superposés au graphique en boîte à moustache qui est représenté en noir. Les points noirs représentent des données extrêmes, dépassant 1,5 fois l'intervalle interquartile. À titre informatif, les points rouges situés aux mêmes endroits que les points noirs sur l'axe vertical représentent les mêmes données. Les lignes horizontales jaune et rouge sur chacun des graphiques représentent les critères B ET C du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* établis par le MELCC. Puis, la ligne horizontale noire se situant à l'intérieur des boîtes à moustache représente la médiane de l'ensemble des résultats pour chaque type de lieu échantillonné.

Tableau 4 : Statistiques descriptives des concentrations de plomb mesurées sur les divers types de terrains échantillonnés dans l'horizon 0-3 cm

Distribution	Terrains résidentiels	CPE et garderies en milieu familial	Écoles	Parcs	Sentiers mont Powell	Ruelles du QND
Minimum	6,00	2,00	3,00	5,00	3,00	7,00
5 ^e percentile	15,40	5,90	5,75	5,05	4,60	8,25
Médiane	74,00	40,00	15,50	14,50	69,00	21,50
Moyenne arithmétique	125,90	51,74	20,17	25,86	462,29	21,54
95 ^e percentile	356,60	132,00	46,25	66,15	1746,00	34,75
Maximum	630,00	214,00	56,00	156,00	2130,00	37,00
Écart type	124,93	50,70	18,28	33,38	678,15	9,75
Nombre de terrains échantillonnés	156	27	6	22	17	26
Nombre de terrains au-dessus du critère applicable du RPRT ¹⁶	4	0	0	0	4	0

Les concentrations de plomb étaient toutes sous le seuil du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains de 500 ppm pour ce qui est des CPE, des garderies en milieu familial, des parcs, des écoles et des ruelles du QND. Seulement quelques sols parmi les terrains résidentiels excédaient ce critère. Néanmoins, quatre échantillons du mont Powell affichaient des concentrations s'élevant à plus de 1000 ppm de plomb.

¹⁶ Le critère applicable pour les terrains résidentiels, les écoles, CPE, garderies en milieu familial et les aires de jeux des parcs municipaux est le critère B de 500 ppm. Le critère applicable pour les sentiers de vélos du mont Powell et les ruelles du QND est le critère C de 1000 ppm.

Figure 8 : Concentrations de plomb mesurées sur les terrains publics (parcs, écoles, centres de la petite enfance, garderies en milieu familial, ruelles du QND, pistes de vélo du mont Powell et plage du lac Marlon) dans l'horizon 0-3 cm

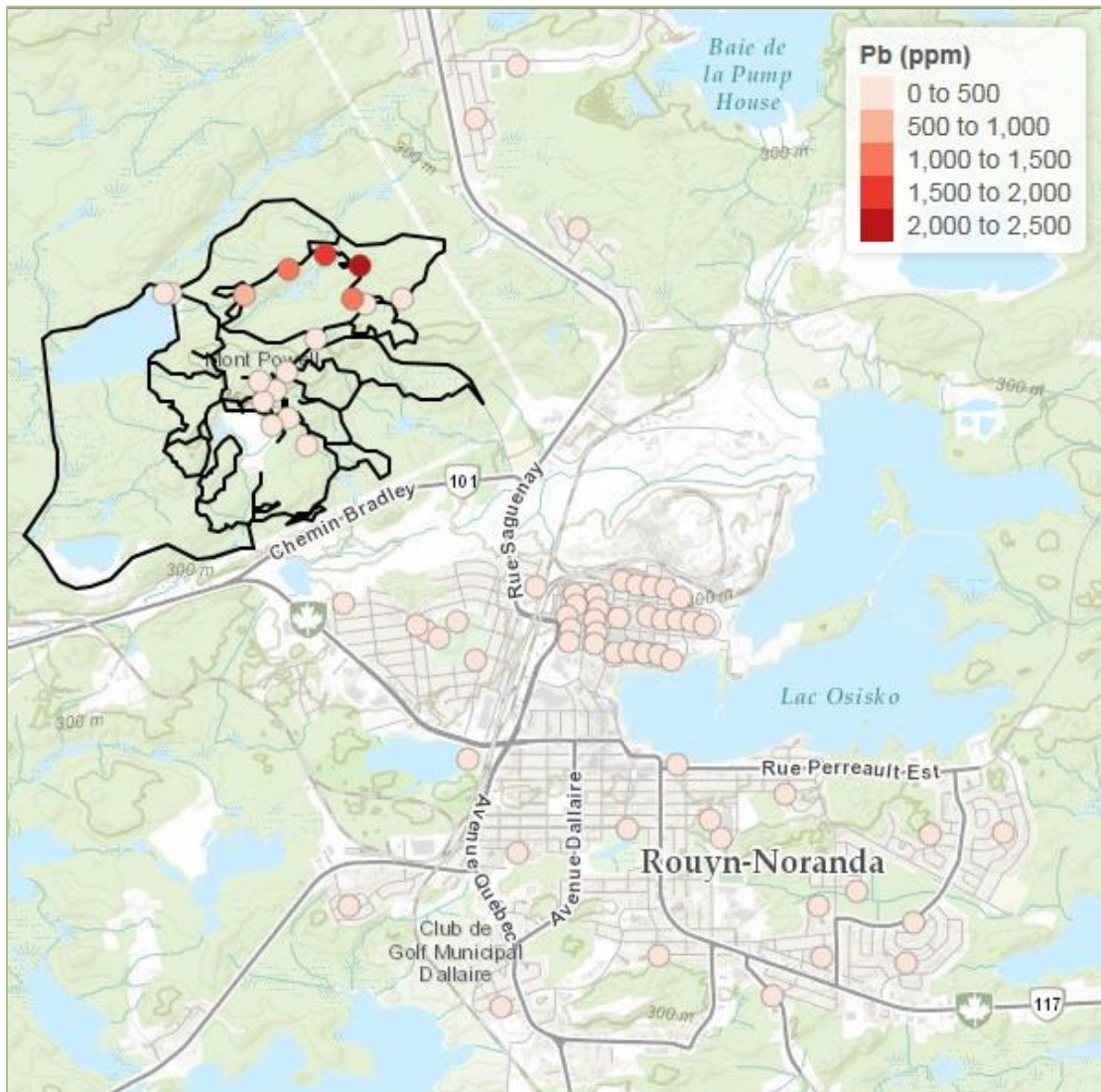
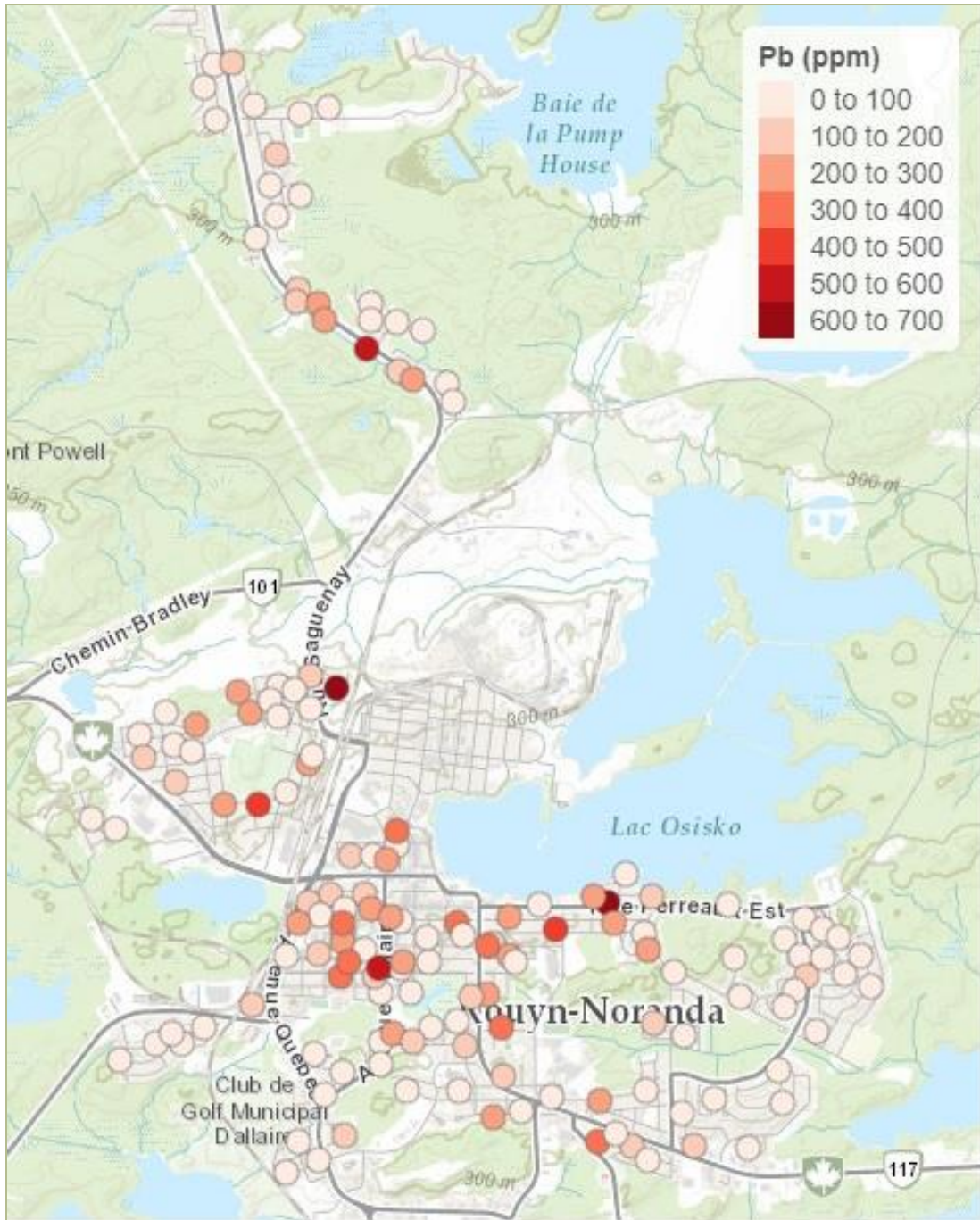


Figure 9 : Concentrations de plomb mesurées sur les terrains résidentiels dans l'horizon 0-3 cm



Les concentrations des différents métaux/métalloïde mesurées en surface des sols de l'ensemble de la ville peuvent être considérées de modérément à fortement corrélées (As-Pb : $r = 0,74$; As-Cd : $r = 0,65$; Cd-Pb : $r = 0,86$). En ce qui a trait aux résultats provenant du secteur résidentiel, on peut constater, par la visualisation spatiale des données des figures 3, 6 et 9, que les concentrations les plus élevées ayant été mesurées se situent dans les secteurs plus anciens du périmètre urbain de Rouyn-Noranda¹⁷. Selon les analyses, il y a un lien statistique entre les concentrations de cadmium et de plomb en surface des sols et l'année de construction de la maison, ainsi qu'un lien, quoique très faible, avec la distance par rapport à la fonderie (tableau 5). Essentiellement, plus l'âge de la maison est élevé, plus les concentrations de cadmium et de plomb mesurées dans les sols sont élevées. Cependant, il n'y aurait pas de lien statistique entre les concentrations d'arsenic mesurées sur les terrains résidentiels, l'année de construction des maisons ou la distance par rapport à la fonderie (ΔAIC avec le modèle nul < 5). Nous pouvons toutefois observer que les concentrations les plus faibles ont été mesurées dans les secteurs de la Montée du Sourire et au nord de la rue Saguenay (figure 3). Enfin, une légère autocorrélation spatiale a été détectée pour l'ensemble des métaux/métalloïde, mais celle-ci n'affectait pas significativement les résultats issus des régressions linéaires¹⁸.

Les résultats de l'échantillonnage du mont Powell indiquent également que les sols prélevés sur des sentiers où la terre n'a visiblement pas été remaniée présentent des concentrations élevées de métaux/métalloïde (figures 2, 5 et 8), ce que confirme également le rapport de Tassé (2013).

Tableau 5 : Sélection de modèles testant le lien statistique entre les concentrations de métaux mesurées au sol, l'année de construction des maisons et la distance par rapport à la fonderie

Rang	As		Cd		Pb	
	ΔAIC	modèle	ΔAIC	modèle	ΔAIC	modèle
1	0,00	Année	0,00	Année	0,00	Année
2	1,52	Nul	4,35	Année + Distance	3,96	Année + Distance
3	5,21	Année + Distance	13,29	Année x Distance	12,39	Année x Distance
4	6,30	Distance	21,43	Nul	16,37	Nul
5	16,08	Année x Distance	23,18	Distance	17,78	Distance

Année : année de construction des maisons. Nul : modèle nul. Distance : distance par rapport à la fonderie

¹⁷ <http://www.ville.rouyn-noranda.qc.ca/fr/page/patrimoine-bati/>

¹⁸ Les β étaient très peu affectés et le sens de la relation statistique inchangée.

4.1 Niveau global de contamination des terrains résidentiels de la ville de Rouyn-Noranda

Afin d'établir un portrait plus global du niveau de contamination en surface (0-3 cm) des sols résidentiels du périmètre urbain de la Ville de Rouyn-Noranda, les concentrations en arsenic, en cadmium et en plomb mesurées sur les terrains ont été standardisées à l'aide d'un indice de pollution (Song et al., 2018). Cet indice a été élaboré en prenant en compte le pourcentage relatif d'un contaminant par rapport à un critère spécifique. Considérant qu'ils s'agissaient de terrains résidentiels ou de terrains publics (parcs, écoles, CPE) soumis aux valeurs seuils de l'annexe I du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (critère B), ces valeurs de références ont été retenues dans le cadre du présent exercice. Un indice de pollution a été calculé individuellement pour chacun des contaminants et le plus élevé des trois a servi à qualifier l'état de contamination d'un terrain. Ainsi, un sol ayant un indice supérieur à 1, c'est-à-dire dépassant le critère utilisé, pour l'arsenic, le cadmium ou le plomb est considéré comme contaminé et peut représenter un risque pour la santé selon l'évaluation de l'INSPQ (2005). Suivant la grille présentée par Song et al. (2018), une gradation de la contamination peut ensuite être effectuée (légèrement, moyennement ou fortement contaminé)¹⁹. Ceci peut être utile lorsqu'il s'agit de procéder à une gestion des risques (INSPQ, 2016) et d'établir une priorisation des activités de décontamination des sols. L'indice de pollution pour les terrains résidentiels est représenté spatialement à la figure 10. À titre informatif, les figures 11, 12 et 13 permettent d'identifier le ou les contaminants responsables du dépassement et la figure 14 présente les 36 terrains non conformes.

¹⁹ Une échelle à cinq niveaux est alors établie : non contaminé, à surveiller, légèrement contaminé, moyennement contaminé et fortement contaminé. Chacun des niveaux correspond à un pourcentage relatif par rapport au critère B sélectionné (As, Cd ou Pb) du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (RPRT). Ainsi, les sols considérés comme non contaminés représentent $\leq 0,7$ fois le critère B du RPRT. Les sols identifiés comme à surveiller représentent de $0,7$ à ≤ 1 fois le critère du RPRT. Les sols identifiés comme légèrement contaminés représentent 1 à ≤ 2 fois le critère du RPRT. Les sols identifiés comme moyennement contaminés représentent 2 à ≤ 3 fois le critère du RPRT. Enfin, les sols identifiés comme fortement contaminés représentent > 3 fois le critère du RPRT.

Figure 10 : Indice de pollution calculé selon la méthode inspirée de Song et al. (2018)

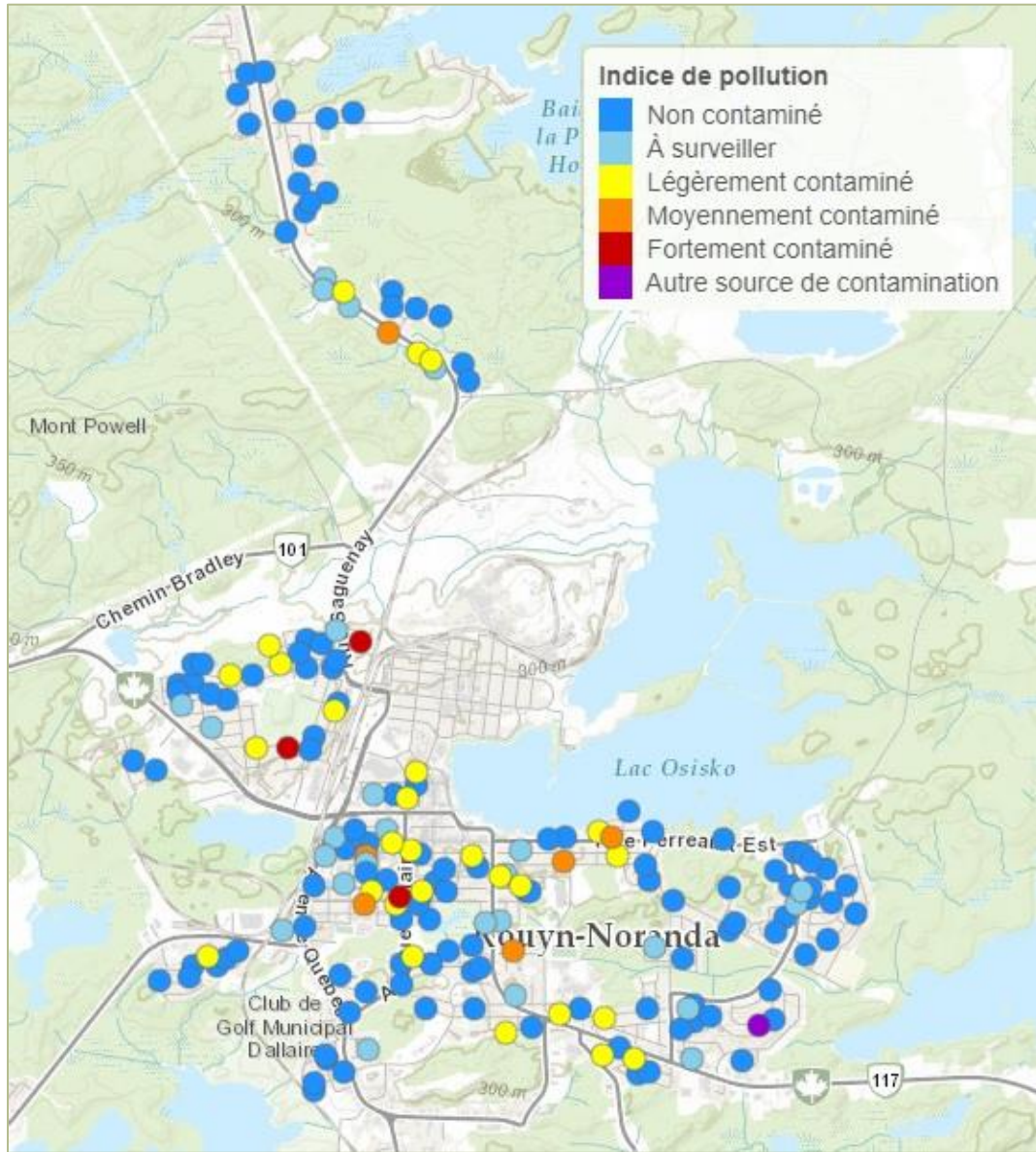


Figure 11 : Terrains dépassant 30 ppm d'arsenic (critère B) dans l'horizon 0-3 cm

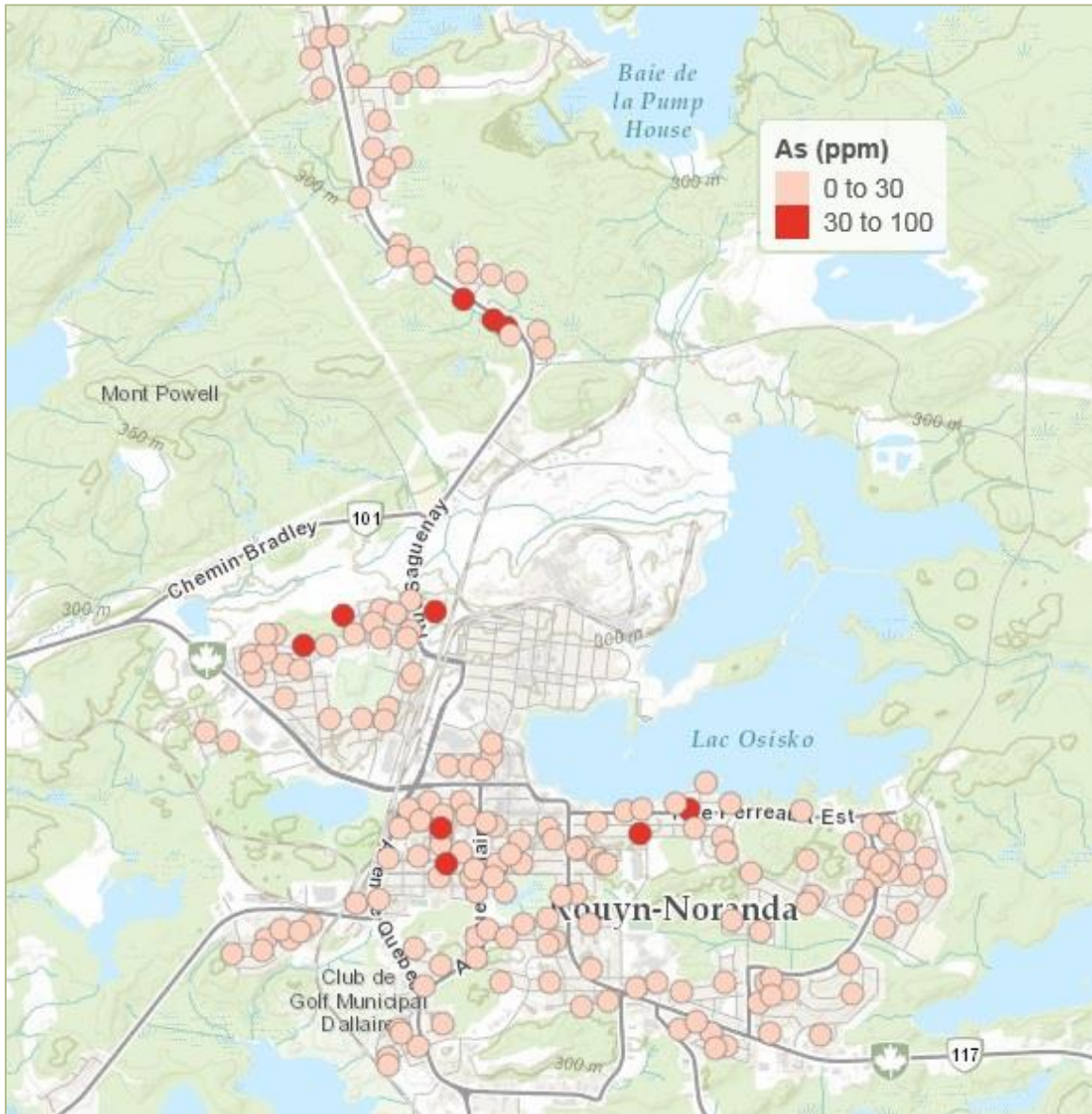


Figure 12 : Terrains dépassant 5 ppm de cadmium (critère B) dans l'horizon 0-3 cm

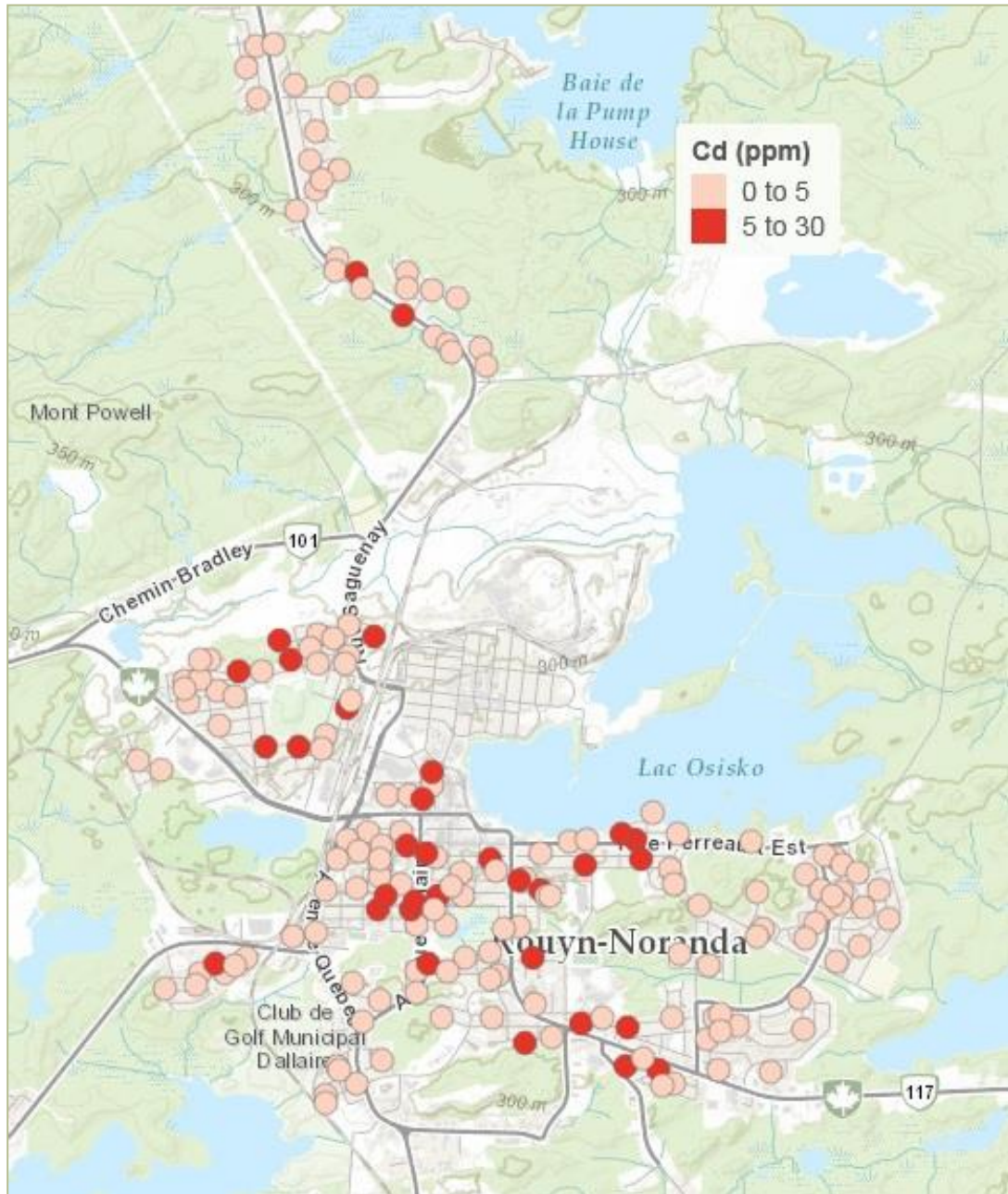


Figure 13 : Terrains dépassant 500 ppm de plomb (critère B) dans l'horizon 0-3 cm

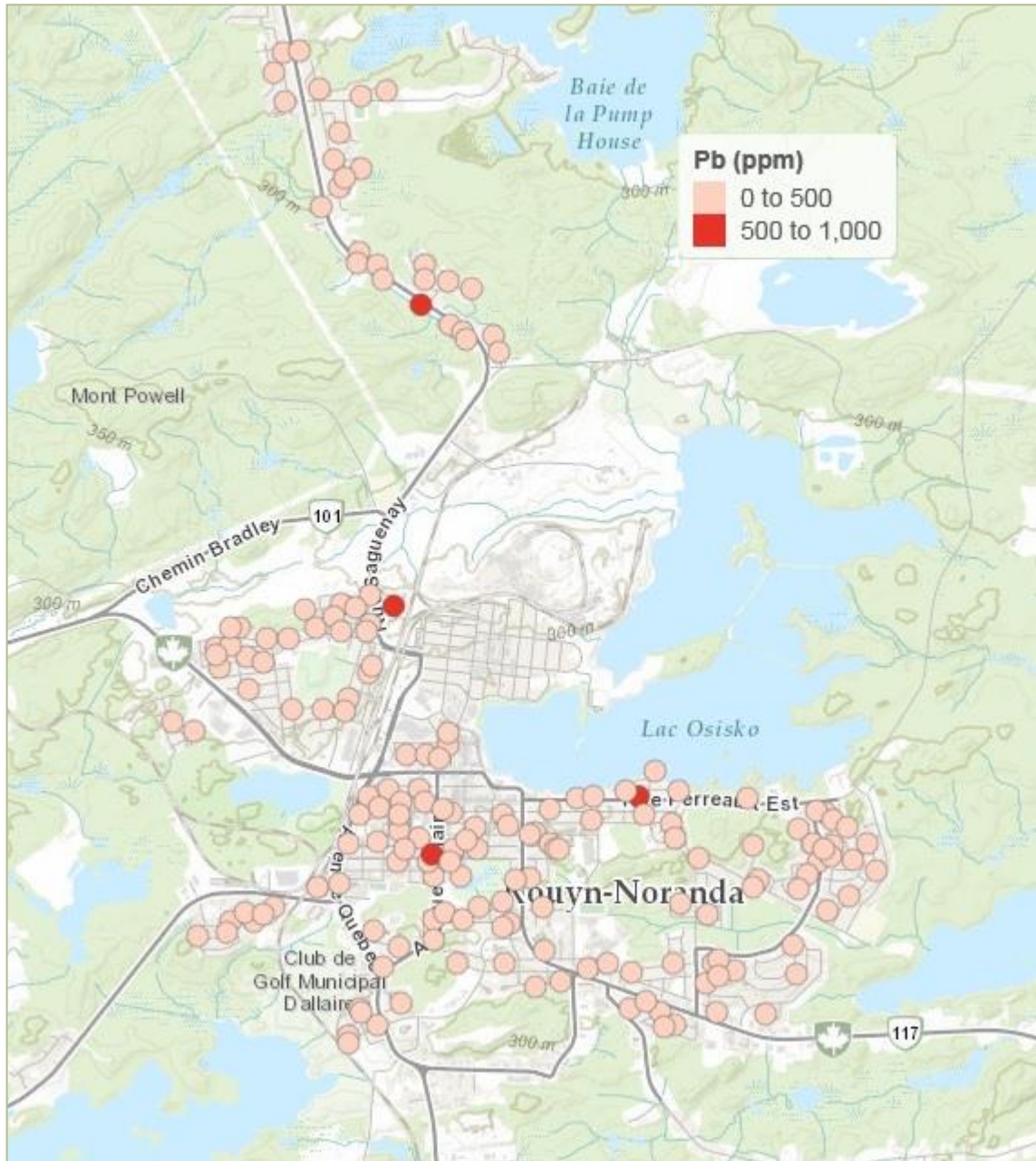
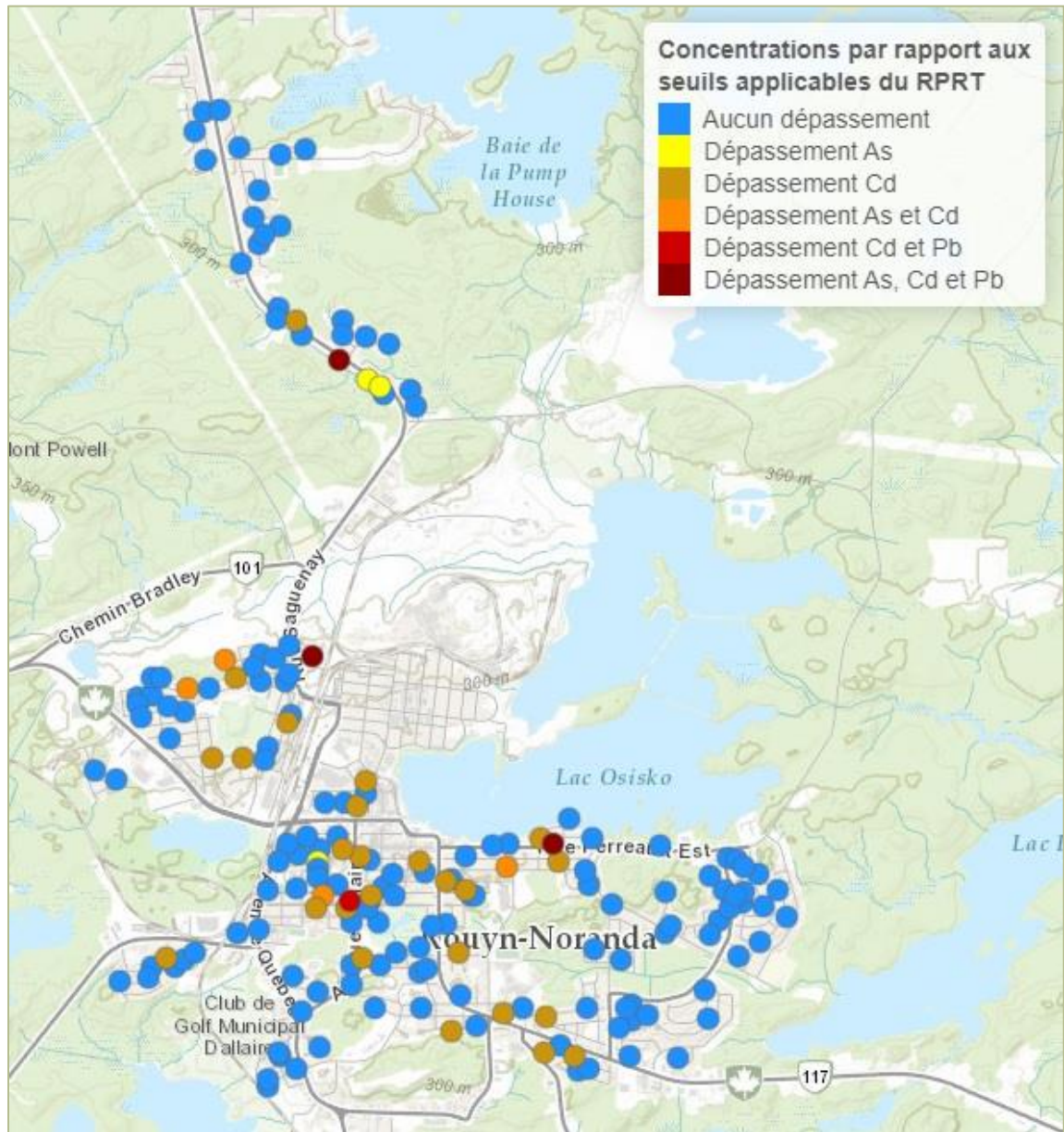


Figure 14 : Terrains résidentiels affichant des concentrations supérieures au critère B du RPRT dans l'horizon 0-3 cm



5. DISCUSSION

Les concentrations d'arsenic, de cadmium et de plomb mesurées à la surface des sols (0-3 cm) des CPE, des garderies en milieu familial, des écoles et des parcs²⁰ de la présente campagne sont toutes sous les seuils fixés dans le Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains. Les améliorations et les travaux de remaniements effectués plus fréquemment sur les terrains publics, comparativement aux terrains résidentiels, pourraient expliquer pourquoi des concentrations plus basses en métaux/métalloïde ont été mesurées sur ce type de terrain. Cette hypothèse reste cependant à valider.

Parmi les vingt-six tronçons de ruelles échantillonnés dans le QND, aucun sol n'excède le critère applicable du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (Annexe II ou critère C) pour l'arsenic (figure 2). Il est possible que le nivellement et l'ajout périodique de matériaux granulaires en surface des ruelles ainsi que les travaux d'excavation engagés par la Ville de Rouyn-Noranda pour remplacer des conduites aient eu pour effet de maintenir les concentrations en arsenic, en cadmium et en plomb en surface des ruelles à des concentrations relativement basses comparées aux autres terrains du quartier.

En contrepartie, le portrait est différent en ce qui concerne les terrains résidentiels du périmètre urbain de Rouyn-Noranda. Environ le quart de ceux-ci (23 %) excède le critère B pour le cadmium, l'arsenic ou le plomb. Plus spécifiquement, la majorité des terrains contaminés excèdent le critère pour le cadmium (21 %) et dans une moindre mesure ceux pour l'arsenic (6 %) et/ou le plomb (3 %).

Selon l'analyse des résultats, il semblerait que le problème de contamination serait plus marqué dans les secteurs les plus anciens de la ville. La plupart des terrains affichant une concentration excédant un des seuils du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains se situent sur la rive sud du lac Osisko, au centre-ville ainsi que dans le quartier Sacré-Cœur, ce dernier se situant au sud-ouest du complexe industriel de Glencore Fonderie Horne. Il aurait cependant été intéressant de connaître pour les analyses statistiques, les dates où les derniers travaux de remaniement des sols (tel que l'ajout de terre ou de gravier ou simplement un brassage du sol) ont été effectués sur les terrains afin d'avoir un portrait plus juste de la situation.

En ce qui a trait aux résultats obtenus dans le secteur du mont Powell, ceux-ci confirment qu'il y a un problème de contamination des sols dans ce secteur, comme l'avait observé Tassé (2011 ; 2013). Les résultats semblent aussi corroborer l'hypothèse selon laquelle les concentrations en métaux/métalloïde diminuent lorsque les sols sont remaniés ou recouverts de nouveau matériel. En effet, les concentrations les plus faibles ont toutes été mesurées dans les sentiers où les sols avaient été remaniés au cours des dernières années et/ou sur lesquels du nouveau matériel avait été ajouté. Cette hypothèse semble être également corroborée par les résultats obtenus à la surface des sols des ruelles du QND.

²⁰ Rappelons que les parcs, écoles, CPE et garderies en milieu familial excluent ceux du QND.

5.1 Rôle de la Fonderie Horne dans la contamination des sols

Bien qu'il serait pertinent de recueillir des informations supplémentaires sur l'historique de chaque terrain afin de mieux documenter la situation²¹, plusieurs éléments indiquent que la contamination des terrains résidentiels du périmètre urbain de Rouyn-Noranda est vraisemblablement attribuable aux retombées atmosphériques générées depuis près d'un siècle par la Fonderie Horne. Premièrement, l'hypothèse qu'il s'agit d'une contamination naturelle semble hautement improbable puisque les concentrations de métaux mesurées à la surface des sols excèdent le bruit de fond mesuré dans les sols de la région (Choinière et Beaumier, 1997²²; Sanexen, 2008²³; DSPu, données non publiées²⁴). De plus, il est important de souligner que dans le cadre de cette étude, les sols ont été prélevés en surface, en grande majorité dans la couche organique du sol. Puisque les concentrations mesurées dans la couche organique sont plus élevées que celles normalement retrouvées dans les horizons minéraux (Choinière et Beaumier, 1997; Veillette et al., 2005), il est difficilement concevable de considérer que la source de contamination puisse provenir du sous-sol. Également, les métaux sont lessivés et migrent vers le bas (Corwin et al., 1999; Prokop et al., 2003; Tlustoš et al., 2005; Ogundiran et Osibanjo, 2009), rendant l'hypothèse d'une contamination provenant du sous-sol encore moins plausible. À cet effet, le rapport de la Commission géologique du Canada (GSC-MITE) conclut sans équivoque que les émissions atmosphériques de métaux qui se déposent sur le sol sont principalement retenues dans la couche d'humus organique et que dans un rayon de quelques kilomètres autour de la Fonderie Horne, ses émissions atmosphériques métalliques ont été lessivées vers le bas dans l'horizon minéral du sol (Henderson et Knight, 2005).

Ensuite, les concentrations d'arsenic, de cadmium et de plomb mesurées sur les terrains sont en général corrélées. Or, la Fonderie Horne est localement la seule source émettant ces trois contaminants à la fois et en grande quantité²⁵. C'est d'ailleurs en raison de cette source unique de pollution atmosphérique métallique que la GSC-MITE a mené l'essentiel de ses recherches autour de la Fonderie Horne. Le rapport a statué que l'empreinte de la contamination de la Fonderie Horne se situe dans un rayon d'environ 65 km autour du complexe industriel et est caractérisé par une zone dans laquelle les concentrations de cuivre dépassent le bruit de fond environnemental. La taille et la forme générales de l'empreinte diffèrent en fonction du milieu d'échantillonnage, des métaux et

²¹ La DSPu a laissé aux propriétaires des terrains échantillonnés un lien vers un sondage en ligne qui aurait permis de documenter davantage l'historique des terrains. Malheureusement, le taux de réponse a été extrêmement faible et par conséquent les données issues de ce sondage n'ont pas pu être utilisées.

²² Concentrations moyennes (n = 5594) dans la zone d'échantillonnage située la plus près de Rouyn-Noranda (S4) : As = 1,5 ppm, Cd = 0,31 ppm, Pb = 9,1 ppm.

²³ Valeurs ayant été prélevées sur un site où des activités minières ont eu lieu. Moyennes géométriques : As = 13 ppm, Cd = 1 ppm, Pb = 18 ppm.

²⁴ La DSPu a mesuré des moyennes géométriques de concentrations en arsenic de 3,7 ppm, en cadmium de 1,1 ppm et en plomb de 34,4 ppm en milieu forestier dans un rayon de 50 km autour des installations de Glencore Fonderie Horne. L'utilisation de la moyenne géométrique a été préférée à celle de la moyenne arithmétique en raison des concentrations élevées en métal ayant été mesurées à proximité des installations de Glencore Fonderie Horne (< 10 km). Ces moyennes sont, probablement, en partie ou en totalité influencées par les émissions atmosphériques de Glencore Fonderie Horne.

²⁵ Bien que pour le plomb, il y a eu historiquement des émissions à partir de sources non négligeables, comme l'essence au plomb interdite en 1990, en ce qui a trait aux rejets d'arsenic et de cadmium atmosphériques, la Fonderie Horne demeure le seul émetteur dans le secteur urbain de Rouyn-Noranda.

de la direction du vent. Toutefois, dans tous les cas, les niveaux de métaux diminuent de manière exponentielle en fonction de la distance par rapport à la Fonderie Horne. (Bonham-Carter et al., 2005 ; Henderson et Knight, 2005 ; Kettles, 2005). Cependant, les émissions atmosphériques métalliques peuvent également être transportées à une grande distance de la Fonderie Horne et au moins 50 % du Cu, 80 % du Pb, 75 % du Zn, 95 % de l'As et 75 % du Cd émis par la Fonderie Horne est justement transportés sur une grande distance (jusqu'à 150 km) (Bonham-Carter et al., 2005). Le fait qu'une plus grande proportion de l'arsenic soit transportée sur une longue distance pourrait expliquer en partie pourquoi, contrairement au plomb et au cadmium, aucun effet de la distance des terrains par rapport aux installations de la Fonderie Horne sur les concentrations d'arsenic mesurées dans les sols n'a été observé. Par ailleurs, cette particularité pourrait également expliquer en partie la disparité entre les corrélations observées à partir des concentrations de métaux/métalloïde mesurées dans les sols, où la corrélation entre le plomb et le cadmium est plus forte que celles observées entre l'arsenic et ces deux métaux.

Rappelons que d'après les données produites par la Fonderie Horne, cette dernière a rejeté dans l'atmosphère par ses cheminées 6 108 tonnes d'arsenic de 1969 à 2017, 1600 tonnes de cadmium de 1974 à 2017 et 43 355 tonnes de plomb de 1965 à 2017. De plus, lorsque l'on analyse le tonnage de l'alimentation de la Fonderie Horne de 1928 à 2001, celui-ci est en moyenne de 1 047 416 tonnes par année. Il faut donc ajouter à ces données de 37 à 46 années de pollution, période pendant laquelle la fonderie a possiblement émis en moyenne 233 tonnes d'arsenic, 97 tonnes de cadmium et 1 521 tonnes de plomb par année²⁶. Cette moyenne a été établie en arrêtant celle-ci aux années précédant la construction de l'usine d'acide sulfurique, celle-ci ayant permis de réduire les rejets atmosphériques produits par cette industrie.

Le rapport de la Commission géologique du Canada (GSC-MITE) prouve également, par l'analyse de plusieurs épinettes centenaires, que l'entrée en fonction de la Fonderie Horne a affecté les anneaux de croissance de ces arbres et a fait augmenter les valeurs des isotopes stables de carbone et d'hydrogène peu après sa mise en service en 1927, en raison de l'augmentation de l'absorption par les aiguilles du SO₂ émis par la Fonderie Horne. Les niveaux de plomb et de cadmium dans les cernes des arbres ont augmenté environ 15 ans plus tard, car l'absorption de ces métaux se fait principalement par le sol (Savard et al., 2005). Ces changements coïncident également avec la détection d'un type de plomb propre à la Fonderie Horne.

Ces constats mettent en évidence que la Fonderie Horne a contribué à contaminer l'environnement sur une grande étendue autour de son complexe industriel. Cependant, il faut souligner que certains terrains ont pu être contaminés en partie par une source autre que les émissions atmosphériques de la Fonderie Horne. Il est toutefois improbable que des sources isolées d'arsenic, de cadmium et de plomb soient responsables de la contamination²⁷ de l'ensemble du périmètre urbain couvrant environ 20 km². D'ailleurs, un seul terrain résidentiel, sur les 156 échantillonnés, a été identifié

²⁶ Calcul basé sur la moyenne des émissions de 1965 à 1989 pour le plomb, de 1969 à 1989 pour l'arsenic et de 1974 à 1989 pour le cadmium.

²⁷ Bien qu'uniquement le quart des terrains résidentiels excèdent le critère B du RPRT pour l'arsenic, le cadmium ou le plomb, la majorité ont des concentrations plus élevées que les bruits de fond mesurés par la DSPu (97 % pour l'arsenic, 74 % pour le cadmium et 81 % pour le plomb).

comme n'ayant pas été principalement contaminé par les activités de la Fonderie Horne. Ce terrain avait des concentrations dont la proportion entre les divers contaminants différait considérablement comparativement au reste des terrains échantillonnés²⁸. La cause de cette contamination n'a pas été déterminée, cependant, des concentrations sous les critères B ont été mesurées sur les six terrains avoisinants, confirmant qu'il s'agit d'un cas isolé. De plus, une caractérisation plus ciblée a permis de déterminer que la contamination était localisée uniquement sur une zone restreinte du terrain. Actuellement, la DSPu suspecte que l'entreposage de vieilles batteries d'automobiles pourrait être à l'origine de cette contamination.

À cela il faut ajouter les constats tirés des analyses isotopiques réalisées par Tassé (2011 ; 2013) qui indiquent que la contamination observée au mont Powell est attribuable aux émissions atmosphériques de la Fonderie Horne. Si un site situé à 3 km au nord-ouest des installations de la Fonderie Horne a été contaminé par les émissions atmosphériques de celle-ci, il est logique de penser que la fonderie a contribué à la contamination des terrains de l'ensemble du périmètre urbain de Rouyn-Noranda. Afin de diminuer le doute qui pourrait persister sur la provenance de la contamination, il serait intéressant de procéder à de nouvelles analyses isotopiques, et ce malgré les limites inhérentes à cette méthode (Tassé, 2013). Pour le plomb, il pourrait être possible de vérifier si la signature isotopique des contaminants retrouvés à la surface des sols des terrains résidentiels de Rouyn-Noranda est apparentée à celle des émissions atmosphériques de la Fonderie Horne. La taille et la forme des particules pourraient également être vérifiées pour savoir si elles correspondent à celles émises par cette fonderie. Enfin, une vérification de la contamination dans un horizon de sol d'un mètre pourrait également participer à une meilleure compréhension de la migration des contaminants vers les horizons inférieurs du sol.

5.2 Effets à la santé

Une exposition à l'arsenic, au plomb ou au cadmium par l'intermédiaire du sol ou par la remise en suspension dans l'air de poussières peut représenter un risque pour la santé. Brièvement, l'arsenic et le cadmium sont deux cancérigènes reconnus pouvant notamment causer le cancer du poumon (IARC, 2012a; 2012b). Outre les effets cancérigènes, il est reconnu qu'une exposition à l'arsenic et au plomb peut causer des troubles neurodéveloppementaux, spécialement chez les jeunes enfants (ATSDR, 2007 ; FDA, 2016 ; Lauwerys et al., 2007 ; Needleman, 2004 ; NTP, 2012 ; OEHHA, 2008 ; Rosado et al., 2007 ; Taylor et al., 2012). Il est également à noter que ces trois contaminants agissent de façon synergique, à savoir que leur toxicité est augmentée lorsqu'ils interagissent simultanément dans l'organisme (ATSDR, 2004 ; Cobbina et al., 2015 ; Wu et al., 2016).

²⁸ Pb = 77 100 ppm, As = 368 ppm, Cd = 0,76 ppm

Plus spécifiquement, une exposition chronique à l'arsenic peut contribuer à long terme au développement de cancers, dont celui du poumon, du foie, de la vessie, du rein, de la peau et de la prostate (Enterline et al., 1995 ; Lubin et al., 2000 ; Englyst et al., 2001 ; Karagas et al., 2001 ; ATSDR, 2007b ; Cantor et Lubin, 2007 ; Jones et al., 2007 ; Lauwerys et al., 2007). De manière générale, plus l'exposition de la personne est importante et plus celle-ci est exposée longtemps à l'arsenic, plus cette personne augmentera sa probabilité de développer à long terme un cancer. Par ailleurs, plusieurs études suggèrent qu'une exposition à des concentrations très élevées d'arsenic en bas âge contribuerait de façon non négligeable au développement du cancer à l'âge adulte (NRC, 2013 ; ATSDR, 2016 ; FDA, 2016) et pourrait y contribuer de façon plus importante que l'exposition survenant plus tardivement au cours de la vie adulte (Marshall et al. 2007 ; Steinmaus et al. 2013).

Outre les effets cancérigènes, une exposition à l'arsenic peut entraîner d'autres effets néfastes à la santé qui incluent le diabète, des maladies de la peau, des toux chroniques, des effets toxiques sur le foie, les reins, ainsi que sur les systèmes cardiovasculaires, nerveux périphérique et central (Tseng, 1977 ; Hsueh et al., 1995 ; Milton et al., 2001 ; Kapaj et al., 2006 ; ATSDR, 2007b ; Lauwerys et al., 2007 ; Guha Mazumder, 2008 ; Kile et Christiani, 2008 ; Kim et Lee, 2011).

En ce qui concerne plus précisément les enfants, selon l'OEHHA (2008), ceux-ci sont plus vulnérables à la toxicité de l'arsenic que les adultes, principalement parce qu'une exposition chronique peut entraîner des troubles neurodéveloppementaux (Rosado et al., 2007 ; FDA, 2016). Il n'est cependant pas clair si ces effets sont persistants ou non. Ceci dit, même si les effets ne sont pas persistants, les troubles occasionnés sur une période donnée peuvent avoir une incidence à long terme.

Quant au cadmium, à long terme, celui-ci peut causer des dommages aux reins et pourrait entraîner une diminution de la minéralisation des os et donc augmenter le risque de fracture, et affecter les fonctions pulmonaires en causant par exemple un emphysème pulmonaire (Lauwerys et al., 2007 ; ATSDR, 2012 ; Chunhabundit, 2016).

En ce qui a trait au plomb, l'exposition à ce métal lourd peut affecter le développement du cerveau et du système nerveux central, peut occasionner des problèmes auditifs et cognitifs, tels qu'une diminution du quotient intellectuel et peut entraîner des changements comportementaux, un déficit de l'attention, de l'hyperactivité, de la dépression ou de l'anxiété (Needleman, 2004 ; ATSDR, 2007a ; Lauwerys et al., 2007 ; NTP, 2012 ; Taylor et al., 2012). Bien que la demi-vie du plomb dans le sang soit d'environ 36 jours (Chamberlain et al., 1975 ; Rabinowitz et al., 1976), le plomb s'accumule également dans les os et les dents et peut être réintroduit dans le sang lors du vieillissement et la réduction de la masse osseuse. La demi-vie du plomb accumulé dans les os est d'environ 27 ans (Rabinowitz et al., 1976).

Considérant les effets à la santé étant susceptibles de se manifester à la suite d'une exposition prolongée à ces métaux/métalloïde, on peut conclure que le respect des critères du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains pour l'arsenic, le cadmium et le plomb permettrait de réduire les risques à la santé associés à la présence de ces contaminants sur les sols ainsi que ceux liés à la remise en suspension de poussières de ces substances dans l'air.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de la caractérisation préliminaire des sols du périmètre urbain de Rouyn-Noranda menée par la DSPu sont en partie rassurants. Les concentrations de plomb, d'arsenic et de cadmium mesurées dans l'horizon du premier pouce de sol (0-3 cm) de tous les terrains des écoles, des parcs, des CPE et des garderies en milieu familial échantillonnés sont tous sous les seuils applicables du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* contaminés de même que tous les tronçons de ruelle du QND échantillonnés. En contrepartie, sur les 156 terrains résidentiels échantillonnés, presque le quart de ceux-ci excèdent le critère applicable pour le cadmium, mais seulement 6 % pour l'arsenic et 3 % pour le plomb. Les terrains résidentiels excédant au moins un des critères représentent 36 terrains et les concentrations les plus élevées ont été observées dans les secteurs les plus anciens de la ville. La plupart des terrains affichant une concentration excédant un des seuils du *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* se situent sur la rive sud du lac Osisko, au centre-ville, ainsi que dans le quartier Sacré-Cœur, ce dernier se situant au sud-ouest du complexe industriel de la Fonderie Horne. En revanche, l'ensemble des terrains échantillonnés dans le quartier de la Montée du Sourire présentent tous des résultats sous les seuils applicables pour ces contaminants.

Concernant les échantillons de sol prélevés dans le secteur du mont Powell, considérant qu'une contamination des sols par ces substances avait déjà été identifiée par le passé, il ne fut pas surprenant d'observer que les échantillons de sol prélevés dans des sentiers de vélo ayant été peu remaniés présentaient les concentrations les plus élevées.

Malgré le caractère préliminaire de cette caractérisation, celle-ci a permis d'identifier l'existence d'une contamination des sols en plomb, en cadmium et en arsenic en surface de plusieurs terrains de la ville, au-delà du QND. Néanmoins, en vertu de l'ensemble des exigences du MELCC, ce premier portrait n'a pas permis d'évaluer de manière exhaustive l'ampleur et l'étendue de la contamination, c'est pourquoi la Direction de santé publique formule les recommandations suivantes :

Recommandation 1 : Que le MELCC poursuive la caractérisation des sols du périmètre urbain de Rouyn-Noranda afin de connaître l'ampleur et l'étendue de la contamination, et ce, conformément à ses exigences. Il est suggéré que la poursuite de cette caractérisation devrait débuter par les 36 terrains résidentiels qui affichent les concentrations les plus élevées en arsenic, en cadmium ou en plomb dans l'horizon 0-3 cm et prioriser les secteurs les plus anciens du périmètre urbain.

Recommandation 2 : Suivant cette caractérisation, réhabiliter les terrains résidentiels dont les sols dépassent l'un des seuils fixés dans le *Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains* pour l'arsenic, le cadmium ou le plomb.

Recommandation 3 : Aux personnes résidant sur des terrains contaminés à l'arsenic, au cadmium et/ou au plomb, d'appliquer des mesures visant à limiter l'exposition à ces contaminants. Ces mesures sont présentées à l'Annexe 5 : Gestes simples pour réduire son exposition ou celle de sa famille aux sols contaminés du présent rapport.

Recommandation 4 : Que soit mené prochainement une concertation entre la DSPu, la Ville de Rouyn-Noranda, le MERN et le MELCC en vue de formuler des conseils de prévention et de protection en lien avec la contamination des sols du secteur du mont Powell (incluant la plage du lac Marlon).

7. RÉFÉRENCES

- Alpay S., Veillette J.J., Rosa F. et Douma M. 2005. Rationale, research approach, and study sites for investigating vertical metal distributions in lacustrine sediments; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016. Addendum to the Toxicological Profile for Arsenic. https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/Arsenic_addendum.pdf
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2004. Interaction Profile for : Arsenic, Cadmium, Chromium and Lead. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012. Toxicological profile for Cadmium. Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=48&tid=15>
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007a. Toxicological profile for Lead. Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=96&tid=22>
- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007 b. Toxicological Profile for Arsenic (Update). Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=19&tid=3>
- Bessette S. et Mayrand P. (2012). Mise à jour de la stratégie d'échantillonnage des sols du quartier Notre-Dame à Rouyn-Noranda, Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue et Xstrata Copper - Fonderie Horne, document à diffusion restreinte, Rouyn-Noranda, 16 p.
- Bilodeau F. 2020. Rapport de l'étude de biosurveillance menée à l'automne 2019 sur l'imprégnation à l'arsenic de la population du quartier Notre-Dame de Rouyn-Noranda. Direction de santé publique de l'Abitibi-Témiscamingue, module de santé environnementale, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, 39 p. + annexes. https://www.cisss-at.gouv.qc.ca/partage/BIOSURVEILLANCE/Rapport_biosurveillance_2019_F.pdf
- Bilodeau F. 2019. Rapport de l'étude de biosurveillance menée à l'automne 2018 sur l'imprégnation au plomb, au cadmium et à l'arsenic des jeunes enfants du quartier Notre-Dame à Rouyn-Noranda, Direction de santé publique de l'Abitibi-Témiscamingue, module de santé environnementale, Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, 83 p. + annexes. https://www.cisss-at.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2019/11/Rapport_final_biosurveillance_2018.pdf

- Bonham-Carter G.F. 2005. Introduction to the GSC MITE Point Sources project; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Bonham-Carter G.F., Henderson P.J., Kliza D.A. et Kettles I.M. 2005. Smelter emissions deposited in the environment around the Horne smelter, Quebec: comparison of regional snow, peat, soil, and lake-sediment and lake-water surveys; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Cantor K.P. et Lubin J.H. 2007. Arsenic, internal cancers, and issues in inference from studies of low-level exposures un human populations. *Toxicology and Applied Pharmacology* 222: 252-257.
- Carrizales L., Razo I., Téllez-Hernández J.I., Torres-Nerio R., Torres A., Batres L.E., Cubillas A.-C. et Díaz-Barriga F. 2006. Exposure to arsenic and lead of children living near a copper-smelter in San Luis Potosi, Mexico: Importance of soil contamination for exposure of children. *Environmental Research* 101 : 1-10.
- Chamberlain A.C., Clough W.S., Heard M.J., Newton D., Stott A.N. et Wells A.C. 1975. Uptake of lead by inhalation of motor exhaust. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 192: 77-110.
- Choinière J., Beaumier M. 1997. Bruits de fond géologiques pour différents environnements géologiques au Québec, Québec, ministère des Ressources naturelles, 28 p. et 3 annexes.
- Chunhabundit R. 2016. Cadmium exposure and potential health risk from foods in contaminated area, Thailand. *Toxicological research* 32: 65-72.
- Cobbina S.J., Chen Y., Zhou Z., Wu X., Zhao T., Zhang Z., Feng W., Wang W., Li Q., Wu X. et Yang L. 2015. Toxicity assessment due to sub-chronic exposure to individual and mixtures of four toxic heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 294 : 109-120.
- Corwin D.L., David A. et Goldberg S. 1999. Mobility of arsenic in soil from the Rocky Mountain Arsenal area. *Journal of Contaminant Hydrology* 39: 35-58.
- Englyst V. Lundström N.-G., Gerhardsson L., Rylander L. et Nordberg G. 2001. Lung cancer risks among lead smelter workers also exposed to arsenic. *Science of The Total Environment* 273: 77-82.
- Enterline P.E., Day R. et Marsh G.M. 1995. Cancers related to exposure to arsenic at a copper smelter. *Occupational and Environmental Medicine* 52: 28-32.
- (FDA) U.S. Food and Drug Administration. 2016. Arsenic in Rice and Rice Products Risk Assessment Report. <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/RiskSafetyAssessment/default.htm>.

- Gagné D. 2000. Rapport final sur le dépistage de la plombémie chez les enfants du quartier Notre-Dame (Rouyn-Noranda) en 1999. Régie régionale de la santé et des services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue. Rouyn-Noranda, Québec.
- Grenier A. et Kliza D.A. 2005. Pollen analysis of sediment cores from lakes in the Rouyn-Noranda region, Quebec; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Guha Mazumder D.N. 2008 Chronic arsenic toxicity & human health. *Indian Journal of Medical Research* 128: 436-447.
- Hall G.E.M., Vaive J.E., Pelchat P., Bonham-Carter G.F., Kliza D.A. et Telmer K. 2005. Effects of sample drying on phase distribution of elements in lake-sediment cores; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Henderson P.J. et Knight R.D. 2005. Regional distribution and mobility of copper and lead in soils near the Horne copper smelter at Rouyn-Noranda, Quebec; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Hinwood A.L., Sim M.R., Jolley D., de Klerk N., Bastone E.B., Gerostamoulos J. et Drummer O.H. 2003. Hair and toenail arsenic concentrations of residents living in areas with high environmental arsenic concentrations. *Environmental Health Perspectives* 111 : 187-193.
- Hsueh Y.M., Cheng G.-S., Wu M.M., Yu H.-S., Kuo T.-L. et Chen C.J. 1995. Multiple risk factors associated with arsenic-induced skin cancer: effects of chronic liver disease and malnutritional status. *British Journal of Cancer* 71: 109-114.
- (IARC) International Agency for Research on Cancer. 2012a. Arsenic and arsenic compounds. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-6.pdf>
- (IARC) International Agency for Research on Cancer. 2012 b. Cadmium and cadmium compounds. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-8.pdf>
- (INSPQ) Institut national de santé publique du Québec. 2005. Validation des critères B et C de la politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Protection de la santé humaine, rapport scientifique, mars 2005, 66 p.
- (INSPQ) Institut national de santé publique du Québec. 2016. La gestion des risques en santé publique au Québec : cadre de référence. https://www.inspq.gc.ca/sites/default/files/publications/2106_gestion_risques_sante_publicque.pdf

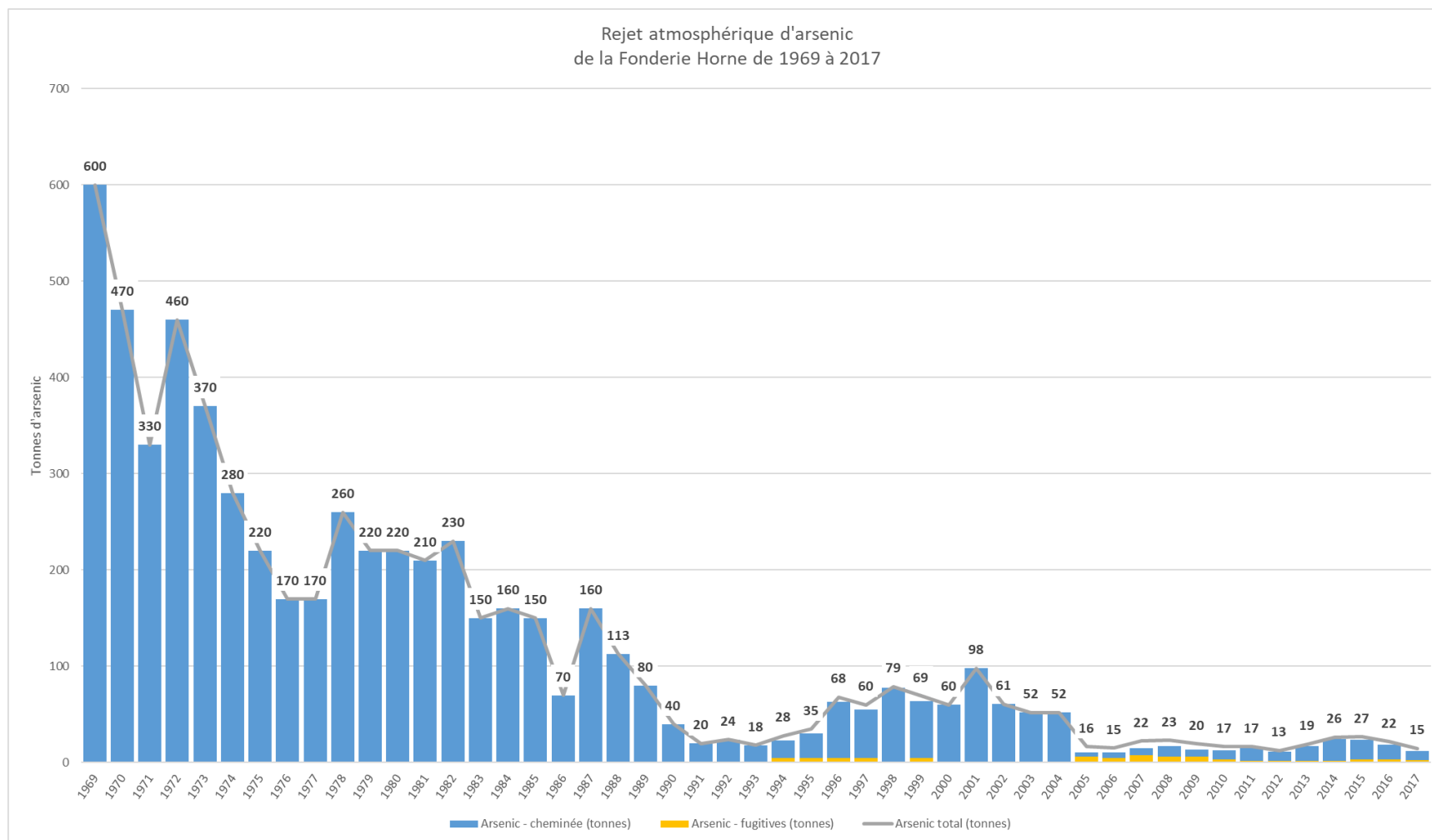
- Jones S.R., Atkin P., Holroyd C., Lutman E., Vives i Batlle J., Wakeford R. et Walker P. 2007. Lung cancer mortality at a U.K. tin smelter. *Occupational Medicine* 57 : 238-245.
- Kapaj S., Peterson H., Liber K. et Bhattacharya P. 2006. Human health effects from chronic arsenic poisoning- A review. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 41: 2399-2428.
- Karagas M.R., Stukel T.A., Morris J.S., Tosteson T.D., Weiss J.E., Spencer S.K. et Greenberg E.R. 2001. Skin cancer risk in relation to toenail arsenic concentrations in a U.S. population-based case-control study. *American Journal of Epidemiology* 153: 559-565.
- Kettles I.M. 2005. Metal distribution in peat hummocks and hollows within 100 km of the copper smelter, Rouyn-Noranda, Quebec; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Kile M.L. et Christiani D.C. 2008. Diabetes mortality and environmental heavy metals in North Carolina counties: An ecological study. *Journal of the American Medical Association* 300: 845-846.
- Kim Y. et Lee B.-K. 2011. Association between urinary arsenic and diabetes mellitus in the Korean general population according to KNHANES 2008. *Science of the Total Environment* 409: 4054-4062.
- Kliza D.A., Bonham-Carter G.F. et Zdanowicz C. 2005. Geochemistry of snow around the copper smelter at Rouyn-Noranda, Quebec: comparison of 1998 and 2001 surveys; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Knight R.D. et Henderson P.J. 2005. Characterization of smelter dust from the mineral fractions of humus collected around Rouyn-Noranda, Quebec; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Lauwerys R., Haufroid V., Hoet P. et Lison D. 2007. *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*. 5e édition. Elsevier Masson SAS.
- Létourneau G.G. et Gagné D.J.P. 1992. Blood lead level in children living close to a smelter area: 10 years later. *Canadian Journal of Public Health* 83: 221-225.
- Loh M.M., Sugeng A., Lothrop N., Klimecki W., Cox M., Wilkinson S.T., Lu Z. et Beamer P.I. 2016. Multimedia exposures to arsenic and lead for children near an inactive mine tailings and smelter site. *Environmental Research* 146 : 331-339.
- Lubin J.H., Pottern L.M., Stone B.J. et Fraumeni J.F. Jr. 2000. Respiratory cancer in a cohort of copper smelter workers: results from more than 50 years of follow-up. *American Journal of Epidemiology* 151: 554-565.

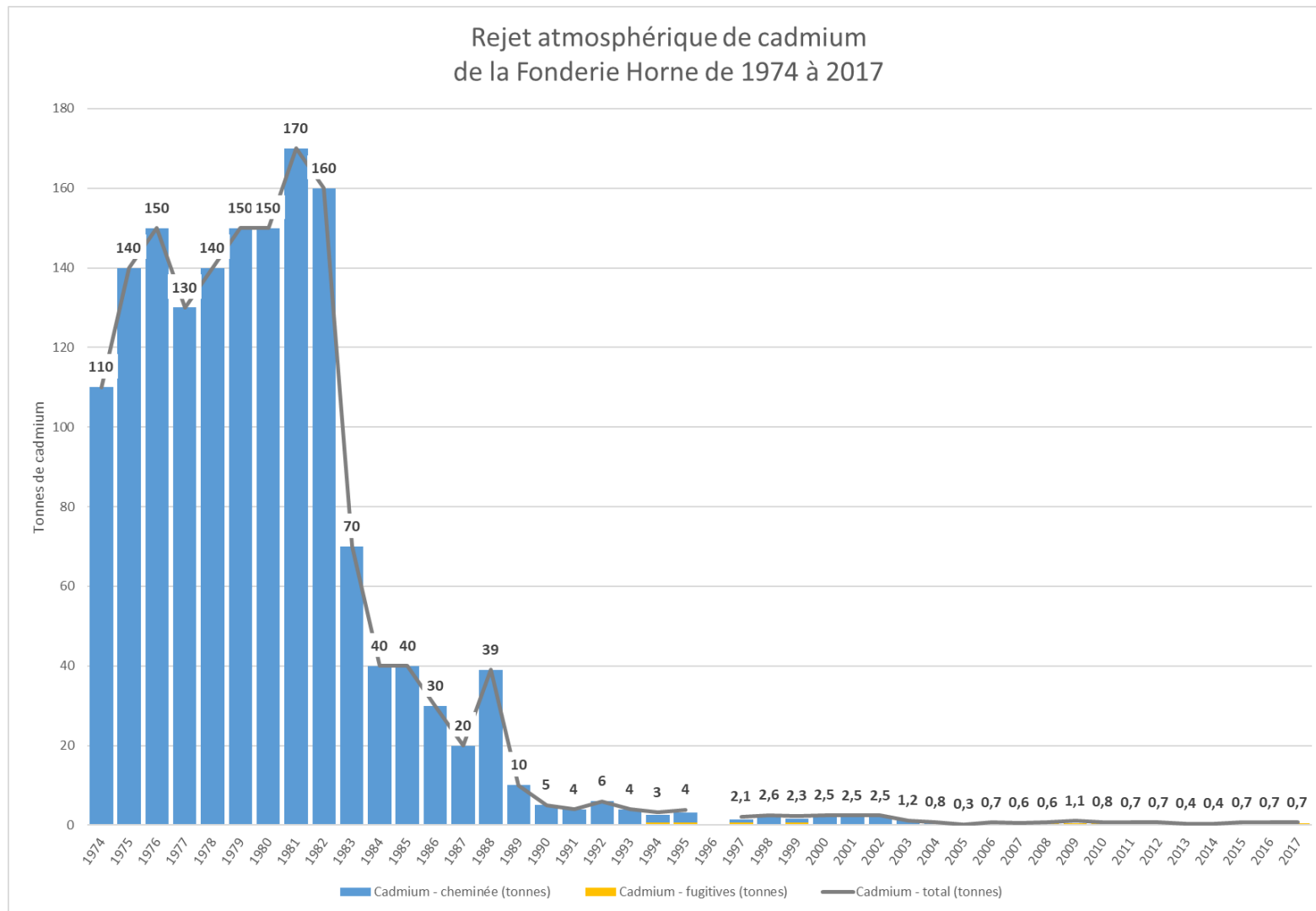
- Marshall G., Ferreccio C., Yuan Y., Bates M.N., Steinmaus C., Selvin S., Liaw J., et Smith A.H. 2007. Fifty-year study of lung and bladder cancer mortality in Chile related to arsenic in drinking water. *Journal of the National Cancer Institute*, 99: 920-928.
- (MDDEP) Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 2010. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Édition courante. <http://wceaeq/documents/publications/echantillonnage.htm>
- Milton A.H., Hasan Z., Rahman A. et Rahman M. 2001. Chronic arsenic poisoning and respiratory effects in Bangladesh. *Journal of Occupational Health* 43: 136-140.
- Needleman, H. 2004. Lead poisoning. *Annu. Rev. Med.* 55, 209-222.
- (NRC) National Research Council. 2013. Critical Aspects of EPA's IRIS Assessment of Inorganic Arsenic : Interim Report. Washington, DC : The National Academies Press.
- (NTP) National Toxicology Program. 2012. NTP Monograph: Health Effects of Low-Level Lead. U.S. Department of Health and Human Services, pp. 1-185. http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/lead/final/monographhealtheffectslowlevellead_newissn_508.pdf#search=health%20effects%20of%20lowlevel%20lead, (accessed 3rd December, 2014).
- (OEHHA) Office of Environmental Health hazard Assessment. 2008. Appendix D: Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level Summaries. Updated 2014. California Environmental Protection Agency. Air Toxicology and Epidemiology Branch. <https://oehha.ca.gov/media/downloads/cnr/appendixd1final.pdf>
- Ogundiran M.B. et Osibanjo O. 2009. Mobility and speciation of heavy metals in soils impacted by hazardous waste. *Chemical Speciation and Bioavailability* 21: 59-69.
- Prokop Z., Cupr P., Zlevorova-Zlamalikova V., Komarek J., Dusek L. et Holoubek I. 2003. Mobility, bioavailability, and toxic effects of cadmium in soil samples. *Environmental Research* 91: 119-126.
- Rabinowitz M.B., Wetherill G.W. et Kopple J.D. 1976. Kinetic analysis of lead metabolism in healthy human. *Journal of Clinical Investigation* 58 : 260-270.
- Rosado J.L., Ronquillo D., Kordas K., Rojas O., Alatorre J., Lopez P., Garcia-Vargas G., del Carmen Caamaño M., Cebrián M.E. et Stoltzfus R.J. 2007. Arsenic exposure and cognitive performance in Mexican schoolchildren. *Environmental Health Perspectives* 115 : 1371-1375.
- Sanexen. 2008. Évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine liés aux émissions atmosphériques de métaux. Projet minier aurifère Canadian Malartic (Malartic, Québec). 62 pages et annexes.

- Savard, M.M., Bégin, C., Parent, M., Marion, J., Smirnov, A., Hou, X., Tassé, N. et Sharp, Z., 2005. Distinction des accumulations de métaux provenant de sources géogènes et anthropiques aux environs de la Fonderie Horne : la dendrogéochimie en tant qu'outil de surveillance environnementale dans Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Song S., Li Y., Li L., Liu M., Li J., Wang L. et Su C. 2018. Arsenic and heavy metal accumulation and risk assessment in soils around mining areas: The Urad Houqi area in Arid northwest China as an example. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 2410; doi:10.3390/ijerph15112410.
- Steinmaus C., Ferreccio C., Acevedo Romo J., Yuan Y., Cortes S., Marshall G., Moore L.E., Balmes J.R., Liaw J., Golden T. et Smith A.H. 2013. Drinking water arsenic in northern Chile: high cancer risks 40 years after exposure cessation. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 22: 623-630. doi:10.1158/1055-9965.EPI-12-1190.
- Tassé, N. 2010. Identification des sources de plomb et contamination : l'exemple du site minier Powell-Rouyn, Institut national de la recherche scientifique, Eau Terre Environnement, rapport soumis à Paul J. Brugger de Lac Properties Inc., Québec, 45 p.
- Tassé, N. 2013. Contamination en arsenic au site minier Powell-Rouyn, Institut national de la recherche scientifique, Eau Terre Environnement, rapport soumis à Paul J. Brugger de Lac Properties Inc., Québec, 34 p.
- Taylor M.P., Winder C. et Lanphear B.P. 2012. Time to rethink blood lead goals to reduce risk to children's health. The conversation, november 5th, 2012. <http://theconversation.edu.au/time-to-rethink-blood-lead-goals-to-reduce-risk-to-childrens-health-10493>.
- Tlustoš P., Száková J., Stárková A. et Pavlíková D. 2005. A comparison of sequential extraction procedures for fractionation of arsenic, cadmium, lead, and zinc in soil. *Central European Journal of Chemistry* 3 : 830-851.
- Tseng W.-P. 1977. Effects and dose – Response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic. *Environmental Health Perspective* 19 : 109-119
- Veillette J.J., Paradis S.J. et Buckle J. 2005. Bedrock and surficial geology of the general area around Rouyn-Noranda, Quebec and Ontario; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.
- Walsh P., Foucault C., Grimard Y., Leduc R., Couture Y., Roy G., van de Walle É., Nantel A., Smargiassi A., Chagnon M. et Gagné D. 2004. Avis sur l'arsenic dans l'air ambiant à Rouyn-Noranda. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Envirodoq n° EN/2004/0293, rapport n° QA/48, ministère de l'Environnement, ministère de la Santé et des Services sociaux, Institut national de santé publique, Québec, 23 p.

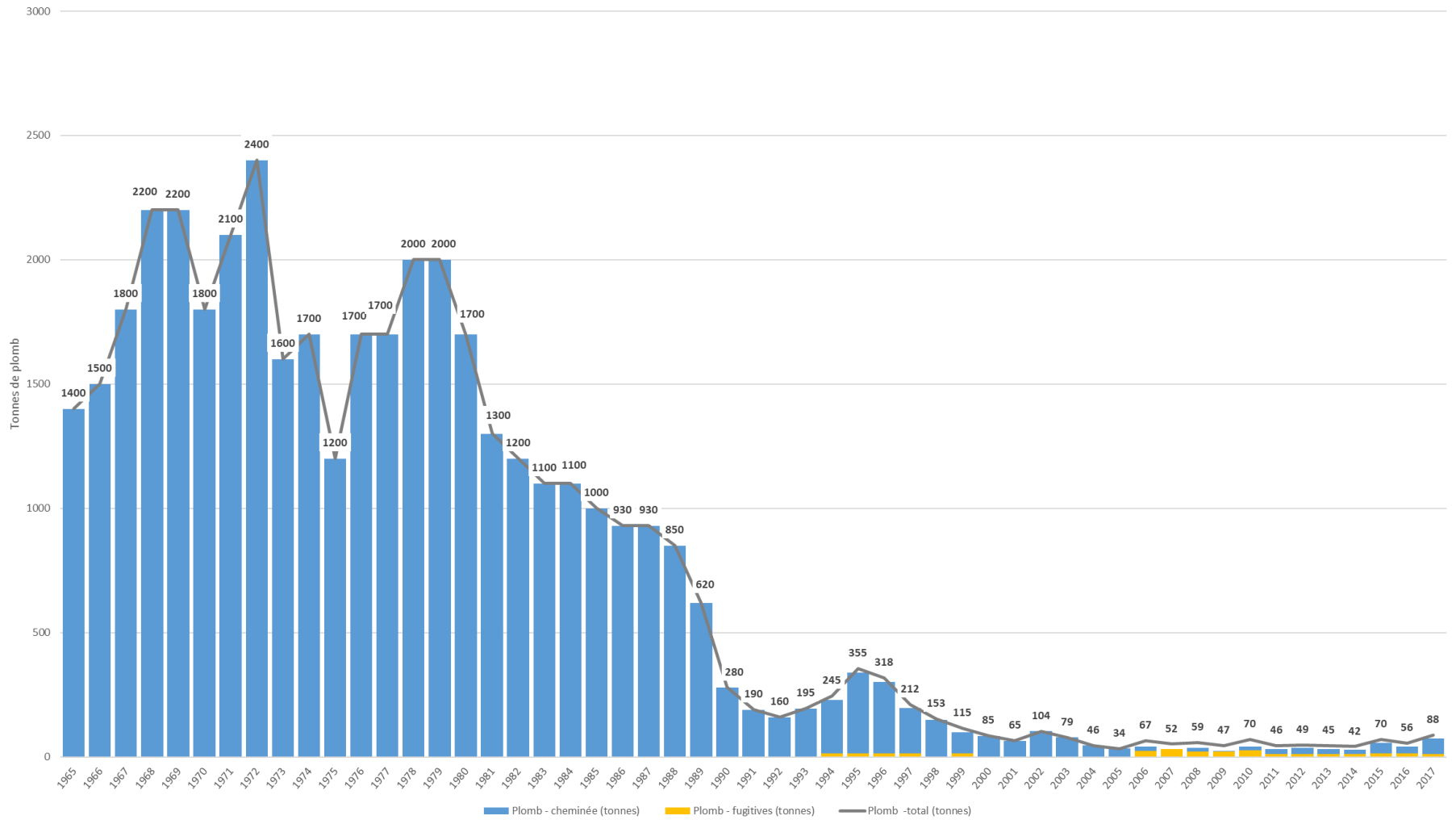
- Widory D., Vautour G. et Poirier A. 2018. Atmospheric dispersion of trace metals between two smelters: An approach coupling lead, strontium and osmium isotopes from bioindicators. *Ecological Indicators* 84 : 497-506.
- Wu X., Cobbina S.J., Mao G., Xu H., Zhang Z. et Yang L. 2016. A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metal in the environment. *Environmental Science and Pollution Research* DOI 10.1007/s11356-016-6333-x.
- Zdanowicz C., Kliza D., Paktunc D. et Bonham-Carter G.F. 2005. Physico-chemical characterization of airborne particulate impurities deposited in snow around a copper smelter, Rouyn-Noranda, Quebec; dans *Metals in the environment around smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, (ed.) G.F. Bonham-Carter ; Geological Survey of Canada, Bulletin 584.

ANNEXE 1 : HISTORIQUE DE LA POLLUTION ÉMISE PAR LA FONDERIE HORNE (ARSENIC, CADMIUM, PLOMB)

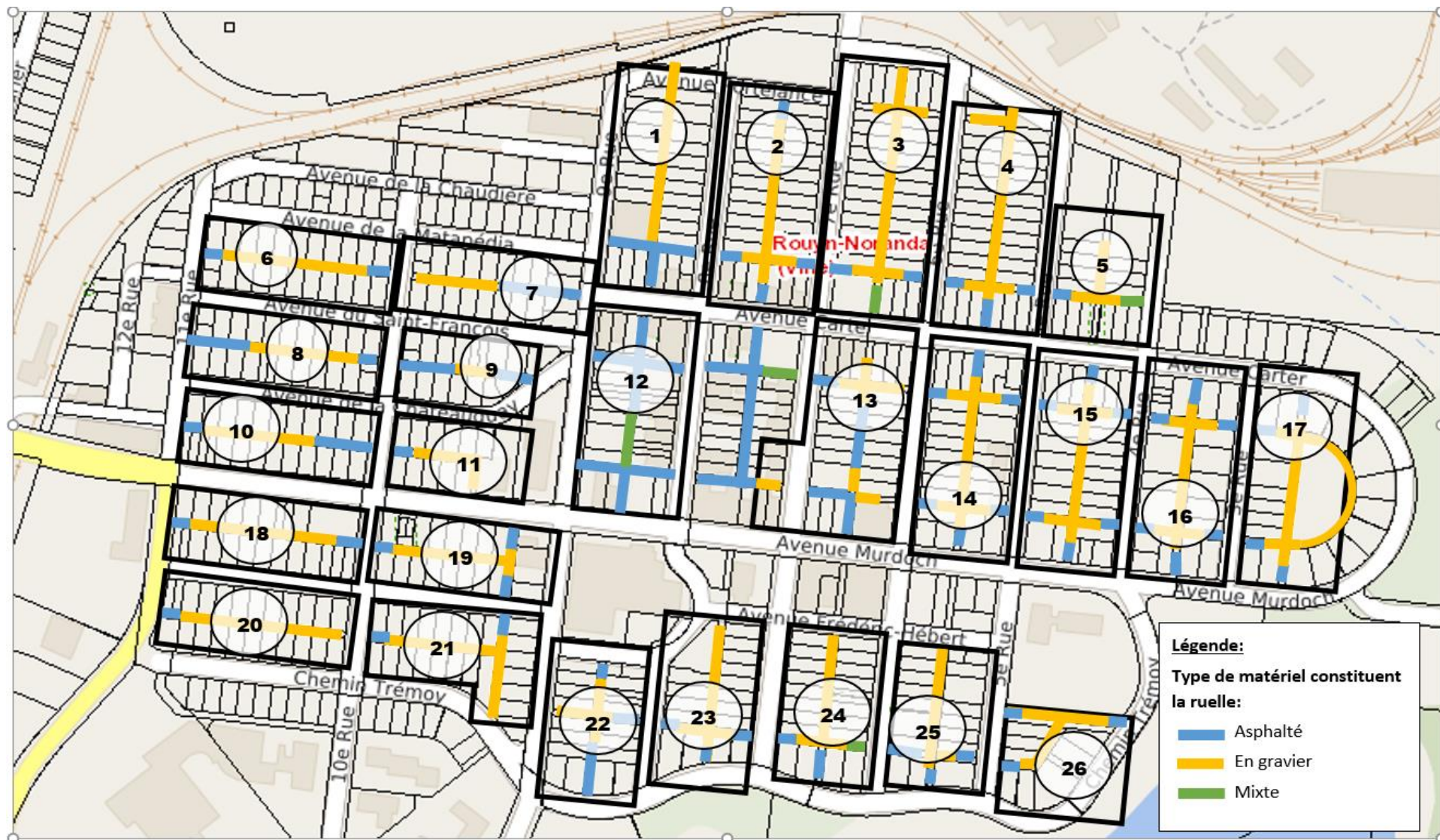




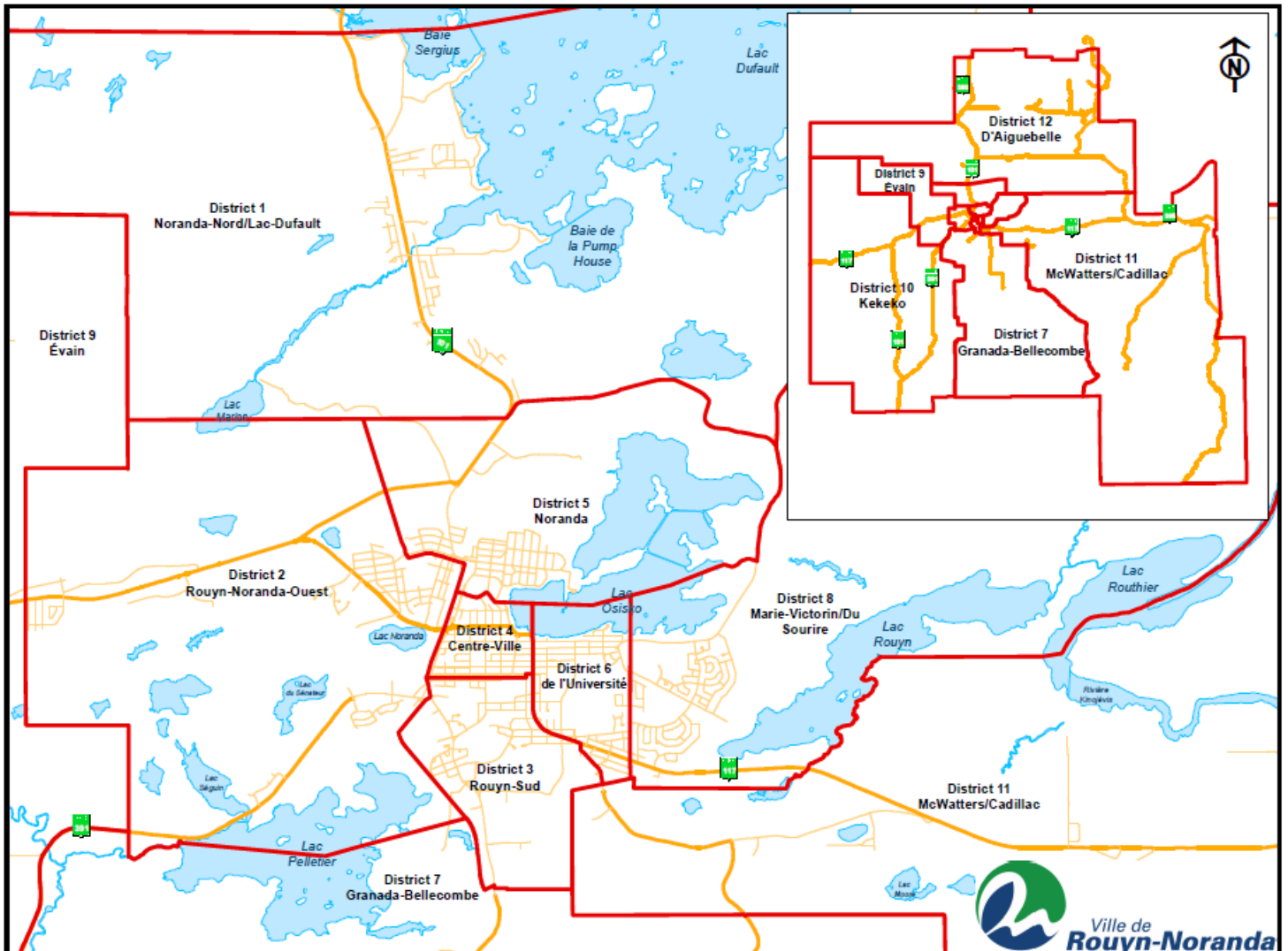
Rejet atmosphérique de plomb
de la Fonderie Horne de 1965 à 2017



ANNEXE 2 : CARTE DES RUELLES DU QUARTIER NOTRE-DAME



ANNEXE 3 : DISTRICTS ÉLECTORAUX DE LA VILLE DE ROUYN-NORANDA



Date: 2017-03-16
Q:\Plan_de_Travail\Districts_electoraux\Districts_electoraux_2017 - Secteur Territoire.mxd

ANNEXE 4 : PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS DU PÉRIMÈTRE URBAIN DE ROUYN-NORANDA

La Direction de santé publique (DSPu) a réalisé l'échantillonnage des sols de l'ensemble des parcs, des écoles, des centres de la petite enfance (CPE) et des garderies en milieu familial situés dans le périmètre urbain de Rouyn-Noranda, cela, à l'exception de ceux situés dans le quartier Notre-Dame (QND), puisqu'ils ont été échantillonnés lors de la campagne d'échantillonnage effectuée en collaboration avec Glencore Fonderie Horne à l'été 2019. La DSPu a également échantillonné des sols de plus de 150 terrains résidentiels dans le périmètre urbain de la ville, des ruelles du QND, des pistes de vélo du secteur du mont Powell ainsi que du secteur de la plage du lac Marlon.

Méthode d'échantillonnage

Un échantillon de sol d'un terrain était constitué de 10 prélèvements exécutés sur l'ensemble du terrain, à l'exception du mont Powell où l'échantillon était prélevé dans une zone délimitée d'environ 10 m². Dans la mesure du possible, pour un terrain donné, les prélèvements effectués sur l'ensemble du terrain, approximativement à la même distance les uns des autres, ceci afin d'assurer une couverture spatiale uniforme.

Pour les sols recouverts de pelouse, les trois premiers centimètres ont été prélevés à l'aide d'un carottier. Pour les sols sablonneux ou graveleux, une quantité de sols équivalant à un prélèvement de carottier a été prélevée à l'aide d'une petite pelle, et ce, en demeurant toujours dans les trois premiers centimètres de sol. Lorsqu'il était évident que le sol avait été remanié sur le site du prélèvement, les échantillons étaient prélevés ailleurs sur le terrain.

Chaque prélèvement était ensuite déposé dans un sac à fermeture à glissière à pression. Tous les prélèvements d'un même terrain étaient rassemblés dans un même sac. Les instruments étaient rincés à l'eau distillée avant de débiter les prélèvements sur un nouveau terrain.

Tous les échantillons prélevés ont été homogénéisés et passés au tamis au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec pour ne retenir que les particules fines de moins de deux millimètres de diamètre. Le contenu en métaux des échantillons a été analysé par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon (ICP-MS) au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (méthode MA. 200 - Mét. 1.2 du CEAEQ).

Matériel requis

- Grands sacs d'échantillonnage à fermeture à glissière à pression (type Ziploc large);
- Marqueur indélébile et étiquettes;
- Petite pelle;
- Carottier pour échantillons peu profonds;
- Pulvérisateur manuel pour nettoyage des instruments;
- Eau distillée;
- Documents d'échantillonnage avec adresse, possibilité de croquis et notes;
- GPS (pour certains terrains non délimités).

ANNEXE 5 : GESTES SIMPLES POUR RÉDUIRE SON EXPOSITION OU CELLE DE SA FAMILLE AUX SOLS CONTAMINÉS

Si les concentrations mesurées sur votre terrain excèdent les valeurs limites du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) pour l'arsenic (30 ppm)²⁹, le cadmium (5 ppm) ou le plomb (500 ppm), la DSPu vous recommande d'appliquer des mesures de protection afin de réduire votre exposition ou celle de votre famille aux sols contaminés.

Considérant que l'ampleur et l'étendue de la contamination du périmètre urbain de Rouyn-Noranda n'est pas encore circonscrite, la DSPu encourage également le reste de la population à prendre connaissance des gestes simples qu'ils peuvent appliquer au quotidien, et ce, particulièrement si leur maison est ancienne et si leur terrain n'a jamais été remanié. Ces deux variables sont susceptibles d'influencer à la hausse les concentrations de contaminant en surface des sols.

Sur votre terrain

- Réduisez au minimum les surfaces de terre battue dans votre cour, car des poussières contenant des contaminants peuvent y être soulevées plus facilement que sur des terrains où le sol est recouvert (gazon, pavés unis, asphalte, etc.).
- Limitez autant que possible l'usage récréatif des parties non remaniées et anciennes du terrain, surtout pour les enfants.
- Surveillez vos enfants lorsqu'ils jouent dehors afin qu'ils ne mangent pas de terre ou de sable.
- Lavez-vous les mains si vous avez été en contact avec des sols contaminés.

Jardin

- Ajoutez annuellement de la nouvelle terre à votre jardin et mélangez bien votre sol.
- Évitez de jardiner sur les parcelles de sol de votre terrain qui n'ont pas été remaniées depuis plusieurs années.
- Assurez-vous d'une fertilisation adéquate, car dans un milieu plus pauvre en nutriment, les plantes sont plus susceptibles d'accumuler des métaux lourds et des métalloïdes.
- Si vous faites pousser des légumes ou des fruits dans votre jardin, lavez-les complètement avant de les consommer et prenez soin d'éplucher les légumes racines comme les carottes ou les pommes de terre.
- Si votre sol est contaminé au cadmium, évitez d'y faire pousser des légumes à feuilles comestibles comme de la salade, des épinards ou de la bette à carde.

Animaux

- Nettoyez régulièrement vos animaux de compagnie s'ils vont à l'extérieur.
- Réduisez autant que possible les allées et venues des animaux entre l'intérieur et l'extérieur de votre domicile.

²⁹ Parties par million.

Réduire la poussière qui entre dans le domicile

- Essuyez vos pieds avant d'entrer dans votre domicile.
- Nettoyez régulièrement votre tapis d'entrée.
- Laissez les bottes et les souliers sales à l'extérieur. Ne vous déplacez pas à l'intérieur avec vos bottes ou vos souliers.
- Si votre terrain ou ceux de vos voisins ont tendance à être poussiéreux, lors de journées très venteuses, fermez les fenêtres.
- Lavez vos fenêtres régulièrement à l'aide d'un linge humide.

À l'intérieur de votre maison

- Durant la saison estivale, lavez plus fréquemment les surfaces de travail de la cuisine (table, comptoir), à l'aide d'un linge humide.
- Lavez régulièrement les planchers de la maison. Pour les surfaces couvertes de tapis, passez régulièrement l'aspirateur. Un aspirateur muni d'un système de filtre HEPA³⁰ est recommandé pour retenir un maximum de poussière.
- Lavez vos mains avant la préparation des repas, avant de manger et après avoir joué à l'extérieur.
- Mangez régulièrement et de façon équilibrée. L'absorption des contaminants, notamment le plomb et le cadmium, est supérieure lorsqu'un enfant a le ventre vide. Vous chassez ? Évitez de manger les abats (reins et foie) de gibier (orignal et ours) abattu dans le secteur de Rouyn-Noranda. Ceux-ci sont fortement contaminés au cadmium.
- Évitez d'exposer les enfants à la fumée secondaire, surtout dans les endroits fermés et sans circulation d'air. La fumée de cigarette est une source d'exposition au cadmium.

³⁰ Filtre à air à haute efficacité. *High-efficiency particulate air* (HEPA).

**Direction de santé publique
de l'Abitibi-Témiscamingue,
unité de santé environnementale**

**Centre intégré
de santé et de services
sociaux de l'Abitibi-
Témiscamingue**

Québec 